

International Seminar
Seminario Internacional

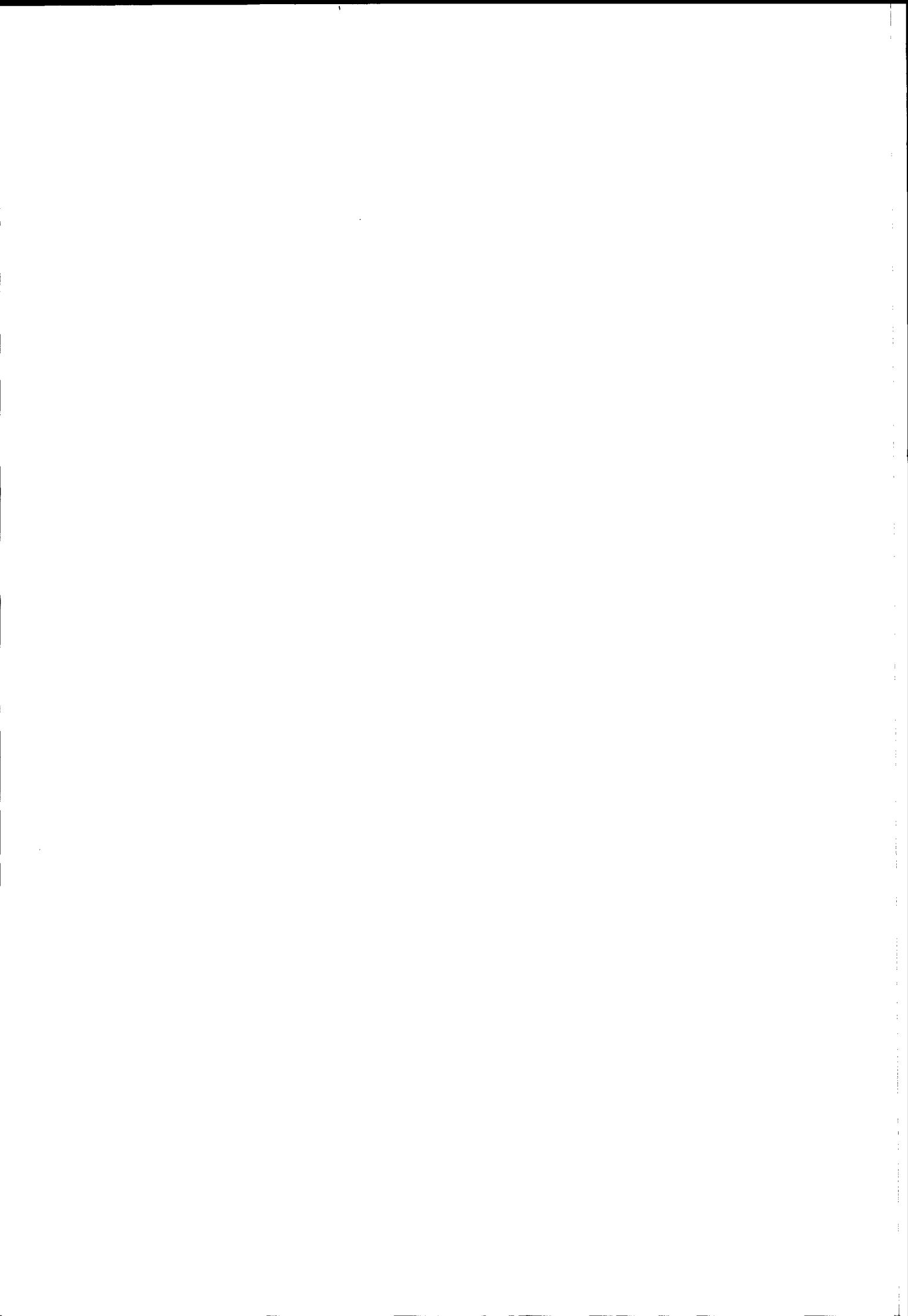
The Use and Applications of ERS in Latin America

Uso y Aplicaciones de ERS en América Latina

Vina del Mar, Chile
25-29 November 1996

GEN31

Cosponsored by:
European Space Agency (ESA),
Pontificia Universidad Católica de Chile,
Universidad Católica de Valparaíso,
DLR & Spot Image



esa SP-405
February 1997
ISBN 92-9092-303-2

**International Seminar
Seminario Internacional**

**The Use and Applications
of ERS in Latin America**

**Uso y Aplicaciones de
ERS en América Latina**

*Vina del Mar, Chile
25-29 November 1996*

Cosponsored by:
Pontificia Universidad Católica de Chile
Universidad Católica de Valparaíso
European Space Agency (ESA)
German Aerospace Research Establishment (DLR)
& Spot Image

***European Space Agency
Agence spatiale européenne***

Cover image: Viña del Mar

Enlargement of an ERS-1 SAR precision image of the region of Valparaíso, Chile, taken on 21 May 1996. The topography is well depicted, as is the water reservoir of the Lake Peñuelas (mid-right). The image also shows the high capacity of SAR in detecting sea-wave patterns, oil pollution on the sea surface (off-shore the Valparaíso harbour), sea waves crashing on the coastal rocks (in particular along the Southern part of the Punta de Curaumilla (centre)), and surface-features indicating sea-bottom topography (bottom-centre).

***ESA SP-405: Proceedings of an International Seminar on
the Use and Applications of ERS in Latin America
(Viña del Mar, Chile, 25-29 November 1996)***

Published by: ESA Publications Division
 ESTEC, Noordwijk, The Netherlands

Compiled by: T.-D. Guyenne

Price Code: 80 Dfl.

Copyright © 1997 European Space Agency

ISBN 92-9092-303-2 Printed in The Netherlands

CONTENTS

General

Chairman/Presidente: Carlos Patillo

ESA's EARTH OBSERVATION PROGRAMME AND THE ERS MISSION

M. Fea, *ESA*

9

GROUND STATIONS OPERATION IN LATIN AMERICA

K.-D. Reiniger, *DLR*

15

THE ERS SAR PRODUCTS: THEIR GENERATION, QUALITY AND CALIBRATION

H. Laur & J. I. Sanchez, *ESA/ESRIN*

19

Agriculture & Forestry / Agricultura y Forestal

Chairman/Presidente: Roberto Castro

GENERAL OVERVIEW OF THE USE OF ERS SAR DATA FOR AGRICULTURE

R. E. Brown & al., *Remote Sensing Applications Consultants*

27

ESTIMACION DE AREAS SEMBRADAS UTILIZANDO IMAGENES LANDSAT-5/TM Y ERS-1/SAR EN EL SUDESTE BONAERENSE ARGENTINO

P. Mercuri & al., *INTA & CONICET*

29

USE OF MULTITEMPORAL ERS-1 SAR DATA FOR RAIN FOREST MONITORING IN ACRE, BRAZIL

D. Scales & al., *DLR*

37

INVESTIGATION OF DEFORESTATION DYNAMICS AND LAND USE CHANGES BY ERS-1 SAR DATA IN RONDONIA, BRAZIL

M. Schmidt & al., *DLR*

45

RADAR RAIN FOREST – A MONITORING SYSTEM FOR LAND COVER CHANGE IN THE COLOMBIAN AMAZON

W. Bijker, *ITC*

53

CROP MONITORING IN EASTERN PARAGUAY USING ERS SAR IMAGERY

F. Pekholtz & al., *Ministerio de Agricultura y Ganadería*

61

INTEGRACION DE DATOS ERS-1 Y LANDSAT TM PARA EL ESTUDIO DEL USO DE SUELO AGRICOLA

G. Salinas de Salmuni & al., *Universidad Nacional de San Juan*

67

APLICACION DE IMAGENES ERS-1 AL ESTUDIO DE LA DEGRADACION DE TIERRAS EN EL GRAN BAJO ORIENTAL DE VALLE FERTIL, SAN JUAN, ARGENTINA

F. Maldonado & al., *Universidad Nacional de San Juan*

77

ERS-1/2 AGRICULTURAL MONITORING EXPERIMENT IN ENTRE RIOS ARGENTINA

H. Mehl & al., *DLR*

83

ERS-1 SAR AND SPOT DATA FOR IRRIGATED LAND EVALUATIONS IN THE CHUBUT INFERIOR VALLEY

H. F. del Valle & al., *CENPAT, CONICET*

89

ASSESSMENT OF ERS-1 SAR DATA FOR MONITORING DEFORESTATION, LAM-4 RONDONIA, BRAZIL

M.G. Wooring & al., *RSAC*

93

ESTIMACION DEL ESTADO HIDRICO DEL SUELO MEDIANTE IMAGENES ERS-1 SAR

H. Salgado & S. M. Zabala, *Facultad de Agronomia & CONICET*

101

Geology / Geología
Chairman/Presidente: Hermann Kux

EVALUACION DE IMAGENES DE SATELITE SAR ERS-1 Y SPOT-LANDSAT EN LA CARTOGRAFIA
DE MOVIMIENTOS EN MASA

G. Vargas Cuervo, *Ingeominas*

109

APORTE DE LAS IMAGENES ERS-1 A LA CARTA GEOTECTONICA DE CUYO. SECTOR CENTRO-ESTE
DE LA PROVINCIA DE SAN JUAN, ARGENTINA

J. C. Perucca & al., *Universidad Nacional de San Juan*

119

EVALUACION DE LA IMAGEN DE ERS-1 SAR DE SU INTEGRACION DIGITAL CON DATOS DE
LANDSAT-TM PARA EL MAPEAMIENTO GEOLOGICO DE LA REGION DE SALOBO, CARAJAS, BRAZIL

P. A. Bignelli, *Fundaçao de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais*

127

APORTES DE LA INFORMACION DE ERS-1 EN EL RECONOCIMIENTO DE RASGOS ESTRUCTURALES
DEL SECTOR CENTRAL DEL MACIZO DEL DESEADO, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, ARGENTINA

D. S. Marchionni & al., *INREMI & CONICET*

133

THE USE OF RADAR SATELLITE FOR HYDROCARBON EXPLORATION IN VENEZUELA

A. Vera & al., *Corpoven & Dekker Remote Sensing Corp.*

143

Hydrology / Hidrología

Chairman/Presidente: Germán Vargas

SYNERGIC EFFECTS OF COMBINED ERS-1 AND TM DATA IN THE STUDY OF PARANA's DELTA,
ARGENTINA – FIRST RESULTS OVER A TEST AREA

H. Karszenbaum & al., *CONICET*

151

ANALYSIS OF FLOODING DYNAMICS IN THE PANTANAL, USING TIME SERIES OF ERS-1 SAR IMAGERY

H. J.H. Kux, *INPE & G. M. Henebry, Rutgers University*

159

Environment / Medio Ambiente

Chairman/Presidente: Jorge Torres

SISTEMA DE VIGILANCIA DE MACHAS DE PETROLEO EN EL MAR, BASADO EN IMAGENES SAR
(SAROIL)

A. Martinez & V. Moreno, *INDRA Espacio*

169

SEGMENTATION OF TEXTURES IN ERS-1 SAR IMAGES APPLIED TO EVALUATE LAND DEGRADATION
OF RANGELANDS (CENTRAL PATAGONIA, ARGENTINA)

H. F. del Valle & al., *CONICET*

177

UTILIZACION DE DATOS ERS-1 PARA EVALUAR LA POTENCIALIDAD DE LA BANDA C, EN LOS
ESTUDIOS DEL MEDIO AMBIENTE, SECTOR ANDINO Y EXTRA-ANDINO DE LA PATAGONIA

F. C. González & al., *UNS*

185

APPLICATIONS OF ERS-1 SAR IMAGES FOR MONITORING LAND COVER CHANGES IN A BURNT AREA
OF RANGELANDS (CENTRAL PATAGONIA, ARGENTINA)

H. F. del Valle & al., *CONICET*

195

CARACTERIZACION MORFOLOGICA DE LA FAJA VOLCANO TECTONICA 'PALI-AIKE' MEDIANTE
IMAGENES ERS-1

H. Corbella & D. A. Gagliardini, *Museo Nacional de Ciencias Naturales & CONICET*

201

Oceanography / Oceanografia
Chairman/Presidente: Mike G. Wooding

STUDY OF MESOSCALE FEATURES AND SEASONAL VARIABILITY IN THE CANARY BASIN FROM GEOSAT, ERS-1 AND TOPEX/POSEIDON ALTIMETERS DATA A. Tereja & al., <i>Universidad de Las Palmas de Gran Canaria</i>	211
SYNERGY OF ERS RADAR INFORMATION AND MODELLED DIRECTIONAL WAVE SPECTRUM TO ESTIMATE COASTAL REGION WAVE CHARACTERISTICS IN THE GULF OF TEHUANTEPEC, MEXICO F. J. Ocampo-Torres & al., <i>CICESE</i>	219
OCEANOGRAPHIC FEATURES IDENTIFICATION IN THE ABROLHOS REGION, BRAZIL, THROUGH ERS-1 SAR IMAGES G. A. Gonçalves & C. A. Eiras Garcia, <i>Universidade do Rio Grande</i>	225
ZONAS DE REPOBLAMIENTO DE RECURSOS BENTONICOS EN LA REGION DE VALPARAISO, CHILE, A TRAVES DE IMAGENES ERS-1 Y SPOT M. A. Barbieri B. & C. Silva G., <i>Universidad Católica de Valparaíso</i>	231
SATELLITE-DERIVED SCATTEROMETER/ERS-1 SEA-SURFACE WIND VORTICITY IN THE SOUTHWESTERN INDIAN OCEAN A. G. Ramos & al., <i>Universidad de Las Palmas</i>	235
MESOSCALE STRUCTURES DETECTED WITH ERS-1 SAR IMAGES IN THE ALBORAN SEA VERIFIED BY ERS-1 ATSR AND ON-SITE MEASUREMENTS B. Shirasago & J. Font, <i>CICIMAR-IPN & CSIC</i>	241

Glaciology / Glaciología
Chairman/Presidente: Manuel Cantón

STUDY OF KING GEORGE ISLAND ICE CAP, SOUTH SHETLAND ISLANDS, ANTARCTICA, USING RADIO-ECHO SOUNDING AND SPOT, ERS-1 SAR IMAGES Yu. Ya. Macheret & al., <i>Institute of Geography, Russian Academy of Sciences</i>	249
DETECCION DE HIELOS FLOTANTES EN LA ANTARTIDA H. Salgado & M. Picasso, <i>SMARA</i>	257
MONITORING OF SUBGLACIAL VOLCANIC ERUPTION AND GLACIAL FLOOD IN SOUTHERN ICELAND USING ERS-1/2 SAR DATA B. Müschen & al., <i>DLR</i>	263

Technology / Tecnología
Chairman/Presidente: Héctor Salgado

EL ENTORNO DE PROCESO DE DATOS SAR EPSIE A. Martínez & V. Moreno, <i>INDRA Espacio</i>	275
TRATAMIENTOS DE IMAGENES ERS-1 PARA OPTIMIZAR SU APLICACION S. Torrusio & E. Bozzarello, <i>Dirección de Aplicación de Imágenes Satelitarias, MOSP</i>	281
METODOS DE CLASIFICACION SUPERVISADA Y NO SUPERVISADA DE IMAGENES SAR ERS-1/2 M. A. Raed & al., <i>Universidad Nacional de Luján</i>	287

Participants	293
---------------------	-----



GENERAL

Chairman/Presidente: Carlos Pattillo



THE EARTH OBSERVATION SATELLITE PROGRAMME OF THE EUROPEAN SPACE AGENCY

Maurizio Fea

European Space Agency
ESRIN, via G. Galilei, 00044 Frascati, Italy
phone: +39 6 94180 940, fax: +39 6 94180 280

ABSTRACT

The ESA Earth Observation Programme includes both satellites for the geostationary orbit and polar orbiters for a global coverage of the Earth.

In cooperation with EUMETSAT, ESA continues the development of the successful series of the meteorological geostationary METEOSAT satellites.

In polar orbit, ERS-2 is currently the operational spacecraft, whilst ERS-1, still functioning, is hibernated as a back-up satellite. At the same time, the spacecraft of the new generation, ENVISAT-1, is being built for a launch in mid-1999. In parallel, a new line of polar orbiters for meteorology and climatology is under development for a first launch in 2001: the METOP series, which is the European contribution to the W.M.O. Global Observing System in replacement of the NOAA A.M. series after the latter will be discontinued by USA. The third generation of ESA's EO polar orbiters is being studied to respond to two different requirements: one to support technical and scientific development and demonstration needs (Earth Explorers), the other to offer operational monitoring services (Earth Watchers).

Finally, the experience gathered to date through the use of ERS data specifically in hydrological applications is briefly presented.

1. THE METEOSAT SERIES

The family of METEOSAT geostationary satellites for meteorology and climatology constitutes the European space component of the equatorial belt of the Global Observing System of the World Meteorological Organisation. ESA started this series with the launch of METEOSAT-1 on 22 November 1977 and EUMETSAT took over the operations of these satellites in 1996, with ESA keeping the task of developing, launching and commissioning them. METEOSAT-7 is in the final stage of construction, for a launch in August 1997, and METEOSAT Second Generation satellites are being developed, for a first launch scheduled in the year 2000. The ground coverage of the METEOSAT spacecraft

includes also the Eastern part of South America, in particular most of Brazil.

It is worth recalling that ESA and EUMETSAT provided support to NOAA when GOES East failed, by moving METEOSAT-3 to the 75 degrees West location, thereby supporting the Americas with image data and automatic data collection platforms from the geostationary orbit until the new GOES-E became operational.

2. THE ERS MISSION

In the 1980's ESA initiated its polar orbiter programme with the successful European Remote Sensing satellites. ERS-1, launched on 17 July 1991, after more than five years of outstanding operations has been recently hibernated as a back-up satellite, whilst ERS-2, launched on 21 April 1995, is currently operated as the prime spacecraft. The two spacecraft are controlled to fly along the same orbit, with ERS-2 following ERS-1 at 30° 41": this means for instance that the Synthetic Aperture Radar (SAR) of ERS-2 can image exactly the same areas which were imaged 24 hours before by the SAR of ERS-1. This permits the acquisition of good SAR image pairs for interferometric applications almost all over the world.

During the so-called ERS Tandem Mission (01.10.95-02.06.96), the two satellites were operated simultaneously and the operations of the SAR in Image Mode were planned for both satellites in order to allow the creation of a large archive of these ERS SAR image pairs. They are listed in a dedicated catalogue, which is maintained at the ERS Central Facility in ESRIN and can be accessed on-line for consultation.

Several services and tools have been developed and operationally implemented to provide users with more and specialised opportunities.

An *Earth Watching* service has been set up in cooperation with Eurimage. As soon the ERS User

Services are informed about a disaster, the following is offered:

- ERS SAR acquisitions are planned over the area
- a verification is done over the past to check the availability of previous images
- from the above, special products are prepared on the event and put on internet.

Through the Multimission **DESCW**, users can download the following:

- the ERS SAR operations archive catalogue, the operations plan for the next three months (updated weekly) and the ground stations visibility mask for the area of interest
- the DESCW software
- Quick-look (Q/L) images of non ESA satellites, for instance Landsat TM (some 12 years), JERS-1, etc., whilst ERS Q/L data are being prepared

The link to DESCW can be established through NETSCAPE.

A new **ERS CD-ROM** has been generated and is available through the User Services. It contains, among others:

- a basic course on SAR
- a set of applications of ERS data and hundreds of ERS SAR images
- information about ESA, its E.O. programmes and remote sensing matters in general.

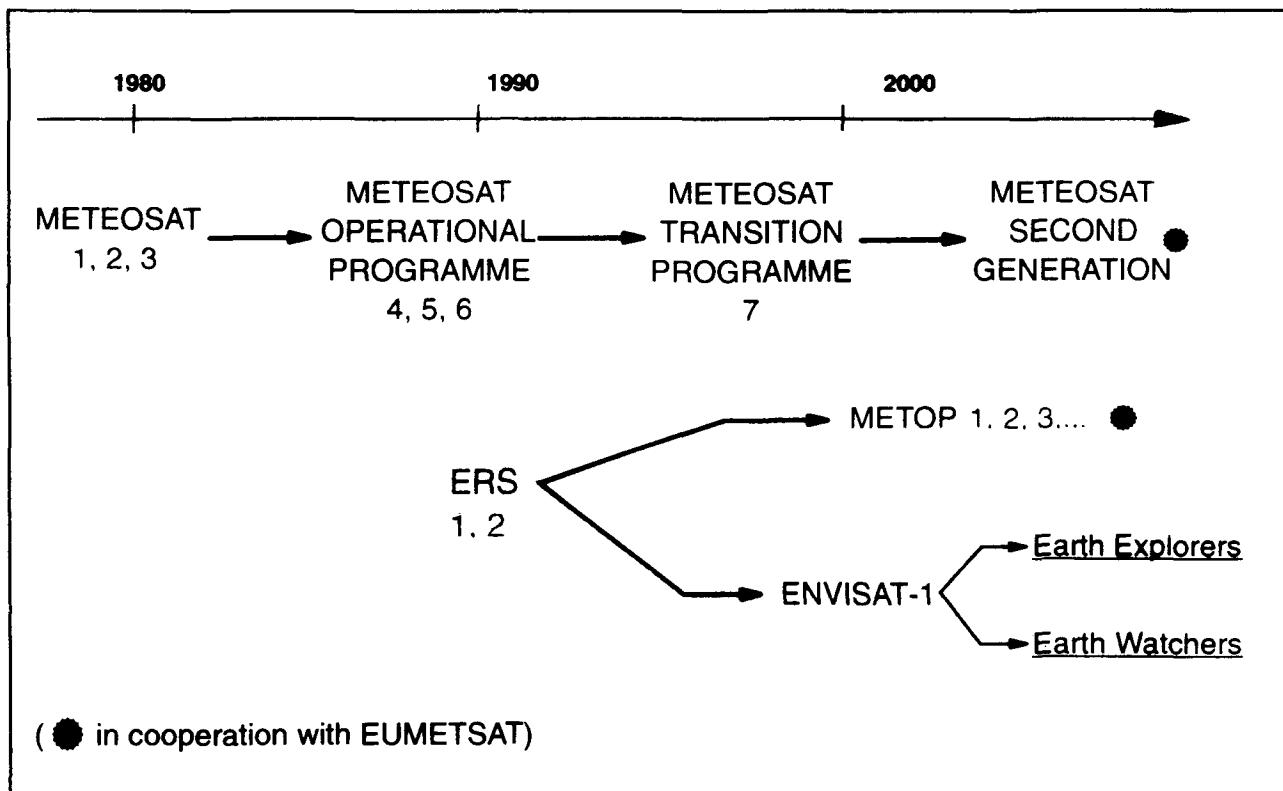
In addition, a new service, called **Earthnet online**, is being finalised for implementation in summer 1997. It will offer the following main features:

- a multimission catalogue and Q/L image data
- product order support and specific searching
- documentation and access to ESA and non-ESA directories
- an advanced, customised and friendly user interface, primarily but not only through internet.

During more than five years of ERS operations, a huge amount of data has been acquired by and archived at ERS ground segment facilities around the world. Through the central management of these operations by ESRIN, after a period of initial difficulties the smooth running of acquiring, storing, processing ERS data and delivering ERS products to users was achieved.

To date, ERS-1 has completed 28046 orbits and ERS-2 8371.

The ground station coverage is grown and most of the Earth surface is covered, except a part of the Siberian territories. Of particular interest in the Latin American region is the availability of the EOSAT station in Norman, USA, and the forthcoming DLR station to be installed in Falda del Carmen, near Cordoba in Argentina. The former covers Mexico, the Gulf of Mexi-



co and a large part of Cuba, so that providing ERS SAR data over a region not covered by ERS SAR acquisitions before. The latter will offer an additional opportunity over central and southern part of South America, an area where difficulties experienced by ESA partners have hindered the running of a reliable service.

Details about specific subjects, as the ground operations for data acquisition and fast delivery processing, the quality assessment of instrument performance and the control of ERS products are discussed in the next papers by other colleagues.

Here it is worth recalling that investigators of 688 scientific research teams and of 152 application projects have been and are being provided with ERS datasets free of charge for scientific researches and operational applications, respectively. Their findings have been essential to better understand the value and the possible use of the ERS data. New applications have become familiar, such as interferometry or flooding and oil spill. The projects and the work achievements which will be presented in this workshop are the best witness of the success of the ERS mission.

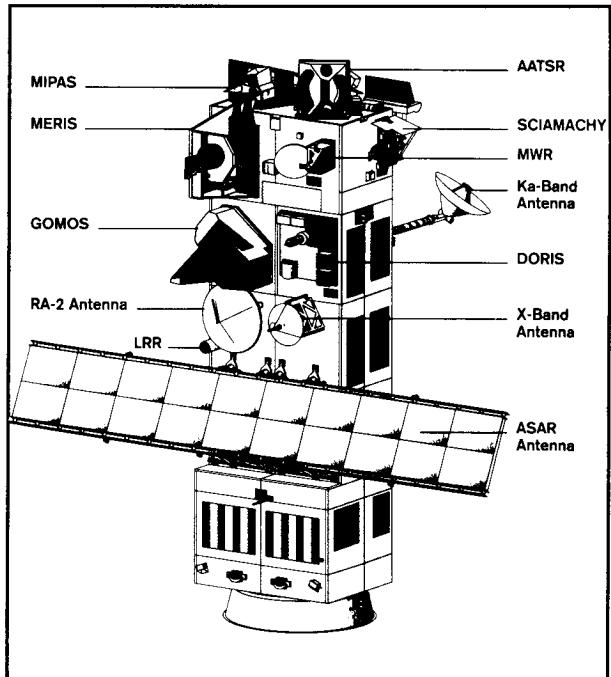
3. TOWARDS THE YEAR 2000

The second generation of ESA's polar orbiters is being built: ENVISAT-1, the giant successor of the two ERS satellites, is set for launch in mid-1999 with an Ariane-5 flight, and METOP-1, the new European contribution to the WMO Global Observing System to replace the NOAA A.M. series (which will be discontinued shortly by USA), is scheduled for launch in 2001/2002 and will carry also a wind scatterometer.

ENVISAT-1 weights more than 8 tons (three times ERS-2) and its payload comprises 10 instruments (twice those of ERS-1):

- an Advanced Synthetic Aperture Radar (ASAR)
- an instrument for Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars (GOMOS)
- a Laser Retro-Reflector device (LRR)
- a Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS)
- a Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding (MIPAS)
- a Microwave Radiometer (MWR)
- an improved Radar Altimeter (RA-2)
- an Advanced Along-Track Scanning Radiometer (AATSR)
- a device for Doppler Orbitography and Radio-positioning Integrated by Satellite (DORIS)

• a Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography (SCIAMACHY), the first six being developed by ESA and the last four being built by institutions in the framework of an ESA Announcement of Opportunity.

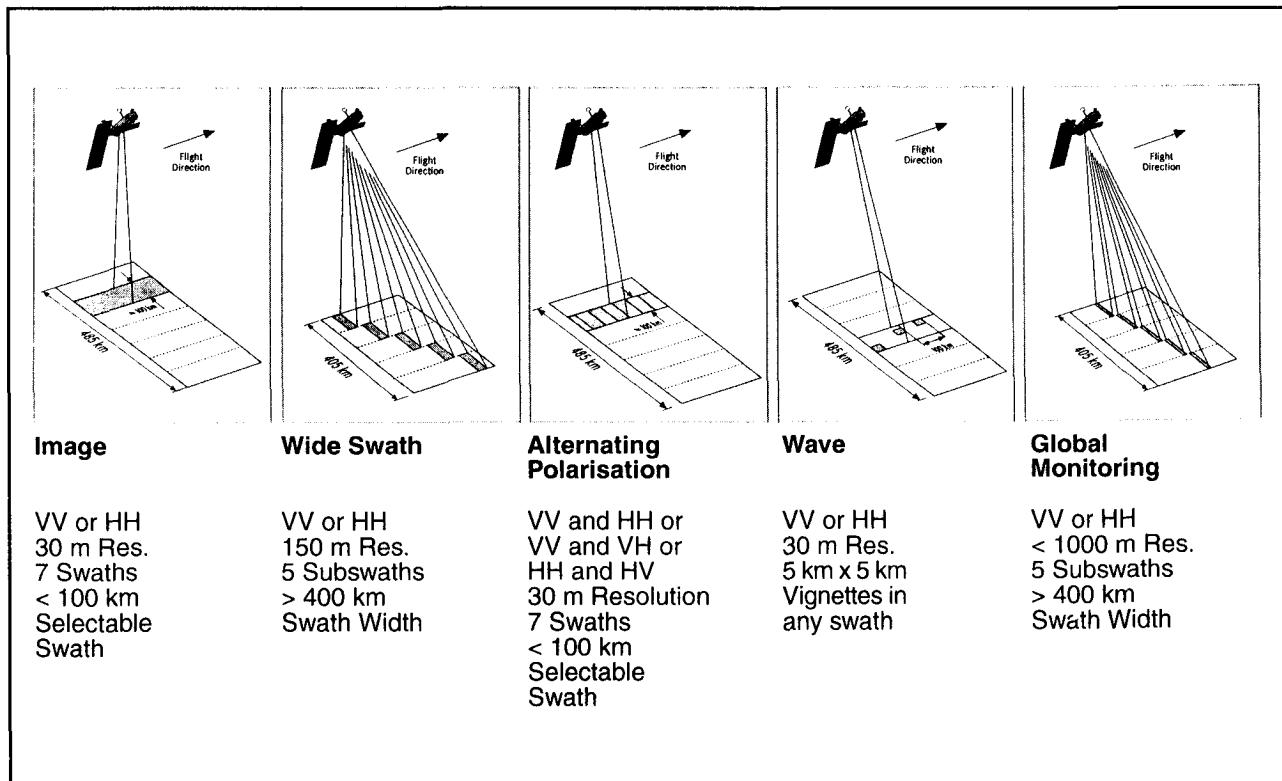


The ENVISAT-1 Payload

Four instruments will provide important information and measurements for the atmospheric physics and chemistry. The ASAR, MERIS and AATSR will be of specific interest for monitoring the Earth surface. In particular, the C-band ASAR will generate image data at horizontal or vertical polarisation at different resolutions (30, 150 and 1000 m) and different incident angles, for up to 30 min each orbit. With its 15 programmable spectral channels, MERIS will provide spectral images of the Earth, corrected for atmospheric influence, at the resolution of 250 or 1000 m, which will be used primarily for generating maps of ocean pigment concentration, clouds and water vapour, status and distribution of vegetation.

Data from instruments contributing to the Global Mission will be recorded on board, and dumped to the ESA ground station in Kiruna or directly to ESRIN via satellite link through the ARTEMIS spacecraft. Global Near Real Time products will be distributed to users within less than three hours from observation, as it is done today with the ERS Fast Delivery Products.

Data from ASAR in its imaging modes and MERIS in its



The ASAR Operating Modes (Courtesy of DORNIER)

250 m Full Resolution mode will contribute to the Regional Mission and require real time transmission to a ground station and/or to ESRIN via the ARTEMIS satellite link.

Further to the experience with the ERS mission, access to the ENVISAT-1 services will be provided mostly through Internet. The ground segment infrastructure, called Payload Data Segment (PDS), will include different facilities, but all services will be transparently provided to users by any PDS access point.

Finally, it is important to note that an ENVISAT-1 Announcement of Opportunity will be called by mid-1997, for a selection by the end of 1997 and the beginning of work in January 1998.

The METOP satellites will cover the A.M. polar orbit for meteorology and climatology, also with the aim of ensuring continuity to well-known and widely used AVHRR global datasets, for which they will complement the NOAA P.M. series. This European series of satellites will carry the following instruments:

- a Visible and Infrared Scanning Radiometer (VIRSR)
- an Infrared Temperature Sounder (IRTS)
- a Microwave Temperature Sounder (MTS)
- a Microwave Humidity Sounder (MHS)

- an Advanced ARGOS Data Collection System (DCS)
- an Infrared Atmospheric Sounding Interferometer (IASI)
- an Advanced Wind Scatterometer (ASCAT)
- an Ozone monitoring instrument, follow-on to GOME
- a Space Environment Monitor (SEM)
- a Search and Rescue device (S&R),

partly provided by NOAA, in the same way as future NOAA P.M. spacecraft will carry European instrument to ensure a large degree of standardisation between the two systems in the framework of the W.M.O. World Weather Watch.

4. STARTING THE NEW MILLENNIUM

In the meanwhile, in order to ensure the long-term continuity to ESA EO data, the third generation of polar orbiters is being studied for launch after the year 2004. Two distinct types of missions are being considered: Earth Explorers, oriented towards scientific research, instrument qualification and demonstration projects, and Earth Watchers, destined to support operational applications.

Some candidate missions have been already identified in

collaboration with the user communities:

• *Earth Explorers candidate missions*

- magnetometry
- gravity field and steady state ocean circulation
- topography
- land surface processes and interactions
- precipitation
- atmospheric dynamics
- atmospheric profiling
- Earth radiation
- atmospheric chemistry

• *Earth Watchers candidate missions*

- coastal zones
- ice monitoring
- land surface
- atmospheric chemistry
- open oceans.

The consultations will continue with the aim of arriving in the next year to a set of more focused proposals for implementation, in order to provide data continuity after the ENVISAT-1 mission life-time.

5. ERS DATA FOR HYDROLOGY

The session on Hydrology will propose a couple of interesting papers on two specific cases, namely the synergy of optical and radar images for studying the delta of a river, and the analysis of flooding dynamics using SAR time series.

In general, ERS data can be used as an additional source of information to monitor the status and in particular the changes of:

- lakes (size, surface height, waves and surface temperature)
- rivers (course, width, flooding)
- wet lands (extension)
- watersheds (management, simulation through a DTM)
- reservoirs (size, flooding risk)
- soil humidity
- snow (water equivalent)
- water resources (irrigation, under-the-ground sources)

and others targets.

From various operational projects, besides the obvious advantage experienced over remote areas it has been demonstrated that there is a definite financial benefit in using SAR data for monitoring operations with respect

to mere in-situ conventional ground survey as soon as the area concerned is bigger than 35-40 square km, even in a populated territory where ground monitoring is easier.

The most striking examples of the contribution that ERS SAR data can offer have been shown by users in occasion of river flooding events, when the thick cloud cover would hinder image taking in optical bands and often the associated prohibitive weather conditions would prevent aircraft survey flights. In these circumstances, the use of ERS SAR Multitemporal images is an asset: the combination of SAR data taken before (normal conditions), during and or after the event allows the generation of a coloured image, where a chosen colour would indicate the areas which have been inundated.

Hence, it is possible not only to monitor the disaster (provided that the satellite would pass at the right time), but also to identify the extent of the damages. In a similar way, very high resolution optical data taken in previous dates under clear sky conditions can be merged with SAR data taken through clouds and rain during or after the event. Both techniques provide civil defence operators with a very powerful monitoring tool, and can be associated with mobile space communications facilities, thereby offering a fundamental help from space to disaster relief and mitigation operations.

It has to be noted that not only the imaging instruments can contribute to hydrological applications. In fact, also the radar altimeter can provide useful information on large lakes and rivers: studies have demonstrated that there is the possibility of detecting the water surface elevation through the careful analysis of the backscattered waveform signals. The Titicaca lake is a very good target for this application. The scientists of Mullard Space Science Lab in UK showed that some information could be extracted also on the Amazon river.

6. INTERNATIONAL COOPERATION

ESA has a long tradition in cooperating with Latin American institutions in the field of Earth Observation and has established through it an important network of consolidated contacts. The Agency carries out this effort not only because of its direct interest in promoting the use of data from its own EO space missions, but also in order to provide institutions and companies of ESA Member States with additional projects and business opportunities. Therefore, frequent joint ventures are

implemented with national institutions and companies, in geographic areas and for applications of strategic interest for its Member States. In this framework, an important and active collaboration exists between ESA and its data distributors, primarily Eurimage and SPOT Image, the latter being responsible specifically for the Latin American continent.

In addition, ESA enjoys a long-term cooperation with many international organisations, such as the European Union and its Commission, the United Nations and its specialised agencies (FAO, UNESCO, etc.), and other entities, for instance space communications agencies (INMARSAT, etc.) and development banks. Cooperative efforts are often possible only through international initiatives, where the ESA's partnership is frequently sought by other institutions.

In the specific domain of cooperating with Developing Countries in EO activities, ESA provides support both at bilateral level and in a regional context. In general, the latter is preferred in the case of events, such as courses and workshops, whereas the former is used to strengthen the capacity building of national institutions on space matters.

Although the resources for these activities are extremely limited, through the international cooperation a support is provided to the Latin American region in the following areas, mainly in association with application projects:

- technical assistance
- education
- dataset to start working
- informatic tools
- fellowships
- meeting opportunities
- exhibitions
- documentation and information
- involvement in international initiatives

and others as appropriate, such as this workshop.

It is worth noting that most of ESA's practical activities in the EO domain are conducted by ESRIN in agreement with the ESA International Policy Office, the latter remaining the prime institutional interface to initiate any cooperation. The UN key interlocutor for ESRIN is the Office for Outer Space Affairs (OOSA) in Vienna, the EU one is the Centre for Space Applications (CSA) at the Joint Research Centre in Ispra, and the one in FAO is the Service for the Environment and Natural Resources of the Department for the Sustainable Development in

Rome. Several of the activities implemented in the Latin American region by ESA are organized with the above partners.

This year, an ESA working group has been established with the goal of advising on which actions and strategy need to be implemented in order to improve the achievements in this domain and to make the European effort more effective. The final recommendations to the ESA Delegated Bodies are expected by the summer 1997.

The current conditions all over the world call for a closer and improved cooperation to achieve effective results. In this spirit, an enhanced collaboration with the data distributors and the ground station operators is being considered, with the aim of increasing their involvement for a more effective stimulation of the potential users, a better support to the users and an improved feedback to ESA.

6. ESA ON THE WEB

The ESA Home Page provides access to up-to-date information on the European Space Agency's aims, programmes, projects, mission reports, press releases and ESA centres:

<http://www.esrin.esa.it>

In addition, hyperlinks provide access to ESA services on WWW (including full-text publications), and to the home pages of other space agencies and scientific and aerospace institutions around the globe.

Information about current operations and services can be found directly at:

<http://services.esrin.esa.it>

7. REFERENCES

- [1] Proceedings of the 3rd ERS Symposium, Florence, March 97, ESA SP-294
- [2] Proceedings of the 2nd ERS Symposium, Hamburg, Oct. 95, ESA SP-361
- [3] Proceedings of the 1st ERS Symposium, Cannes, Nov. 92, ESA SP-359
- [4] Second ERS Applications Workshop, London, Dec. 95, ESA SP-383
- [5] Scientific Achievements of ERS-1, ESA SP-1176/I
- [6] Applications Achievements of ERS-1, ESA SP-1176/II
- [7] Satellite Radar in Agriculture, ESA SP-1185
- [8] Spaceborne Radar Imagery (CD-ROM), ESA SP-1204

GROUND STATIONS OPERATION in Latin America

Klaus-Dieter Reiniger

Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt
German Remote Sensing Data Center
82311 Oberpfaffenhofen, Germany
phone: +49 8153 28 1188, fax +49 8153 28 1443

ABSTRACT

Latin America has due its geographical and climatological conditions a high demand of Radar sensed image data. The observation of the belt of the tropical rainforests in the Amazon river basin requires in the same way radar imaging as the Antarctic peninsula in the south. Dense cloud covers limit in these regions earth observation by optical sensing satellites to some cloudfree scenes per year. Moreover new technologies like SAR interferometry provide an excellent opportunity to study the geotectonic behavior of the Andes cordillera.

Unfortunately the data rates of modern SAR sensors do not (or only in a very limited mode) allow to store the sensed data on board of the satellites. Therefore ground stations have to be located in the region of observation to acquire the sensed data in real time. The availability of data therefore depends highly on the operation of the ground station network, which shall be given in this report.

1. INTRODUCTION

The capability to monitor regions with high percentage of cloud cover or illuminated by the sun only partially over the year like the regions of tropical rainforests or the polar ice caps has improved substantially with the launch of the European satellites ERS-1 in 1991 and ERS-2 in 1995. This satellite pair moreover offers in its sensor design and in its orbital configuration the outstanding opportunity to monitor the dynamics and deformations of the earth surface [Ref. 1] by interferometric INSAR technology. Unfortunately the high rate of the sensor data stream does not allow to record its data stream on board of the satellites and therefore requires the utilization of an adequate satellite ground station in the region of sensor data acquisition. The area being observed by a satellite ground station is limited by the orbital altitude of the earth observation satellite, which is normally about 800km and the direct line of sight between the satellite and the ground station. This area is normally described by the circle of visibility around the location of the station. For satellites like ERS this circle has a diameter of about 5000 km. Latin America therefore requires 4 -5 ground stations to

cover the area from the Antarctica to the Caribbean sea (Fig.1).

The use of earth observation data in Latin America has tradition and the installation of receiving stations was started together with the first Landsat satellites (Cuiaba ground station was the first ground station outside North America). In the mean time the necessary network to cover this important region of the world could almost be completed. After Cuiaba Ground station (in 1973) in the center of Brazil and Cotopaxi station in Equator (1975), Mar Chiquita station in Argentina was erected in 1980 and unfortunately became disactivated again in 1986. Finally the German Antarctic Receiving Station GARS on the Antarctic Peninsula (1991) became operational. The remaining gaps between Brazil and Argentina after closing down Mar Chiquita station and in the north to the Caribbean sea will be closed in 1997, providing then a complete coverage by ground receiving capacity.

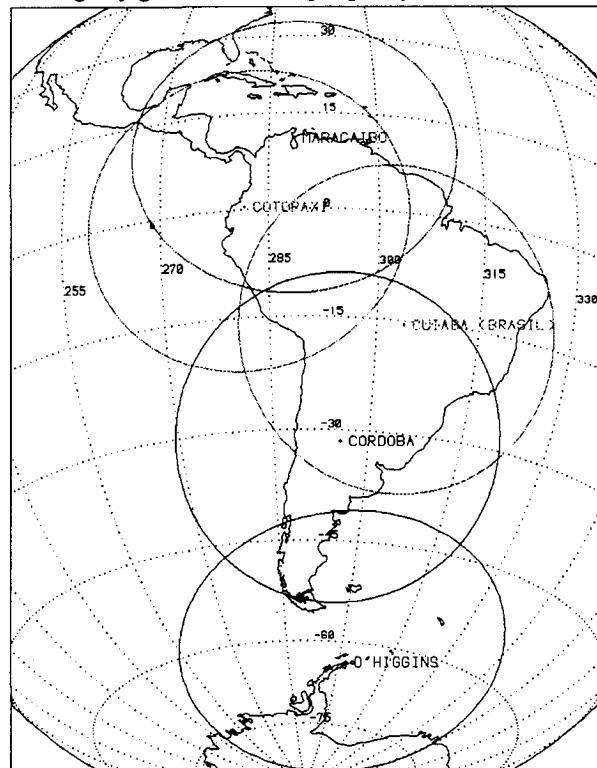


Fig.1 Coverage of the Ground Station Network in Latin America

The operation of the ground stations in Latin America however is not performed as an integral coordinated but as an individual, national task. The high quantity of existing earth observation satellites, national interest and technical prerequisites therefore often limit the availability of ERS-1 and ERS-2 data in the given regions. The amount of acquired valuable datasets since the start of the program however is quite remarkable, especially during the tandem mission [Ref. 2]

2. SPECIFIC STATION CHARACTERISTICS

The ground stations in Latin America form a complete network with enough overlap to compensate in situations of visibility conflicts or technical shortages. All stations operate independent, on national interest and budget as National (GARS) or Foreign Stations (Cotopaxi, Cuiaba) in the ERS program. The processing of SAR data for ESA principal investigators (PIs) and ESA pilot projects (PPs) is performed at D-PAF and ESRIN.

The most southern station is located at the Antarctic Peninsula in the immediate neighborhood of the Chilean Antarctic Base Bernardo O'Higgins. The system was installed by the German Aerospace Research Establishment DLR in 1991. It is equipped for the acquisition of ERS, JERS and Landsat satellite data and for the reception of signatures of extra-galactic sources for continental drift measurements in the international VLBI (Very Long Baseline Interferometry) network.

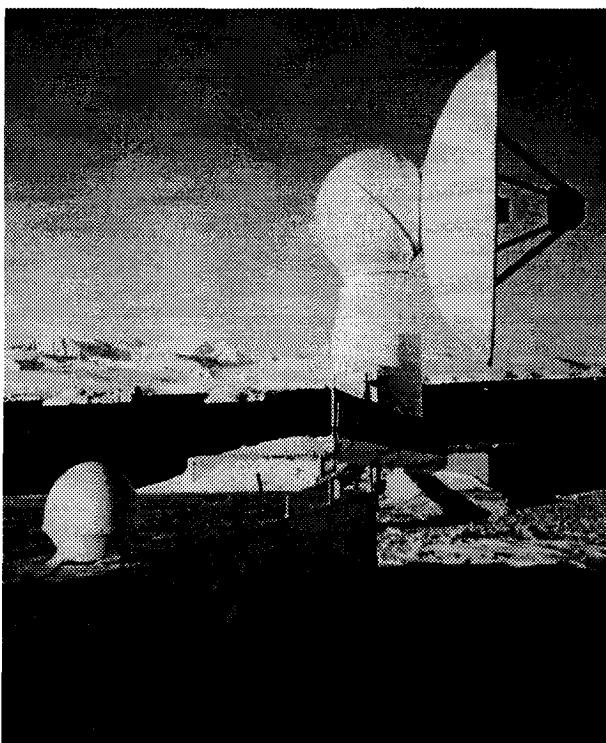


Fig. 2 German Antarctic Receiving Station at Bernardo O'Higgins Base

The station includes a Real-Time SAR processor for Q/L data processing and distribution of data to potential users. The system has been operated since 1991 on a basis of 2-4 campaigns per year, determined by the national and international science programs. Fig. 2 shows the station during austral winter 1995 campaign.

Central Receiving station in Latin America is the Brazilian ground station located at Cuiaba, MT. The station is operational since 1973 and followed the ERS program since its start in 1991. It operates in a multimission concept for the collection of Landsat, SPOT and ERS satellites. During 1996 the possibility to acquire Radarsat was added. The processing of data is performed at the Cachoeira Paulista processing center near Sao Paulo. Unfortunately the station has suffered some technical problems with the tape recorders, which has limited the acquisition capacity and caused a time delay between data acquisition and processing. Therefore original ERS SAR data had to be sent to Europe for tape copying and data processing.

In the north of Latin American the network of ground stations is presently limited by Cotopaxi ground station of Equator. The station is being operated by Clirsen (Centro de lavantamiento de recursos naturales) on a multimission basis, as well. The reception of ERS SAR data was started from the beginning of the ERS program in 1991. Since then the station has participated in the acquisition of data of the Caribbean region to the Amazon basin. The station is equipped with a SAR processor with limited throughput. Data for ESA purpose is normally processed at ESRIN.

3. OPERATIONAL RESULTS

Since the launch of ERS-1 SAR data has been acquired by ground stations in Latin America on regular or campaign basis. In total, the following amount of data has been acquired during the different project phases [Ref. 3] by the individual stations, given in Tab 1:

	Cotopaxi	Cuiaba	O'Higgins	Cordoba
<u>ERS-1</u>				
Phase A	108	311	514	-
Phase B	290	269	4742	-
RTM				
Phase C	4734	12303	11070	-
Phase D	204	48	5892	-
Phase E	459	1352	-	-
Phase F	310	673	2788	-
Phase G	1059	4126	13160	43
Total	7232	19235	38166	43
<u>ERS-2</u>				
Phase A	343	4620	14629	81

Table 1 Number of acquired ERS scenes by Ground Stations in Latin America

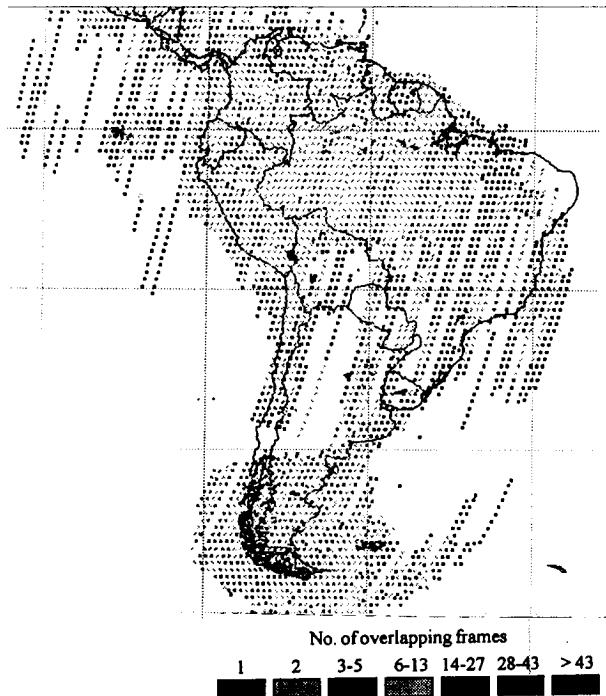


Fig. 3 Areas in Latin America covered by ERS SAR images during the project phases

It can be seen from Table 1 and Fig. 3 that during Phase C and G of ERS-1 and Phase A of ERS-2 [Ref. 4] large areas in Latin America are covered by ERS images more than twice, thus offering a high possibility of multitemporal and INSAR data evaluation.

For the processing of SAR data using INSAR technique, based on the use of two or more passes over the same area, it is possible to derive detailed and accurate three-dimensional relief maps of the Earth's surface. The INSAR technique can be exploited if the satellite orbit parameters are within specific limits. For data, acquired during the tandem mission over Latin America valid baselines are given in [Ref. 4]. It can be seen that for large areas the acquired data sets are sufficient for interferometric processing.

4. NEW STATIONS

The Network of ground stations for ERS operations is planned to be completed during 1997 by the installation of a multimission ground station at Cordoba, Argentina by the Argentinean Space Agency CONAE (Comision Nacional de Actividades Espaciales) and by the erection of a transportable Receiving system by the Servicio autonomo de geografia y cartografia nacional in Caracas, Venezuela.

The erection of the Ground Station in Cordoba is cooperative effort between CONAE and DLR and shall provide receiving capacity over the southern part of the region in short term. For this purpose DLR has

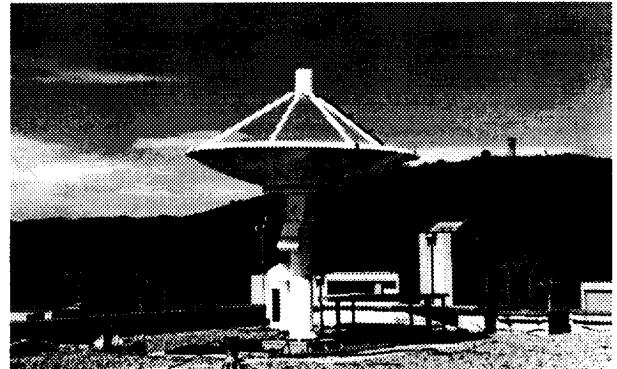


Fig. 4 Antenna system on the top of Teofilo Tabanera Space Center building

sent its Mobile Ground Station [Ref. 5] for a limited time to Argentina and is operating it as a National Station on behalf of ESA until the necessary authorization of CONAE to act as a Foreign Station is given by ESA. The admission process is under way and is estimated to be completed during the first half of 1997. In parallel CONAE is building up its own receiving system, which will then give full autonomy to Argentina and allow the DLR Mobile Ground Station to be transferred to its next acquisition area in Central Asia to collect SAR data of this still uncovered regions.

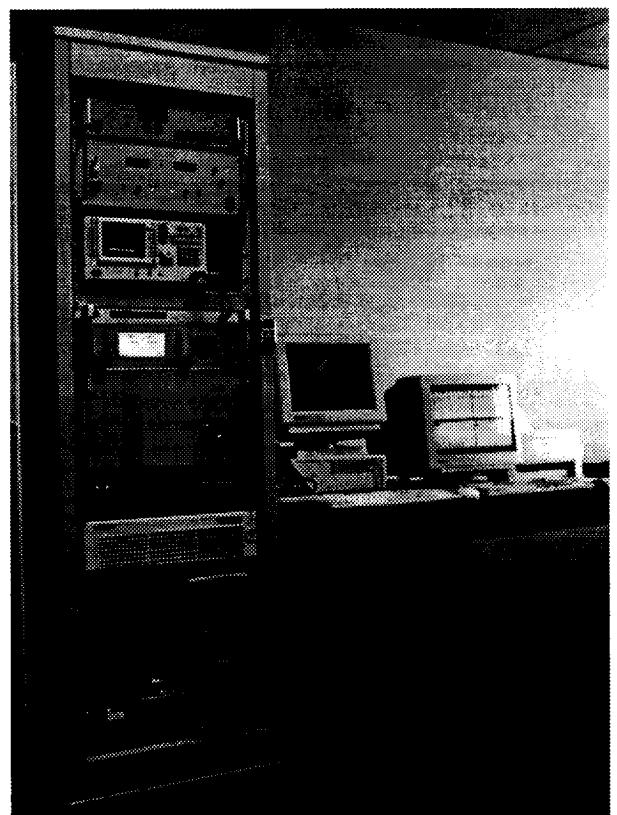


Fig. 5. Data receiving, recording and processing equipment of Cordoba Ground station

Cordoba Ground Station is presently equipped with a 4m Antenna System, able to acquire ERS, Landsat, SPOT and Radarsat. The station will be continuously operated for Landsat and ERS and is able to collect data from central Brazil to Tierra del Fuego thus giving an acquisition circle limited by the 2° elevation angle circle, see Fig. 1. Data recording at the station is performed by a Digital Direct Archive (DDA) system writing data in Real-Time onto a RAID of 40 Gbyte capacity.

The compatibility with the ESA ground segment is given by the data format of the transcribed DLT archive tape. Processing at the station is performed in Near-Real-Time for selected scenes with CONAE's system manufactured by Anite/ACS. Standard ERS data processing and archiving will be realized by D-PAF at Oberpfaffenhofen, Germany. Cordoba Ground Station was set into preoperational/ test condition in January 1997. The system will become fully operational in march 1997. Fig. 4 shows the 4m antenna system on top of CONAE's Teofilo Tabaneras Space Center building about 40 km from Cordoba city. In Fig. 5 the data reception, recording electronics and the data processing equipment in the control center is shown.

New data receiving capacity is planned to be installed at Caracas, Venezuela in cooperation between the Ministry of Ambient and Natural Resources of Venezuela, ESA and Telespazio. There a 7.3 m Datron transportable reception system, given in Fig. 6, provided by Telespazio will be operated for ERS and Landsat 5. The station will be operated first on a three month campaign basis. The processing of data for ESA will be performed at D-PAF.

5. CONCLUSIONS

The Latin American Continent will in the future be sufficiently covered by ground stations to receive and process SAR data from ERS-1 and ERS-2. The data set acquired until now provide in large areas sufficient basic information to allow the processing of interferometric data for the derivation of DEMs.

6. REFERENCES

- [1] D. Massonnet & F. Adragna 1993
A full scale validation of Radar Interferometry with
ERS-1: the Landers earthquake
earth observation quaterly, ESA Paris
- [2] G. Duchossois & P. Martin 1995
ERS-1 and ERS-2 Tandem Operations
in: ERS-2: A Continuation of the ERS-1 Success, Paris

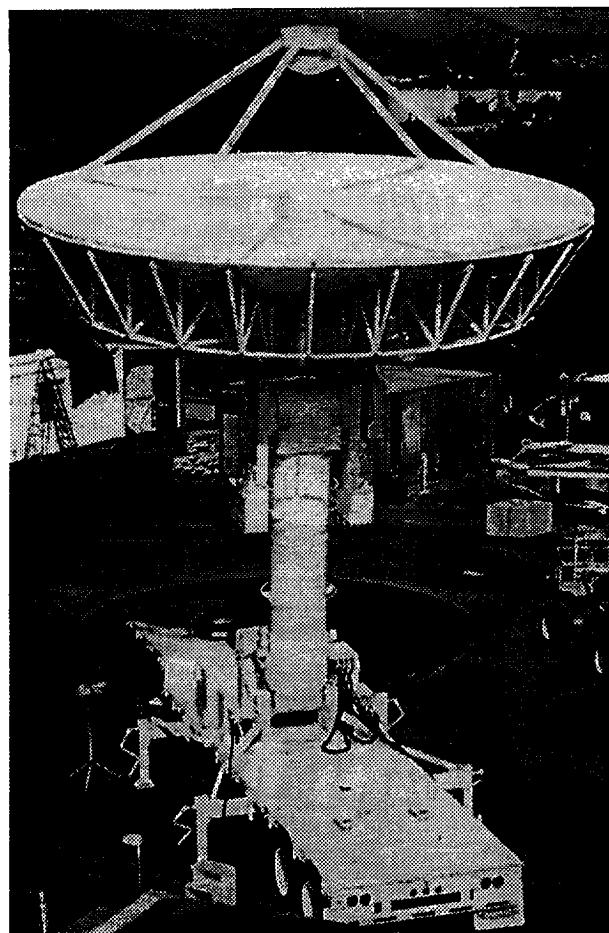


Fig. 6 7.3m transportable Receiving system to be installed at Caracas, Venezuela

[3] ESA 1997
ESA/PB-EO/DOSTAG(97)2
ESA Document, ESA, Paris

[4] S. Jutz 1997
Report on ERS Mission Performance
in: Proceedings of EGSOM 9, Maspalomas 3 -5
February 1997

[5] K. Reiniger 1997
A Mobile Receiving Station for Earth Observation
internal report DLR, German Remote Sensing Data
Center DFD, Oberpfaffenhofen

THE ERS SAR PRODUCTS: THEIR GENERATION, THEIR QUALITY AND THEIR CALIBRATION

H. Laur, J.I. Sanchez

European Space Agency
 ESRIN, via G. Galilei, 00044 Frascati, Italy
 phone: +39 6 941 801, fax: +39 6 941 80 280

ABSTRACT

The paper attempts to describe the history of the ERS SAR products. The description spans the full range of ESA activities with the ERS SAR products including the products generation with several SAR processors, the products quality and their calibration.

The lessons learned during the ERS mission in terms of products generation is discussed, particularly in view of the forthcoming Envisat mission. The quality of the ESA SAR products is described and methods to derive the backscattering coefficient with the ESA products is given. The development of new SAR products or new SAR services for the ERS mission is also discussed.

1. INTRODUCTION

After six years of operations, the ERS-1 and ERS-2 SAR missions have fully lived up to expectations by successfully demonstrating the ability of imaging radars to provide valuable long-term earth-observation data to several categories of users, ranging from the real time operators involved in sea ice or oceanographic applications, to research-project groups working off-line on environmental issues.

The engineering activities associated to the generation of the SAR products are an essential element of the success of the ERS missions. These activities not only include the SAR products generation but they also cover the verification of their quality, their calibration as well as the monitoring of the performances of the SAR instruments. These engineering activities would not be complete without a continuous effort for improving the current products or for developing new services related to the SAR data in order for the ERS ground segment to better adapt to the user demand.

2. ERS SAR PRODUCTS GENERATION

2.1 The generation of ERS SAR products at ESA

The European Space Agency, via its Remote Sensing Exploitation Department located at ESRIN, is operating the ERS Payload Data Ground Segment composed of the following major elements:

- the ESA ERS Central Facility at ESRIN
- the ESA Ground Stations network
- the ESA Processing and Archiving Facilities (PAF's)
- the National and Foreign Stations

The generation of the ESA products takes place in any of the first three elements. The ESA SAR products usually come in two "flavours": on-line or off-line.

2.1.1 ESA on-line products

The ESA ground stations network generates the on-line products such as the products derived from the Wave Mode data and then transmit them to users by network. This allows the wave data to reach the world's weather offices within three hours of observation.

The same approach was followed for high resolution SAR images (product UI16), but the size of the product (64 MBytes), the limited coverage of the products (only 3 scenes of 100 x 100 km per orbit) and the difficulties related to the products dissemination (dedicated satellite link, limited number of reception centres) seriously discouraged the potential users.

Products covering a larger area together with a lower pixel size would have been more appropriate. This is discussed in Paragraph 2.2.

2.1.2 ESA off-line products

Most raw data is however sent on magnetic tape from the acquisition stations to one of ESA's ERS Processing and Archiving Facilities (PAF). At those facilities SAR raw data is catalogued, archived and then converted into a series of SAR products. The four PAFs, managed under ESA contract, are located in Germany (D-PAF), in Italy (I-PAF), in United Kingdom (UK-PAF) and in France

(F-PAF). The latter one generates only SAR products derived from the Wave mode.

The SAR products generated at the PAFs are described in [Ref. 1]. For image mode, the ESA products are:

- RAW: Raw and auxiliary data for further processing,
- SLC (Single Look Complex):
Single-look complex data in slant range,
- PRI (Precision Image):
Multi-look, ground range, calibrated image,
- GEC (Geocoded Ellipsoid Corrected):
Multi-look, ground range, calibrated image, precisely located and rectified on a map projection
- GTC (Geocoded Terrain Corrected):
Multi-look, ground range, calibrated image, precisely located and rectified on a map projection, corrected for terrain distortion by use of a digital elevation model.

The PAF concept was derived from proposals by some ESA member states to implement facilities dedicated to specific scientific and application domains, based on the existence of groups in their countries already active in these fields. The PAF developed their own SAR processor based on different software and hardware configurations. This however had an important drawback for the ERS SAR users: each PAF was certainly able to generate products according to ESA specifications, but not necessarily identical to the SAR products generated by the other PAFs. This problem was particularly evident for the SLC products and resulted in many complaints from the users involved with SAR interferometry.

The SAR products annotations were another source of problems for the ERS users. Originally each PAF was requested to provide ESA SAR products according to the 1989 CEOS SAR product format document [Ref. 2]. However this document is not a strict specification document but rather a format guideline aiming to ensure compatibility between products from different spaceborne and airborne SAR sensors. Consequently each PAF had his own interpretation of the document and this resulted in many annotations differences amongst the ESA products, specially during the first two years of the ERS-1 mission. The situation was partially improved in 1994 when the Agency issued an ESA CEOS format specification for the ERS SAR products [Ref. 3].

However, because of the different software and hardware systems used by the PAFs SAR processors, there were still many user complaints concerning the non-standardization of the ESA SAR products between PAFs. For this reason it was decided in 1996 to have the same SAR processor at all PAFs. The adopted common processor is the Verification Mode Processor, already used by D-PAF for ERS users and by ESRIN for verification purposes. Since early 1997, the PAFs generate identical SAR products with identical annotations. This

concerns only the RAW, SLC and PRI products as nothing is changed with the geocoding processing chains (GEC and GTC products).

The opportunity of the SAR products standardization was taken to upgrade the SLC product. This was necessary for two reasons: the SLC was a quarter frame product, and the product specification did not contain specific phase preservation requirements necessary to insure interferometric applications (see paragraph 2.1.3). The upgraded product (acronym: SLC-I) is now a full frame product (100 km x 104 km) and its phase preservation is ensured [Note: the SLC products were already phase preserving at D-PAF and I-PAF].

2.1.3 Phase preserving evaluation

SAR interferometry is based on the phase information in SAR complex products. However traditional quality requirements for SAR processors and products are mainly based on measurements of the module of the impulse response function and do not guarantee phase preservation. The need for specific phase quality requirements leads the Agency to define specific phase requirements for complex products generation [Ref. 4].

The methodology for phase preservation, originally proposed by [Ref. 5], consists in two different tests:

- the interferometric offset test which consists in generating two complex products independently processing the same raw data set twice, but starting at different range and azimuth positions, then in evaluating the statistics of the generated interferogram.
- the point target test based on the phase quality analysis of the impulse response function.

The key points of the methodology are the *appropriate conditions* under which the complex products used for the tests are generated. As the offset test aims to generate an interferogram where only the processor introduced phase aberrations are present, the processing parameters shall be carefully analysed and the test conditions established in detail.

The results [Ref. 4] of the phase preservation tests show the validity of the methodology and point out the fact that the tested processors are phase preserving if all the processing corrections are applied with the best possible accuracy.

2.2 The development of new SAR products and services

2.2.1 The medium/low resolution SAR products

The original list of ERS SAR products (paragraph 2.1) did not contain medium or low resolution SAR products (i.e. products with pixel spacing between 50 and 500 m). However this family of products would be beneficial to

several aspects:

1. visibility of the ERS SAR acquisitions, i.e. the possibility to ‘see’ all acquired raw data: it is interesting to note that within the ESA ground segment (Kiruna, Fucino and Maspalomas acquisition stations), only 10% of the ERS-1 raw data acquired have been processed to high resolution products. This is a small value but it corresponds to 38 000 high resolution products. By consequent about 90% of the ERS-1 SAR raw data have never been “visualized”, i.e. transformed to image products.
2. promotion for the use of high resolution data (browse function, i.e. identification of scenes to be processed at high resolution),
3. closer monitoring of the SAR instrument performances.
4. scientific studies and surveillance applications of large scale phenomena (mainly in oceanography, sea ice and geology),
5. small data volume and thereby reduced time of distribution to users.

Starting from this consideration, two groups of products can be foreseen [Ref. 6]:

- browse products, with pixel spacing around 200 m and a low radiometric resolution, mainly used to assist users in the selection of high resolution products.
- medium resolution products, with pixel spacing around 100 m and an high radiometric resolution, used as a digital product for studies of large scale phenomena.

It is important to note that, in order to be fully successful, both groups of products have to be processed and distributed in near real time (i.e. within 2 hours), and shall cover the totality of a SAR acquisition segment.

The same approach is followed for the Envisat ASAR products (i.e. browse and medium resolution products will be available for all imaging modes).

Browse processor:

Proceeding along this line, ESA has developed an ERS SAR browse processor [Ref. 7] with the following major characteristics:

- it processes one entire acquisition segment (i.e. several ERS SAR frames) within 1h 30 after data acquisition,
- the generated browse product has a size lower than 3 MBytes in order to be quickly transferred through terrestrial networks,
- the browse product is used as basic SAR product to populate browse systems such as Earthnet Online, the ESA Earth Observation image browser.

The image generated by the ERS SAR browse processor has a pixel spacing of 200 m, is not calibrated and is Jpeg compressed (one scene is about 70 kilobytes).

The ERS SAR browse processor is currently installed at

UK-PAF and ESRIN. The generated browse images mainly correspond to the Kiruna acquisition station (Europe + Arctic). An example of browse image is given in Figure 1. The images are freely accessible via the Earthnet Online service, at the Internet address: <http://services.esrin.esa.it>.

It is foreseen to install a similar ERS SAR browse processor directly at acquisition station such than Fucino, allowing availability of real time browse data over Europe and in particular over the Mediterranean area. If coupled with real time information extraction such as oil slicks detection, this would certainly enlarge the use of ERS SAR data.

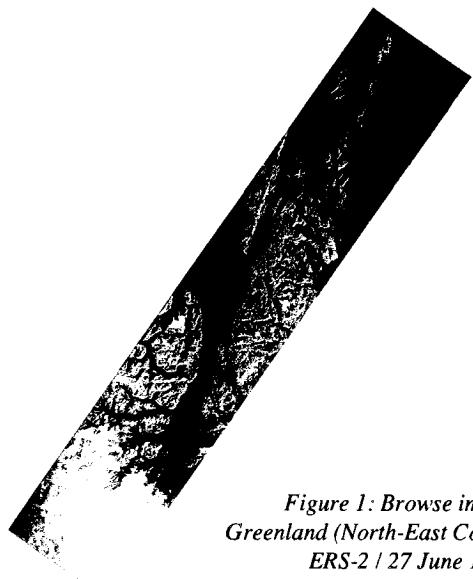


Figure 1: Browse image
Greenland (North-East Coast)
ERS-2 / 27 June 1995

Medium resolution processor:

ESA is currently developing a prototype SAR processor aiming to generate ERS medium resolution products. These products (100 m pixel spacing) will correspond to a complete acquisition segments and will be suitable for scientific analysis, i.e. calibrated, with an high radiometric resolution (Equivalent Number of Looks around 40) in order to reduce the speckle effect.

2.2.2 The medium/low resolution InSAR products

The SAR interferometry (InSAR) technique has seen a considerable expansion with the ERS-1 mission and more particularly with the ERS-1/ERS-2 tandem mission. However due to its repeat-pass nature the ERS SAR interferometry suffers some limitations such as the loss of coherence or the atmospheric changes between image acquisitions. For this reason, ESA is developing an InSAR quick-look processor from an original idea described in [Ref. 8]. The InSAR quick-look is mainly

intended for data browsing and selecting (e.g. for quick analysis of the coherence of the area or for identification of atmospheric artifacts) prior to performing a full resolution interferometric processing.

The current version (prototype) of the InSAR quick-look processor delivers an InSAR browse image and an InSAR medium resolution product (following the same approach than for the SAR low resolution image, described in the previous paragraph).

The InSAR browse product is a jpeg-compressed colour image with pixel spacing of 200 m (i.e. similar to the SAR browse product) containing three coregistered channels: flattened phase, coherence and intensity. The Agency intends to display the InSAR browse images in its Image Browser server (Earthnet Online: <http://services.esrin.esa.it>).

The InSAR medium resolution product is more appropriate to scientific investigations because of its pixel spacing of about 35 m. It contains three coregistered images: the unflattened phase image, the coherence image and the intensity image.

2.2.3 The SAR toolbox

In order to facilitate the use of ERS SAR data and consequently to contribute to the diffusion of ERS SAR data within a large audience, a SAR toolbox is currently under development. The toolbox shall help the users in handling their ERS SAR products. It will be composed of a set of software modules meant to be used by a very large audience having different computer systems.

It is intended that the SAR Toolbox will be easily usable in conjunction with commercial image processing software packages. However it is out of scope to reimplement modules already available within these commercial image processing software packages.

The Toolbox will contain the following groups of tools:

- Tools for product data extraction directly from the physical medium device,
- Tools to interpret the product annotations,
- Tools for data and format conversion (e.g. to TIFF),
- Tools for image resampling (e.g. in spatial and frequency domain),
- Tools for image coregistration (e.g. generation of coregistered multitemporal images or coherence images),
- Tools for speckle filtering,
- Tools for image calibration including a tool for ADC saturation correction (paragraph 3.2.2) and the generation of an image of the backscattering coefficient σ^0 .

3. ERS SAR PRODUCTS QUALITY AND CALIBRATION

3.1 The quality of the ERS SAR products

The quality of the SAR products has always been of high level since the beginning of the ERS mission, mainly because of the high reliability of the SAR instruments but also because of the high standard of the ERS SAR processors.

Within the ERS ground segment, the product quality activities are performed with the support of a system called the Product Control System (PCS). The Product Control System's operational tasks [Ref. 9] include the monitoring of ERS data product quality and the verification of the compliance of product quality parameters with the product specifications. The PAFs are responsible for the quality control of each SAR product delivered to users

The following table gives some of the current quality parameters of SAR PRI & SLC products.

quality parameters	PRI	SLC
range resolution	23.5 m at mid-range	9.7 m slant range
azimuth resolution	21.7 m	5.4 m
range PSLR	-18.5 dB	-21.6 dB
azimuth PSLR	-15 dB	-27.3 dB
ISLR	-9.3 dB	-12.6 dB
radiometric resolution	2 dB	3.1 dB
noise equivalent σ^0		-24.8 dB
azimuth ambiguity ratio		-27.1 dB
localisation accuracy	range 250 m, azimuth: 50 m	

Table 1: PRI & SLC quality parameters as measured in the ERS-2 reference scene (Flevoland, 4 August 1995)

3.2 The calibration of the ERS SAR products

Calibration of ERS SAR products is essential in order to take full advantage of the potential information contained in a product. Calibration allows the geophysical interpretation of SAR data by relating the digital number of SAR products to physical measurement such as the backscattering coefficient.

The ESA strategy for the radiometric calibration of the ERS-1 and ERS-2 SAR images is based on the following

key elements:

- the overall stability of both instruments monitored by ESA-developed active calibrators and on-board measurements.
- the capability to compensate on-board anomalies by off-line corrections (e.g. replica pulse power correction) or by modifications in the instrument/processor gains.
- the support of the PAFs and European expert institutes for confirmation of ESA results.

3.2.1 The ERS SAR stability performances

One of the main PCS roles is to assess ERS instruments behaviour and the related margins. This information represents vital feedback for future programmes, including the analysis and development of algorithms for validation and calibration activities. This includes the stability of the ERS SAR systems which is one of the key issues to ensure that the scientific community can take fully advantage of ERS SAR data. The PCS also provides the information needed by users to absolute calibrate ERS SAR imagery. Without this calibration it would not be possible to properly compare SAR image ERS data with data acquired by other sensors as well as to extract from the SAR images geophysical information related to the surfaces imaged.

Both ERS-1 and ERS-2 show a very high radiometric stability through the mission. This stability is defined as the standard deviation of the radar cross section measured on the transponders deployed at the ERS calibration site of Flevoland in the Netherlands (Figure 2). The radiometric stability of the ERS-1 SAR system is 0.5 dB during its 5 years of activity. It shall be noted that this value not only includes the instrument stability, but also the transponders and processors stabilities.

For the ERS-2 SAR system the stability showed by the transponders measurements is similar. Other parameters indicating the good performance of the ERS SAR systems are the noise present in the receiver, the calibration pulse or the replica pulse. This information is accessible on the ESA Earth Observation User Services server at the Internet address: <http://services.esrin.esa.it>.

3.2.2 The derivation of the backscattering coefficient in ERS SAR products

The high stability of the ERS SAR instrument insures the relative calibration of the SAR products. The absolute calibration of a SAR product, i.e. the derivation of the radar backscattering coefficient σ^0 , is possible if these additional key points are verified:

- the calibration constant is available,
- the in-flight elevation antenna pattern is compensated,
- the sources of radiometric errors are identified and corrected.

The calibration constants are available for both ERS missions and for all PAFs. Their value is derived using the ESA active calibrators deployed in Flevoland. The in-flight elevation antenna patterns for both missions are derived from homogeneous images over the Amazonian rainforest [Ref. 10].

Also, during the six years of exploitation of the ERS-1 and ERS-2 SAR instruments, various sources of radiometric accuracy errors have been identified that are related to either the on-board instrument (e.g. ADC non-linearities or replica pulse power variations) or the PAF processors (e.g. inaccuracies in the implementation of the elevation antenna pattern). Correction methods exist for each of these sources of radiometric errors.

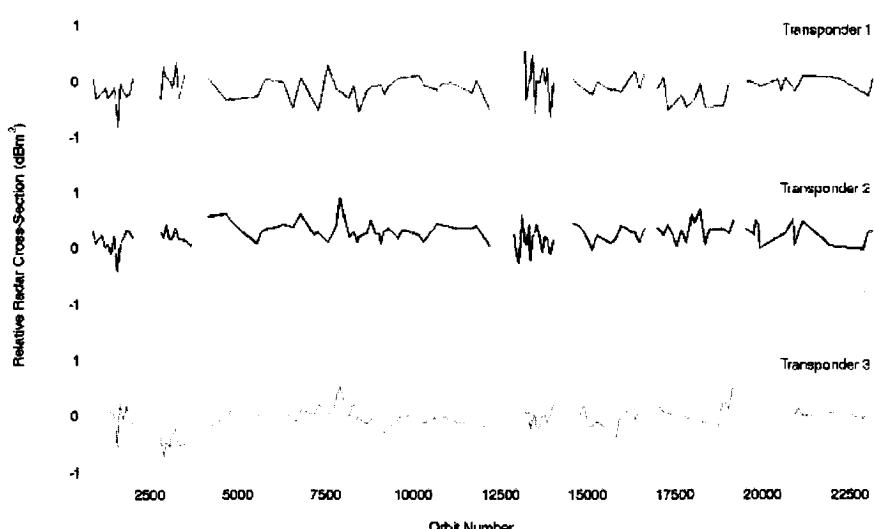


Figure 2: ERS-1 radiometric stability measurements over 4.5 years using the three ESA transponders located in Flevoland [courtesy of P. Meadows, GEC Marconi Research Centre].

An ESA document [Ref. 11] gives the steps whereby users can derive measurements of the backscattering coefficient σ^0 from their ERS SAR PRI products. The Precision Image (PRI) product is indeed the ESA standard product for SAR radiometric precision analysis. The steps for the σ^0 derivation method include corrections for the implementation of the elevation antenna pattern, for the backscattering coefficient dependence on incidence angle, for any replica pulse power variations and finally for Analogue to Digital Convertor (ADC) non-linearities.

The correction for ADC non-linearities is the most complex correction and requires users to perform image analysis of their products following the method originally proposed in [Ref. 12]. In order to avoid a complex and time-consuming procedure, the user shall make sure that the ADC non-linearities correction method needs to be applied before implementing it. The ERS-1 SAR ADC saturation occurs mainly for *large distributed targets having high backscattering coefficients* [Ref. 13], e.g. the rough sea or large towns. ERS-2 SAR ADC saturation is much reduced compared to the ERS-1 SAR due to a reduction in on-board gains. It is estimated that the ADC power loss can, in general, be estimated to a precision of better than 0.5 dB. Exceptions to this are regions consisting of numerous bright point targets (such as e.g. cities).

4. CONCLUSION

Since 1991, the ERS missions have revolutionised many areas of the Earth sciences and their practical applications. The high standard of performance of the ERS SAR instrument operations and the reliable provision of well-calibrated data over a long period of time have stimulated the use of SAR data into a much broader range of utilisation than was originally thought.

This has been achieved through close and fruitful cooperation between the European industry involved in the development and the operations of the ERS ground segment, the scientific community, and the ESA teams.

The Agency however continue to look for improvement of SAR products or services to help the SAR scientific and applications community to make the best use of their ERS data.

5. REFERENCES

- [1] ESA ERS-1 Product Specifications, ESA SP-1149, June 1992.
- [2] CEOS SAR Data Products format Standard, CEOS-SAR-CCT, Issue 2.0, March 1989.
- [3] ESA ERS SAR CEOS Format Specifications, Issue 2.0, ESA Technical Note ER-IS-EPO-GS-5902, May 1994.
- [4] B. Rosich Tell, H. Laur, "Phase Preservation in SAR Processing: the Interferometric Offset Test", Proc. IGARSS'96, Lincoln, pp. 477-480, May 1996.
- [5] R.Bamler, B. Schaettler, "Phase-Preservation in SAR Processing: Definition, Requirements and Tests", DLR Tech. Note, Ver. 1.0, May 1995.
- [6] G. Solaas, H. Laur, "Quality Issues for Low Resolution SAR Imagery", Proc. of CEOS SAR Calibration Workshop, ESA WPP-048, pp. 169-175, September 1993.
- [7] H. Laur, P. Bally, "ERS SAR Browse Product", ESA Technical Note ES-TN-DPE-HL06, November 1995.
- [8] A. Monti Guarneri, C. Prati, F. Rocca, "SAR Interferometric Quick-Look", Proc. of IGARSS'93, pp. 988-990, 1993.
- [9] P. Lecomte, V. Amans, O. Colin, R. Gomez, J. Sanchez, "ERS Product Assurance and Quality Control", ESA Bulletin No. 82, May 1995.
- [10] J. Laycock, H. Laur, "ERS-1 SAR Antenna Pattern Estimation", ESA Technical Note ES-TN-DPE-OM-JL01, September 1994.
- [11] H. Laur, P. Bally, P. Meadows, J. Sanchez, B. Schaettler, E. Lopinto, "Derivation of the Backscattering Coefficient σ^0 in ESA ERS SAR PRI Products, ESA Technical Note ES-TN-RS-PM-HL09, Issue 2, Rev. 3, January 1997.
- [12] P. Meadows, P. Wright, "ERS-1 SAR Analogue to Digital Convertor Saturation", Proc. of CEOS SAR Calibration Workshop, Ann Arbor, pp. 24-37, September 1994.
- [13] H. Laur, P. Meadows, J.I. Sanchez, E. Dwyer, "ERS-1 SAR Radiometric Calibration", Proc. of CEOS SAR Calibration Workshop, ESA WPP-048, pp. 257-281, September 1993.

Most of the above references are available on the ESA Earth Observation User Services server at the Internet address: <http://services.esrin.esa.it>.

AGRICULTURE & FORESTRY
AGRICULTURA y FORESTAL

Chairman/Presidente: Roberto Castro



GENERAL OVERVIEW OF THE USE OF ERS SAR DATA FOR AGRICULTURE

Brown, R.E., Zmuda, A.D. and Wooding, M.G

Remote Sensing Applications Consultants (RSAC), Mansfield Park, Medstead, Alton, Hants GU34 5PZ, U.K.
Tel: (44) 1420 561377 Fax: (44) 1420 561388

This overview is largely based on the work of an ESA Specialist Panel charged with the task of reviewing research work and progress so far, and making recommendations for future developments and integration of satellite radar data into operational crop monitoring systems (ESA 1995).

The capability of radar to acquire images independently of cloud coverage or daylight conditions is of major significance in the context of agricultural applications, which are time critical. The accurate identification of annual crops depends on the availability of images acquired within specific time windows through the crop growing season, when there are marked differences in the appearance of particular crops. Despite the progress which has been made towards operational applications, particularly in the European Union programmes for crop production forecasting and surveillance of crop declarations for fraud control, experience shows that high resolution visible and infrared satellite sensors cannot always provide the desired information due to cloud cover problems.

The ERS-1/2 SAR is sensitive to the geometrical characteristics of the ground surface, or the surface roughness, and the dielectric properties of the surface materials, which are strongly correlated with moisture conditions. ERS SAR data can be absolutely calibrated, which enables comparison of data values between dates and between images. Problems with the use of this data include the inherent speckle, and the difficulties of using images in areas of high relief, which requires geocoding using Digital Terrain Models, which are not yet widely available.

ERS research topics have included the analysis of backscatter temporal profiles, the relationship of ERS SAR backscatter to biophysical parameters, modelling of backscatter response, and multi-temporal classification.

Crop classification strategies include visual interpretation using speckle filtered multi-temporal composites, classification on a per-pixel basis, classification on a per-parcel basis where field values are replaced with the mean value, effectively overcoming the problem of speckle, and automated image segmentation techniques.

Stable temporal signatures have been demonstrated for various annual crops, which enable optimum dates to be selected for the creation of multi-temporal composites and subsequent classification. Wheat in the United Kingdom has been shown to have a distinctive profile with characteristic low values at the time of heading (Wooding et al, 1994). Rice studies in Thailand, Indonesia and Japan have also shown a distinctive profile which increases regularly from planting time to harvest. Modelling of crop parameters such as plant height also suggests that monitoring of growth stages may be possible (Le Toan et al, 1996).

Plantation crops in equatorial areas have little seasonality, and therefore multi-temporal images show little variation throughout the year, making crop discrimination difficult. The very high backscatter of bananas does appear to be distinctive, this has also been observed in Costa Rica and Ecuador. Studies in Malaysia show however a potential for mapping changes in plantation cover, such as replanting of oil palm crops. (Brown et al, 1996). Multi-year composites have potential in this case.

These have been used in the UK to discriminate permanent grassland, with a characteristically low and stable backscatter, from cropped areas with variable backscatter. A single date at cultivation time was enough to distinguish these two classes and where they have changed (Slater et al, 1996).

These are some examples where operational applications are now being developed to integrate ERS SAR into agricultural applications, complementing the current use of optical imagery, or creating new possibilities in cloudy areas.

REFERENCES

Brown, R.E., Wooding, M.G., Batts, A.J., Loh Kok Fook, Ku Mohd. Noh and Laili Nordin (1996). Complementary Use of ERS SAR and Optical Data for Land Cover Mapping in Johor, Malaysia. *Proc. of the Second ERS Pilot Projects Workshop*, London, 6-8 December 1995. ESA Publications (ESA SP-383).

ESA (1995). Satellite Radar in Agriculture - Experience with ERS-1. ESA SP-1185.

Le Toan T., Ribbes F., Floury, N., Wang, L., Kong, J.A, Kuroso, T. and Fujita, M. (1996). Rice crop monitoring using ERS-1 data : experiment and modelling. submitted to *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*.

Slater, J., Brown, R.E. and Wooding, M.G. (1996) The use of ERS-1 SAR for monitoring of Environmentally

Sensitive Areas in England. *Proc. of the Second ERS Applications Workshop*, London, UK, 6-8 December 1995 (ESA SP-383), February 1996.

Wooding M.G., Zmuda A.D. & Griffiths G.H., (1994). Crop discrimination using multitemporal ERS-1 SAR data, *Proc. 2nd ERS-1 Symp.*, Hamburg. ESA SP-361, Vol. 1, pp. 51-56.

ESTIMACIÓN DE ÁREAS SEMBRADAS UTILIZANDO IMÁGENES LANDSAT 5/TM Y ERS-1/ SAR EN EL SUDESTE BONAERENSE ARGENTINO

P. Mercuri*, L. Frulla**, C. Rebella* y A. Gagliardini**

* Instituto de Clima y Agua - INTA
 1712 Castelar - Buenos Aires
 Argentina
 phone/fax (54-1) 621-0125
 pmceruri@inta.gov.ar

** Radiometría Satelital - CONICET
 Julián Alvarez 1218
 1414 Buenos Aires, Argentina
 phone (54-1) 772-1471 fax: 54-1 776 0410
 laura@caercc.edu.ar

ABSTRACT

The aim of this study is to assess the feasibility of using SAR data in an operational system of crop monitoring as a complement of optical imagery in the case of missing sites because of cloud cover.

For this purpose several satellite's images of the agriculture period 1993-94 are used in the south-east part of Buenos Aires province in a multitemporal classification procedure.

Two approaches are examined to fulfill crop discrimination. The first one focuses on a multitemporal classification procedure replacing of optical imagery by a radar image during the growing stage (heading) of the winter cereals (mainly wheat).

The second one uses the radar image of the early vegetative stage or later seeding of the summer crop, and complement the procedure with other two optical images during the vegetative period of these crops.

Results of both approaches are shown, and a first evaluation gave better results when the radar image is use during the early stage period of summer crop.

1. INTRODUCCION

La región Pampeana Argentina se extiende entre los paralelos 30° y 39° de latitud sur y entre los meridianos 57° y 65° de longitud oeste, comprendiendo una superficie de alrededor de 60 millones de hectáreas, de las cuales mas de 20 millones tienen capacidad de uso agrícola, siendo el resto utilizado para la producción animal extensiva. Los sistemas de producción se caracterizan por una rotación entre cultivos agrícolas de cosecha de cereales y oleaginosas, y de los mismos con pasturas, lo que determina una alta heterogeneidad en el uso del

suelo. Las imágenes obtenidas por satélites de observación terrestre (Landsat y Spot), gracias a sus características espectrales y espaciales, han demostrado ser muy útiles para la discriminación de cultivos agrícolas. Sin embargo la presencia frecuente de nubes reduce el numero de imágenes disponibles limitándose así la eficacia de los sistemas operativos de supervisión agrícola basados en técnicas de sensores remotos. Por lo tanto la pérdida de información debido a la presencia de nubes es uno de los problemas aún por resolver en los sistemas operativos de estimación de áreas sembradas (Kohl et. al, 1994). Esto lleva a la necesidad de explorar la utilización de imágenes obtenidas con sensores que operan en la región de las microondas. Experiencias realizadas con ERS-1/SAR han mostrado el potencial de las imágenes de radar para aplicaciones agrícolas utilizando datos multitemporales (Nezry et. al, 1995). En las latitudes de la Pampa argentina, donde es posible obtener imágenes ópticas, se considera que las mismas deberían ser la principal fuente de datos. En particular las imágenes multiespectrales Landsat/TM tradicionalmente aportan muy buena información relacionada en aplicaciones en agricultura. Esta es una consecuencia directa de las características espectrales de los sensores que operan en los canales ópticos. Dado que ellos contienen información relacionada con las características físicas y químicas del terreno, contribuyen notablemente en la discriminación de las distintas coberturas. La habilidad de discriminación de imágenes ERS-1/SAR en este tipo de aplicaciones no es la misma, en parte debido a que el SAR opera en banda C (5,3 cm) y con un ángulo de incidencia nominal de medio rango de 23° (Vass y Battick, 1992) y estas no son las mejores condiciones para favorecer a los estudios agrícolas. Por otra parte la información obtenida mediante radar es muy útil para el conocimiento de formas y contenido de humedad de la superficie

monitoreada. Esta característica permite su utilización como complemento de la información óptica, lo cual permitiría disponer de una adecuada serie temporal para la realización de predicciones.

En este trabajo se analiza la factibilidad de utilizar imágenes ERS-1/SAR con el objeto de cubrir la carencia de información sobre momentos significativos para la identificación de los diferentes usos del suelo en la región pampeana argentina a partir de técnicas multitemporales de procesamiento. Con este fin se utiliza sobre un área de interés en la región SE de la Provincia de Buenos Aires, imágenes LANDSAT 5/TM y ERS-1/SAR modo PRI, correspondientes al ciclo agrícola 1993-94.

El análisis de estimación de áreas se basa en reemplazar la imagen Landsat correspondiente a la época de máximo crecimiento de los cereales de invierno (trigo) y de siembra y primeros estadíos de crecimiento de los cultivos de verano por una imagen ERS-1, comparando los resultados con los obtenidos en una clasificación testigo en la que se utilizó solamente información LANDSAT.

ÁREA EN ESTUDIO

El área seleccionada fue limitada en función de la única imagen ERS-1 disponible que abarca una franja alargada sobre la costa SE de la provincia de Buenos Aires, comprendiendo gran parte de los partidos de Gral. Pueyredon y Gral. Alvarado (figura 1). Las coordenadas centrales del área son: 57° 42' 30" longitud norte y 38° 02' 10" latitud sur.

La superficie sobre la cual se extendieron los procesamientos es cercana a los 220.000 has.

3. MATERIALES

3.1 Datos Disponibles

Para este análisis preliminar se contó con cuatro imágenes Landsat 5/TM WRS órbita 224-086 y una imagen ERS-1 SAR / PRI (órbita 12250) modo descendente, correspondientes al mismo ciclo agrícola. En el Tabla 1 se detallan las fechas de los pasajes.

Landsat TM	12 de Agosto 1993
"	29 de Septiembre 1993
ERS- 1 SAR	18 de Noviembre 1993
Landsat TM	18 de Diciembre 1993
"	20 de Febrero 1994

Tabla 1. Pasajes correspondiente a las imágenes Landsat y ERS 1.

3.2 Información de campo

Los datos de campo fueron obtenidos sobre esta área a la fecha del pasaje correspondiente al mes de diciembre, y se utilizaron para el diseño del proceso de discriminación y clasificación entre las distintas clases agrícolas y ganaderas presentes. Durante la adquisición de los mismos se registraron los datos de ocupación del suelo, estado del cultivo, enmalezamientos y otras variables agronómicas.

Sobre el área de interés se localizaron un total de 57 lotes de verdad terrestre que suman un total de 4500 ha.

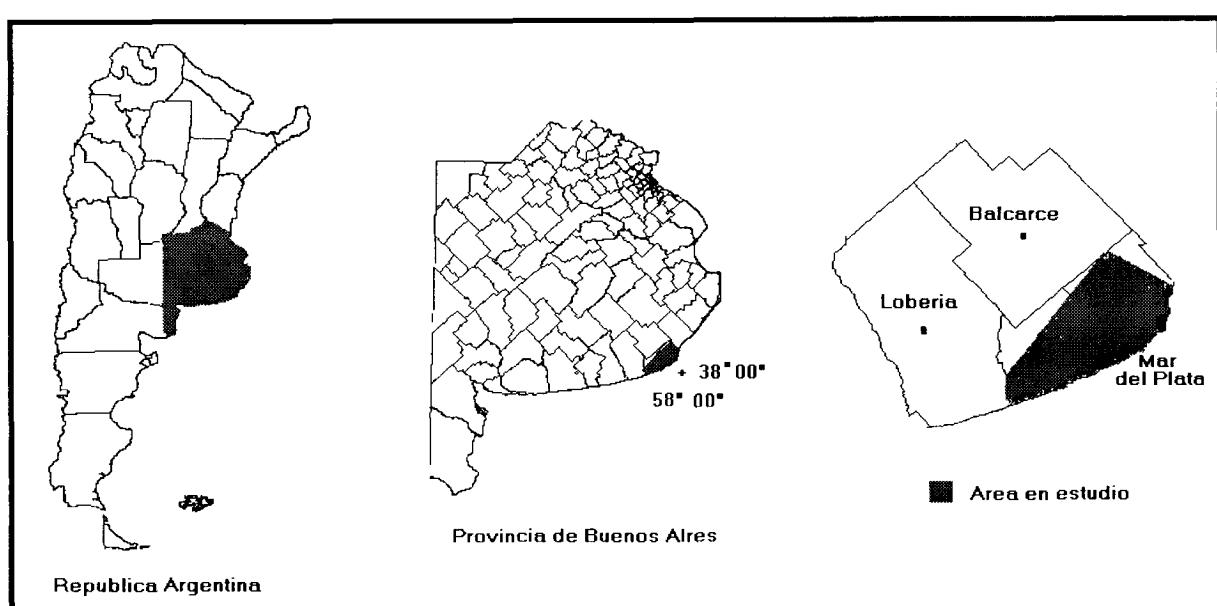


Figura 1. Área en estudio.

3.3 Características de los principales cultivos del área

Esta zona se caracteriza por la presencia de suelos de alta calidad agrícola, y por presentar una alta heterogeneidad en el patrón de uso, es decir en una misma época es posible encontrar varios tipos de cultivo a la vez. El cultivo de invierno predominante es el trigo, y entre los de verano se destaca el maíz, la papa y el girasol en menor proporción. Se practican entre los cultivos de verano siembras tempranas (octubre) y tardías (noviembre). Los cultivos rotan cada 4 a 5 años con pasturas (consociadas de gramíneas y leguminosas) y verdeos (avena), para usos ganaderos.

En los alrededores de la ciudad de Mar del Plata se ubica un amplio cinturón hortícola, que presenta tamaños de lotes muy pequeños, en la mayoría de los casos menores a 1 ha. por lo que no fueron tenidos en cuenta en las estimaciones.

En la figura 2 puede observarse como es sobre esta área la distribución de los cultivos predominantes para las distintas épocas de una campana agrícola. La misma comienza a partir de Julio - Agosto, con la siembra de los cereales de invierno, con un predominio del trigo. Durante la etapa de macollaje de este cultivo (dentro del crecimiento vegetativo), comienzan las siembras de los cultivos de verano o de cosecha gruesa.

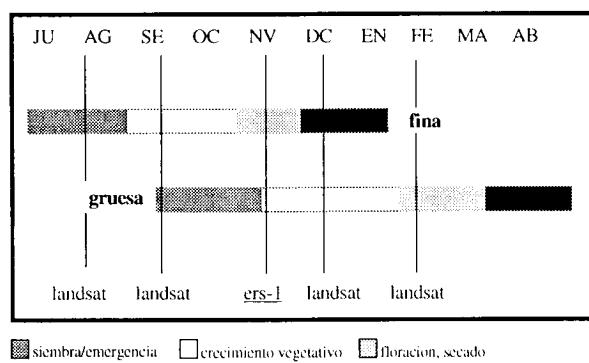


Figura 2. Fechas procesadas y su correspondencia respecto al ciclo agrícola 1993/94.

4. METODOLOGÍA

4.1 Preprocesamientos

4.1.1 Conversión a valores con significado físico

Dado que se trabajo con información proveniente de distintas fuentes y épocas del año se realizó una unificación de la información a los fines de registrar geográficamente las imágenes y obtener resultados aplicando metodologías de reconocimiento de patrones. En el caso de las imágenes ópticas, los números digitales fueron convertidos a valores de

reflectancia bidireccional medida por el sensor en el tope de la atmósfera mediante la ecuación (Milovich et. al, 1995):

$$\rho = \frac{L \pi}{I_0^k \cos(\theta_0)} \quad (1)$$

donde

I_0^k , es la irradiancia solar incidente en el tope de la atmósfera corregida por los cambios de la distancia entre la tierra y el sol producidos durante el año, [watt $\text{m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$]

L , es la radiancia calculada a partir de las mediciones directas realizadas por el sensor mediante la siguiente ecuación de calibración, [watt $\text{m}^{-2} \mu\text{m}^{-1} \text{sr}^{-1}$],

$$L = a_0 ND + a_1 \quad (2)$$

donde a_0 y a_1 son los coeficientes de calibración correspondientes, obtenidos en forma directa del encabezamiento de la imagen (Cartaxo Modesto de Souza, 1982)

En relación con la imagen de radar, como se contó con una sola, fue posible trabajar directamente con la información original (Tomiyasu, 1988).

4.1.2 Análisis de la influencia del ruido y su reducción

La influencia del ruido para la realización de este tipo de análisis debe ser muy pequeña y hasta despreciable (Schistad Solberg et al, 1994). Si bien la influencia de la atmósfera en las imágenes ópticas es importante, en esta etapa preliminar del trabajo no fue considerada. No sucedió lo mismo con la imagen de radar. En el primer caso el ruido es de tipo aditivo y por lo tanto no modifica la frecuencia de la imagen. En cambio en el caso de la imagen SAR, el ruido "speckle" originado por causa de la radiación coherente que utilizan los sistemas que operan en las microondas, es de tipo multiplicativo. Por esta razón enmascara los patrones de interés, haciendo muy difícil la aplicación de las técnicas tradicionales de clasificación y reconocimiento de patrones aún en el caso de las superficies planas y homogéneas. De esto se desprende que en ordenes de magnitud es mucho más importante la reducción del ruido speckle en las imágenes SAR que la reducción del ruido atmosférico en las imágenes ópticas.

La imagen original ERS-1/SAR PRI (en 16 bits) fue previamente convertida a 8 bits mediante un reescalado lineal entre 0 y 1024. Para la reducción del speckle se seleccionó previamente el mejor filtro de acuerdo con las características geométricas que presenta la superficie monitoreada. La preservación de estas características es muy importante para la

identificación de lotes y del uso de los mismos. Mediante el cálculo del Número Equivalente de Looks (Mascarenhas et al, 1991), el filtro de Frost resultó ser el más adecuado en cuanto a la preservación de bordes y la calidad visual de la imagen resultante (Schreier, 1993).

Finalmente la imagen fue filtrada, utilizando una ventana de 3 x 3 y una desviación estándar de ruido speckle de 0.3221. Este valor fue estimado mediante la construcción, a partir de la imagen de radar, de imágenes de textura auxiliares de tres bandas (media, desviación estandar y coeficiente de variación). Las mismas facilitan la visualización de las distintas texturas y estructuras presentes y en particular las zonas homogéneas que son las que contienen la información estadística relativa al speckle (Frulla et al, 1995).

Las imágenes TM fueron georeferenciadas a la proyección geográfica conforme Gauss-Kruger según planchetas cartográficas en escala 1:50.000. La imagen ERS 1 fue registrada con las TM remuestreándola a un tamaño de pixel de 28.5 por 28.5 metros, utilizando el método de interpolación bilineal.

4.2. Procesamientos

Se evaluaron los siguientes procedimientos de clasificación: Una clasificación no supervisada y un procedimiento que combina el método supervisado y un algoritmo de clasificación basado en rangos y cocientes. El análisis de los patrones espectrales fue realizado utilizando los datos de campo.

Para estos procedimientos se utilizó el sistema Erdas Imagine 8.2 versión Windows NT.

5. DISCUSIONES Y RESULTADOS

Durante las primeras etapas, a partir de la siembra; es decir las etapas de emergencia y el comienzo del periodo vegetativo presentan los cultivos de verano coberturas heterogéneas y rugosas, con presencia aún de suelo desnudo entre las hileras de plantas. Debido a esto los valores de reflexión en la banda del Infrarojo cercano son bajos y la influencia de la rugosidad produce un rango dinámico muy amplio en la banda de microondas. La estrategia de clasificación se basó en utilizar el valor distinto de retrodispersión (representado por los valores digitales -VD-) que existe para esta fecha entre los cultivos de invierno y pasturas y los de verano.

Para la fecha de pasaje de la imagen ERS-1/SAR, el trigo, que es el cultivo predominante de cosecha fina, se encuentra en la etapa de espigazon, con una cobertura bastante uniforme y densa, por lo que la respuesta genera rangos dinámicos bajos y acotados. Esto hace que sea limitada la separabilidad debido a

la superposición que existe entre clases de cultivos de un mismo ciclo y aun de diferentes ciclos, invierno y verano (figura 3).

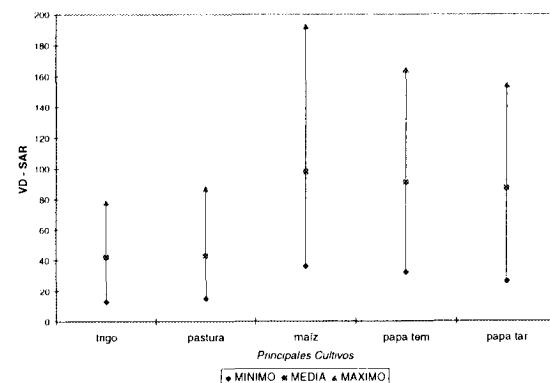


Figura 3. Distribución de valores de los VD para los principales cultivos (corresponden a la totalidad disponible de los datos de terreno).

Para el primer caso, en el cual se realizó la discriminación de cereales de invierno (trigo), se utilizaron una imagen Landsat de agosto para la discriminación del suelo desnudo, y se reemplazó a la imagen Landsat utilizada para la discriminación en la época de crecimiento correspondiente a espigazón (noviembre), por la imagen ERS-1. Los resultados obtenidos pueden visualizarse en la matriz de confusión, Tabla 2.

Los valores están expresados en porcentajes de pixeles clasificados sobre el total de los datos de campo.

	Verdad Terrestre		
	trigo	pastura	cult.verano
trigo clasificado	78	10	10
pastura clasif.	5	88	12
cult. verano	17	2	78

Tabla 2. Resultado de la clasificación utilizando una imagen ERS y una LANDSAT.

En la tabla 3 se observan los resultados del caso "testigo", en el cual se utilizaron 2 fechas Landsat de los meses de agosto y septiembre.

	Verdad Terrestre		
	trigo	pastura	cult.verano
trigo clasificado	89	10	2
pastura clasif.	7	90	3
cult. verano	4	0	95

Tabla 3. Resultado de la clasificación testigo.

Clases	Verdad Terrestre					
	trigo	maiz	papa temp.	papa tardia	girasol	pastura
trigo	94	6	3	1	3	14
maiz	0	85	3	55	17	4
papa temprana	0	1	94	25	3	0
papa tardia	0	8	0	24	0	0
girasol	0	0	0	0	73	2
pastura	6	0	0	0	4	80

Resultado global: 75 %

Tabla 4. Matriz de resultados correspondiente a clasificación con imágenes Landsat y ERS.

Clases	Verdad Terrestre					
	trigo	maiz	papa temp.	papa tardia	girasol	pastura
trigo	93	1	2	1	0	6
maiz	0	88	3	39	1	0
papa temprana	0	1	91	12	1	0
papa tardia	0	9	3	46	6	0
girasol	0	1	1	2	86	1
pastura	7	0	0	0	6	93

Resultado Global: 83 %

Tabla 5. Matriz de resultados correspondientes a clasificación testigo.

La comparación de ambas tablas muestra valores de precisión menores en el caso de la utilización de la imagen ERS (tabla 2) por la mayor confusión entre clases. A pesar de ello para las fechas y la cantidad de imágenes utilizadas la obtención de un valor cercano al 80 % de pixeles clasificados como trigo resultó aceptable.

El segundo estudio se realizó con el objeto de discriminar la superficie sembrada con cultivos de verano. Para esto se suplantó a la imagen óptica que coincide con el momento de los primeros estadios de crecimiento y siembras tardías (noviembre) por la de radar. Se utilizaron además otras 2 fechas posteriores durante el período de crecimiento vegetativo y floración (diciembre y febrero). Se realizó una clasificación testigo utilizando 3 imágenes Landsat (Tablas 4 y 5).

En este caso la precisión es buena para la suma del total de las clases de cultivos de verano, respecto al resto, pero disminuye la posibilidad de discriminación entre clases de cultivos de la misma época (maíz, papa, girasol).

6. CONCLUSIONES

Cuando se comparan los resultados obtenidos para los dos estudios realizados, se observa un mejor comportamiento en el caso que la imagen de radar fue utilizada como base para la identificación de cultivos, durante el período de siembra (suelo desnudo) y primeros estadios de crecimiento. Al utilizar esta para la clasificación durante el período de máximo

crecimiento vegetativo (espicazón) es de prever una mayor confusión entre clases.

Las imágenes de radar son sensibles a los cambios en la estructura de los cultivos a través de la estación de crecimiento. Esta característica debe utilizarse como una estrategia para la discriminación de cultivos.

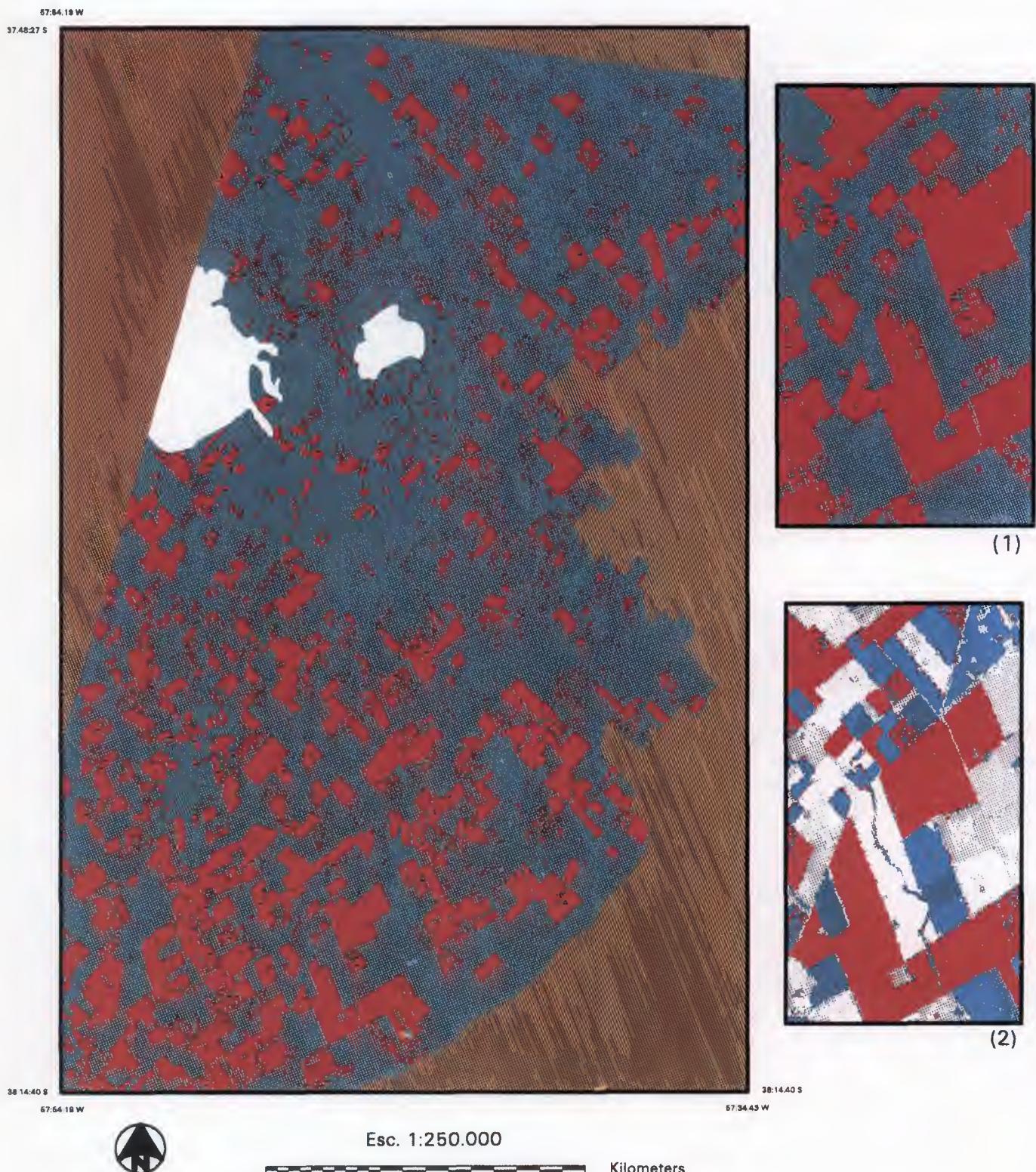
La precisión del dato de las imágenes de radar hacen que este sea más sensible a la fecha de adquisición. Por lo tanto la precisa identificación de clases depende fuertemente de la disponibilidad de imágenes adquiridas dentro de períodos de tiempo específicos durante la estación de crecimiento de los cultivos. De este análisis se desprende que si hay una fecha faltante de imagen óptica, y se dispone de una sola imagen de radar, esta debe corresponder a la fecha faltante.

La importancia de estudiar la utilidad de este tipo de información como complemento de la información óptica en vista de la continuidad de procedimientos operativos de estimación de superficies, justifican ahondar esfuerzos en este tipo de estudios con mayor disponibilidad de fechas, durante el ciclo agrícola.

7. REFERENCIAS

Cartaxo Modesto de Souza, R., 1982, INPE Landsat-D Thematic Mapper computer compatible tape format specification. INPE Technical Report. INPE-2553-PRE/207, 2nd. Version.

Frulla, L. A., J. A. Milovich. and D. A. Gagliardini, 1995, Reducción del speckle en las imágenes SAR del ERS-1 en la región Antártica. *Proceedings of La Antartica: Un Continente Revelado. Jornadas de*



Clasificación de cultivos de invierno (trigo), mediante imagen Landsat(agosto) y ERS-1(noviembre).
 (1) Ampliación de un sector.
 (2) Ampliación de similar sector de clasificación testigo. (2fechas Landsat)



Clasificación de cultivos de verano empleando imagen ERS-1 y dos imágenes Landsat
(resultados cuantitativos en tabla 3)

Trabajo ERS-1/SPOT llevado a cabo en Ushuaía, Argentina, 27-31 Marzo, 11, N°1-2., 82-87.

Kohl, H. G., Nezry E., Mróz M., De Groof H., 1994, Towards the integration of ERS SAR data in an operational System for the rapid estimate of crop acreage at the level of the european union. *Proceedings of the First ERS-1 Pilot Project Workshop.. ESA SP-365*. Toledo, España

Mascarenhas, N. D. A., S. E. Ono, D. Fernandes, D. y H. J. H. Kux, 1991, A comparative study of speckle reduction filters in SAR images and their application for classification performance improvement. *Presented at the 24th International Symposium on Remote Sensing of Environment held in Rio de Janeiro, Brazil, on 27-31 May 1991.*

Milovich, J. A., L. A. Frulla y D. A. Gagliardini, 1995, Environment contribution to the atmospheric correction for LANDSAT-MSS images. *Int. J. of Remote Sensing*, 16, N°14, 2515-2537.

Nezry E., Rémondierie, Solaas G., 1995, Mapping of next season's crop during the winter using ERS SAR. *Earth Observation Quarterly ESA*. No. 50 Diciembre 1995.

Schistad Solberg A. H., A. K. Jain, T. Taxt, 1994, Multisource classification of Remotely Sensed data: fusion of Landsat TM and SAR images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32, N°4, 768-777.

Schreier, G. (editor), 1993, SAR Geocoding: Data and systems (Germany: Wichmann).

Tomiyasu, K., 1988, Relationship between and measurement of differential scattering coefficient (σ^0) and bidirectional reflectance distribution function (BRDF). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 26, N° 5, 660-665

Vass, P., and Battrick, B. (editors), 1992, ESA ERS-1 Product Specification - General information. ESA's Technical Report, ESA SP-1149, June 1992 (Frascati: European Space Agency).

USE OF MULTITEMPORAL ERS-1 SAR DATA FOR RAINFOREST MONITORING IN ACRE, BRAZIL, WITHIN A GERMAN / BRAZILIAN COOPERATION PROJECT

Dominic Scales, Manfred Keil, Michael Schmidt, Hermann Kux*, Joao Roberto dos Santos*

*German Aerospace Research Establishment (DLR), Oberpfaffenhofen, Germany
Tel: (49) 8153-28-1377, Fax: (49) 8153-28-1445, e-mail: scales@dfd.dlr.de*

** National Brazilian Space Research Institute (INPE), S. Jose dos Campos, Brazil*

ABSTRACT

In a study site in the Southwestern Amazon (state of Acre/Brazil) multitemporal ERS-1 data have been investigated for monitoring of tropical forest, for landuse classification, and change detection. The investigations within the ERS-1 pilot project PP2-D3 of ESA have been funded by the German Space Agency and are integrated in a cooperation with the National Brazilian Institute of Space Research (INPE).

Main objective of the project was to develop and test methods to use ERS-1 data for forest / nonforest mapping and rainforest monitoring and, if possible, to differentiate landuse intensity. Several classification approaches of ERS-1 SAR data have been tested. The evidence based classifier EBIS ("Evidence Based Interpretation of Satellite imagery", Lohmann 1991) proved as a suitable tool for forest/nonforest classification and diversification of landuse, especially when using textural classification. The separation of forest / nonforest could be improved by multitemporal ERS-1 SAR data of the dry and wet seasons. The approach developed in an area of about 50 km by 60 km around the town of Sena Madureira was successfully transferred to other regions e.g. to a large area covered by 4 ERS scenes of 1995.

1. GERMAN/BRAZILIAN COOPERATION

In 1989, a cooperation between the German Aerospace Research Establishment (DLR) and the National Brazilian Institute of Space Research (INPE) was started to study remote sensing abilities for controlling the environmental impact of deforestation in the Amazon region and for mapping rainforest formations and anthropogenic land use. The study site was defined in the southwestern part of the Amazon basin near Rio Branco/Acre. Based on this cooperation and first studies of Landsat MSS and TM data recorded between 1975 and 1990 (Hoensch 1991), an ERS-1 pilot project (PP2-D3) started in June 1993, funded by the German Space Agency (DARA). In order to overcome the frequent cloud cover in the tropical regions, the ERS-1 C-band SAR data were to be tested for forest monitoring purposes. In addition the cooperation was enlarged for a joint investigation of shuttle data from the SIR-C / X-SAR mission of 1994.

Within the ERS-1 pilot project evaluation methods and classification schemes were to be developed for large area rainforest monitoring by ERS-1 data. Institutions like the technological center of Acre, FUNTAC, were to be assisted to apply radar data for landuse change detection. Main study objectives were the discrimination of forest / non-forest and registration of new deforested areas. The information content of ERS-1 SAR data was investigated also for the differentiation of forest types (dense and open rainforest) and different landuse classes, for the influence of seasonal changes and for the dependence on surface topography. The studies were incorporated in the TREES ERS-1 Study '94 (Malingreau et al., 1994).

2. TEST SITE DESCRIPTION

The project site is located in the southwestern part of the Amazon Basin, 200 km from the Bolivian and Peruvian border. The area belongs both to the state of Acre and Amazonas, the capital of Acre, Rio Branco, is included as well as the town Sena Madureira northwest of Rio Branco, connected by one of the main transamazonian highways, the BR-364 (Fig. 1). The study area is covered by different tropical rainforest formations and, mainly along the BR-364, by human altered areas like pasture land and secondary forests. The rainforest formations and the geology are described in (Hoensch, 1993) and (Keil et al., 1995b).

The state of Acre has a long history of colonization, strongly pushed through commercial interests in rubber, in the last and the beginning of this century. Since the opening of the BR-364 in the early 70's as a main connection between the western part of Brazil and the Peruvian border, large deforestation activities took place mainly for 'governmental sponsored' cattle farming activities but also for colonization projects called 'PAD's. Along the BR-364, cattle farmers have pushed the deforestation, although in the last few years, since the suspension of the governmental supports, the speed of forest clearance decreased. The cultivation of pasture, the progress in burning and logging, as well as the actual regeneration process of deforested land into secondary forest or agroforest sites have a main influence on the equilibrium of the ecosystem. In the testsite, the dry period starts about end of May and continues up to mid - September. Within that period, annual burning of pasture

land alters the seasonal vegetation cover. The most homogeneous aspect is shown during the end of the dry season.

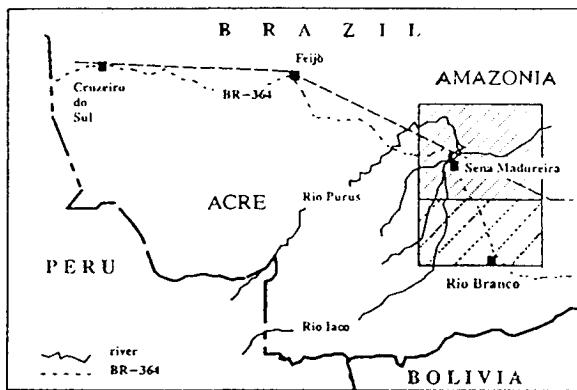


Fig. 1: Location of the testsite Sena Madureira / Rio Branco

3. METHODOLOGY

Evaluation of the ERS-1 SAR datasets was performed by supervised classification and visual interpretation. The multiseasonal information content of ERS-1 SAR data could only be assessed after co-registration of the data based on GEC products. This procedure also allows to compare ERS-1 analysis results with analysis results for TM data. An overview of the data processing and evaluation is given by the flowchart in Fig. 2.

A calibration into sigma-db values was performed. This allows the comparison of ERS data of different acquisition dates and also the comparison of ERS data with other SAR data, e. g. from the SIR-C / X-SAR shuttle mission of 1994 (Keil et al, 1995a). The transfer to db-values was not found to be essential for classification purposes, so that 8-bit data have been used.

COMBINATION OF DATASETS

For data combination, co-registered ERS-1 data and TM data have been resampled to 25 m pixel spacing. TM based forest / nonforest classifications were used to get the reference information on larger areas. This forest/ nonforest mask was superimposed on monotemporal and multitemporal ERS-1 SAR datasets for visual interpretation and classification checks.

CLASSIFICATION

The classification studies have first been performed in two areas, one around Sena Madureira, 50 km by 60 km in size, the other (smaller) area 50 km Southeast of Sena Madureira along the BR-364. The method was then transferred to the study site Northwest of Rio Branco, 50 km by 50 km in size. Finally large scale mapping has been demonstrated by application of the method to four adjacent ERS-1 scenes.

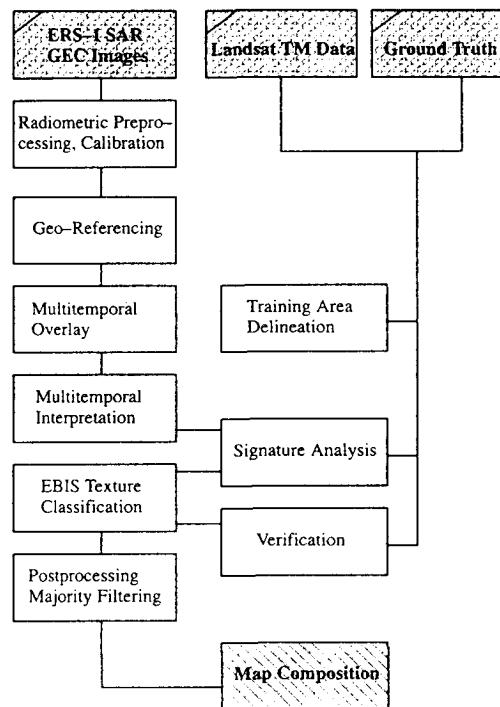


Fig. 2: Flowchart of data processing and analysis

In addition to the conventional classification approach including maximum likelihood classification of filtered data (e.g. using the Frost filter) and thresholding the EBIS classifier (Lohmann, 1991) was investigated and applied. For the main study period, EBIS ("Evidence Based Interpretation of Satellite data") was available in a first version, in which local histograms in a selectable window environment were evaluated for their class contribution, based on the assumption of multinomial distributions. In this version, the speckle and textural information in a pixel environment was taken into account by the distribution of the local histogram. Since the end of 1994, a new version of EBIS, also allowing texture classification, has been integrated in the ERDAS IMAGINE software and is now available to a broader community. In this version a new algorithm is used to classify textures based on co-occurrence feature vectors that are modelled as multinomial density functions (Lohmann 1994). The co-occurrence feature vectors do not only record the relative frequencies of grey values but additionally record the relative frequencies of the spatial distribution of grey values in direct neighbourhood (compare Schmidt et al, 1996). No filtering is necessary for the ERS input data.

4. DATA

ERS-1 SAR datasets were available of a period between April 1992 and August 1993; six descending scenes and data of four ascending orbits were used as GEC (geocoded ellipsoid corrected) products. Four additional ERS-1 descending datasets from August and October 1995 were recently acquired and integrated in this study. The main base of reference were Thematic Mapper scenes from September 1990 (for the Sena M. area), from August 1992 and July 1994 (covering Sena Madureira and Rio Branco).

In June / July 1994 a field survey was performed in cooperation between DLR and INPE, with assistance of

the Technological Foundation of Acre, FUNTAC, and the University of Acre. Besides field survey data concerning the landcover situation, mainly along roads around and between Sena Madureira and Rio Branco, a large number of handheld airphotos were taken during an overflight in a Cessna Skyline. During this survey, 12 profiles were registered in primary and secondary rainforest areas (Santos et al 1994).

5. RESULTS

VISUAL INTERPRETATION

A main advantage of visual interpretation of ERS SAR data is the possibility to delineate topographic and geomorphological units. This is important, as the dominant ERS-1 SAR information within the rainforest areas is given by the relief. The drainage pattern can be easily distinguished (Kux et al 1994). Several forest formations can be separated by their geomorphological situation, as described by Keil et al (1995b), and shown for the Northern study area near Sena Madureira.

When using monoseasonal data, ERS data of the dry season delivers best contrast for visual delineation of forest / nonforest areas. An experienced interpreter can more easily integrate textural and structural information in addition to tone information and thereby increase the abilities of visual delineation. This is valuable in the hilly areas, affected by stronger relief influences. Problems of delineation in regrowth areas can be reduced by combining ERS-1 datasets of the dry and wet season (Keil et al, 1995b).

The destruction and new clearing of rainforest areas cannot be detected as fast as by TM data. Even after a first burning a relatively high backscatter and texture remain, resulting from remaining stems and trees as the C-Band SAR is sensitive to roughness parameters. Landsat TM has the advantage of being sensitive to vegetation damages and ground visibility, especially in the short wave infrared band (see Keil et al, 1996).

SIGNATURE ANALYSIS

In addition to visual interpretation of multitemporal combination products, the temporal behavior of different land use classes in the ERS-1 data was investigated, based on db-values. The rainforest areas proved to be quite stable throughout the seasons. Fresh pasture land shows a higher backscatter in the rainy season, e.g. in December, because of the increasing vegetation cover. Regeneration areas too have a larger seasonal dependence than primary rainforest which can assist multiseasonal classification. In the signature plots of Fig. 3, the original non-filtered data have been used, they exhibit high values of standard deviation for the training sites. This demonstrates the necessary use of preprocessing by adequate filtering or the application of textural analysis.

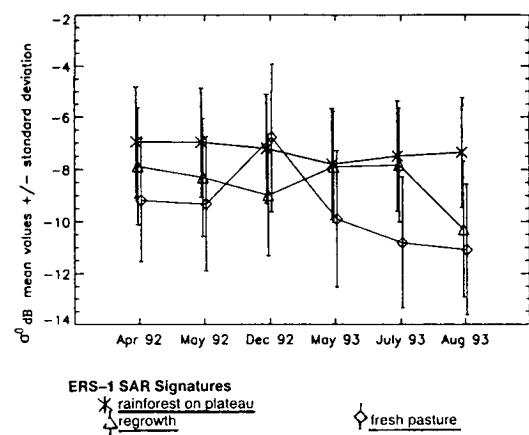


Fig. 3: ERS-1 signature plot for three training sites, non-filtered data

RESULTS OF CLASSIFICATION

The best classification results were reached by the EBIS classifier. Using the local histogram approach, a search window of 7x7 or 9x9 was found to be adequate. The texture approach gave better results using windows of 9x9 or 11x11 and choosing two co-occurrence features, e.g. horizontal and vertical. For the Sena Madureira site, ERS-1 SAR scenes from May 92, Aug. 93, and Aug. 95 were used for monoseasonal SAR classification. The forest / nonforest separation was successful in most of the areas. In the hilly terrain and along the boundaries of steep drainages, misclassification took place because of the relief influences. Misclassification within the forest areas can be reduced by post-classification filters (majority 5x5 or 7x7).

Misclassification within deforested areas is mainly due to two reasons:

- Changes in the relief and therefore in the radar illumination,
- larger amounts of shrub vegetation or of remaining tree groups (e.g. palms), which lead to higher values of backscatter and also to texture variances.

By multitemporal / multiseasonal classifications in the Sena Madureira site, an improvement in parts of the regeneration areas was reached. The datasets of April 92, May 92 and Dec 92 were used. The effort for multitemporal classification is higher, because the different states of vegetation in the scenes must be covered by a larger set of training areas. On the other hand, the separation between fresh pasture land and regeneration areas / plantations is improved because of the different vegetation development.

For assessment of classification accuracy regarding forest / nonforest separation, a forest / nonforest mask from TM data was used. In this mask, secondary forest older than about twelve years was included in the forest

area. Comparing with the TM based mask, the ERS-1 classification delivered an agreement of 95 % to 98 % for forest areas. For nonforest areas, about 79 % were reached in a subarea along BR-364, showing small influence of relief. In the Sena Madureira region, only 64 % agreement was reached by multiseasonal nonforest classification (Keil et al., 1995 b). This result is due to the strong influences of the hilly terrain and steep river intersections in this area.

Fig. 4 shows an overlay of the multitemporal classification result with the relief information provided by the April 92 ERS-1 scene. The scene is from the end of the wet season showing only small contrast between forest and nonforest. From the overlay it is evident that misclassification occurs mainly in areas with strong relief where signatures from areas in the radar shadow are very similar to signatures from clearcuts. This kind of overlay enables easy visual identification of problem areas and shows possible causes for misclassification. It can also be used as input for post-classification.

The classification approach was transferred to the subsite Northwest of Rio Branco. This subsite has been well covered by the SIR-C / X-SAR mission and allows comparisons with the shuttle data analysis (Keil, 1995a, 1996). For the multitemporal approach, datasets of ascending orbits of June 1992 and January 1993 have been used, partly also a scene of July 1993. By applying the textural EBIS classification, the forest / nonforest separation could slightly be improved in relation to the local histogram option. As to be expected from visual interpretation, the new cleared areas could hardly be detected in classification. These facts lead to an reduced agreement with TM for deforested areas which are still at 76 %. For the forest areas, there was an agreement of 97%. This demonstrates a successful transfer of the classification approach.

Large area classification was performed on four adjacent scenes covering the whole area from Sena Madureira in the northwest to Rio Branco in the southeast. The datasets, two each from August and October 1995, were resampled to 50 m resolution and cover a total area of about 200 km x 170 km. Left and right diagonal co-occurrences were used to separate the classes forest, deforestation areas with fresh pastures, deforestation with old pastures and regrowth, water, and settlements. Figure 5 shows a mosaic of the EBIS-classification results. The speckled appearance of the mosaic is due to the fact that no postclassification has been performed on these images. Applying a 5x5 or 7x7 majority filter largely reduces these misclassifications without degrading the overall results.

6. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

By the demonstration of the pilot project in the Western Amazon in the state of Acre, ERS-1 data have proved to

be successful for rainforest and deforestation monitoring in most of the areas. The main objective of the project was to develop and test a supervised classification approach which allows to perform forest / nonforest separation in large areas. For that purpose, the window based and textural classification approach of EBIS, now available in a commercial image processing environment, was found to be a tool well adapted to the properties of radar data. The options of textural classification enlarges the abilities of automatic SAR data classification, especially when applied on multiseasonal radar data and followed by post-classification handling (e.g. by majority filtering).

The large pasture areas for cattle farming are easily detected. A partial overlap of rainforest and regrowth areas and also of different types of plantations, which deliver similar backscatter in the C-Band, still remains. In multiseasonal data additional information content can be used, responding on the different vegetation development of pastures, regrowth and primary / secondary rainforest. Misclassifications appear in hilly and intersected areas of strong topographic relief. Here visual post-interpretation can improve the results. Other problematic areas are newly destroyed and partly cleared rainforest areas which are hardly to be detected by automatic classification in the first year of deforestation. In order to cover also those newly destroyed rainforest areas, a subsequent visual interpretation of specially processed data (combinations of spatial and texture filtered products) seems to give success when used in a change detection mode.

The classification results are going to be prepared for map products 1 : 100 000. That is the scale used for map update and regional planning by the Technological Foundation of Acre, FUNTAC, and other Amazonian institutions, up to now based on Landsat TM data often available only once in two, three or four years. The mapping by ERS SAR can fill the gaps and enable a continuous rainforest monitoring. In order to transfer the abilities of radar remote sensing in the Amazon, radar analysis courses are performed by INPE several times a year in the Amazonian remote sensing centers.

7. REFERENCES

Hönsch, H. 1993, "Erfassung und Klassifizierung von tropischen Regenwaldformationen und anthropogenen Nutzungen anhand von multisensoralen Satellitenbilddaten am Beispiel Brasiliens", Dissertation Universität Trier, DLR-FB 93-15, Oberpfaffenhofen.

Keil, M., D. Scales, R. Winter, 1995 (a), "Investigation of Forest Areas in Germany and Brazil using SAR Data of the SIR-C / X-SAR and other Missions", IGARSS '95 Symposium, 10-14 July 1995, Firenze, Italy.

Sena Madureira, Acre, Brazil

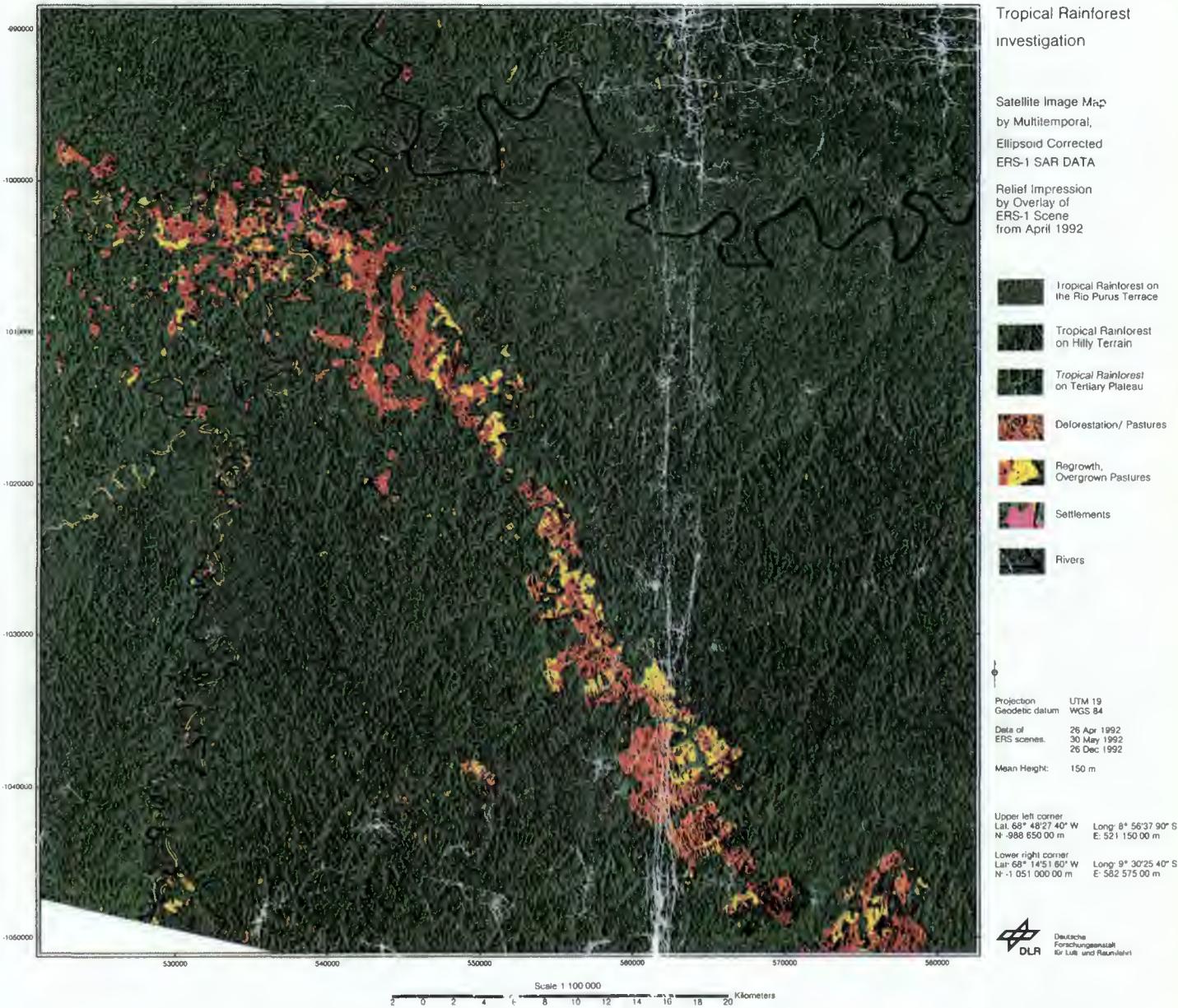


Fig. 4 Overlay of multitemporal classification result with relief information from April 92 ERS-1 scene. Relief effects on the classification can be easily detected.

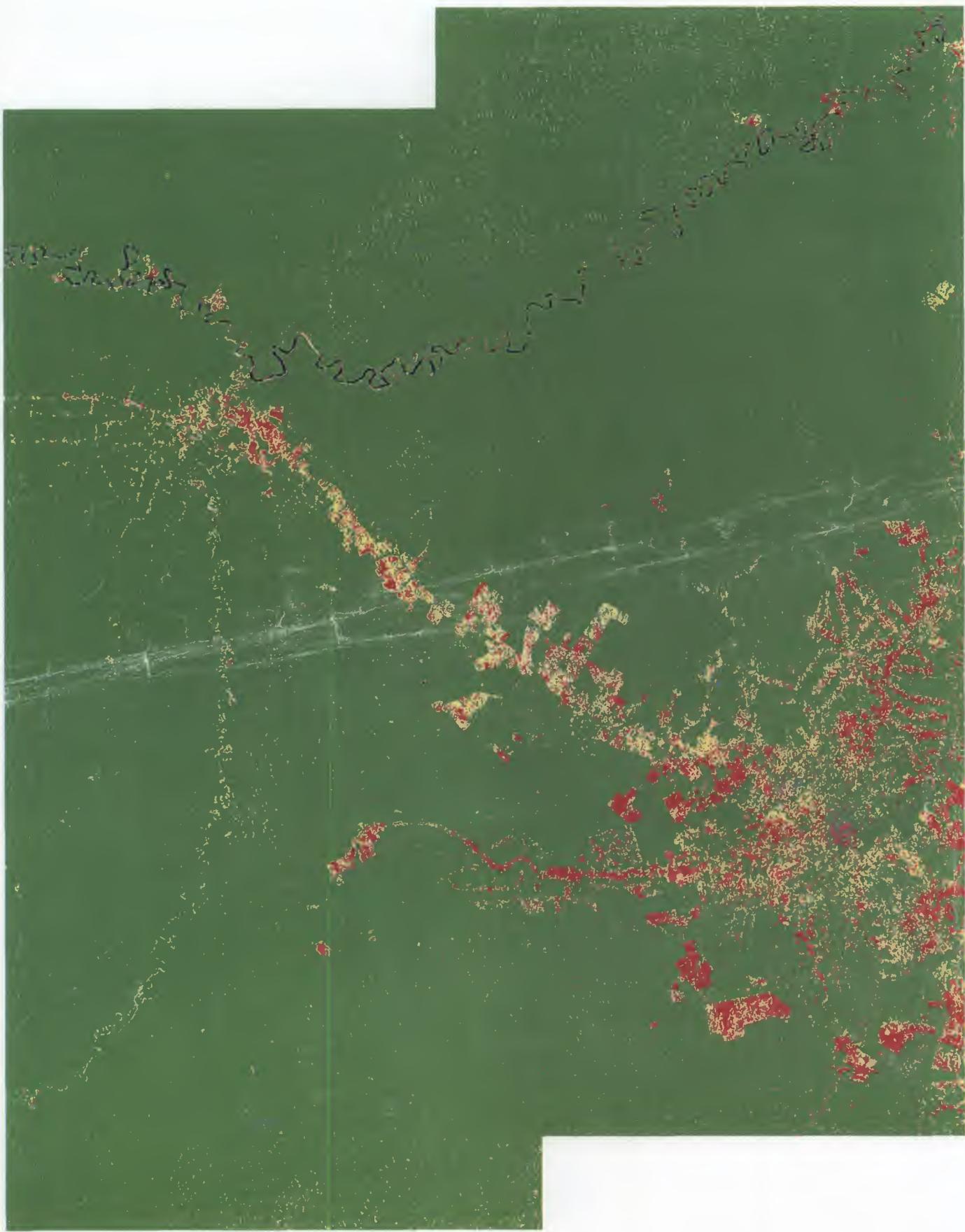


Fig. 5 Mosaic of the EBIS-classification results, total area about 200 km x 170 km, no postclassification. Classes are forest (grey), deforestation with fresh pastures (light grey), deforestation with old pastures and regrowth (dark grey), water (black), settlements.

- Keil, M., D. Scales, W. Semmt, R. Winter, H. Hönsch, G. Lohmann 1995 (b), "Tropical Rainforest Investigation with ERS-1 SAR Data in the Region of Sena Madureira, Acre/Brazil (TREES Study Area LAM-2)", Proceedings TREES ERS-1 Study '94 Workshop, 23–24 Febr. 1995, Ispra/Varese, Italy, in preparation.
- Kux, H., F. A. Ahern, R. W. Pietsch, M. Keil, 1994, "Resource Management with Radar in Tropical Environments: A Case Study in Acre State, Brazil." Proceedings Eco Rio' 94, Symposium ISPRS Commission VII, 26–30 Sept. 1994, Rio de Janeiro.
- Keil, M., D. Scales, R. Winter, H. Kux, J.R. dos Santos, 1996, "Tropical Rainforest Investigation in Brazil Using Multitemporal ERS-1 SAR Data", Proceedings of the Second ERS-1 Applications Workshop, London, UK, 6–8 December 1995 (ESA SP-383, February 1996).
- Lohmann, G., 1991, "An Evidential Reasoning Approach to the Classification of Satellite Images", Doctoral thesis Technische Universität München, DLR-FB 91-29, Oberpfaffenhofen.
- Lohmann, G., 1994, "Co-occurrence-based Analysis and Synthesis of Textures", Intern. Conf. on Pattern Recognition, Oct. 94, Jerusalem, Israel.
- Malingreau, J-P., J. Aschbacher, F. Achard, J. Conway, F. De Grandi, M. Leysen, 1994, "TREES ERS-1 Study '94: Assessment of the Usefulness and Relevance of ERS-1 for TREES." Proceedings of the First ERS-1 Pilot Project Workshop, Toledo/Spain, 22–24 June 1994 (ESA SP-365, October 1994).
- Santos, J.R. dos, H. Kux, B. C. G. Pedreira, C. A. de Almeida, M. Keil, M. Silveira, 1994, "Mapping Areas of Regrowth in Tropical Rainforest using a Multisensoral Approach: A Case Study in Acre." Proceedings Eco Rio' 94, Symposium ISPRS Commission VII, 26–30 Sept. 1994, Rio de Janeiro.
- Scales, D., M. Keil, R. Winter, 1994, "Tropical Rainforest Investigation in Brazil using ERS-1 SAR Data." Proceedings of the First ERS-1 Pilot Project Workshop, Toledo/Spain, 22–24 June 1994 (ESA SP-365, October 1994).
- Schmidt, M., M. Keil, D. Scales, H. Kux, J.R. dos Santos, 1996, "Investigation of Deforestation Dynamics and Land use Changes by ERS-1 SAR Data in Rondonia, Brazil", in prep. for: Proceedings of the International Seminar on the Use and Application of ERS SAR in Latin America, Viña del Mar, Chile, 25–29 November 1996.



INVESTIGATION OF DEFORESTATION DYNAMICS AND LAND USE CHANGES BY ERS-1 SAR DATA IN RONDONIA, BRAZIL

Michael Schmidt¹, Manfred Keil¹, Dominic R. Scales¹, J.R. Dos Santos², H. Kux²

¹ *German Aerospace Research Establishment (DLR), D-82234 Oberpfaffenhofen, Germany*
Tel: 49-8153-28-1470/ 1377, Fax: 49-8153-28-1445, e-mail: mschmidt@dfd.dlr.de

² *National Brazilian Space Research Institute (INPE), 12.227-010 S. Jose dos Campos, Brazil*

ABSTRACT

This work has been performed as part of a PH.D. thesis at DLR in Oberpfaffenhofen and at the University of Mainz. Data of the ERS-1 satellite's **Active Microwave Instrument (AMI)** have been evaluated for their potential usefulness in **monitoring deforestation** and land use dynamics. The evaluation of SAR data has been performed in the **state of Rondonia** which is one of the **deforestation hot spots** in tropical rainforest of the **Brazilian Amazon**. A total of **5 ERS-1 scenes** have been used to perform the imaging work, data collected during a field campaign in 1995 served as reference data. The ERS-1 data have been acquired between June 1992 and October 1994. Image enhancement, filtering and **automatic classification** tools have been used to improve discrimination of land use classes and to analyse the images. As reference data several MLC-products of the **SIR-C/X-SAR** mission of April and October 1994 as well as **Landsat TM** data of July 1994 have been used.

1. INTRODUCTION

In 1989 a cooperation was started between DLR and the Brazilian Space Research Institute (INPE) in order to exchange scientists for field and computer work and to explore the possibilities given by remote sensing techniques to monitor the tropical rainforest.

The evaluation of SAR data has been in the focus of the scientific work since 1993 [Dos Santos, 1994]. Since November 1994 multifrequency-multipolarimetric SAR data of the SIR-C/X-SAR mission have been evaluated additionally. Main objective of the work with ERS-1 data was the evaluation of the possibilities to monitor land use dynamics and deforestation activities in the inner tropics. Further objectives were to discriminate and map landcover classes such as pastures, agriculture and soil degradation.

2. AVAILABLE DATA

A total of 5 ERS-1 Images were used. Three images were GEC products, the other two were precision

images (PRI). Three different dates were available for the test-site in Jaru, two dates for the test-site in the municipio Ji-Parana. The dates for the former are:

August 9th, 1992,
October 10th, 1993,
June 3rd, 1994.

The dates for the latter are:

January 15th, 1993,
April 30th, 1993.

All dates were from descending passes. The TM scene was recorded during July 15th, 1994.

3. TEST SITE DESCRIPTION

The test site in Rondonia has been chosen for two reasons. Firstly Rondonia has a very distinctive and rather unique clearcut pattern. Large and small-scale clearings form the typical fishbone pattern of many of the brazilian colonisation areas which pose quite different problems to image enhancement techniques such as filtering and automatic classification algorithms. Secondly Rondonia is one of the test areas of the international LBA-project (Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia) planned to start in the near future.

In Rondonia the local and national authorities have developed the PAD colonization scheme (*Projeto Assentamento Dirigido*). Settlers in Rondonia will receive a lot of a certain size – which is 2000 m by 500 m (100 ha) – to cultivate. These areas are distributed in a certain pattern along development axes. These axes are laid out in a grid 4km apart. Theoretically each settler is allowed to clear 50% of his lot for cultivation. The intention was to keep a strip of 2 km broad forest between the pastures. Thus, soil loss through aeolian erosion was to be kept to a minimum and sufficient regenerating sources for the forest could be provided in case the lots were abandoned. Unfortunately the local settlers undermined this scheme by selling parts of their 100 ha lots to sub-owners who started clearing 50% of their sub-lots as well. So the actual forest cover in the PAD's dropped far below 50%, in some areas the forest strips vanished completely. Since the construction of the BR-364 (Brasil Rodovia) in 1984, the main paved

highway connecting Rondonia with Acre and Mato Grosso do Sul, the stream of settlers coming to the state has increased considerably. Nevertheless, many of the colonists are not able to gain the desired piece of land and are forced to strive as seasonal workers at lowest wages [Walker, 1996]. Even the few happy enough to receive a lot are rarely able to support their families and are forced to move away from their lot after a few years either to start a new clearing cycle or to leave the state and migrate to the megacities in the south. In the early nineties the deforestation rate decreased due to diminished tax subsidies from federal government to increase again in 1995 to an even higher rate. In the course of clearing forests only a small part of the valuable trees are commercially used. Most settlers just cut and burn forest on their lots. The few logs which are harvested are used for pulpwood production or wood chips for power plants. A tiny fraction of the logs is used for local artwork or furniture production on a subsistence level. Lately the regional planning authorities, namely INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) have taken steps to a stronger surveillance of settlement in Rondonia. Consequently INCRA has a strong interest in remote sensing data to observe and enforce the settling process.

4. CO-REGISTRATION

Three of the five ERS-1 scenes could be acquired as GEC products (Geocoded Ellipsoid Corrected). These were used to correct the incomplete rectification of the Landsat TM Scene which appeared slightly tilted to the north-east.

The ERS-1 data of Ji-Parana, the southern test area, were finally rectified to the corrected TM full scene. Fortunately, land use pattern and river meanders provided sufficient ground control points to perform rectification.

5. IMAGE ENHANCEMENT

The Landsat TM scene showed zero percent cloud cover and no disturbing atmospheric haze or other influences disturbing quality and interpretability. So it was used for interpretation and automatic classification without further enhancement. The TM data were used to generate a forest/non-forest mask derived from the look-up tables of the channels 3,4 and 5. From this mask forest boundaries were extracted and used to check the forest/non-forest discrimination in the SAR-data.

The ERS-1 images were analysed using two different approaches. For visual interpretation a Gamma-MAP filter was applied in two iterations. The first filtering was done using a 3*3 moving window, the second iteration using a 5*5 moving window. This approach was chosen after various tests with FROST, LEE and Gamma-MAP filter and applying different window sizes. The applied filtering technique seemed best

suiting to enhance discrimination of forest/non-forest classes.

The ERS-1 data of the município Jaru proved not suitable for an analysis based on a multi-temporal overlay, as they showed information of the years 1992, 1993, 1994 respectively. Clearing activities changed the actual landcover to a point that no statistically relevant data could be extracted of the cleared areas, being forest in one year and pastures in the following. Multitemporal analysis was consequently limited to the southern test area in the município of Ji-Parana. Unfortunately, in this test area only two scenes could be acquired, one of December '92 and one of April '93. Thus, no multi-seasonal analysis in the actual sense could be performed as both scenes resulted from wet season.

6. AUTOMATIC CLASSIFICATION

CLASSIFICATION METHODS APPLIED

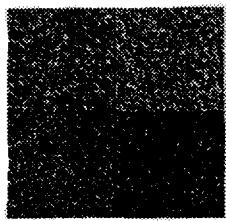
For automatic classification purposes of SAR-images a set of training areas was used which was chosen according to data gained during a ground truth campaign performed in the year 1995 by the author and Dr. Dos Santos of INPE.

Half of the AOI's were used for training, the other half for evaluation of the classification result. For automatic classification two algorithms have been applied. On MAP-filtered images the maximum-likelihood method was chosen. In another approach unfiltered images were automatically classified using the EBIS (Evidence Based Interpretation of Satellite Images) texture classifier [Lohmann, 1991, 1994]. EBIS was applied to monotemporal images of 1992 and 1994 respectively, and to multi-layer images of the years '92 to '94.

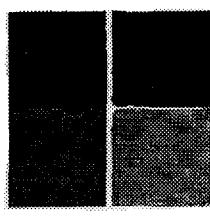
The EBIS classifier uses local histograms and texture features described by co-occurrence matrices. EBIS is essentially a Bayesian classifier like maximum-likelihood. Therefore it needs a probability distribution to model its features. As local histograms and co-occurrences do not follow the Gaussian distribution EBIS uses the multinomial distribution and adapts the standard Bayesian approach to it. While the maximum-likelihood method defines class properties only by the grey value of a single pixel, EBIS goes one step further and uses co-occurrence matrices or local histograms in a defined window size. Co-occurrence matrices do not only record the relative frequencies of grey values but additionally record the relative frequencies of the spatial distribution of grey values in direct neighbourhood [Lohmann, 1994].

Position and form of the local histogram are determined in a moving window of definable size in the range of 5 to 15 pixels. In addition EBIS provides the possibility to use texture information either separately or in combination with the local histogram in up to 6 different feature space files. Experience shows that

either one or the other option should be used. Feature space files contain the information of the statistical measures to be applied as well as the window size of the data space and the increments of grey levels to be used. The co-occurrence matrix may be calculated by using the following directions: horizontal, vertical, left-diagonal and right-diagonal. To save computing time it is advisable to use only two directions of the four as the additional information gain using all directions is minimal. Fig. 1 demonstrates the ability of the EBIS classifier to recognize texture and set-up different classes accordingly.



Texture Pattern



Classification Result

Fig. 1: (Source: Lohmann, 1995)

Fig. 2 shows an example of a class which is clearly distinguishable for the human eye but still has the same histogram. By using the co-occurrence for the class decision EBIS is capable to separate the two classes in the sample shown above. In this approach various grey level and window sizes were tested. The classification results on multi-layer and one-layer images were compared.

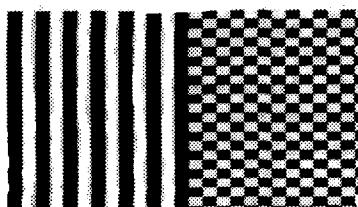


Fig. 2: Two different texture with identical histograms (Source: Lohmann, 1995)

Fig. 3 shows the influence of EBIS window sizes on the classification result. The difficulty for the human interpreter and user of EBIS is to pick the classes according to their textural features. Experience has shown that here only a small number of training polygons or AOI's (areas of interest) is needed and that the AOI's should enclose an image area large enough to generate a sufficiently distinctive class statistic based on the co-occurrence matrix.

CLASSIFICATION RESULTS

Strong limitations are caused by the wave-length of ERS-1 operating at C-band and its VV-polarisation. Thus, working with a low penetration depth in the

substrate, ERS-1 has a limited capability to discriminate classes like primary rainforest and older regenerating areas of an age higher than 4 years [Keil et al., 1995].

This has to be accounted for when trying to set-up a monitoring system or using automatic classifiers. The first step, however, in automatically classifying the ERS-1 data is to define target classes to be extracted. Due to the limitations of ERS-1 a mixed class of *Forest* and *Regrowth* older than 4 years had to be defined. Other visually separable classes were *pasture in good condition* and *degraded pasture* showing a vegetation cover lower than 40 percent. In the southern test-area another limitation of the ERS-1 sensor became evident. Due to the incidence angle of 23.5 degrees images of slopes of the same angle or similar angle towards the sensor contain only little information. This effect severely degrades the interpretability of the ERS-1 image of the Ji-Parana test-site, as the southern part consists of quite hilly terrain. This is amplified by the nature of the slopes appearing in this area. Most hills consist of blocks of quartzite, resistant to erosion. This has the effect that many slopes have angles steeper than 45 degrees. Also the stronger shaded parts of hilly terrain lead to misclassifications, especially with the class *degraded pastures* (see Fig. 4). The adjacent Table 1 gives a first assessment of classification accuracies for the forest/non-forest discrimination by EBIS, derived from 6 evaluation areas for each class. Within these areas a set of 100 points was chosen randomly to calculate the statistics.

Class name	Producer's Accuracy	User's Accuracy
Rainforest	67,57 %	100 %
Non-Forest	100 %	52 %

Overall classification accuracy: 76 %

Table 1: Confusion Matrix for Forest/Non-Forest Discrimination

HIERARCHIC CLASSIFICATION APPROACH

Experimenting with the classifier showed that a hierarchical classification approach seemed best suited to separate the *forest/older regrowth* mixed class from the classes *pasture* and *degraded pasture*. In a first step EBIS was used to separate forest/non-forest. From this a mask was generated by recoding the classification result to a binary image. The mask was used to cut out the mixed class *forest/older regrowth*. The remaining classes were in a first approach MAP-filtered twice as described above and then the maximum-likelihood classifier was used to further separate the classes *pasture* and *degraded pasture*. To the unfiltered masked image EBIS again was applied. The results of both operations were compared. This scheme proved to be quite successful

in discriminating the classes *pasture* and *degraded pasture* (see Fig. 5).

7. CHANGE DETECTION

The technical features of C-band sensors pose rather strong problems to an accurate mapping of rainforest. Even by using multi-seasonal approaches the discrimination of forest and older regrowth classes does not improve. Nevertheless, the constant availability of the data should and can be used for a monitoring system. The idea is to use optical data of SPOT or Landsat TM as a baseline for a classification of the area. By setting up forest maps derived from these data, change detection can be performed visually and to a certain degree by automatic classifiers. Land use changes can be further enhanced by simply subtracting images of subsequent dates (see Fig. 6). ERS-1 data and especially multi-seasonal stacks of ERS-1 data have the ability to show changes in landcover. This can be used as an additional, quasi continuous information source to survey rainforest areas.

8. CONCLUSIONS

The objectives of this work were to evaluate the usefulness of ERS-1 data for monitoring rainforest destruction and land degradation in the tropics. To a certain degree this could be achieved. Monitoring fresh clearcuts is possible with respect to certain restrictions given by the technical design of the sensor. Discrimination of rainforests and regrowth is depending on moisture and therefore seasonality. The discrimination seems better in the dry season due to the larger difference of biomass cover of the areas. Fresh clearcuts could be separated from agriculture. Pastures could be discriminated of degraded soils and fresh clearcuts. Both applied automatic classifiers have problems in areas of high relief. The shaded and the strongly illuminated areas could not be separated

from the classes *degraded pasture* and *settlements*, respectively.

Also, problems tend to appear in areas of initial clearing stages when the first fire has been laid and remnants of the trees are still emerging from the ground. These remnants have a similar backscatter as *forest* or *older regrowth* areas. Here a combined analysis of L-band and C-band data seems to promise further improvement in discrimination of classes containing vegetation with higher biomass levels.

9. REFERENCES

- Dos Santos, J.R., H. Kux, B.C.G. Pedreira, C.A. De Almeida, M. Keil, M. Silveira, 1994: Mapping Areas of Regrowth in Tropical Rainforest using a Multisensor Approach: A Case Study in Acre, Proceedings EcoRio '94, Symposium ISPRS Commission VII, 26–30 Sept. 1994, Rio de Janeiro
- Lohmann, G., 1991: An Evidential Reasoning Approach to the Classification of Satellite Images, DLR–Research Report 91–29, Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt, Köln
- Lohmann, G., 1994: Co-occurrence based Analysis and Synthesis of Textures, International Conference on Pattern Recognition, Oct. 94, Jerusalem, Israel
- Lohmann, G., 1995: EBIS user manual, DLR Oberpfaffenhofen, DFD
- Keil, M., D. Scales, R. Winter, H. Kux, J.R. Dos Santos, 1996: Tropical Rainforest Investigation in Brazil using Multitemporal ERS-1 SAR Data, Proceedings of the Second ERS Application Workshop, London, 6–8 Dec. 1995 (ESA SP-383, February 1996)
- Walker, R. (editor), 1996: Land Use Dynamics in the Brazilian Amazon, in Ecological Economics, Special Issue No. 18, 1996, Elsevier, Amsterdam

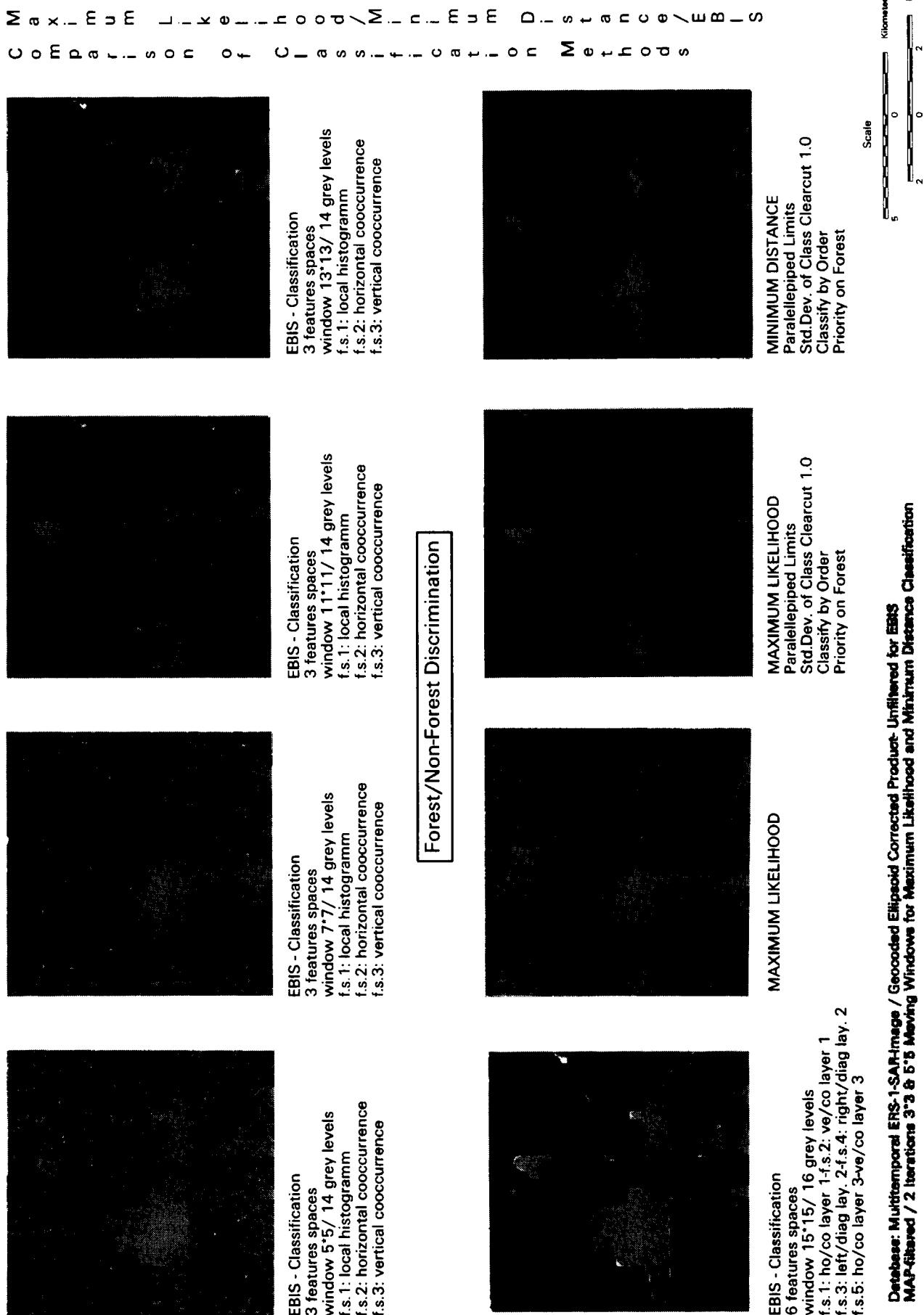


Fig. 3: Comparison of EBIS classification (different window sizes) with Max. Likelihood / Minimum Distance

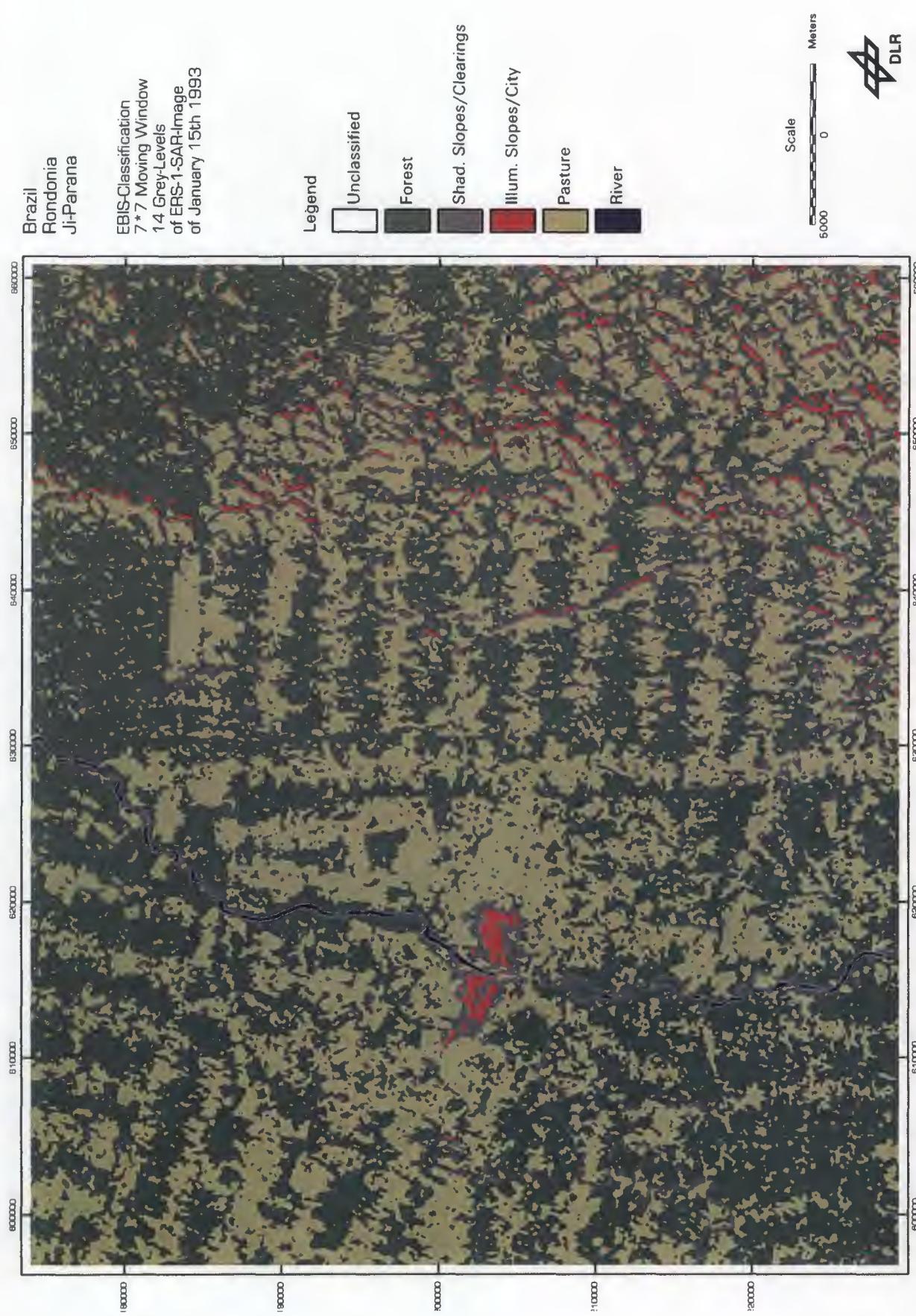
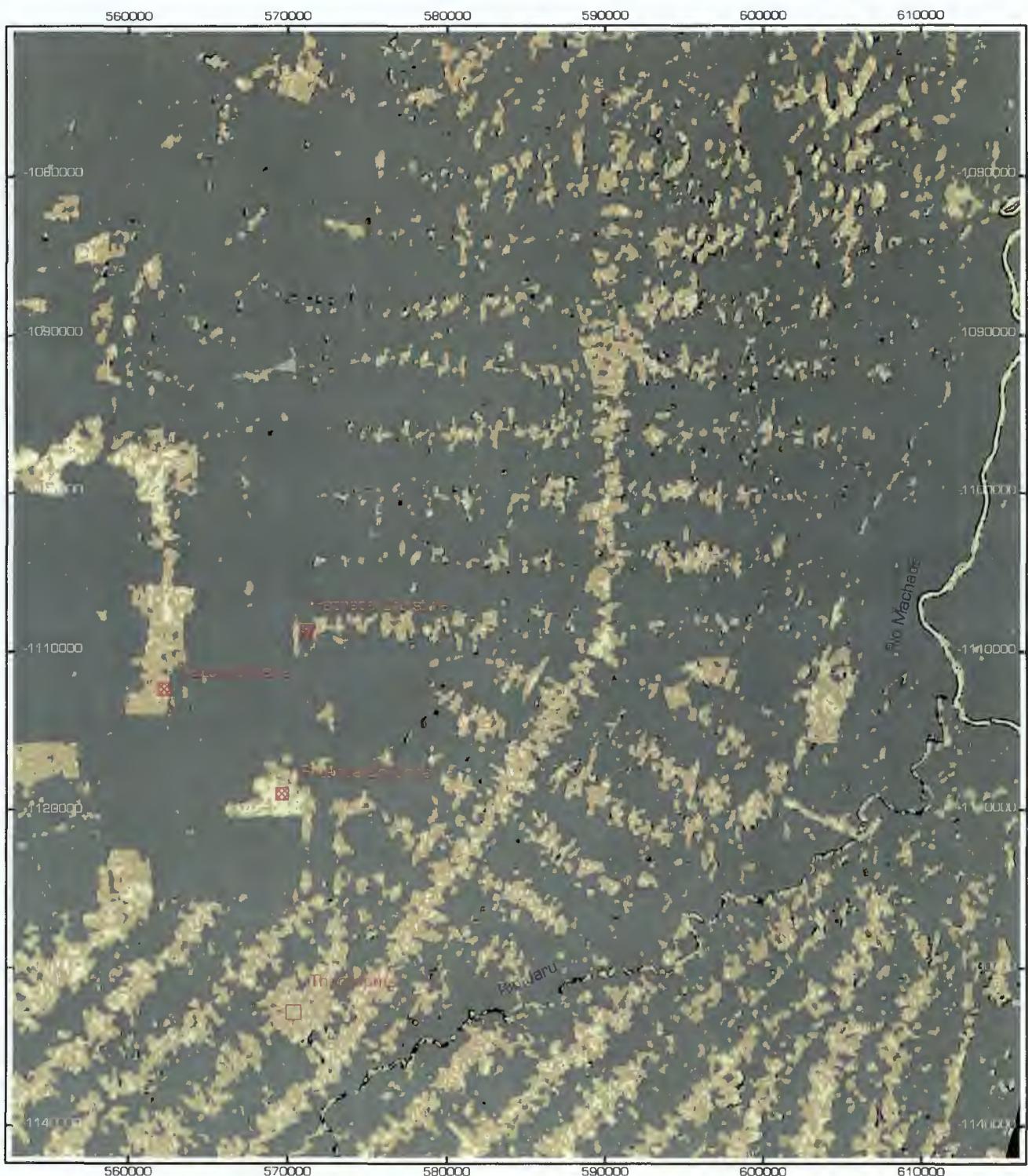


Fig. 4: EBIS clasification result in hilly terrain



Classification Result ERS1-SAR-Image of August 1994

Forest/Non-Forest Separation by EBIS Horizontal & Vertical Cooccurrence 13*13 Moving Window/14 Greylevels
Landuse Classification by Maximum Likelihood on MAP-filtered Dataset 2Iterations 3*3 and 5*5 Moving Windows

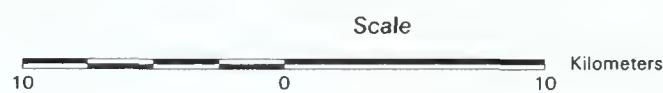


Fig. 5: Hierarchic classification approach by combining EBIS and Max. Likelihood classification

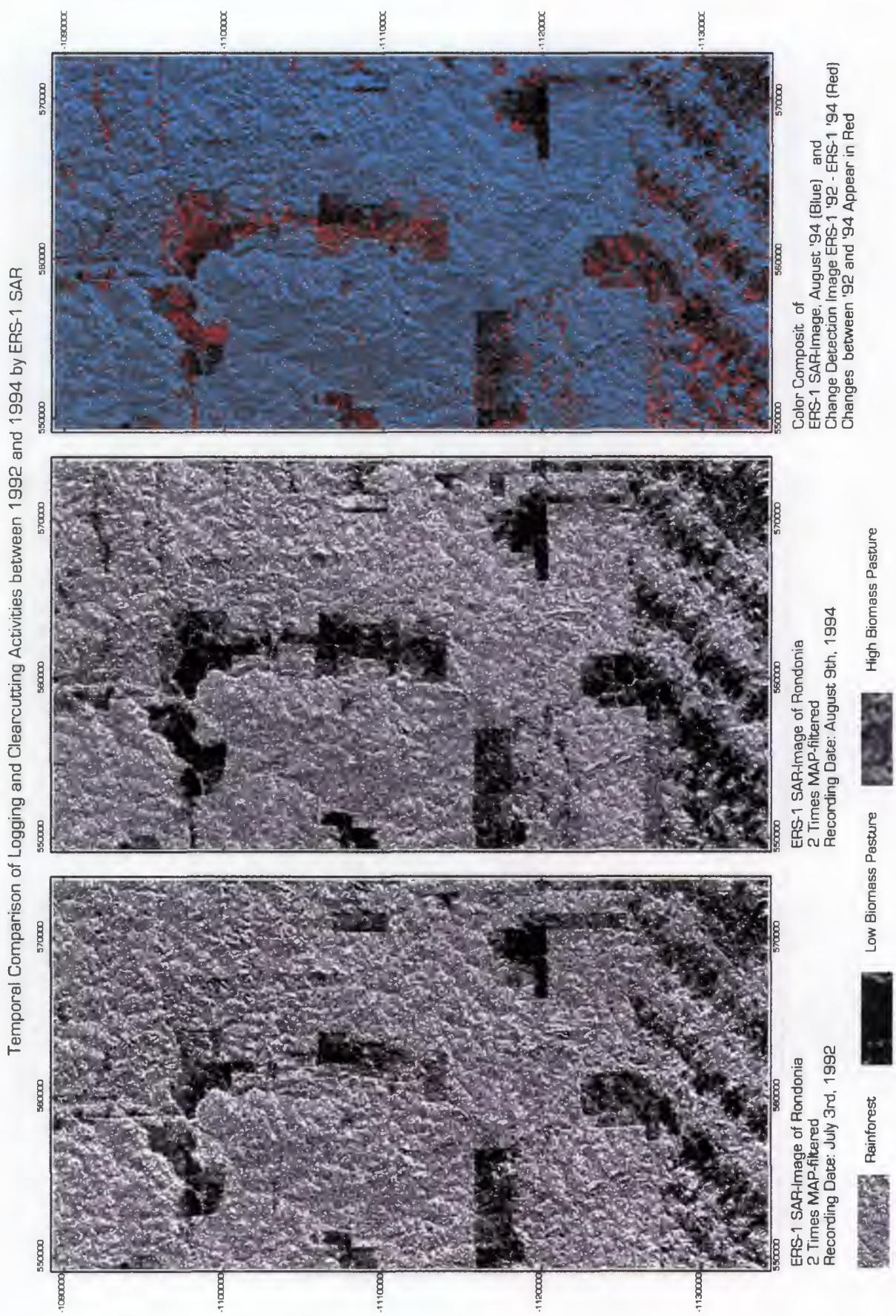


Fig. 6: Example for representing change detection

**RADAR FOR RAINFOREST-
A MONITORING SYSTEM FOR LAND COVER CHANGE IN THE COLOMBIAN AMAZON*†**

Wietske Bijker

International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC)
P.O.Box 6; 7500AA Enschede; The Netherlands
Phone: + 31-53-4874203; Fax:+31-53-4874399
E-mail: bijker@itc.nl

ABSTRACT

An internationally recognized problem is the uncontrolled conversion of forest into other land cover types. Most attention is focussed on the rapid disappearance of tropical rainforests, although deforestation is also a problem on higher latitudes. Efforts to curb and regulate the clearing of tropical rainforests have often been hampered, not only by the complexity of the social, economical and political factors driving deforestation, but also by the scarcity of up-to-date information on the location, extent and speed of the process.

As extensive field data collection is not feasible because of poor accessibility, remote sensing, especially radar, can provide a viable solution for mapping and monitoring such areas. The monitoring system presented here, is based on images of the ERS-1&2 satellites. It has a generic structure, making it suitable for application in a wide range of areas by replacing only a few specific components.

The system was applied in the pilot site of San Jose del Guaviare, in the Amazon rainforest of Colombia. People from other parts of the country migrate to this area in search of land and livelihood, clearing parts of the forest, cultivating crops and ultimately planting pastures for cattle breeding.

Field data were collected between 1990 and 1994 in the pilot area. During the period 1992-1994, seven ERS-1 images were available. Descriptions of type and structure of the land cover were analyzed together with remote sensing data, to formulate land cover classes that are both meaningful to the user of the system as well as interpretable by means of time series of ERS-1&2 images. These land cover classes are characterized by image characteristics, such as the average level of radar backscatter per segment and the variation in the level of backscatter over three subsequent images. Simulation of level and variation of backscatter of different land cover classes with the theoretical model UTACAN confirmed the experimental findings. Prior to classification, images were segmented with the RSEG algorithm, based on edge detection and segment growing.

*† Summary of PhD thesis with the same title (in prep.)

The process of land cover change occurring in the pilot area, was modeled by a land cover change model BOSTOS. This model is used to calculate the possible changes in land cover classes between two moments in time. By using this model, unlikely changes were excluded and monitoring becomes more accurate.

Two sets of formal rules were developed for the classification of the time series of ERS-1 images of the pilot site: The first set is based on the relation between land cover class and backscatter signature, as described above. The second set describes the possible changes in land cover as calculated by BOSTOS. These sets were applied to the seven images for image classification and land cover change detection.

Results show that, while it is difficult to map land cover with one single ERS-1 image, three images over a time span of one year can separate forests from pastures, provided the images were taken in different seasons. Secondary vegetation is a very heterogeneous class, confused both with forest and with pastures. Time series of ERS-1 images over several years can also separate secondary vegetation from forests and pastures, with accuracy increasing with the time the monitoring system is functioning and the number of images.

RESUMEN

La conversión incontrolada de bosques en otros tipos de cobertura de la tierra es un problema internacionalmente reconocido. Aunque la deforestación es así mismo un problema actual en latitudes mayores, la mayor parte de la atención está enfocada en la desaparición rápida de bosques húmedos tropicales. Esfuerzos para refrenar y regular la tala de los bosques húmedos tropicales, han sido obstaculizados no sólo por la complejidad de los factores sociales, económicos y políticos que promueven la deforestación, sino también por la escasez de información actual sobre localización, área y velocidad del proceso.

La recolección extensa de datos de campo es, en la mayoría de los casos, imposible debido a la poca accesibilidad del terreno. La percepción remota, especialmente el radar,

puede ser una solución viable para hacer mapas y monitorear estas áreas. El sistema de monitoreo presentado aquí, se basa en imágenes de los satélites ERS-1 y 2. Tiene una estructura genérica, haciéndolo apto para la aplicación en una variedad de áreas, reemplazando solamente algunos componentes específicos.

El sistema ha sido aplicado en el área piloto de San José de Guaviare, en la Amazonia Colombiana. En esta área, ha ocurrido una migración de población proveniente de otras regiones del país en busca de tierra y mejores condiciones de vida, talando parte de los bosques, primero para cultivos y luego para sembrar pastos para la ganadería.

Entre 1990 y 1994, se han recolectado datos de campo dentro del área de estudio, y para el período 1992-1994 se obtuvieron siete imágenes del ERS-1. Se analizó las descripciones de la estructura de la cobertura de la tierra conjuntamente con los datos de percepción remota, para formular clases de cobertura de la tierra que tengan tanto sentido para los usuarios como que sean interpretables en series temporales de imágenes de ERS-1 y 2. Estas clases de cobertura de la tierra son caracterizadas a través de la señal dispersa de retorno (backscatter), en términos del promedio de la señal backscatter por segmento y la variación en el nivel del backscatter sobre tres imágenes consecutivas. La simulación de los señales backscatter de las diferentes clases de cobertura de la tierra a través del modelo teórico UTACAN confirmó los hallazgos experimentales. Antes de la clasificación, se segmentaron los imágenes con el algoritmo RSEG, basado en detección de bordes y crecimiento de segmentos.

El proceso de cambio de cobertura de la tierra tal como existe en el área piloto, fue modelado a través del modelo de cambio de cobertura de la tierra BOSTOS. Este modelo se usó para calcular los posibles cambios de cobertura de la tierra dentro del lapso de tiempo de monitoreo. Usando este modelo, se excluyeron cambios improbables y el monitoreo se volvió más exacto.

Se desarrollaron dos series de reglas formales para la clasificación de series temporales de imágenes del ERS-1 del área piloto: La primera serie se basó en la relación entre clase de cobertura de la tierra y señal backscatter, como fue descrito arriba. La segunda serie describe los cambios posibles, como los calculados con el modelo BOSTOS. Estas series de reglas se aplicaron a las siete imágenes, para la clasificación de estas imágenes y detección de cambios de cobertura de la tierra.

Los resultados muestran que, a pesar de la dificultad para clasificar cobertura de la tierra con una sola imagen ERS-1, el uso de tres imágenes para un período de un año, permite separar los clases bosques y pastos, siempre y cuando las imágenes sean de estaciones diferentes. La

clase de vegetación secundaria es muy heterogénea y se confunde tanto con la clase de bosques como con la clase de pastos. Las series temporales de imágenes ERS-1 permiten separar vegetación secundaria de bosques y pastos, con una exactitud que se incrementa con el tiempo de funcionamiento del sistema de monitoreo y con el número de imágenes.

1. INTRODUCTION

The monitoring system was applied in the pilot area of San José del Guaviare, Colombia. San José del Guaviare is situated on the fringe of the Colombian part of the Amazon rainforest. The river Guaviare drains to the Orinoco, but rivers about 100 km south of the town of San José drain to the Amazon river.

The area of San José del Guaviare comprises two main landscapes: The undulating upland or tierra firme, and the flood plains or vega of the Guaviare-, Guayabero- and Ariari rivers. The floodplain, including river terraces, is very heterogeneous, as well in soils and hydrology as in land use. Agricultural plots are usually small and very often under mixed cropping. There are two sowing periods and a number of crops are especially restricted to this landscape, like cotton and cacao.

A small part of the upland consists of Paleozoic sandstone rocks of the Araracuara formation, covered with savannahs. From an agricultural point of view, the savannahs are not very interesting. They are only used for very extensive grazing. Changes are mainly cyclical, due to burning and regeneration. In the south west of the study area, a few isolated hills of igneous rock occur. These are mainly covered with forest.

The larger part of the upland is an undulating tertiary denudation surface with old, clayey soils. The area was covered with forest, which has been disappearing rapidly over the last decades. Fields are larger than on the river terraces and mixed cropping is far less common. There is only one sowing period for annual crops. Most farmers in this area regard annual crops as a transition phase to pastures for livestock. Usually, after removal of the forest, annual crops are planted for about two years, then the area is left to regenerate and secondary vegetation develops. After some years, the area is cleared and cultivated again, followed by planting of pastures. The number of times and the number of years an area is left to regenerate differs from case to case. Monitoring concentrates on this area, as this is where most forest is disappearing.

Before the fifties, the area was mainly under natural forest and inhabited by a number of indigenous people. Since then, people from other parts of the country started

moving in, fleeing the civil war and in search of land and livelihood. Part of the new settlers came on their own, others within government programs.

The government designated parts of the land as forest or nature reserve, parts were designated as conversion area for the settlers and parts were given to the indigenous communities. However, as borderlines between areas with different destinies are not visible in the field and land use law enforcement is difficult in this vast and scarcely populated area, conflicts arose as settlers moved in to forest and nature reserves and areas pertaining to the indigenous communities. In the eighties, the Guaviare region became one of the major production areas for coca leafs in Colombia. National and international efforts to stop the coca production in this region failed as farmers claimed to have no viable (agricultural) alternatives to cultivation of coca. Therefore, the government started programs for research on and promotion of alternative land uses, to curb the coca production; yet another call for land use planning.

For land use planning, data on land cover are a prerequisite. Therefore several surveys have been carried out in the area over the past decades, the most important ones are the PRORADAM survey (PRORADAM, 1979) of the whole Colombian Amazon region, and the survey of the settlement area around San José del Guaviare within the framework of the DAINCO-CASAM project carried out by Andrade and Etter (1987). However, in an area where land use and hence land cover changes rapidly, land cover maps can be outdated within a few years. A monitoring system, based on remote sensing, joined to a GIS, can update the data on land cover on a regular basis.

2. OUTLINE OF THE MONITORING SYSTEM

The monitoring system has a generic structure, making it suitable for application in a wide range of areas by replacing only a few specific components (see Bijker and Hoekman, 1993 for a more elaborate description). Figure 1 shows the relation between the functional components, data and information flows and time. It also shows the three shells that will be discussed hereafter: the core, peripherals and externals.

In the core part of the monitoring system, remote sensing images enter the system via the remote sensing data source. In this case study monitoring is based on images of the ERS-1&2 satellites, but in principle other images can be used also. In the Guaviare study, use of radar images is preferred over use of optical and Near Infrared images because for this area, as for many areas with tropical rainforest, the latter are scarce and often of bad quality because of cloud and smoke cover. All images are stored in an archive. The images are processed and classified using data from the geographical database of the geographical information system (GIS), formal rules and images of earlier dates. For the Guaviare case two sets of formal rules will be developed: one set is based on the relation between image characteristics and land cover structure and a second set is based on the likeliness of changes in land cover. The latter set of rules is generated by a land cover change model, describing the process of land cover change caused by the settlers. The classified images are accumulated in the "accumulator" for use in future processing and to produce system output, to be incorporated in the GIS.

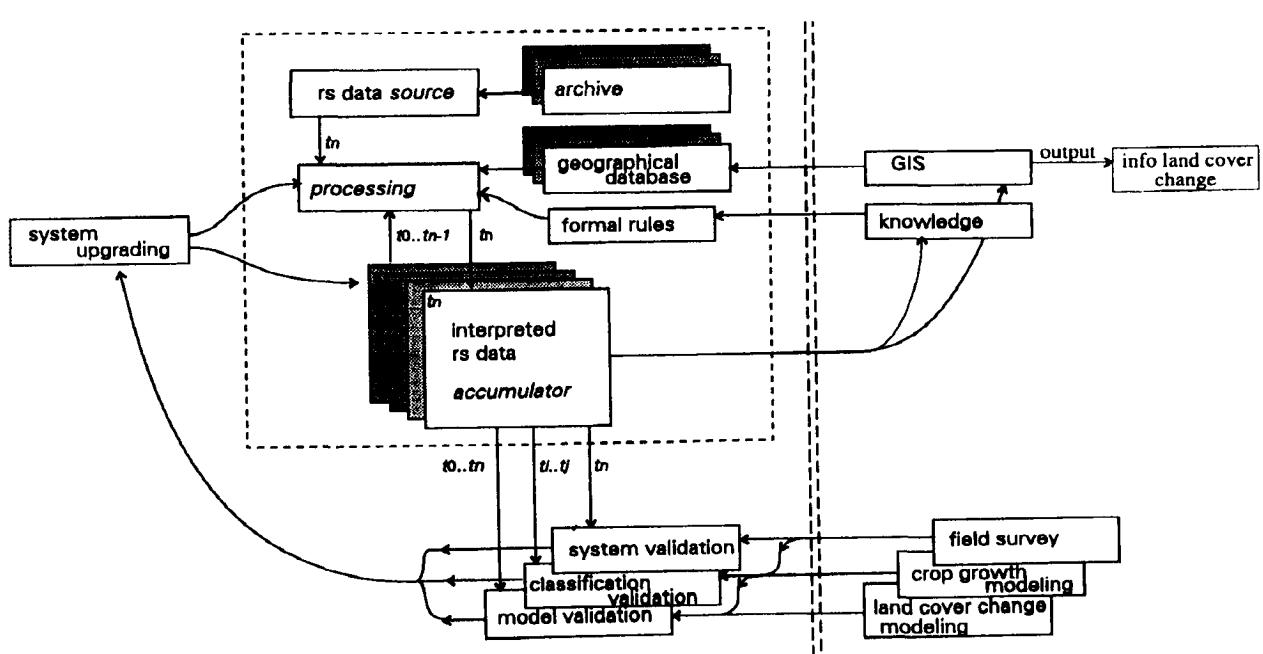


Figure 1: Basic architecture of the monitoring system

By accumulating land cover classifications over time, also the 'internal' models, used to supply formal rules for processing, can be evaluated. The system, in principle, can be designed to make the upgrading of the model by itself, i.e. it can have self-learning properties.

The peripherals are those parts of the monitoring system necessary for validation and upgrading. The system validation component evaluates the performance of the system as a whole, and checks the reliability of the output. The classification validation component evaluates the performance of the multi-temporal classification procedures. The models used for the development of formal rules are evaluated in the model validation component. All three validation components can lead to system upgrading by modification or substitution of models and techniques.

External inputs for the monitoring system are a GIS, local knowledge, field surveys, crop growth models and land cover change models. The GIS supplies the system with a geographical database and gets up-to-date information on land cover in return. In the GIS, this can be combined with other information for analysis and scenario building. In the development phase of the system, field survey is needed for the development of formal rules based on the relation between image characteristics and land cover structure and for the development of a land cover change model. Furthermore, field survey is needed for the validation of the system, the classification and the models.

Improving models, either through (internal) adaptation or by explicit (external) upgrading, is expected to improve interpretation of new remote sensing data. In a monitoring system with an accumulator, model improvement has a second consequence. Previously made interpretations can be adapted, which in turn will be used to improve interpretations of later data, and so on. In fact the system has entered a state of re-organisation through iteration.

3. DEVELOPMENT OF FORMAL RULES FOR IMAGE PROCESSING

The general procedure for the development of formal rules as used in the monitoring system is shown in Figure 2. Land cover data are collected during field survey. Analysis of temporal relations in land cover (successions) leads to the development of a land cover change model. This land cover change model generates rules for classification, based on the likeliness of transitions between two land cover types within a given monitoring time step.

Cluster analysis of the structure descriptions of the land

cover results in land cover structure classes. Image characteristics, extracted from the images for the field samples, can be related to the land cover structure classes for the development of formal rules based on image characteristics. As not all land cover structure classes can be separated by their image characteristics, they are lumped into classes that can be distinguished on the images (image classes). These classes are related to land cover structure classes and (a priori) user classes. Prior to classification, images are segmented. This means that the images are divided into objects and these objects are classified. If classification would be performed on a per pixel basis, the speckle, characteristic for radar images, would cause a lot of misclassifications. Smoothing out the misclassified pixels with a majority filter also obscures the small parcels that are abundant in the study area. In this study, segmentation was carried out with the RSEG algorithm (Caves and Quegan, 1995) based on edge detection and segment growing. The segmented images are classified with the two sets of formal rules, based on image characteristics and on land cover change.

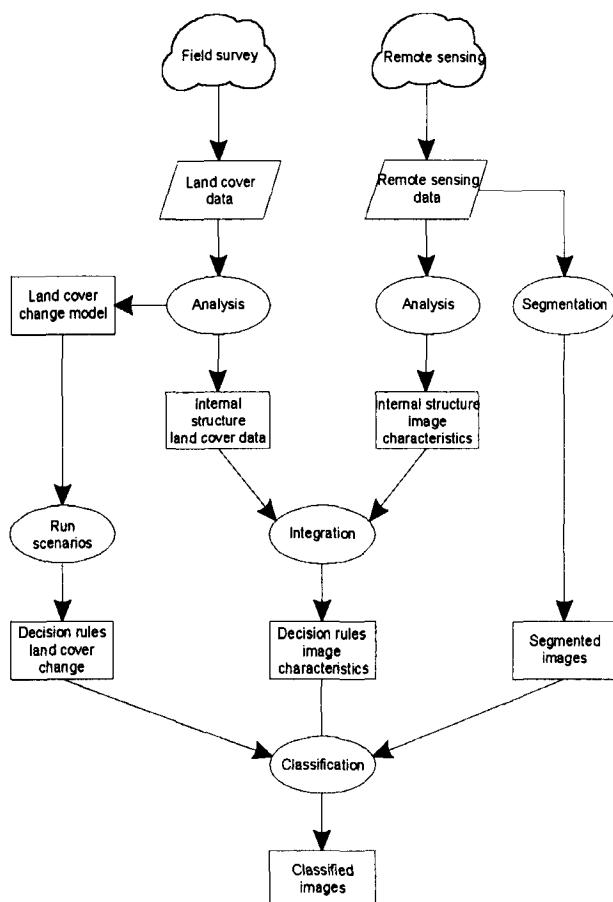


Figure 2: Overview of data collection and analyses for the development of decision rules for the classification of time series of remote sensing images (notation adapted from Forrester, 1968).

4. LAND COVER STRUCTURE AND IMAGE CHARACTERISTICS

Field data were collected between 1990 and 1994 in the pilot area, including a description of the vegetation structure as a cover percentage per standardized vegetation stratum and the a priori land cover class as defined by the user. The standardized vegetation layers were based on life forms and density of the vegetation. During the period 1992-1994, seven ERS-1 images were available.

Descriptions of type and structure of the land cover were analyzed with the cluster analysis programme TWINSPAN (Hill, 1979). This resulted in 11 vegetation structure clusters. These clusters were combined with the user classes to a description of 15 land cover structure classes. In Table 1 the relation between user classes, vegetation structure clusters, land cover structure classes and image classes (see below) is shown.

For each of these land cover structure classes, the average backscatter per image per sample and the changes in backscatter over time were analyzed. Simulation of backscatter signatures of different land cover classes with the theoretical model UTACAN (Karam et al. 1992) confirmed the experimental findings. A classification tree could be made based on the average backscatter per sample per image and the changes in this average backscatter over time (i.e. over subsequent images). This classification tree is shown in Figure 3. As can be seen from this figure and from Table 1, image classes do not correspond to individual land cover structure classes, but rather to the groups of land cover structure classes formed by the user classes.

User class	Vegetation structure cluster	Land cover structure class	Image class
Primary forest	I	1.Closed, high primary forest	D,G
Primary forest	II	2.Closed, medium high primary forest	D,G
Primary forest	III	3.Open low forest	D,G
Secondary vegetation	IV	4.Forland with shrubs and low trees	C,E,H
Secondary vegetation	V	5.Shrubland with trees	C,E,H
Secondary vegetation	VI	6A.Shrubland with Cecropia spp	I
Secondary vegetation	VI	6B.Shrubland without Cecropia spp	C,E,H
Pasture	VII	7.Rough short grass pasture	C,B,F
Pasture	VIII	8.SMOOTH, closed short grass pasture	C,B,F
Pasture	IX	9.SMOOTH, open short grass pasture	C,B,F
Pasture	X	10.Rough tall grass pasture	C,B
Pasture	XI	11.SMOOTH tall grass pasture	C,B
Semi-natural grassland-dry	XI	12.Semi-natural tall grassland, dry	B
Semi-natural grassland-wet	XI	13.Semi-natural tall grassland, wet	C,B,F
Crops	-	14.Crops	-
Miscellaneous	-	15.Miscellaneous	A,J

Table 1: Relation between user classes, vegetation structure clusters, land cover structure classes and the image classes from Figure 3.

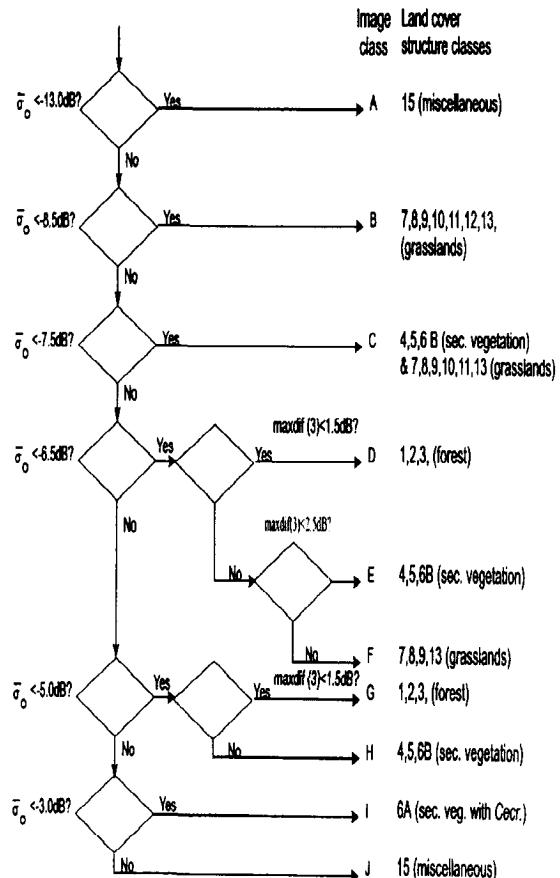


Figure 3: Classification tree for ERS-1 images, based on the average backscatter per segment and the maximum change in backscatter over three subsequent images.

5. LAND COVER CHANGE MODELING (BOSTOS)

The process of land cover change occurring in the pilot area, was modeled by a land cover change model BOSTOS (Bijker and van Wijngaarden, 1993). In fact, BOSTOS describes changes in cover percentages of standardized vegetation strata as a result of natural regeneration and management interventions (cutting and burning of the forest, planting of annual crop, planting of pastures, cleaning of pastures by cutting of shrubs or burning). The changes in cover percentages of standardized strata can be translated into changes in land cover structure class, using the relations between vegetation structure and land cover structure class as described in Section 4.

This model is used to calculate a change matrix with the possible changes in land cover structure classes between two moments in time, the second set of formal rules to be used in image processing. By using this model, unlikely changes were excluded and monitoring becomes more accurate.

An example of the output of BOSTOS is given in Figure 4, showing the simulation of cutting and burning of the forest, followed by cultivation of an annual crop, regeneration, another annual crop, followed by the planting of pastures, maintained by cutting the shrubs.

6. RESULTS OF IMAGE PROCESSING WITH FORMAL RULES

As was shown in the previous sections, two sets of formal rules were developed for the classification of the time series of ERS-1 images of the pilot site: The first set is based on the relation between land cover class and backscatter signature, as described above. The second set describes the possible changes in land cover as calculated by BOSTOS. These sets were applied to the seven images for image classification and land cover change detection.

Results show that, while it is difficult to map land cover with one single ERS-1 image, three images over a time span of one year can separate forests from pastures, provided the images were taken in different seasons. Secondary vegetation is a very heterogeneous class, being confused with both forest and pastures. Time series of ERS-1 images over several years can also separate secondary vegetation from forests and pastures, with accuracy increasing with the time the monitoring system is functioning and the number of images. Figure 5 shows the results of segmentation (first row) application of the rules based on image characteristics (second row), followed by the application of the rules based on land cover change (last row).

Figure 5: (next page) Results of image processing with formal rules. First row: segmentation; second row: application of the rules based on image characteristics; last row: additional application of the rules based on land cover change.

Forest - crops - pastures

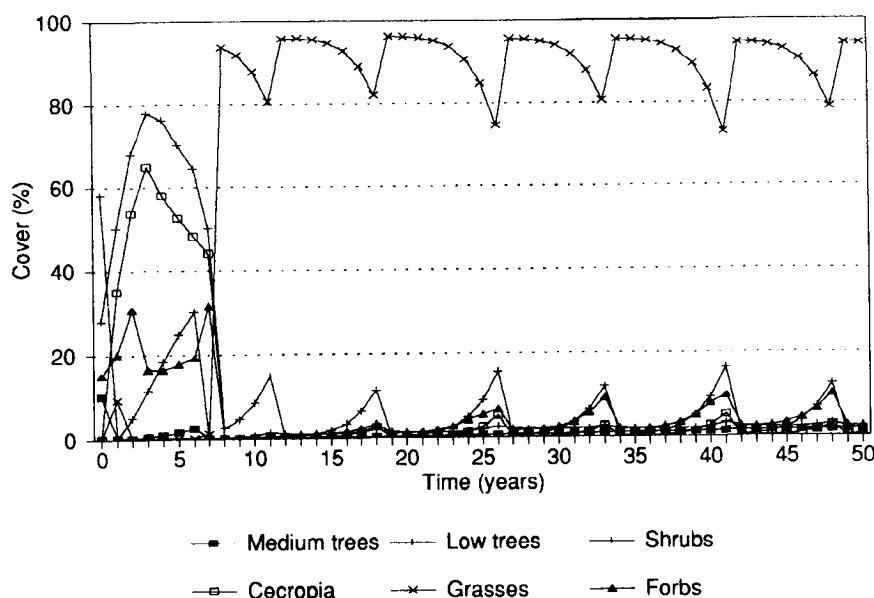
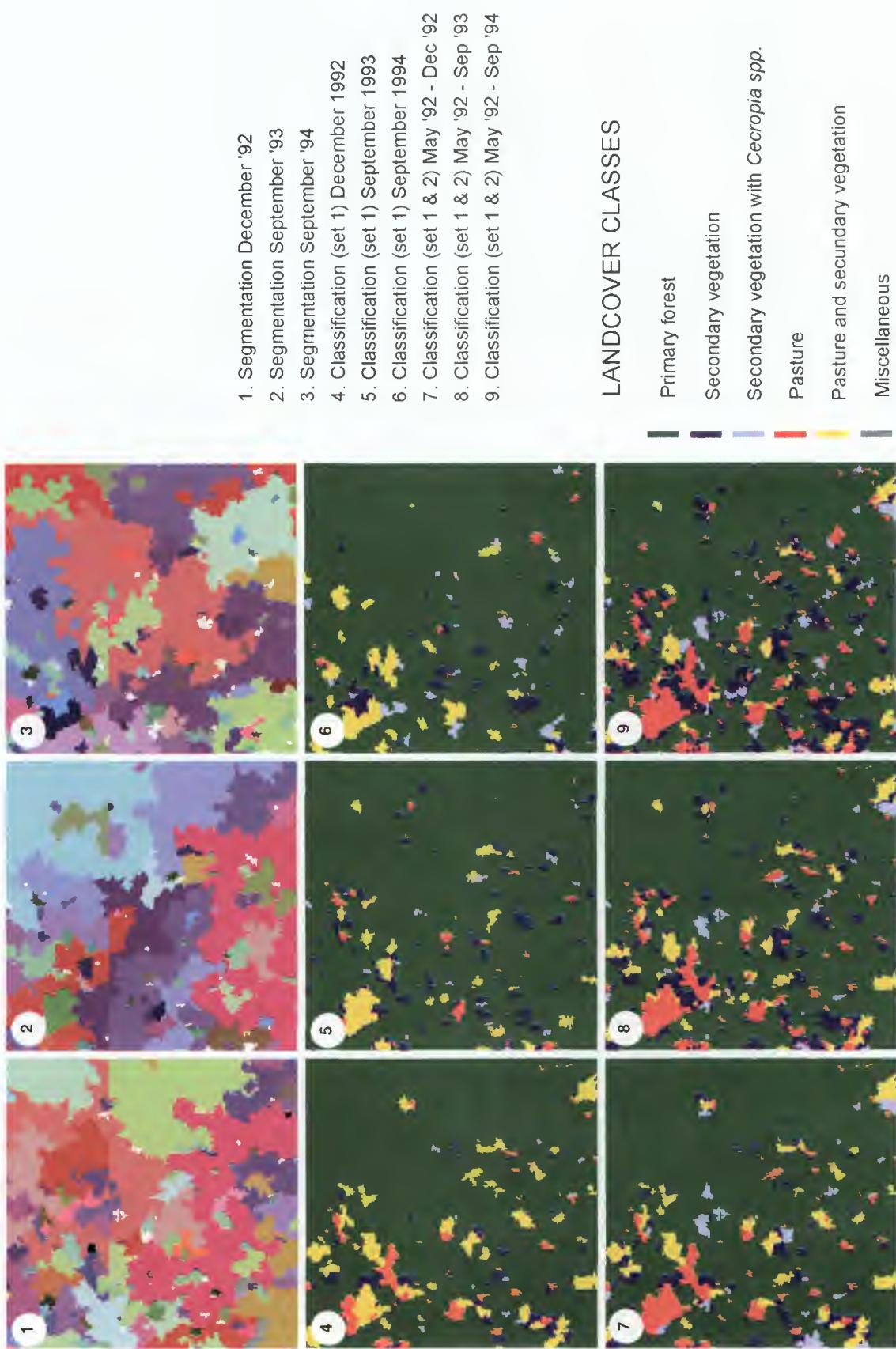


Figure 4: Simulation of cutting and burning of the forest, followed by cultivation of an annual crop, regeneration, another annual crop, followed by the planting of pastures, maintained by cutting the shrubs.



7. CONCLUSIONS

The classification of time series of ERS-1 images with rules based on image characteristics and on land cover change is reasonably accurate. Accuracy varies with time. Apparently this is due to the conditions in the field at the moment the image was recorded.

In this case study, the accuracy of change detection cannot be very high, because the quality if the classification of the initial situation is not very good. With the increase of time and the number of images, the classification of the land cover on the last images first becomes more accurate and then remains at a stable level or even decreases, because of a high classification error for images that, apparently, were recorded during unfavorable circumstances (too wet?).

For example: if a pixel was classified first as forest and in a later image as pasture, there are at least two possibilities: either the actual land cover changed from forest to pasture, or it has been pasture all the time, but was confused with forest in the first image because of temporary high backscatter caused by increased roughness or soil moisture.

Classification and especially change detection can be improved by a better knowledge of the initial situation, as can be acquired from additional imagery (SPOT, aerial photographs, high resolution airborne radar) or detailed field survey. At regular time intervals, the classification and change detection as performed by the monitoring system, based on ERS images, has to be checked thoroughly, either in the field or with additional images, to validate the results, adapt the decision rules if necessary and prevent errors from propagating, thus creating a new initial situation for the system. This regular checking, validating and updating is very important as new classifications are partly based upon previous classifications. The user organization can do the checking in combination with their other surveys (e.g with a census).

Classification accuracy varies with the images. It also varies with the landscape (steeply dissected parts are classified less accurate than flat terrain), land cover class (classification of pastures is more accurate than of secondary vegetation) and the spatial distribution of the land cover (small parcels show less accurate classifications).

Relative accuracies can be shifted to suit the objective of the user of the system. If the error of misclassifying a forest as a pasture does less harm than the error of misclassifying a pasture as a forest, rules can be adapted in such a way that the risk of misclassifying a pasture as a

forest is minimized, at the expense of an increasing chance of misclassifying forest as pastures.

ACKNOWLEDGMENTS

The research described in this paper was carried out in cooperation with Wageningen Agricultural University (WAU), with support from Corporación Colombiana para la Amazonia -Araracuara (COA), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Tropenbos / Fundación Bosque Tropical, Netherlands Remote Sensing Board (BCRS) and the European Space Agency (ESA).

REFERENCES

- Andrade, A. and A. Etter, 1987. Levantamiento ecologico del area de colonización de San José del Guaviare (informe y memoria explicativa a los mapas). Convenio realizado con el CIAF-IGAC, Corporación de Araracuara, Proyecto DAINCO-CASAM. Corporación de Araracuara, Bogotá, Colombia.
- Bijker, W. and D.H. Hoekman, 1993. A remote sensing monitoring system for a colonization area in tropical rain forest. *VI Simposio Latino Americano de Percepcion Remota (SELPER)*, 3-8 October 1993, Cartagena, Colombia.
- Bijker, W and W. van Wijngaarden, 1993. Land use modeling for image interpretation and change detection. Guaviare pilot area. *VI Simposio Latino Americano de Percepcion Remota (SELPER)*, 3-8 October 1993, Cartagena de las Indias, Colombia.
- Caves, R.G. and S. Quegan, 1995. The role of segmentation in multi-channel SAR image analysis. *RSS '95 Remote Sensing in Action; Proceedings of the 21st Annual Conference of the Remote Sensing Society*, 11-14 September 1995, University of Southampton, U.K.
- Forrester, J.W., 1968. *Principles of systems*. Text and workbook, chapters 1-10. Wright-Allen Press Inc., Cambridge, U.K.
- Hill, M.O., 1979. *TWINSPAN- a FORTRAN Program for arranging Multivariate Data in an Ordered Two Way Table by Classification of the Individuals and the Attributes*. Cornell University, Department of Ecology and Systematics, Ithaca, New York.
- Karam, M.A., A.K. Fung, R.H. Lang and N.S. Chauhan, 1992. A microwave scattering model for layered vegetation, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. GE-30, pp. 767-784.
- PRORADAM, 1979. La Amazonia Colombiana y sus recursos, Bogota, December 1979.

CROP MONITORING IN EASTERN PARAGUAY USING ERS SAR IMAGERY

MONITOREO DE PRINCIPALES CULTIVOS EN LA REGIÓN ORIENTAL DEL PARAGUAY, UTILIZANDO IMÁGENES ERS SAR

Pekholtz, F. (1), Brown, R.E. (2) and Wooding, M.G.(2)

1 Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección de Censos y Estadísticas Agropecuarias, Centro De Estadísticas Agropecuarias, Avenida Ciencias Veterinarias esq. Arsenales de Chaco, Barrio Capellánia, San Lorenzo, Paraguay.
Tel: +595 21 512238 Tel/Fax: +595 21 512700 Email: dcea_mag@sce.cnc.una.py

2. Remote Sensing Applications Consultants (RSAC), Mansfield Park, Medstead, Alton, Hants GU34 5PZ, U.K.
Tel: +44 1420 561377 Fax: +44 1420 561388 Email: consultants@rsac.demon.co.uk

RESUMEN

Un Sistema de Sensoramiento Remoto incorporando Imágenes de Radar(SAR), está siendo desarrollado para estimar estadísticas de principales cultivos, como Soja, Trigo, Algodón, Maíz, en la Región Oriental del Paraguay. Un sistema de trabajo, que actualmente esta siendo utilizado, con el procesamiento de imágenes ópticas (LANDSAT TM), será complementado con datos ERS SAR, y un sistema de clasificación semi automática, que usara una metodología de clasificación por parcela, para obtener un resultado optimo en la integración de ambos (radar y óptica). El sistema de segmentación automática de imagen, esta siendo desarrollado, y se utilizara para derivar parcelas representativas de usos agrícolas y datos de encuestas de terreno, dentro de una base de datos. Una evaluación preliminar de estas técnicas de aplicación de los datos de ERS, es presentado (en inglés)

ABSTRACT

A remote sensing system incorporating satellite radar is being developed to estimate crop area statistics in eastern Paraguay, for the major crops of wheat, soya, maize and cotton. Previous work using optical imagery is being complemented with ERS SAR data, and a semi-automatic classification method is being developed using a per-parcel classification approach to make optimal use of both SAR and optical imagery. Automatic image segmentation is being developed to derive parcels representing agricultural fields, the system integrates raster images, vector parcels and ground survey data into a database. A preliminary evaluation of these techniques applied to ERS data is presented.

INTRODUCTION

Optical remote sensing is being used by the Ministry of Agriculture and Livestock in Paraguay to estimate crop area in the Eastern Region (*Region Oriental*),

complementing statistical work using crop sampling to estimate crop yield, as part of the *Proyecto de Fortalecimientos de las Estadísticas Agropecuarias* (MAG, 1994). Crop statistics are derived as information for use in the development of agricultural and economic policy. Information is required on 4 major crops - soya, wheat, cotton and maize. Approximately 80% of the national soya and wheat crops are grown in the *departamentos* of Alto Paraná and Itapuá, in the *Region Oriental*, and the studies concentrate on these, see Plate 1a.

Remote Sensing Applications Consultants (RSAC), and the Ministerio de Agricultura y Ganadería, Paraguay, are working together on a project entitled: *A Remote Sensing Crop Information System incorporating Satellite Radar Data*. This project is building on the Ministry's current work by incorporating satellite SAR data in a semi-automated way. ERS SAR imagery is advantageous in not being affected by clouds, and reliable acquisition facilitates campaign planning. The project is using a remote sensing CROP INformation System (CROPINS) based on the Laser-Scan IGIS system, which integrates vector and raster data based on an ORACLE database. The customisation is specific to Paraguay's requirements, however the techniques are generic to a crop inventory system.

A study entitled "Regional Crop Area Estimation using ERS SAR Data" is part of the ESA ERS-2 Announcement of Opportunity Programme, and is providing ERS SAR PRI imagery for the test sites. Radarsat imagery will also be acquired under the ADRO program and analysed in a similar way.

METHODOLOGY

Pre-processing of the SAR and optical imagery before processing in CROPINS is required to register the images to a map projection. In terrain affected regions, geocoding of the SAR imagery is required using a Digital Elevation Model (DEM) to remove the effects of

terrain distortion. In flat areas, imagery can be georeferenced without the use of a DEM, and this appears to be sufficient in the study area. The correction of imagery to local map projections allows vector boundaries to be used to extract parcel statistics from both optical and SAR imagery.

Crop classification is performed on a per-parcel, effectively per field, rather than a per-pixel basis. For radar data this has the advantage of removing the effects of "speckle" by working with a single mean value for a parcel, and also enabling classification by comparison of crop backscatter temporal profiles. These profiles are produced by calculating the backscatter from crops during certain times in the growth cycle. The use of SAR data excludes the possibility of cloud and cloud shadow being used in classification. The integration of vector boundaries and raster imagery allows mean field parcel values to be calculated whilst excluding edge effects.

Temporal backscatter profiles of individual crops are derived based on ground survey or other reference data. Central to the analysis is the iterative reference to a knowledge-base of profiles of known crops for determination of the crops in the imagery being analysed. Parcels are then compared to the reference profiles, and measures of confidence given to the automatic classification. This method also means that only those land cover types of interest and for which there is ground data are classified. This can then be combined with visual interpretation of multitemporal images as required.

Maps with field boundaries are not available, so parcel boundaries have to be derived from a combination of automatic image segmentation and visual interpretation.

SYSTEM DESIGN

The current approach uses complete Landsat TM optical imagery for the two *departamentos* to derive area statistics. There have been problems acquiring adequate cloud-free imagery for these areas. The use of SAR imagery would require a larger number of scenes, so increasing the image preparation requirement. The extension of these census based area measurements would become expensive with the larger number of scenes involved. A sampling approach is therefore being investigated, providing statistical information for sample sites which are then scaled up to provide area estimates for larger administrative areas. This is based on the EC MARS STAT programme, and for implementation would require careful selection of representative sample sites. However the system can work equally on a complete area, for example an

administrative area such as a *departamento*, provided that full area coverage is available for each of the input images. In the case of SAR scenes, this would require mosaics to be produced and then extraction of the areas of interest.

Pixel based classification and post-classification filtering are also available within the system as part of the standard IGIS routines, of particular use for optical images. But for SAR imagery, speckle specific filtering is a pre-requisite.

Currently field boundaries are not available, either as hardcopy maps or as digital data. In the areas of interest, land cover and land use are changing rapidly as a result of deforestation and seasonal changes in cropping patterns. Therefore up to date information on field boundaries is derived using automatic segmentation of optical and SAR imagery with manual on-screen editing as required.

Ground data is collected as crop type with co-ordinates derived using GPS. This information, which provides the training set for the classification, has to be loaded into the system and linked with the crop maps within the database. For each image available, which may be SAR or optical such as Landsat or SPOT, mean parcel statistics are produced and stored in the database.

The automatic per-parcel classification is then performed within the database by comparing the backscatter temporal profiles of ground data parcels to other parcels in the database. Crop maps are displayed over the image of the sample site to provide a visual check on the classification and to find anomalies which can be corrected or re-classified as necessary. Surface area per crop within the sample sites can then be presented as area statistics or as crop maps.

SYSTEM FUNCTIONS

Parcel delineation - This is performed through an automatic segmentation process which can be applied to either SAR or optical images. This produces a raster map which is then converted to a vector object and stored in the database.

Digitise parcel boundaries - This allows for manual editing of the segmentation or the manual creation of parcels by on-screen digitising of visible fields.

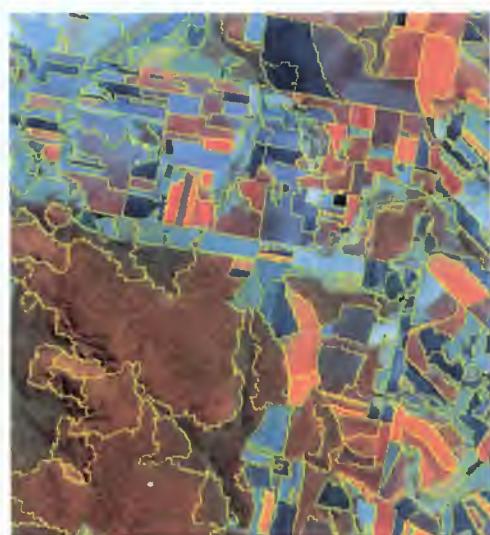
Automatic coding of parcels - This assigns a unique code to each parcel in the database.

Enter ground data - Crop types and their co-ordinates are entered on a form. These are then referenced to the

PLATE 1



a. Map of departamentos in Paraguay, showing location of study areas.



b. Landsat TM image, 28 August 1993
Bands 453 in RGB
Overlaid with segmentation of the same image.

Image data © EOSAT 1993

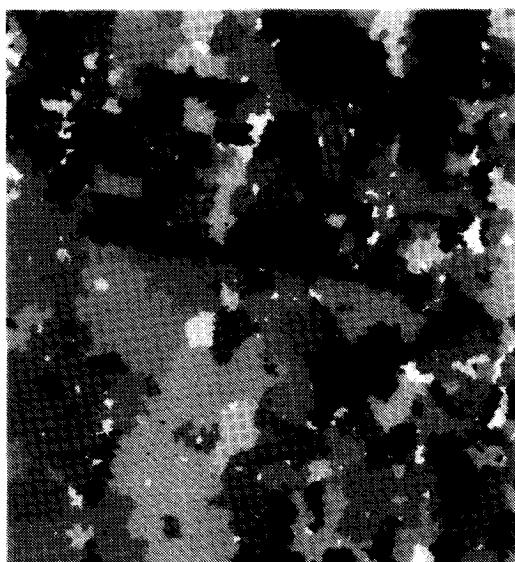
Plate 2 Filtering and segmentation of ERS SAR imagery of agricultural fields in Alto Paraná, Paraguay.



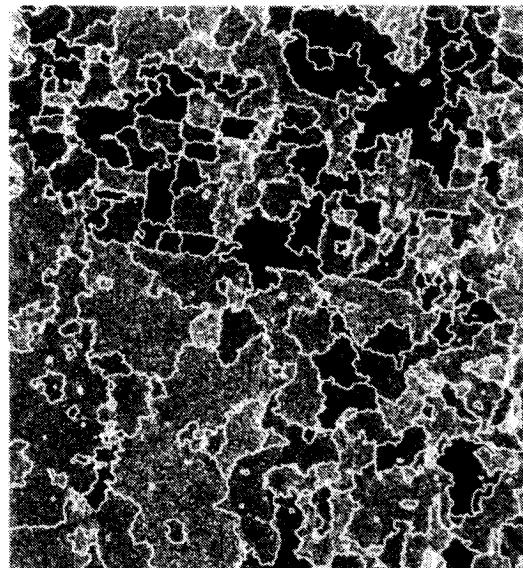
a. Raw ERS-1 SAR image, 20 August 1995



b. Image filtered with 2 passes of
Gamma Map Filter 5×5



c. Segmentation of image



d. Vector parcels derived from the
segmentation, overlaid on the raw image

Image data © ESA/Eurimage 1995

parcel map, it may be necessary to clarify which parcel a ground data point is linked to.

Calculate parcel statistics - These are extracted for each band by integrating the vector parcel boundaries with the imagery. A user defined buffer zone is selected to exclude edge effects which may not be representative of the parcel. In the case of ERS SAR imagery, parcel means can be calibrated to the backscattering coefficient (σ^0) by entering the appropriate calibration constant, Laur et al. (1996). This ensures between scene radiometric consistency by taking into account the differences in gains between the ESA processors.

Parcel classification - This is undertaken within the database and not on the imagery. Initially the classification is tested using a trial and error approach on the known ground data, varying the selection of available images and thresholds, including band ratios and indices, until the optimum result is achieved. This selection is then applied to the complete parcel database to classify parcels.

Display classification - This allows a visual check on the crop map against the original images.

Area statistics are presented by sample area or administrative area as appropriate.

IMAGE EVALUATION

The evaluation of ERS imagery is at an initial stage as the datasets of SAR imagery and ground data are still limited. Initial analysis has used the following 2 scenes which cover part of Alto Paraná during the winter, which is the wheat growing season:

Orbit	Frame	Date
21426	4113	20 August 95
21927	4113	24 September 95

Typically wheat and to a lesser extent maize are being grown in large fields of 10's or 100's of hectares. Many of the fields which grow soya in the summer remain fallow during this season. The 2 acquisition dates coincide with the heading phase of the wheat development cycle. Work within the UK ERS SAR calibration and backscatter experiment has shown that wheat profiles are characterised by low backscatter during these phases of development (the dark areas on figure 2 are probably wheat fields). Backscatter then increases (becomes brighter) as the crop ripens, Wooding et al. (1994). There is no ground data available for the time of image acquisition so we infer that these patterns are characteristic of wheat, however this needs to be validated.

Plate 1b shows a Landsat TM image automatically segmented to derive parcel boundaries. Plate 2a shows an extract of the 20 August image near Colonia Santa Maria. Plate 2b shows a Gamma Map filtered image (2 passes of a 5x5 kernel on both dates), which greatly clarifies the outlines of fields for visual interpretation. Plate 2c shows the result of a preliminary segmentation process which divides the image up into similar regions, which are then coloured with the mean of the data values in that region on a single date, the 20 August. This demonstrates a finite segmentation of field parcels by an automatic process. However, further work is required to refine and assess the segmentation performance using multitemporal SAR imagery. Plate 2d shows the vector dataset containing land parcels, corresponding to fields, which has then been derived from this raster segmentation, overlaid to the original ERS image. These examples demonstrate that parcel boundaries can be derived from either optical or SAR imagery using automatic segmentation algorithms.

This can then be used to extract parcel means, automatic classification can then be performed using the knowledge-base of crop signatures derived from ground data, and potentially those built up in previous years.

As ground data was not available for this image, the variation in backscatter of the parcels, which include cropped fields, bare fields, forest and grassland, was analysed to demonstrate the dynamic range. The mean for each parcel in the extract was calculated for each date, and the results plotted against each other. No obvious clusters have resulted but a large range of values are apparent, from -18 dB to +2 dB. Grouping of cover and crop types could be expected to be more prominent with a longer time series. The long term aim is to identify the main crop types on a time series of imagery and plot the backscatter values to derive a characteristic backscatter profile for that crop in Eastern Paraguay. This can then be used to build a knowledge-base for automatic crop classification.

8. CONCLUSIONS

System development is still in progress, and SAR evaluation is at a preliminary stage until a larger multi-temporal dataset is available. Analysis of available imagery indicates however that image segmentation and per-parcel classification of optical or SAR imagery is a viable technique for the large fields where wheat and soya are grown. Analysis of larger datasets is required to evaluate the effectiveness of crop discrimination in eastern Paraguay.

REFERENCES

- Laur H., P. Bally, P. Meadows, J. Sanchez, B. Schaettler and E. Lopinto (1996). Derivation of the Backscattering Coefficient sigma 0 in ESA ERS SAR PRI Products, *ESA Document ES-TN-RS-PM-HL09*, Issue 2, Revision 2.
- MAG, DCEA (1994). *Producción Agropecuaria 1993/94 - Síntesis Estadística - Informe Final*.
- Wooding M.G., Zmuda A.D. & Griffiths G.H., (1994). Crop discrimination using multitemporal ERS-1 SAR

data, *Proc. 2nd ERS-1 Symp.*, Hamburg, ESA SP-361, Vol. 1, pp. 51-56.

ACKNOWLEDGEMENTS

This project is partly funded by the British National Space Centre and by the European Space Agency. Laser-Scan Limited is assisting in the development of CROPINS as a customisation of its IGIS product. Segmentation software has been developed by NASoftware Limited. The authors are grateful to their colleagues for their assistance, particularly Andrew Batts for system development and image segmentation and Andrew Zmuda for technical advice.

**INTEGRACIÓN DE DATOS ERS-1 Y LANDSAT TM PARA EL ESTUDIO DEL USO DE SUELO
AGRÍCOLA DE LAS ZONAS BAJO RIEGO EN EL OASIS DEL VALLE DE TULUM, SAN JUAN,
ARGENTINA.**

Graciela Salinas de Salmuni, María I. Lund, Francisco Maldonado y Jorge S. Mareca.-

Centro de Fotogrametría, Cartografía y Catastro
Universidad Nacional de San Juan
Laprida 1130 (o) - Cp: 5400 - San Juan - Rep. Argentina
Te: (54-64) 211700 - int: 341. Fax: (54-64) 213672.

ABSTRACT.

The Valle de Tulum is located at the East of the mountain range in the San Juan Province in the semiarid region in the central - western of Argentine. The agricultural feature of this zone shows a vast distribution of agricultural ecosystems which causes many environments with their own characteristics, dynamic and potentiability, and with intensive heterogenous crops.-

From 1.992, this working team of the National University of San Juan carries out research projects that includes digital images processing, specially aimed to know the spectral behaviour of the main crops.

The radar images contributes to the discrimination process of intensive crops in irrigated regions because the parcels being cultivated are shown in a light bright color due to their surface roughness.- This point must be taken into account if there is the possibility of applying this methodology as a technique to make agricultural statistics about areas - cultivated and prepared to considering the main crops (vine, olive, onion, garlic, tomato, melon, fruits and lucerne).-

RESUMEN.

El Valle de Tulum, está ubicado al Este de la Precordillera en la Provincia de San Juan, en la región semiárida del centro-oeste de la República Argentina. La característica eminentemente agrícola de la región pone de manifiesto una amplia distribución de ecosistemas agrícolas que dan lugar a la existencia de numerosos ambientes con características, dinámica y potencialidad propia, con cultivos intensivos de alta heterogeneidad en manejo y en especies cultivadas.

Desde el año 1992, este grupo de trabajo perteneciente a la Universidad Nacional de San Juan tiene proyectos de investigación que incluyen procesamiento digital de imágenes satelitarias, orientados especialmente para el conocimiento del comportamiento espectral de los principales cultivos del Valle, utilizando imágenes Landsat TM. Este trabajo muestra los resultados de la

aplicación de la imagen radar del mes de julio y su aporte en la discriminación de las áreas cultivadas y áreas preparadas para cultivos.

Esta faceta debe tenerse en cuenta si se piensa en la posibilidad que esta metodología sea usada como una técnica para producir estadísticas agrícolas sobre áreas cultivadas y áreas preparadas para cultivos, tomando en cuenta los principales cultivos (vid, olivo, cebolla, ajo, tomate, melón, frutales y alfalfa).

1. INTRODUCCIÓN

El tratamiento adecuado de los datos colectados por satélites hacen aportes de fundamental importancia para el estudio de los recursos naturales y el ambiente. Durante el desarrollo del trabajo se observó como las nuevas tecnologías del procesamiento digital de imágenes junto a los datos aportados por las imágenes satelitarias, constituyen una fuente de información que alimentan al sistema catastral. Se observó, además, que el máximo beneficio que puede aportar esta tecnología se alcanza cuando los datos proporcionados por las imágenes ópticas y radar se combinan mediante procesamientos digitales adecuados.

Para solucionar una de las grandes situaciones problemáticas ambientales de la Región: el mal manejo del recurso agua en el Oasis, se delimitan los distintos "agroecosistemas" que existen en el Valle de Tulum, a partir del cual pueda trazarse una política de desarrollo a largo plazo (Documento de la F.A.O. - 1993). De esta manera se podría optimizar el manejo del recurso agua a través de una práctica que tenga por objeto mejorar la distribución de la misma para ser utilizada en el riego.

Se entiende por "agroecosistemas", los sistemas en donde el flujo de energía y el ciclo de nutrientes han sido alterados. Es un ecosistema subsidiado por el hombre, quien simplifica el ambiente dando lugar al desarrollo de pocas especies productivas, introduciendo a la vez distintos elementos como fertilizantes e insecticidas, para realizar por último el laboreo de la Tierra, con el objeto de obtener una determinada "cosecha".-

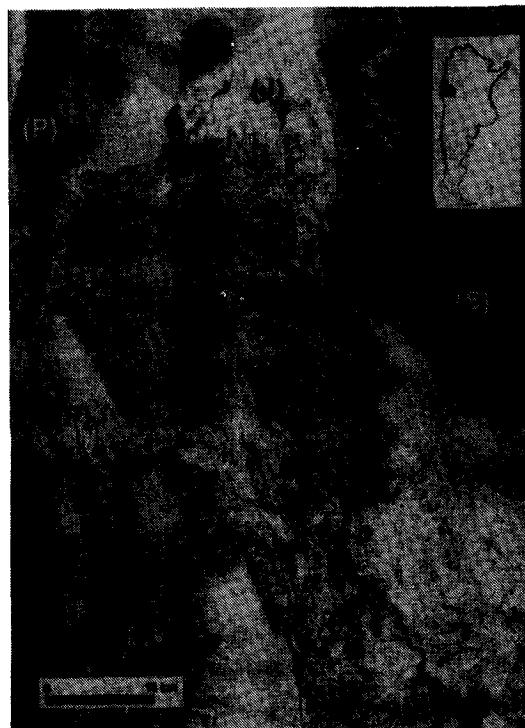


Figura 1: Imagen Landsat TM, combinación 4,5,3, muestra la escena completa del área del Valle del Tulum.

Los trabajos realizados desde el año 1992, por este grupo de trabajo, se orientaron especialmente para conocer el comportamiento espectral de los principales cultivos. Luego se realizaron mediciones con el espectroradiómetro de terreno para diferenciar los cultivos que presentaban confusión en el proceso de clasificación, este trabajo forma parte de un Programa Plurianual del Centro de Fotogrametría, Cartografía y Catastro de la Facultad de Ingeniería, por iniciativa de la Federación Económica de San Juan y del Ministerio de la Producción del Gobierno de la Provincia. Este programa incluye proyectos de estimación de hectáreas cultivadas por cultivos, por departamentos, realización de mapa de cultivos abandonados, de zonas salinizadas y revenidas y optimización del uso del recurso agua mediante el cálculo de las áreas irrigadas por nodo de riego, discriminando los cultivos y su requerimiento hídrico, además de realizar un apoyo a la optimización de la red de drenaje. También incluye actividades de formación de recursos humanos en las instituciones del estado y en la Universidad. El objetivo de este trabajo fue analizar e incorporar la información radar (imágenes ERS-1) al proceso de diferenciar visual y digitalmente cultivos, zonas incultas, áreas salinizadas integrando la capacidad de los sensores ópticos (Landsat y SPOT) y radar (ERS1). Además, implementar el monitoreo de cambios en el uso del suelo agrícola teniendo en cuenta el ciclo fenológico de los cultivos. Aumentar la precisión en la estimación de las

superficies cultivadas e incultas como un aporte en la actualización del catastro en la zona rural permitiendo poner a punto un sistema de estadísticas agrícolas, ágil, preciso y de bajo costo, basado en la clasificación digital de imágenes en un contexto multi-sensor.

II. AREA BAJO ESTUDIO

El área bajo estudio es el valle más importante de la provincia, en él se encuentra concentrada la actividad humana y económica provincial.

Como se observa en la imagen de la figura N° 1, el valle es una amplia depresión tectónica de dirección NNW-SSE, limitada por los cordones montañosos de Precordillera Oriental al Oeste (P) y las Sierras Pampeanas Occidentales al Este(S). En el Valle de Tulum se distinguen el antiguo cono aluvial (A) del Río San Juan y su planicie de inundación. El valle presenta un relieve llano con una suave pendiente radial, mientras que al Sur del Río San Juan la pendiente es hacia el Sureste, contando con bajos topográficos tales como Arroyo los Tapones (T) y Arroyo de Agua Negra (N), que reciben los drenajes de la ciudad de San Juan.

El límite Sur está constituido por las Lagunas de Guanacache (G) y del Rosario hasta los Médanos Grandes (M) al Este. En este Valle se encuentra la ciudad Capital de la Provincia de San Juan (C).

Por el régimen de lluvias, esta área se encuentra comprendida entre las zonas de aridez tipo desértica y por lo tanto las necesidades de agua para los cultivos son totalmente provistas por el riego, provenientes del río San Juan. Extensas zonas de este Valle, con condiciones topográficas generalmente llanas, ofrecen dificultades al drenaje natural de los suelos. Esta situación agravada por el mal manejo del agua de riego, pérdidas por infiltración en canales y falta de colectores de drenaje eficientes, ha contribuido a la salinización de áreas significativas, por acción de aguas freáticas de contenido salino elevados muy cercanas a la superficie.

El valle de Tulum, presenta cultivos intensivos y de alta heterogeneidad de manejos y de especies cultivadas. En él se encuentran cultivos puros y consociados (vid con soto invernal de leguminosas para abono verde, vid con soto de aliáceas y leguminosas para consumo, monte frutal con soto de hortalizas invernales, olivo con soto de hortalizas o enmallezado, etc.); cultivos con diferentes manejos de preparación de la tierra (con barbecho invernal de suelo arado o sin arar, sin barbecho, rotación de cultivos, cultivos en suelos revenidos, etc.); cultivos con diferentes sistemas de conducción, parral, viña (muy usada en las nuevas explotaciones), espalderas, encañados, etc.

El Valle de Tulum, es un ecosistema subsidiado por el hombre.

Teniendo en cuenta las estadísticas agrícolas de la provincia de San Juan en 1994, la provincia tenía 66.800 has en producción. La participación de la superficie cultivada provincial es del 42% en vid, 15% en olivo, 14% en ajo y 17% en cebolla.

Otra característica es la preponderancia de pequeños establecimientos agropecuarios. Según estadísticas del INV (Instituto Nacional de Vitivinicultura), el 73% de los productores vitivinícolas tienen explotaciones inferiores a las 5 has. (ocupan el 26%) de la superficie. Se estima que el 80% de los productores de ajo y el 76% de los productores de cebolla producen en predios inferiores a las 2 has.

3. METODOLOGÍA

A continuación, se describe la metodología empleada para diferenciar visual y digitalmente cultivos, zonas incultas y áreas salinizadas. Integrando los sensores ópticos y radar, con el objeto que esta metodología sea usada como una técnica para producir estadísticas agrícolas y estimación de áreas para la valuación catastral en la zona rural.

3.1 Material Utilizado

Se dispuso de una imagen LANDSAT, sensor TM en CCT (Computer Compatible Tape) correspondiente a la órbita 232-082, con el centro ubicado en los 31° 45' W y 68° 48' S, con fecha de noviembre de 1992. Además, de una imagen ERS-1 correspondiente a la órbita y marco 4621-4221 de fecha 3 de junio de 1992.

Se trabajó con un Sistema de Procesamiento de Imágenes ERDAS- IMAGINE 8.2

3.2 Interpretación Visual

En las imágenes radar la señal reflejada por los elementos de una escena iluminada, una parte vuelve en la dirección del radar y otra se dispersa en direcciones arbitrarias. La intensidad del retorno de la señal está relacionada con la rugosidad de la superficie de incidencia.

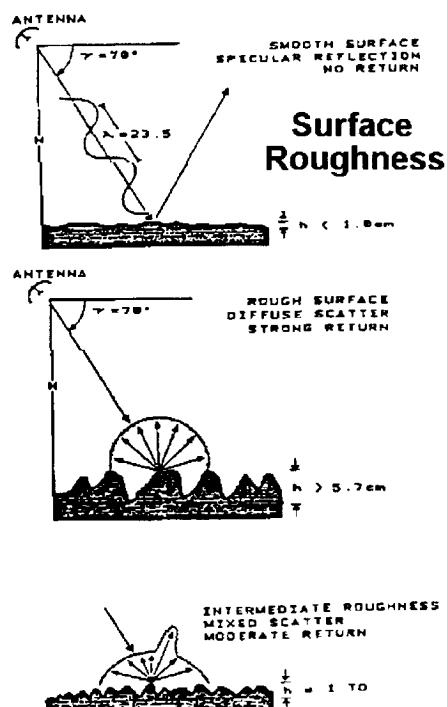
En la Figura 2 se grafican tres situaciones que muestran la variación del retorno según la rugosidad de la superficie de incidencia, a mayor rugosidad mayor retorno.

Además, las imágenes radar provienen de un sensor activo que emite radiación y recibe la reflexión de la señal, por lo tanto el ángulo de incidencia de las microondas es uno de los parámetros que influyen sobre la señal. Las superficies con baja rugosidad muy sensible al ángulo de incidencia, y en superficies de rugosidad

alta donde la respuesta de la señal es independiente del ángulo de incidencia.

La figura 3 muestra dos situaciones, una superficie de baja rugosidad donde el retorno de la señal es muy sensible al ángulo de incidencia, y otra de rugosidad alta donde la respuesta de la señal es independiente del ángulo de incidencia. Finalmente y como resumen, la figura 4 muestra el comportamiento de la respuesta de la señal en función al ángulo de incidencia para tres situaciones de rugosidad alta, media y baja.

RADAR BACKSCATTERING Smooth, moderately rough, rough surfaces



 esa
esrin

Figura 2

La figura 3 muestra dos situaciones, una superficie de baja rugosidad donde el radar backscattering es

RADAR BACKSCATTERING

Radar Backscattering: Incidence Angle

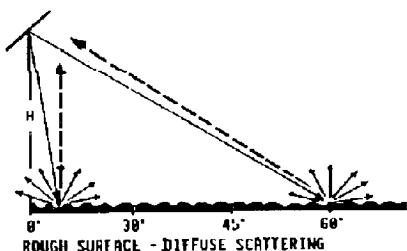
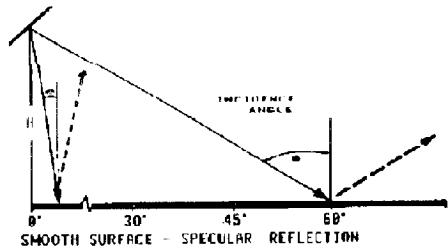


Figura 3

RADAR BACKSCATTERING

Smooth, moderately rough, rough surfaces

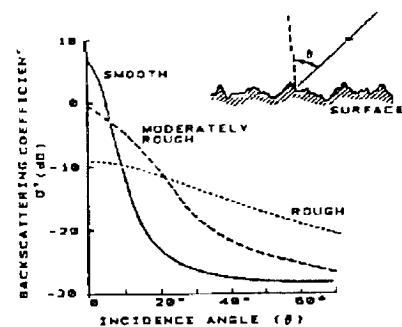


Figura 4

Teniendo en cuenta los conceptos descriptos precedentemente, se realizó un análisis visual de la imágenes radar teniendo en cuenta la rugosidad de las parcelas en la zona de cultivo.

Sobre impresiones en tonos de grises se analizaron aspectos tales como textura, tonalidad, ubicación de los perímetros y determinación de áreas. Inicialmente se realizó una interpretación visual de detalle a escala 1:50.000, poniendo especial énfasis en los sitios de muestreo utilizados para los estudios con las imágenes ópticas. Se realizaron

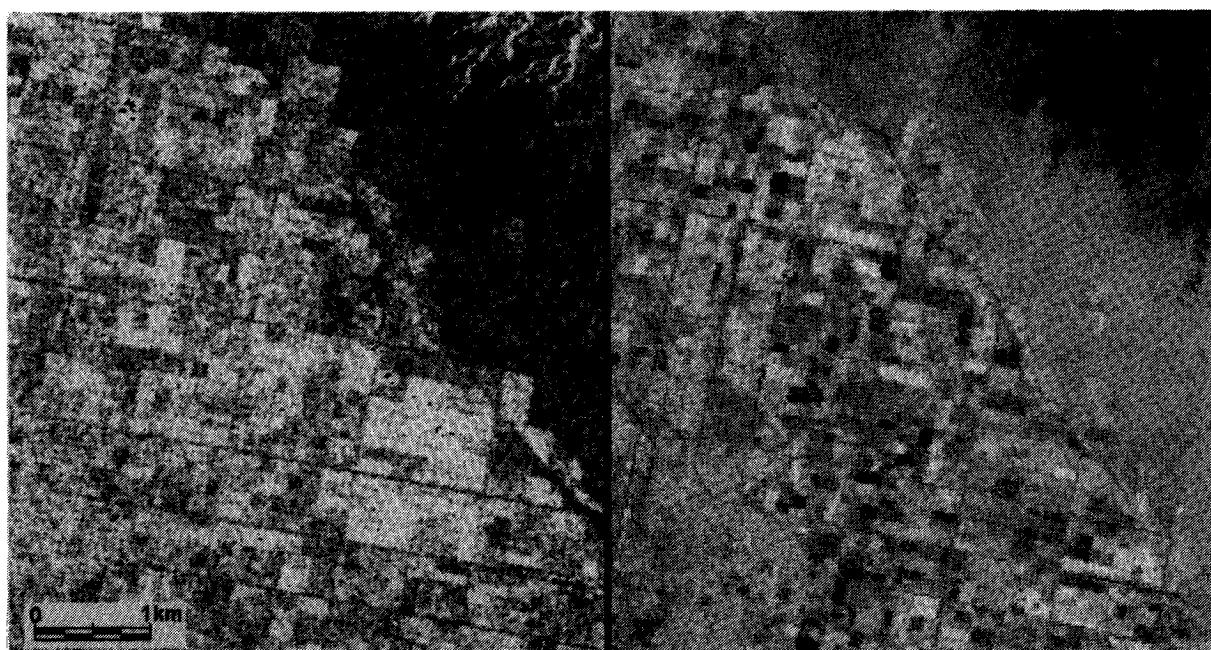


Figura 5: 5a-ERS-1 de Julio y 5b- Landsat TM 4,5,3 de Noviembre del mismo año.

vid, cultivos anuales y parcelas abandonadas y ventanas que contengan parcelas con cultivos de vid, cultivos anuales y parcelas abandonadas y salinizadas ubicadas en el Departamento de Caucete.

Considerando que la fecha de registro de la imagen de radar es de julio de 1992, para supervisar aspectos agronómicos tales como tipo de cultivo, estado y forma de conducción de los mismos, se utilizó una imagen Landsat TM de noviembre del mismo año.

En la región, la forma de conducción de la vid típica es la del *parral tipo cuyano* (Fig.6), donde las plantas van ubicadas a una distancia de 2,50 metros entre plantas y entre hileras (generalmente con dirección N-S), y a una altura entre los 1,90 metros a 2,10 metros.



Figura 6. Parral de alta producción en julio, con manejo invernal de abono verde.

- En las zonas de cultivos anuales, tal es el caso de hortalizas, en la imagen radar de invierno se registra mucha reflexión debido a la rugosidad alta, ocasionada por los bordos de riego, en hileras de aproximadamente 30 cm de altura bordo-fondo del surco y separados aproximadamente 30 cm entre ellas. (figura 7).

La Figura 5 muestra la escena, sitio test de las parcelas con cultivos de vid; en la imagen radar de julio a la izquierda y en la imagen Landsat TM de noviembre a la derecha. De la observación de la figura se desprende que :

- En la imagen Landsat de verano (banda 4), hay mucha cobertura vegetal, por lo tanto el mismo sitio test presenta un color gris muy claro y brillante.



Figura 7. Cultivo de cebolla en invierno. *Allium cepa* var. valenciana.

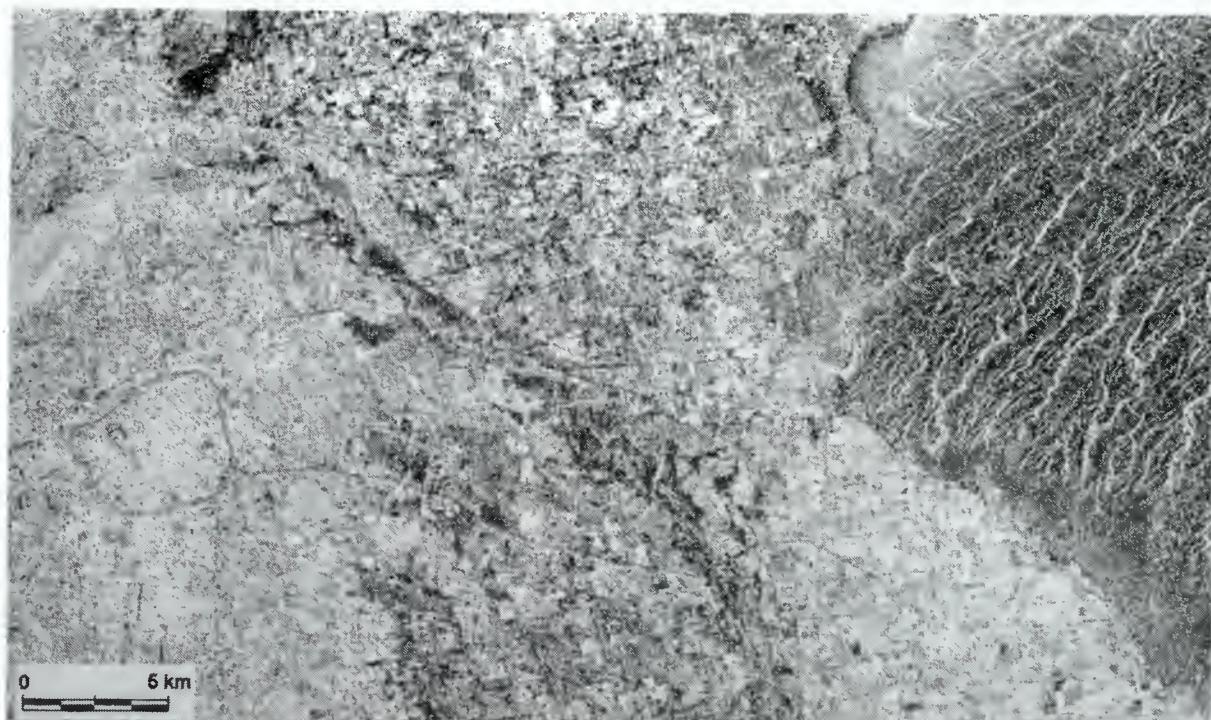


Figura 8.

Además, se realizó la interpretación visual a nivel semiregional, a escala 1:150.000. En la imagen presentada en la figura 8 se pudo delimitar áreas homogéneas respecto del uso actual del suelo concordantes a los agroecosistemas presentes en la zona, teniendo en cuenta las parcelas preparadas para cultivos que se observan en color gris.

Al Norte del río, se diferencian dos zonas, una al oeste que predominan las parcelas de color gris claro debido a la continuidad de las parcelas preparadas para cultivos y otra, al este, con suelo mas fríos donde el comienzo de la actividad radicular de los cultivos anuales se retarda, "zona tardía". Por otro lado, presenta suelos con alto contenido salino debido que es el área donde la cuenca de agua subterránea recibe la mayor recarga del Río San Juan, por lo tanto su nivel freático asciende en épocas de crecidas produciendo la salinización de los suelos. En la Imagen se observa una alternancia de tonalidades gris claro, medio y oscuro debido a la falta de continuidad de los cultivos (principalmente vid, y en menor proporción alfalfa, frutales y hortalizas), y abundantes parcelas con cultivos abandonados y suelos con alto contenido salino.-

Ubicado en el este del valle, se encuentra la zona con más alta capacidad productiva del Oasis, en el Departamento Caucete y parte de 25 de Mayo. Se diferencia de las otras zonas por la tonalidad gris muy clara y debido a una continuidad de cultivos (principalmente vid).-

Al Sur, en la zona de contacto entre el abanico y la llanura aluvial del Río San Juan, se caracteriza por el ascenso de la freática hasta el nivel superficial con vegetación hidrófila freatófitas (cortadera, carrizo, totora, juncos comunes, etc.) se encuentra donde las condiciones lo permiten, tal son las zonas de descarga de agua subterránea o en zonas inundadas por aguas superficiales. En la Imagen se diferencia en color gris muy oscuro y en forma de "medialuna".

3.3 Procesamiento Digital de Imágenes Landsat TM y ERS-1

Las escenas de las imágenes ERS-1 fueron georreferenciadas según el sistema de coordenadas Gauss Krugger, utilizando puntos tomados de cartas topográficas ajustadas con GPS. A pesar de no disponer de un Modelo Digital de Terreno, los resultados de la georreferenciación fueron satisfactorios ya que el área es muy plana.

Se ensayaron varios tipos de filtros (Lee, Frost y Map) para disminuir el efecto Speckle. Como estos filtros se pueden usar repetidamente tantas veces

como sea conveniente e intercalar diferentes filtros en el proceso, se realizó un análisis visual y finalmente se consideró que para la escena utilizada, el filtro Frost con una ventana de 3x3 es el más adecuado (Gagliardini, com. pers.). Se utilizaron dos métodos para combinar la información óptica con la radar:

- Combinaciones RGB, con las bandas del infrarrojo (B4), visible (B3) y ERS-1. Al combinar estas imágenes se suma la información sobre cobertura vegetal en época de verano (Landsat B4 de noviembre de 1992) con la información sobre las parcelas en producción, manifestada por la variación en la rugosidad de la superficie de incidencia (ERS-1 de julio de 1992).

De la combinación antes descripta surge la imagen de la figura 9 que muestra una escena del departamento de Caucete, zona con la más alta capacidad productiva del Oasis.

Del análisis de la imagen y teniendo en cuenta que la **alta rugosidad** es ocasionada por los laboreos de invierno, evidenciando parcelas cultivadas o preparadas para cultivo; mientras que la **alta cobertura vegetal** en verano está relacionada directamente con cultivos de alta producción, surgen cinco situaciones diferentes:

- 1) Alta rugosidad y alta cobertura vegetal: manifiesta la presencia de cultivos permanentes (vid, olivos y frutales) y anuales que aún no terminan su ciclo. En la figura 9 se observan en color gris claro.
- 2) Alta rugosidad y sin cobertura vegetal: manifiesta la presencia de cultivos anuales que ya terminaron su ciclo (tomate, algunas variedades de cebolla y otros). En la figura 9 se observan en color negro.
- 3) Sin rugosidad y alta cobertura vegetal: manifiesta la presencia de vegetación natural. En la figura 9 se observan en color gris medio a oscuro.
- 4) Alta rugosidad, sin cobertura vegetal y altos valores en la banda visible de Landsat: manifiesta la presencia de zonas urbanas. En la figura 9 se observan en color gris muy claro.
- 5) Sin rugosidad y valores de saturación en las bandas de Landsat: manifiesta la presencia de suelos abandonados y salinos. En la figura 9 se observan en color blanco.

En verano, las zonas que presentan alta cobertura vegetal son las parcelas con cultivos anuales (tomates, algunas variedades de cebolla y otros), ya que otros cultivos terminaron su ciclo.

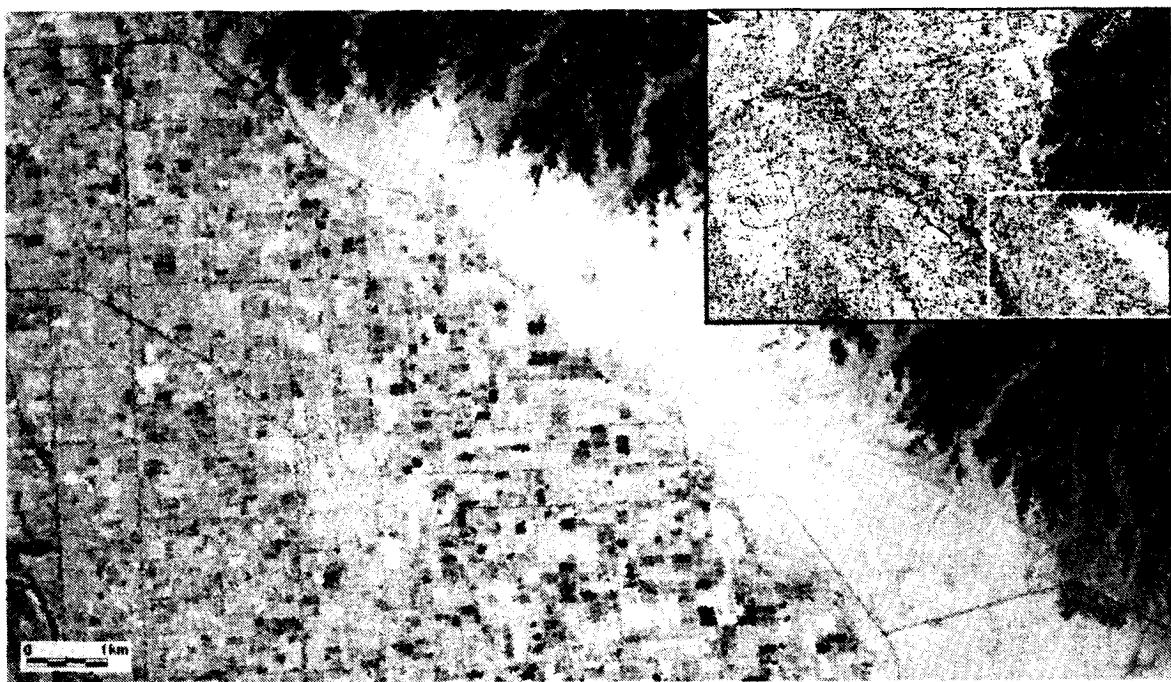


Figura 9.

- La imagen Landsat 4, 5, 3 fue transformada a IHS, se reemplazó la banda de saturación por la

imagen Radar y por último se efectuó la transformada inversa a RGB, dando como resultado una imagen que se muestra en la figura 10.

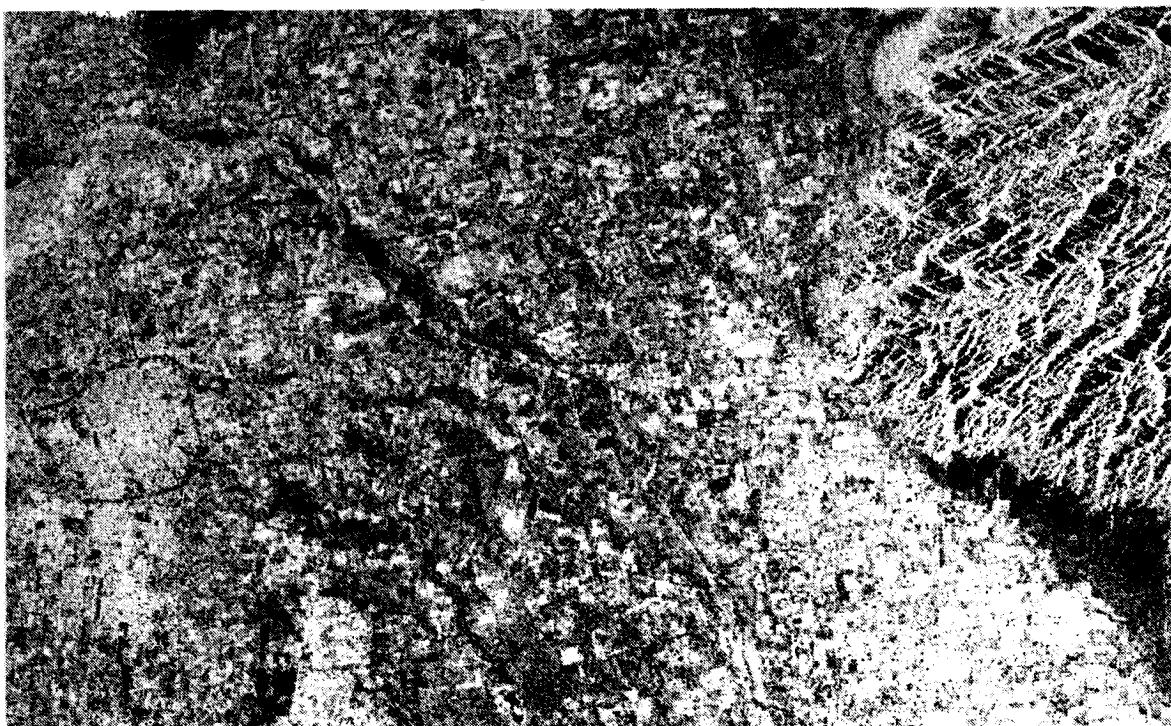


Figura 10

En ella se observa muy claramente la zona urbana, zonas cultivadas y preparadas para cultivo y zonas abandonadas y salinizadas.

-4. RESULTADOS Y DISCUSION

En la zona con más alta capacidad productiva del Oasis, Departamento Caucete y parte de 25 de Mayo, se observa una continuidad de cultivos, con

altos valores de backscattering en la imagen radar de invierno, evidenciando una alta rugosidad provocada por las parcelas con cultivos de vid que están siendo trabajados (bordos de conducción del agua de riego, aporcados para manejo de abono verde invernal) y los postes del parral.

Sin embargo, los cultivos anuales, tal es el caso de hortalizas, en la imagen radar de invierno, se confunde con la vid porque también registra mucha reflexión (alta rugosidad), ocasionada por la densidad de los bordos de conducción. Por lo tanto, es conveniente un análisis multitemporal, siguiendo el ciclo fenológico del cultivo.

En la imagen Radar se puede apreciar claramente las parcelas abandonadas, evidenciadas por los bajos valores de reflexión de la imagen (baja rugosidad).

También tienen igual respuesta las zonas salinizadas. Es conveniente aclarar que las parcelas incultas normalmente están afectadas por los procesos de salinización de suelos, que en algunas oportunidades es causa y en otras efecto, puesto que en estas zonas de clima árido y de riego por canaletas, después de dos años de abandono se observa un proceso de salinización de leve a moderado y el planchado de la superficie del suelo. Sin embargo, el alfalfa en invierno se confunde con parcelas sin trabajar, por lo tanto, se hace indispensable, en este caso, la integración de las imágenes ópticas y radar porque permite encarar las complejas características regionales, especialmente la alta heterogeneidad de manejos y de especies cultivadas y el tamaño de los predios (entre 5 a 10 has).

Teniendo en cuenta los aportes descriptos precedentemente, se pudo delimitar áreas homogéneas respecto del uso actual del suelo, concordantes a los agroecosistemas presentes en la zona, teniendo en cuenta las parcelas preparadas para cultivos, parcelas abandonadas, zonas incultas y salinizadas.

Pero, el aporte mas importante encontrado con el uso de las imágenes radar, es cuando se combinan con las imágenes ópticas.

En estas etapas de trabajo inicial con información radar, hemos observado que la mayor utilidad se logra integrándola a las imágenes ópticas. La mejor interpretación se logró con la combinación RGB, donde las bandas 4 y 3 de Landsat se combinan con la imagen ERS-1.

Al usar imágenes de dos estaciones tan opuestas respecto del ciclo fenológico de los principales cultivos del valle, los resultados fueron de gran utilidad porque se logró combinar la cobertura vegetal, manifestada por los datos de la banda 4 de

verano, con los laboreos de invierno, registrados por el retorno de la señal del radar (rugosidad).

Los resultados más importantes están referidos a la diferenciación entre:

- cultivos permanentes de alta producción,
- cultivos anuales que ya terminaron su ciclo (tomate, algunas variedades de cebolla y otros),
- vegetación natural (especialmente en la zona de contacto entre el abanico y la llanura aluvial, caracterizada por el ascenso de la freática hasta el nivel superficial con vegetación de hidrófitas y freatófitas),
- zonas urbanas y
- parcelas abandonadas, zonas incultas y salinizadas.

Los resultados obtenidos hasta el momento son considerados confiables, debido que tanto la imagen Radar como Landsat corresponden al mismo año, registradas en invierno y verano, respectivamente.

5 - CONCLUSION

Si se piensa en la posibilidad que esta metodología sea usada como una técnica para producir estadísticas agrícolas y estimación de áreas para la valuación catastral en la zona rural bajo riego, con cultivos intensivos de oasis, las imágenes radar realizan un importante aporte puesto que las parcelas que están siendo cultivadas se observan en tono claro brillante debido a su alta rugosidad.

A pesar que no fue posible monitorear los campos preparados para cultivos, se espera, para una próxima etapa del trabajo, realizar un procesamiento multitemporal y poder notar diferencias en backscatter del radar en los diferentes períodos del ciclo de los cultivos presentes en el valle.

Debido a la complejidad del ambiente será necesario adquirir imágenes Landsat TM. Este tipo de imágenes proveen la información espectral necesaria para discriminar cultivos, habiéndose elegido las fechas de adquisición según el ciclo fenológico de los principales cultivos del valle. Además es conveniente adquirir imágenes SPOT Pancromática que ofrecen mayor resolución espacial para lograr estimaciones con mayor grado de confiabilidad e Imágenes ERS-1 que aseguran que las parcelas están siendo trabajadas.

Es importante contar con imágenes ERS-1 como aporte para realizar el mapa agroecológico digital del Valle de Tulum, que servirá de guía y consulta permanente para los Entes Públicos y Privados.

6 - AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos expresar nuestro agradecimiento a la ESA (Agencia Espacial Europea) por habernos provisto de la imagen ERS-1 utilizada para este trabajo y muy especialmente a CAERCEM por la recepción y graficación de las mismas.

7- BIBLIOGRAFIA

Salcedo, E. N., Castro Bazán (1976), T. Estudios de Suelos y Drenajes del Valle de Tulum. Gobierno de la Pcia. de San Juan e INTA.

Suvires, G. (1990). "Edafología de la Provincia de San Juan". Relatorio de Geología y Recursos Naturales de la Provincia de San Juan. Décimo primer Congreso geológico Argentino. Pg. 334

Zakalik, B. (1990). "Recursos Hídricos superficiales de San Juan". Relatorio de Geología y Recursos Naturales de la Provincia de San Juan. Décimo primer Congreso geológico Argentino. Pg. 290

W. Cudlip, J.R. Ridley, F. Strawbridge, A. Harris, C. G. Rapley. (1993), Detecting surface roughness and moisture variations in deserts. Second ERS-1 Symposium. Hamburg, Germany.

J.F. Dallemand, J. Lichtenegger, V. Kaufmann. (1993)ERS-1 SAR and optical data for land use/land cover mapping: a case study in a savannah zone of Guinea. Second ERS-1 Symposium. Hamburg, Germany.

Salinas de Salmuni G., Lund M. I. y F. Maldonado, 1994. "Delimitación de áreas de cultivo en los Departamentos de Angaco y Albardón, San Juan, Argentina, mediante la utilización de imágenes satelitales". Conferencias y resúmenes: 278-284. Coloquio internacional SPECTEL'95. La Serena. Chile.

Salinas de Salmuni, G., Lund M., Maldonado F. y M. Puertas, 1994. Carta de Cobertura Vegetal y uso del suelo Agrícola obtenida mediante procesamiento Digital de Imágenes Satelitarias". Segunda Reunión de preparación y uso de los Mapas Temáticos. Memorias. Cons.de Geol.Aplic.a la Ing. Univ.Nac.de San Juan.

Ibáñez G., Salinas G., Lund M. y F. Maldonado, 1995. "Análisis de áreas salinizadas del Valle de Tulum, mediante el uso de Imágenes Landsat TM ". Resúmenes y Conferencias. VII Simposio Latinoamericano. México.

Salinas de Salmuni, Graciela (1995) : "Planning and Management for Sustainable Development, a case study in the Valley of Tulum", Ponencia presentada a la UN - ESA Regional Conference on Space Technology for Sustainable Development and Communications, organized in cooperation with the Government of México.-

Damiao D.P. y H.J.H. Kux. 1996. Analise comparativo de imagens TM/Landsat e SAR/ERS-1 Multitemporais, na Regiao de Guaira, SP. CD VIII SBSR/workshop/sessao temica radar/. VIII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Salvador, BA.



APLICACIÓN DE IMÁGENES ERS-1 AL ESTUDIO DE LA DEGRADACIÓN DE TIERRAS EN EL GRAN BAJO ORIENTAL DE VALLE FÉRTIL, SAN JUAN, ARGENTINA.

Francisco Maldonado, Graciela Salinas de Salmuni, José Maraz, Cristina
Puigdengolas.

Centro de Fotogrametría, Cartografía y Catastro. Universidad Nacional de San Juan
Dir: Laprida 1130 (o) - Cp: 5400 - San Juan - Rep. Argentina
Te: (54-64) 211700 - int: 341. Fax: (54-64) 213672. E-mail: teledet@unsj.edu.ar

ABSTRACT

The region under study is located at the Valle Fértil District in the Chaco Arido region. Its main economic activity is the extensive cattle raising, and in a lower degree, the natural forest exploitation. These activities affect mainly the "dry tropical forest". At present, a study of the region desertification is being carried out. During the first stages of the projects, 1993 , a MSS image was used for the three environments occurring in the area: mountain range, mountain foot and plain deposits (alluvial plains, dunes and mudholes), performing a chart of the vegetal coverage. Then, with a Landsat TM image of 1987 the subzones within the dry tropical forest were established to locate and quantify the different states of the forest. Besides, a good view of analyzed features, tonalities and patterns in relation to hydric erosion was achieved.

This research work shows the results obtained using radar images ERS-1. To carry out this study an area placed at the alluvial plain to the north of Gran Bajo Oriental was chosen.

It is within a "shrub-like place with arboreal emergentes" which has 40% or most of bare soil. The use of radar images allowed to discriminate I) Zones characterized by a moderate roughness like the "stream bed filling zone" where the fine material carried away by the hydric erosion fills stream beds and depression, smoothing the soil surface and diminishing the vegetal coverage because of less water percolation and II) a zone of low roughness, the "bañados" areas, produced in the initial stages of hydric erosion by rain, because of the laminar flow of water containing fine material and nutrients from the hight zones, where the major loss of fertile soil by laminar and deep erosion is produced.

During the initial stages of hydric erosion Landsat images are not able to detect minor vegetacion changes. However, significant changes in roughness do occurs. So, the synergism produced by the combined use the information supplied by Radar and Landsat images, allows to clearly detect this initial states of hydric erosion in the alluvial plain of the "semiarido",

thus contributing to a better way of handling the natural rangelands and also to a modelation of areas evolution.

At present digital images processing, specially the use of filters, are aimed to differentiate the major excavation zones" which characterize the stage of avanced erosion.

RESUMEN

La zona bajo estudio, se encuentra en el Departamento Valle Fértil en el Chaco Árido de la Rep. Argentina, la principal actividad económica es la ganadería extensiva y en menor importancia la explotación del bosque natural. Estas actividades afectan principalmente al "bosque tropical seco". Actualmente se está llevando a cabo un estudio integral de desertificación en la región. En las etapas iniciales del proyecto, año 1993, se trabajó con una imagen MSS del año 1986 en los tres ambientes presentes en la zona bajo estudio: cordón montañoso, depósitos de pie de monte y llanos (llanura aluvial, médanos y barreales). Se realizó una carta de la cobertura vegetal. Luego, con la imagen Landsat TM del año 1987 se delimitaron las subzonas dentro del "bosque tropical seco" para localizar y cuantificar los diferentes estados del bosque. Además, se logró una buena visualización de los rasgos analizados, tonalidades y texturas relacionados con los fenómenos de erosión hídrica que actúa como un poderoso agente destructor por la escasa cobertura vegetal de estas zonas áridas, disminuida por la tala y sobrepastoreo. Este trabajo muestra los resultados del estudio realizado utilizando imágenes radar (ERS-1). Para realizar este estudio se seleccionó un área ubicada en la llanura aluvial, al norte del Gran Bajo Oriental, dentro de un "arbustal con emergentes arbóreos" que tiene un porcentaje de suelo desnudo del 40% ó mayor.

El uso de imágenes radar en este estudio permitió diferenciar: I) las zonas caracterizadas por una rugosidad media, como la zona de "colmatación de cauces", donde el material fino arrastrado por la erosión hídrica ocupa los cauces y bajos suavizando la

superficie del terreno y disminuyendo la cobertura vegetal por pérdida de la infiltración y II) una zona de rugosidad baja, las áreas de "bañados", que se producen en los estadios iniciales de la erosión hidrálica, fertilizadas durante las lluvias, por la escorrentía laminar de agua cargada de material fino y nutrientes provenientes de las zonas altas donde se produce la mayor perdida del suelo fértil por erosión laminar y profunda.

En los estadios iniciales de la erosión hidrálica, las imágenes Landsat no detectan los cambios poco significativos de vegetación. Sin embargo, se producen cambios importantes en la rugosidad. Por lo tanto, el sinergismo producido por el uso combinado de la información que aportan las imágenes Radar junto con las de imágenes Landsat TM, permite detectar claramente este estadio inicial de erosión hidrálica en la llanura aluvial del "semíárido", constituyendo un aporte a las formas de manejo de los pastizales naturales y a la modelación de la evolución de las áreas. En la actualidad los procesamientos digital de imágenes, especialmente el uso de filtros, están orientados a diferenciar las "zonas de carcavamiento" que caracterizan un estadio de erosión avanzado.

1-INTRODUCCIÓN

Las actividades más importantes de la región es la explotación bovina de cría y caprina de subsistencia, y en menor medida la tala de los relictos del bosque seco. La explotación desmedida, que ha sufrido la zona desde principio de siglo a causado de la disminución de la productividad de los campos, a la que se ha sumado el actual sobrepastoreo.

La actividad ganadera afecta la región en forma dispar debido que no existe un manejo de la hacienda apoderando los campos mediante alambrados. El ganado en su actividad de pastoreo, se mueve en relación a la "aguada" (abrebadero) que frecuenta, junto a la que también, generalmente se encuentra el asentamiento humano. De esta manera, las zonas que rodean a las aguadas son las más presionadas y las que cuentan con el mayor porcentaje de suelo desnudo. Esta situación, produce una zonación en la dirección de la pendiente debido al proceso de erosión-deposición (Salinas et al., 1996). Teniendo en cuenta las aguadas como centro, solo se observa una zonación radial de la composición de las comunidades vegetales (Marquez J. et al., 1996). Generalmente encontramos pendiente arriba de las aguadas las Tierras de Cárcavas, donde se ha producido la erosión más severa, los perfiles del suelo han sido destruidos, excepto entre cárcavas, (Aguilo Alonso, 1992), donde se observan los peladeros producidos por la muerte de gran parte de las plantas y

solo vegetados los cauces y carcavas (Salinas et al., 1996). Pendiente abajo en las Areas de Colmatación, se generan severas condiciones para la vida vegetal, tales como pérdida de la infiltración y la salinización. Además los procesos degradatorios se producen a gran velocidad, por lo tanto, generalmente se elimina casi por completo la cobertura vegetal quedando solo algunas especies de la comunidades como las del género Atriplex ("zampa"), muy resistentes a la sequía y sales. (Kiesling et al., 1994).

En las etapas iniciales del proyecto, en 1993, se trabajó con una imagen Landsat sensor MSS. Luego, en una se dispuso de una imagen Landsat TM con fecha de marzo de 1987 con el propósito de lograr la delimitación de los ambientes presentes en la zona teniendo en cuenta principalmente la disposición y tipo de la cobertura vegetal.

Las imágenes radar son sensibles a los cambios de rugosidad de la superficie de los campos y esta condición, en la llanura aluvial, cambia por efecto de la erosión.

En este trabajo se analizará la sensibilidad de las imágenes ERS-1 de invierno a los cambios de la superficie de los campos producido por el proceso de erosión-depositación de la llanura aluvial.

2 - MATERIAL Y MÉTODO

- MATERIAL

- Una imagen ERS-1 correspondiente a órbita 4621-4239 con fecha 3 de junio de 1992. Además, una imagen LANDSAT, sensor TM correspondiente a la órbita 231-081, con fecha 5 de marzo de 1987.

Se trabajó con un Sistema de Procesamiento digital de Imágenes ERDAS IMAGINE 8.2

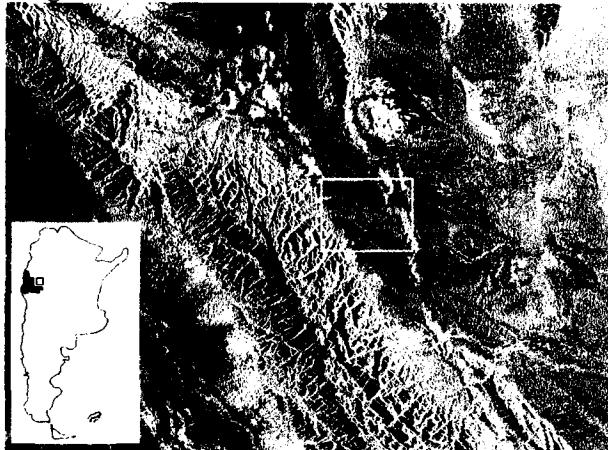


Figura 1- Ubicación de la zona de estudio.

- Zona bajo estudio, es un sector de la llanura aluvial entre Baldes del Rosario y Usno, al norte del Gran Bajo

Oriental del Departamento Valle Fértil, Provincia de San Juan, República Argentina (Figura 1).

Tiene una extensión de 60.000has, está ubicada dentro de una depresión tectónica con una pendiente media de 3%, al pie del cordón montañoso, Sierra de Valle Fértil, de altura media de 1200m, de rumbo predominante NNO-SSE.



Fig.2-“Tierras de Cárcavas”.

El suelo es en general limoso a limo-arcilloso, el clima predominante es Semiárido con lluvias de alrededor de 200mm anuales que se registran solo durante el verano, con frecuencia en forma torrencial.

Este área se encuentra dentro de la Formación del Bosque Tropical Seco (Strassburger, 1993), en la Provincia Fitogeográfica del Chaco Árido (Cabrera, 1994). El ambiente característico es el del Llano Forestal y el Algarrobal (Marquez et al., 1995).

Dentro del bosque degradado encontramos tres ambientes de interés para este trabajo:

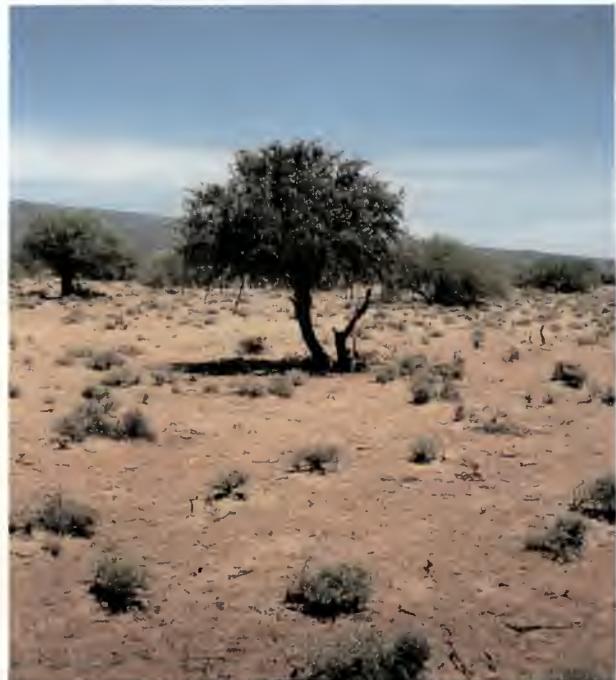


Fig.3 - “Zona de colmatación de bajos y cauces”. En la figura se observa en segundo plano un “atamisque” (*Capparis atamisquea*) especie leñosa acompañante del bosque de “algarrobo” (gen. *Prosopis*), sin valor económico.

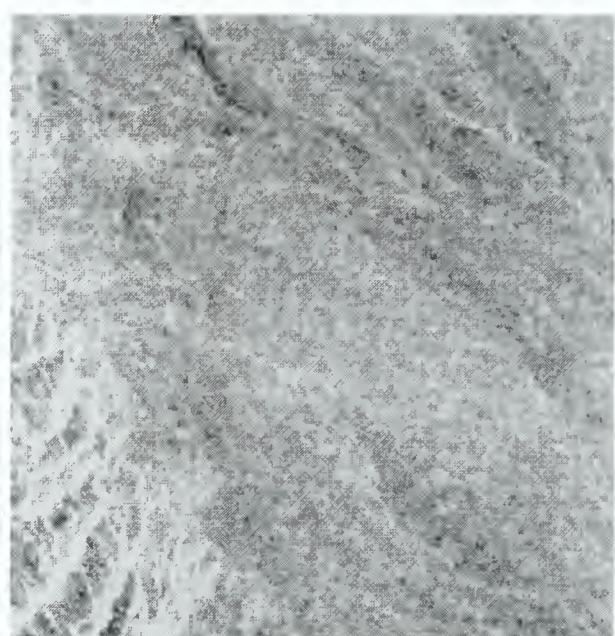
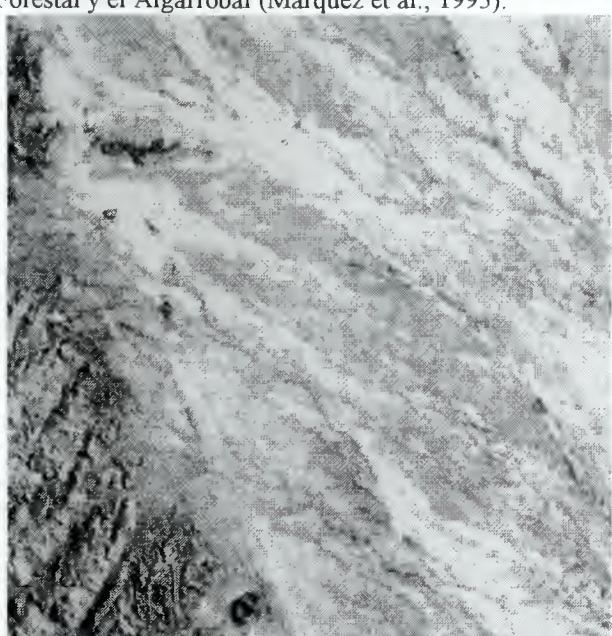


Figura 4. 4a- Imagen Landsat TM 4,5,3. ; 4b-ERS-1 de la misma zona.

- 1- La zona de **Tierras de Carcavas**, donde se ha producido la erosión más severa, los perfiles del suelo han sido destruidos, excepto entre cárcavas (Aguilo Alonso, 1992).
- 2- La zona de “**bañados**”, denominada así porque en ella se produce una forma local de cultura agrícola, caracterizada por el cultivo de hortalizas regadas por el agua de escurrimiento durante las lluvias (Figura 6b).
- 3- La tercera zona “**de colmatación de bajos y cauces**”, donde el material fino por la acción combinada de dispersión de las gotas de lluvia y la de acarreo del escurrimiento, se moviliza hacia los bajos topográficos depositándose en las pequeñas ondulaciones del terreno y en los pequeños cauces (Evans R., 1980)(Figura 3).

-MÉTODO

Para lograr una buena visualización de los rasgos analizados de tonalidades y texturas relacionados con los procesos de erosión-deposición, se realizó el **Procesamiento Digital de Imágenes Landsat TM y ERS-1**

Las escenas de las imágenes ERS-1 fueron georeferenciadas utilizando escenas de la imagen Landsat TM georeferenciadas. La ubicación de los puntos de control fue muy dificultosa debido al efecto speckle. A pesar de no contar con un Modelo digital de terreno los resultados obtenidos fueron satisfactorios gracias a que el área es muy plana.

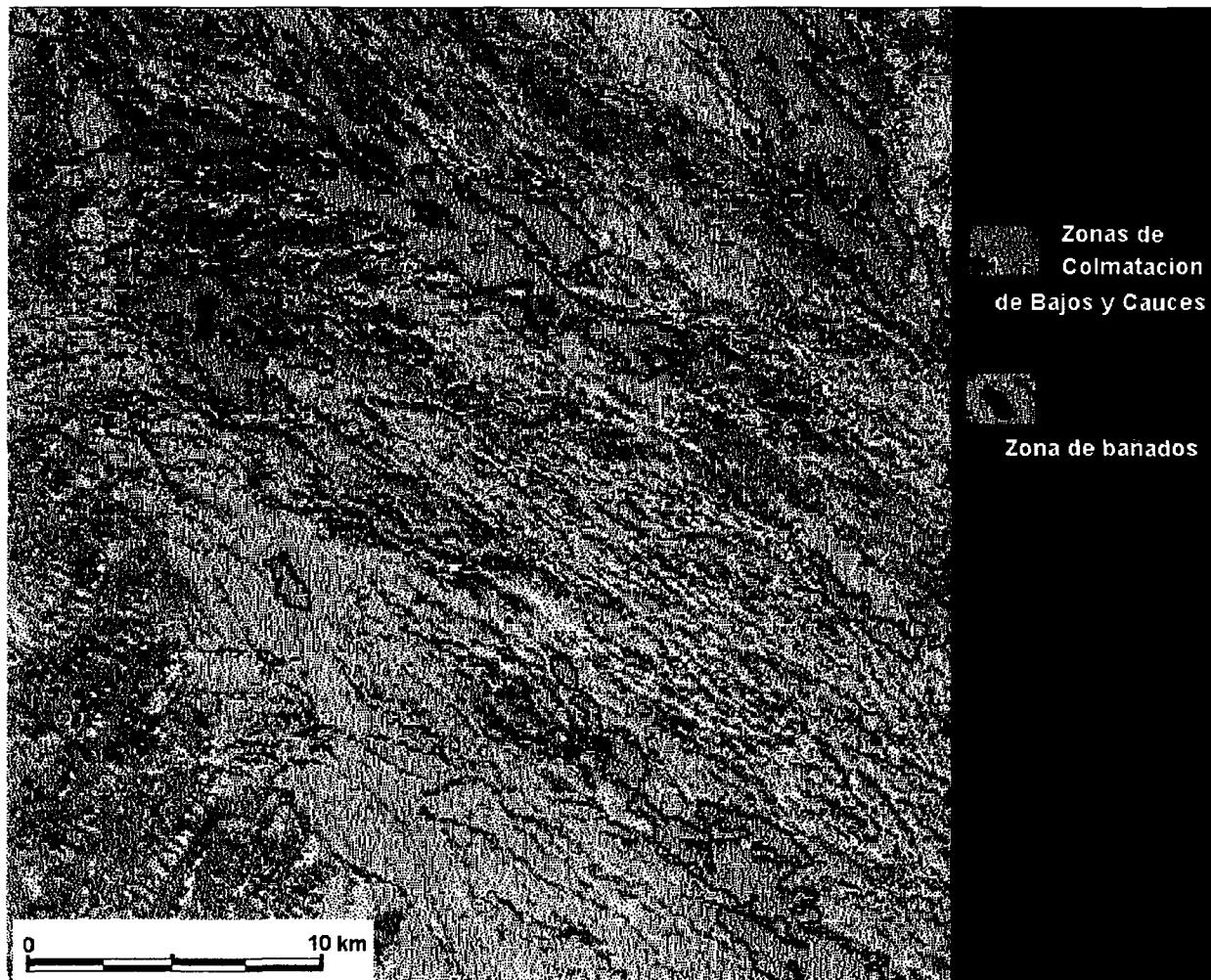


Fig. 5 - Zona de Bañados, baja rugosidad y Tierra de colmatación de bajos y cauces, con suelo desnudo rugosidad media y vegetación xerofila y halofita.

Se ensayaron varios tipos de filtros - Lee, Frost y Map - para disminuir el efecto Speckle y se realizó un análisis visual. Finalmente se aplicó el filtro Frost con una

ventana de 3x3 (Gagliardini, com. pers.) por considerarse el mas adecuado. Luego, se georeferenció la imagen ERS-1 y se utilizó la transformación IHS

como método para combinar la información óptica con la radar a la imagen landsat 4,5,3; Luego se reemplazó la saturación por la imagen Radar. Por último se transformó nuevamente a RGB para la interpretación (Damiao y Kux, 1996).

5-RESULTADOS

Dentro de la zona clasificada con Landat TM en una sola "Clase" con el maximo porcentaje de suelo desnudo, en ERS-1 se diferencian, en gris negro las zonas de bañados, en gris medio a oscuro las zonas de colmatación de cauces con poca rugosidad.

En la imagen radar de la figura 4b se observa una notable homogeneidad en la textura y tonalidad en areas donde los trabajo con Landsat TM y de supervisación de campo clasificaron grandes diferencias en la cobertura vegetal y ambiente.

En la imagen producto de la combinación de la información de Landsat TM y la información radar de ERS-1 (Fig.4), se observa una zonación dentro de las areas con mayor porcentaje de suelo desnudo.

Del análisis realizado se puede diferenciar dos zonas, siguiendo la dirección de la pendiente las *Zonas de Bañados* marcadas en negro y las *Zonas de colmatación* en grises claros sin texturas, de la Figura 5 y 6)

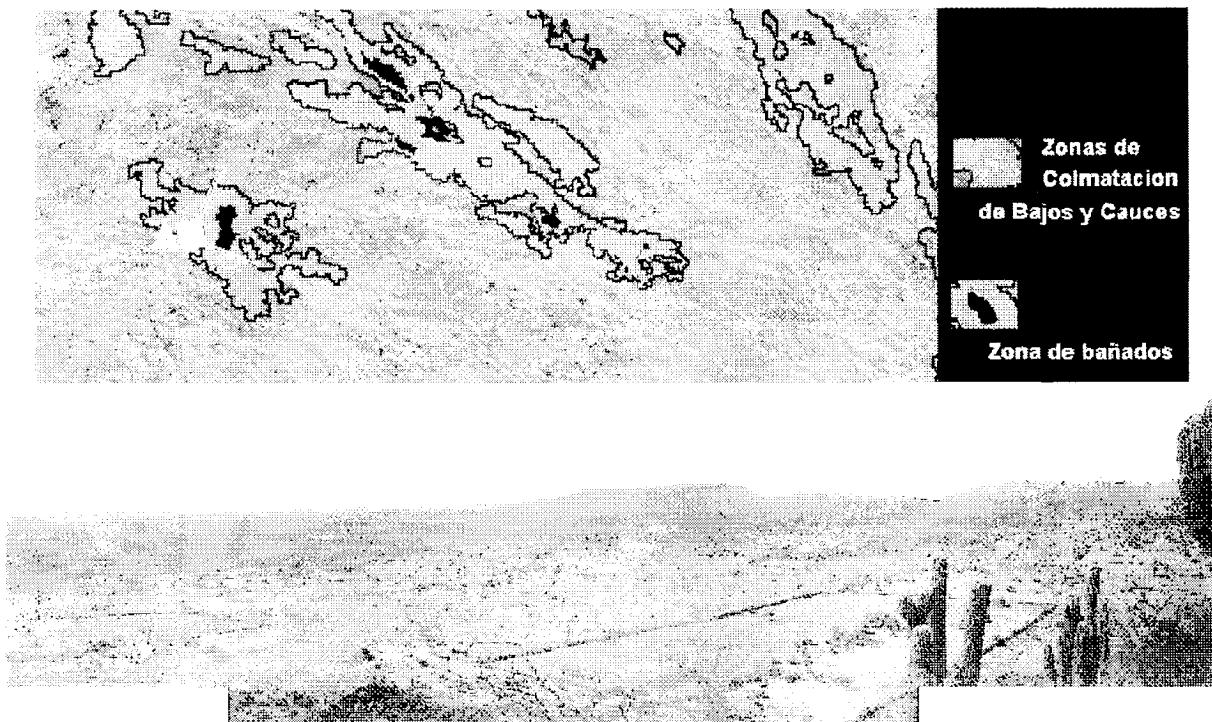


Figura 6: 6a- Delimitacion de la zona de colmatacion y zona de sacrificio, dentro en negro la zona de bañados.
6b- Vista panoramica de la zona de colmatacion de la imagen dese el punto A, en primer plano un bañado en epoca de invierno.

6- CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Las imágenes Landsat tienen dificultad en diferenciar las zonas de bañados, de las de colmatación y de sacrificio. La combinación con ERS-1, en estas, parece aportar la información temática más importante, ya que los cambios en la rugosidad de la superficie están muy asociada con la erosión hídrica y la deposición de sedimentos.

Las zonas de bañados tienen una rugosidad baja, permitiendo diferenciarlas fácilmente.

Las zonas de sacrificio con gran porcentaje de suelo desnudo y rugosidad media.

La imagen combinada de Landsat y ERS-1 podría discriminar clases dentro de las zonas de colmatación, ya que algunas están ocupadas por arbustos del género *Atriplex*, los que dificultan las discriminaciones de las áreas por el porcentaje de suelo desnudo, por sus características foliares (Salinas et al.¹, 1995).

La imagen combinada de Landsat y ERS-1 parece también mostrar la zona de grandes cárcavas (colectores), donde la vegetación tiende a cicatrizar sus orillas observada por altos valores en la banda 4 de Landsat TM que se ven realzadas (sinergismo) por la

los valores altos de la imagen Radar, debido a por la alta rugosidad (cáravas vegetadas, etc.).

El conocimiento aportado por el procesamiento de las imágenes combinación de Landsat TM y ERS-1, mejorará la forma de manejo y recuperación de los campos forestales y de pastoreo, en las llanuras aluviales del árido y semiárido.

6 - AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos expresar nuestro agradecimiento a la ESA (Agencia Espacial Europea) por habernos provisto de la imagen ERS-1 utilizada para este trabajo y muy especialmente a CAERCEM por la recepción y graficación de las mismas.

7-BIBLIOGRAFIA

-Aguilo Alonso M., et al. **Riesgos Derivados de los procesos naturales**. En: Guía para la elaboración de estudios del Medio fisico. Pag.556-585. Sec.Est.Polit.de Agua y Medio Amb. Min.Obr.Public.y Transp. Centro de Public. España. 1992.

- Cabrera, Angel L. 1994. "Regiones Fitogeográficas Argentinas". pp18-28. Tomo II.1ºReimp. Ed. Acme. Buenos Aires.

- Damiao D.P. y H.J.H. Kux. 1996. **Analise comparativo de imagens TM/Landsat e SAR/ERS-1 Multitemporais, na Regiao de Guaira, SP.** CD VIII SBSR/workshop/sessao tenica radar/. VIII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Salvador, BA.

-Evans R. 1980. **Mecanismos de la erosión hídrica y sus controles espaciales y temporales: un punto de vista empírico**. Soil Erosion. Cap 4: 141-163. Kirkby y Morgan. Ed. Jhon Wiley y Son. Mexico.

-Kiesling R., et al. **Flora de San Juan. República Argentina**. Vol. (1): 350. Ed.Vazques Mazzini. Bs.As. Argentina. 1994.

-Marquez J., Pastran M., Maldonado F. y S. Ortiz. 1995. **Sphaeralce breipes (Malvaceae), Xeroaloysia ovatifolia (Verbenaceae) y Justicia gilliesi (Acanthaceae). Arbustos de importancia forrajera en el Chaco Arido del Departamento Valle Fértil (San Juan-Argentina)**. Ciencias 4 (6): 19-23. F.C.E.F.y N. UNSJ. San Juan. Argentina.

- Marquez, J. et al. 1996. "La desertificación en el Gran Bajo Oriental del Departamento Valle Fértil. Estado de situación y propuestas." Informe Final. CICITCA. UNSJ. San Juan. Argentina.

- Salinas de Salmuni N.G., Maldonado F. y M.C. Puertas¹. 1995. **Mapeo de la degradación de Bosques mediante procesamiento digital de Imágenes Landsat MSS y TM.- Segunda Reunión de preparación y uso de los Mapas Temáticos. Consejo de Geología aplicada a la Ingeniería**. San Juan.

- Salinas, N.G., Marquez J. y F. Maldonado. 1995². **Aportes del procesamiento digital de imágenes al estudio de la desertificación en el Gran Bajo Oriental de la Provincia de San Juan**. Resúmenes y Conferencias. SPECTEL'95. La Serena Chile.

- Salinas de Salmuni G., Maldonado F., Ibañes G. y M. C. Puigdengolas. 1996. **Delimitation of hidric erosion in the alluvial plain of Valle Fertil. San Juan. Argentina**. CD VIII SBSR/comunicaciones/. VIII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Salvador, BA.

- Strassburger E. et al., 1993. **Tratado de Botánica**. 32º edición. 348-349. Ed Omega. Barcelona.

ERS-1/2 AGRICULTURAL MONITORING EXPERIMENT IN ENTRE RIOS ARGENTINA

H. Mehl*, J. Aiello****, A. Brizuela****, O. Peinado***/**, J. Kuba*****

* DLR (Deutsche Forschungsanstalt für Luft-und Raumfahrt)
 ** AGF (Arbeitsgruppe Fernerkundung, Ludwig Maximilians Universität)
 *** CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales)
 **** UNER (Universidad Nacional de Entre Ríos)

Harald Mehl **
Luisenstrasse 37 - 80333 Munich - Alemania
Fax: +49 89 5203 393 e-mail: harald.mehl@dir.de

SUMMARY

The objective of this project is to obtain accurate and updated information of the agricultural production, that it is of vital importance for the decision makers in the different administration levels of the agriculture in Argentina. In particular the characteristics of the agricultural production in the area of Chilcas, province of Entre Ríos, demand at present statistics for monitoring, control and estimate of the production and the technique of remote sensing is one of the means to carry out this objective. The advantage of the ERS-1 / 2 images for the detection and operational monitoring in the field of the agriculture, as well as the conditions and changes of the use of the soil must be studied.

Monitoring and multitemporal classifications in agriculture to regional and local scale will be accomplished using SAR images of the ERS-1/2 sensor together with optical data, using the advantages of their spectral signatures and the physical properties of the radar data to have in the future a base tool for multitemporal continuous studies, and furthermore to determine the type and extension of the crops, with field data perfectly coordinated with the different scenes, as well as stages and growth cycles, humidity and roughness of the soil. With the aim to determinate small vertical changes in the crops and soils the technique of differential interferometry will be used. Then, a model in 3D will be build in order to observe the erosion dynamic of the creeks in the area. The project involve three principal areas: Remote sensing, in charge of AGF /DLR, Geographic Information System, in charge of CONAE and Monitoring and Field work, in charge of the UNER. The communication and data exchange among the participants is carried out in a very efficient way through INTERNET, with CONAE as focal point.

All the results, together with meteorological statistics and field data, will be introduced in a Geographic Information System with the aim to produce an Information System for the Agriculture in the study zone and in the future for other agricultural areas of Argentina.

1. INTRODUCCION

Entre Ríos integra el área agroproductiva nacional participando con importantes volúmenes de producción animal y vegetal destinadas, fundamentalmente, a satisfacer necesidades de alimentación de la región y de otros mercados. Trigo, maíz, soja, arroz son algunos de los cultivos de relevancia económica. La información sobre la producción agropecuaria, no está disponible en el momento de tomar decisiones y ejecución de planes; lo que ocurre tanto en el ámbito estatal como privado. No hay dudas en cuanto a la necesidad de contar con estadísticas seguras y confiables. Los procedimientos convencionales para obtenerlas son costosos, lentos, poco precisos y no resultan adecuados para realizar seguimientos y estimaciones de la producción. Datos de satélites con una buena frecuencia de cobertura y los de campo, obtenidos simultáneamente sobre el terreno, van a ser utilizados para monitorear y actualizar las estadísticas agrícolas. Estos datos van a ser integrados en un Sistema de Información Geográfica orientado a los recursos agropecuarios para ofrecer una respuesta a las demandas de información.

La construcción de un GIS, de estas características, será el resultado de una serie de pasos que van desde la concepción (Cómo será ?, Para quién ?), diseño (Estructura ?, Escaia ?, Flujo de datos ?, Productos ?) y operación (Entrada de datos ?, Análisis ?, Informes ?). Sobre el uso de este GIS puede considerarse, que hay

pocas aplicaciones operativas, las fuentes de datos base están dispersas y los usuarios potenciales presentan perfiles disímiles. Hay escasa vinculación entre las instituciones tomadoras y proveedoras de datos, falta de homogeneidad en los formatos de intercambio de datos, además de diferentes niveles de interés, y destinatarios, que van desde un 'productor' hasta un gobernante. El primero decide 'actividades' y el segundo 'políticas'. El GIS propuesto para Chilcas estará dirigido a nivel de empresa o institución que deciden 'proyectos' y 'programas'. Se piensa en un GIS agrícola que sirva para obtener información temporal y espacial de tal manera que, se pueda efectuar un adecuado diagnóstico de la situación agrícola en el Distrito.

Los productos que se obtengan significarán respuestas a cuestiones del tipo: *Qué pasa con...?, Cuánto hay ?, Donde está ?* Por ejemplo: Qué pasa con la erosión en ..?; Qué pasa con el cultivo de trigo ..? y deberá darse algunas respuestas a *Qué pasará con...?, Cuánto habrá ?* El interesado podrá disponer de datos orientadores en el proceso decisional, total o parcialmente actualizados, del entorno (regional) y del lote (particular) representativo. El usuario podrá solicitar además al sistema datos con diferentes niveles de desagregación para conocer 'como son las cosas' a nivel macro y sondear otros detalles, no exhaustivos sino representativos.

2. AREA DE TRABAJO

Como área se eligió el distrito de Chilcas ubicada en la provincia de Entre Ríos con coordenadas 32° 13' y 32° 21' latitud Sur y entre los 60° 20' y 60° 08' de longitud Oeste. Los límites físicos son, el Arroyo Chilcas al Este, el Arroyo del Doll y el camino que bordea por el Norte al Arroyo Tala al Noroeste y Aranguren al Noreste. El distrito comprende un área de 20 Km X 20 Km y se han definido 11 zonas que van de la Zona A hasta la Zona K

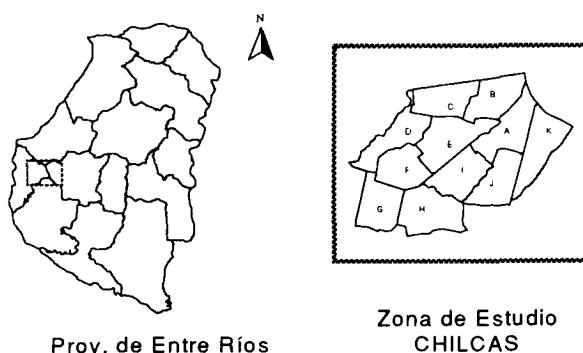


Gráfico 1: Área de trabajo y zonificación

3. SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG)

A continuación se detallan los puntos que constituyen el Sistema de Información Geográfica y los temas a tratar por el mismo.

- Validación para cada uno de los algoritmos utilizados para las áreas con trabajo de campo: cuantificación y estadísticas de los errores de cada uno de los algoritmos.
- Elaboración de mapas temáticos para la región CHILCAS y sus alrededores.
- Elaboración de mapas de riesgos: de erosión, de humedad, etc.

Al presente estado del proyecto se encuentran digitalizadas tres zonas: B, D e I con sus correspondientes codificaciones (gráfico 1). El relevamiento de campo se hará para un determinado tipo de variables agronómicas y que a continuación se definen (ver 4.3). Cabe aclarar que ello se hará para una limitada cantidad de lotes en que cada zona se encuentra dividida, y que resultan un muestreo típico a que serán sometidas todas las zonas en el futuro desarrollo del proyecto. Otra alternativa que se va a estudiar en el futuro es que dichos lotes sean fijos geográficamente siendo representativo en el sentido estadístico de la actividad agropecuaria del distrito de Chilcas. Cada una de las variables constituye un campo de cada registro de la Base de Datos que se asocia a las coberturas del SIG antes mencionado. Se ha decidido que para cada salida a campo se define una nueva Base de Datos identificándola mediante la fecha de salida. Esta modalidad lleva a una continua puesta al día de los parámetros que rigen el proyecto y facilita la interrogación de las diferentes variables.

4. COMPONENTE TRABAJO DE CAMPO

Las actividades de campo implican visitas periódicas a lotes seleccionados en Chilcas. Se prevé tomar tres grupos de 30 lotes (conglomerados) que serán visitados cada 15 días -si es necesario- se efectuarán observaciones de cultivos, suelo y otras como se indica abajo. También se tomarán fotografías de lotes con cultivos representativos de la época, del lugar y del estado fenológico y general. Los parámetros a estudiar son:

- Tipo de cultivo: Interesa conocer la relación entre el cultivo y la respuesta de la onda de radar.
- Estimación de área sembrada: Se trata de mejorar las estimaciones complementando los datos con los de los satélites Landsat y Spot. Se examinará la precisión usando los datos de radar ERS-1/2.
- Condición del cultivo y rendimiento: estudiar la

- capacidad de proveer información sobre la condición de los cultivos y probables rendimientos (sobre la base de datos multitemporales, fenológicos y otras observaciones en el terreno).
- Cambios en el suelo y morfología: Combinando datos Landsat TM -para unidades pedológicas- y ERS-1/2 -para morfología y dinámica de las propiedades físicas del suelo-. Interesa estudiar aspecto y patrones de drenaje, erosión, cambios estacionales en la humedad del suelo, efecto de la rugosidad y ángulo de incidencia en la ondas de radar.

Mas allá del presente trabajo existe una dinámica muy importante en las herramientas de los SIG que se manifiesta en los nuevos software. Una de estas nuevas herramientas son los módulos objetos con aplicación en SIG que son posibles de utilizar en entornos bajo windows del tipo Visual Basic como OCX. Esto trae como beneficio la posibilidad de implementar programas con la misma potencia que los softwares específicos para SIG pero sin el problema del costo que implica su adquisición.

4.1 Actividades realizadas en los últimos meses.

Se llevaron a cabo una serie de actividades 'de campo' propiamente dichas y 'de gabinete' previas o posteriores. El trabajo de campo representa una de las componentes fundamentales e imprescindibles para obtener resultados valederos en el relevamiento de recursos naturales utilizando sensores remotos. Lo que sigue es una síntesis de lo realizado: (Tabla 1)

Actividad	Periodo	Tipo de datos obtenidos	lotes
Observ. cultivos de Inv. y Ver	Nov y Dic/95	Uso del suelo	126
Observ. cultivos de verano	Feb a Jun /96	Uso del suelo	322
Selección de lotes suelo desnudo	Abr y May /96	Ubicación lotes	54
Obtener muestras de suelo (5 cm)	27,28 Abr/96 1,2 Jun/96	Humedad sup. Humedad sup.	30 24
Tomar fotografías del lote (2 c/u)	27,28 Abr /96 1,2 Jun /96	Estado gral. cult. Estado gral. cult.	30 28
Digitalizar Chilcas por 'zonas'	Mar - cont/96	Archivos digit. de 3 zonas (D, B, I).	250
Actualizar base de datos.	Nov/95 - Jul /96	Uso del suelo según planilla	486
Definir tres 'zonas' para prox. campaña	Jun-Jul /96		

Tabla 1: Actividades realizadas

4.2 PLANIFICACION

Se contó con la digitalización de los lotes del área piloto realizada sobre fotografía aérea escala 1:40.000 de enero de 1993. Se dividió el Distrito en 11 zonas y en cada una de ellas se numeraron los lotes. Para el cronograma de visitas se conformaron equipos de relevamiento de dos personas y se establecieron los días de salida y lotes a visitar en cada una de ellas. Cada grupo contó con el material necesario para la tarea:

- Planillas de campo.
- Zonas y lotes digitalizados.
- Cartas IGM escala 1:100.000 y 1:50.000
- Fotogramas escala 1:40.000 blanco y negro.

4.3 PLANILLAS DE CAMPO

Consta de un encabezamiento donde se indican los datos de la codificación del lote (Departamento, Distrito, Zona y Número de lote), la actividad y fecha de la visita. Luego se presentan las características del suelo (color, humedad, pendiente, textura, accidentes y estado), cada una de ellas con distintas alternativas preestablecidas para que el observador elija la más acorde de acuerdo a su criterio técnico. Posteriormente se presentan tres alternativas según la ocupación del lote: Suelo desnudo, lote sin cultivo, lote con cultivo.

- Suelo desnudo: Tipo de labranza
- Lote sin cultivo: Especies de vegetación que ocupan el lote, cobertura y color dominante.
- Lote con cultivo: Tipo de cultivo, cobertura, altura de plantas, estado fenológico, condición color, sanidad, presencia de malezas.

Cada planilla de campo está conformada de manera tal que el observador sólo debe indicar la característica correspondiente a cada ítem especificado eligiendo la opción de una serie de alternativas preestablecidas. Esto permite la homogeneización del tipo de datos relevados y disminuye en cierta medida la subjetividad.

4.4 RECOLICACION DE DATOS A CAMPO

Desde fines de Noviembre a principios de Junio se realizaron 21 visitas y fueron recopilados datos de 468 lotes de un total de 930. Luego de cada salida los datos son ingresados a una base de datos cuya estructura responde a la configuración de la planilla de campo. En un primer análisis se encontró que el 43,5% del total de lotes visitados estaban cultivados, los demás son campos duros o naturales destinados a ganadería o lotes con suelo trabajado en preparación para la próxima campaña. Considerando la totalidad de lotes cultivados el 30% correspondió a soja, el 4% a girasol, 4% a sorgo granífero,

10% a maíz, el 8% a verdeos de invierno y verano y el 39,3% a praderas artificiales.

Para analizar la efectividad de las características que brinda el radar con respecto a los sensores ópticos se programaron 4 salidas coincidentes con los días de pasaje del radar. Se seleccionaron previamente 30 lotes que presentaban suelo descubierto (arado, rastreado o sembrado). El día 27 de Abril se visitaron estos lotes para la extracción de muestras de los primeros 5 cm de suelo con el objeto de determinar humedad; se tomaron 2 fotografías, una con vista general (paisaje, pendiente, erosión) y otra que muestra en detalle la rugosidad del suelo y tamaño de los terrenos. El día 28 de Abril se presentó lluvioso y por lo tanto no fue posible la extracción de muestras de suelo, sin embargo se tomaron fotografías donde se observaba el escurrimiento de agua. Los días 1 y 2 de Junio se repitió el procedimiento anterior en 24 lotes. La digitalización de los lotes sobre la base de un mapa temático, rectificado, realizado por el Grupo I Aerofotográfico de la II Brigada Aérea Paraná en escala 1:20000. El soft utilizado para este propósito es TOSCA 2.12. Se procedió a obtener los puntos de control en coordenadas Gauss Krüger y se realizó la digitalización de las zonas D, B e I generando archivos vectoriales de cobertura. Estos archivos fueron enviados a CONAE donde se convirtieron a formato ArcInfo para ser desplegados en ArcView. Luego se incorporó la base de datos de campo a la vista para que los mismos sean desplegados cuando se indague por algún lote en especial.

4.5 PLAN DE CAMPAÑA 96/97

La nueva modalidad en el trabajo de campo será considerando tres grupos de lotes (30 por grupo o conglomerado) de los que se llevarán registros (planillas más elaboradas incluyendo por ej. estado general del cultivo). Durante el ciclo se observarán los mismos lotes de cada grupo, cada 15 días aprox., las bases de datos de actualizarán inmediatamente (1-2 días). Se obtendrán otros datos de interés, con radiómetro -esporádico-, humedad de suelo, fotografías de lotes representativos.

5. TELEDETECCIÓN

Debido a los problemas en la recepción de imágenes de parte de la antena de Cuiabá en Brasil, sólo se han recibido 3 imágenes (de las 16 confirmadas por la ESA y con un tiempo de espera de 14 meses). No obstante con estos pocos datos se trabajó intensamente en probar diferentes filtros, métodos de corrección radiométricos y se hizo una imagen multitemporal para la integración GIS - Teledetección. Las imágenes recibidas hasta la fecha son (Tabla 2):

Fecha	24.07.94	13.05.95	17.06.95
Tipo	SLC / PRI	SLC	SLC
Frame	4257	4257	4257
Track	842	482	482
Resolución	23 m / 12,5 m	23 m	23 m
Angulo de Incidencia	25,003°	21,579°	21,579°
coef. de var.	0,185448/0,217036	0,182006	0,183047

Tabla 2: Imágenes recibidas

Como se ve entre las imágenes SLC del 94 y 95 hay un año de diferencia por lo que no se puede usar la información de fase y entre las del 95 tampoco ya que hay 35 días de diferencia lo cual hace prácticamente imposible el trabajo de interferometría (PRATI, 1990) y tampoco se puede hacer un estudio multitemporal con fines de investigación. Debido a que no se contaba con imágenes PRI (sólo 1) como para tener una imagen multitemporal se usó la información de fase e intensidad de las SLC para generar las imágenes PRI de 5 looks con el siguiente método:

- Se importaron las imágenes a Erdas Imagine teniendo en cuenta que los datos son de 16 bits con signo, por lo que al número de filas que figura en el Headers file se lo debe dividir por 4 y restarle 12 bytes por línea ya que no son parte de la imagen. Así se crea una imagen de 2 bandas de 16 bits cada una (formato BIP). (ESA, 1995)

- Dependiendo de la plataforma con la que se trabaje se debe reducir la imagen a 8 bits, ya que muchos filtros funcionan sólo en esa resolución, si es posible, es preferible trabajar con 16 bits debido a que se tiene mucho mayor información.

- La transformación a PRI es simplemente calcular la raíz cuadrada de la suma de la imágenes de fase e intensidad al cuadrado, o sea, calcular la amplitud de una imagen compleja.

- Para la corrección en Azimut se aplicó un filtro pasa bajo de 5x1 y luego se redujo en azimut 5 veces obteniendo una nueva imagen donde cada fila es el promedio de las 5 anteriores

- Luego se procedió a la calibración radiométrica de los datos usando las fórmulas provistas por la ESA en la corrección de datos PRI, que en este caso para la escena del año 94 especialmente, tiene una importancia relativamente grande. La fórmula que se usó es la siguiente (ESA, 1996 y S.Lehner 1996):

$$\sigma_0 = \frac{< I > \sin(\alpha) \text{ Image Replica Power}}{K \sin(\alpha_{ref}) \text{ Reference Replica Power}} \text{ Power Loss}$$

$< I >$ = Amplitud al cuadrado

$\sin(\alpha)$ = Ángulo de incidencia, en el centro de la imagen (entre 19.5 y 26.6 °)

$\sin(\alpha_{ref})$ = Ángulo de referencia (23°)

K = Constante de calibración, es diferente según el centro de procesamiento y la fecha, por ej. DPAF es 666110 para ERS-1 y 944064 para ERS-2

Image Replica Power = Es un factor de corrección interno que figura en el header file de la imagen.

Reference Replica Power = es una constante igual a 205229 para ERS-1 y 156000 para ERS-2.

Power Loss = Para cada pixel esta determinada por una look up table que relaciona el valor de intensidad con el valor de corrección. Es valor se determina para un área de 15 x 5 km (Instantaneous antenna illumination area).

En la zona de estudio la diferencia de ángulos entre near range y far range es de 6° 22'', considerando que es una zona plana la corrección radiométrica es del orden de +1,2 db en los extremos.

- Para el filtrado, siempre con los fines de lograr campos homogéneos para una futura clasificación multitemporal, luego de hacer unas 150 pruebas con diferentes filtros como el de Kuan, Lee, Lee-2, Frost, Lee-Sigma, filtros adaptativos desarrollados en el AGF, filtros de textura como los de desviación típica, coeficiente de variación, kurtosis, contraste, disimilitud, correlación, segundo momento angular, entropía y distintos tipos de filtros convolutivos se adoptó el filtro de MAP o máximo a posteriori. Se trabajó con distintos tamaños de ventana de 7x7, 5x5 y 3x3 y se eligió el de 3 x3. El filtro de MAP se basa en el de Lee-Sigma, por eso usa también el coeficiente de variación, que se muestran en la tabla 1 y que se aproxima bastante al valor teórico de una imagen de 6 look, recordando que en este caso es de 5 looks. Los filtros de Lee-Sigma y Lee (LEE, 1981) usan la distribución estadística de los DN dentro de la ventana que se desplaza para determinar el valor del pixel de interés. Estos filtros asumen que la media y la variancia dentro del pixel de interés son iguales a la varianza dentro de la ventana. El ruido se considera que tiene el modelo multiplicativo con media igual a 1, por lo que se le debe dar un valor de σ , el coeficiente de variación dentro de la escena de interés.

Lo que hace el filtro es maximizar a posteriori la función de densidad de probabilidad. La elección se debió a que es el que arrojó los mejores resultados trabajando con imágenes de 16 bits en la reducción de ruido sin pérdida de detalles y como es un filtro estándar ya incorporado al software resulta ideal para el trabajo en equipo vía internet que se usa en este proyecto. Debido al tipo de imágenes con la que se cuenta la aplicación de filtros en cadena no resulta conveniente por la pérdida de resolución.

- Luego se invirtió la imagen 180 ° y se hizo la geocodificación usando puntos de control de tierra, en número de 40 por imagen, que se identificaron en cada imagen y en cartas del IGM escala 1:50.000 y en cartas, también de IGM, hechas con imágenes Landsat del año 1995 libres de nubes. Es importante al hacer la geo codificación usar el método de nearest neighbor, para que los pixeles de la imagen corregida conserven el valor original. Los parámetros usados para la geocodificación fueron los de la proyección Gauss-Kruger. Lo que se hizo fue sistematizar la geocodificación como registración de imágenes de manera tal que cuando se cuente con datos se haga la registración con sólo 4 puntos y a nivel de pixel.

Procesando las tres imágenes con este método fue que se logró una imagen multitemporal que con la ayuda de datos de campo de una zona piloto, denominada zona D, dentro del distrito Chilcas se identificaron los lotes digitalizados y se determinaron algunos cambios, destacándose lotes que tenían maíz y cambiaron a plantaciones de alfalfa. Se puede distinguir claramente la zona encerrada por arroyo del Doll que el suelo tiene una textura completamente diferente que hacia el norte del mismo, donde es más arcilloso y la estructura de los campos es otra. Se ve muy bien la ciudad de Aranguren y la ruta 36 que esta asfaltada por eso se destaca al igual que la ruta provincial 11 al sur de la imagen.

6. CONCLUSIONES

En este artículo se presentaron los enormes problemas en la recepción de imágenes de la antena de Ciabá en Brasil, lo cual retrasó y complicó todo el proyecto. A pesar de estos inconvenientes se trabajó sobre distintos filtros y métodos de corrección radiométrica y se logró una imagen multitemporal para interpretación visual por el grupo de trabajo de campo y para que se pruebe la integración GIS - Teledetección.

Cuando se cuente con datos se pretende trabajar con las técnicas de interferometría e interferometría diferencial y clasificaciones multitemporales usando datos de sensores ópticos y de Radar con técnicas de fuzzy logic y ancillary data. La combinación con otros sensores puede ofrecer interesantes posibilidades en la planificación de los recursos, monitoreo ambiental de interés agrícola y ecológico, cambios en la cobertura e inferir los estados fenológicos, así como una buena interpretación visual y clasificación digital. Se espera lograr mejores combinaciones de imágenes, mapas temáticos actualizados, mejorar metodologías de procesamiento de imágenes y de monitoreo ambiental. El desarrollo se efectuará atendiendo a obtener la estructura y la base de un sistema de información geográfica que pueda ser utilizado por instituciones, empresas, técnicos o productores con mínimos requerimientos y de bajo costo.

7. BIBLIOGRAFIA

ESA, 1996, ERS SAR CALIBRATION. *Derivation of the Backscattering Coefficient σ_0 in ESA ERS SAR Products*, Document No: ES-TN-RS-PM-HL09, Issue 2, Rev. 2 . 28 June, ESRIN.

ESA, 1992, *ERS-1 Product Specifications*, ESA SP-1149, issue 3, ESA Publication Division.

ESA, 1992, *ERS-1 System*, ESA SP-1146, ESA Publication Division

ESA, 1995, *ERS SAR SLC CTT and EXABYTE*, ESA ER-IS-EPO-GS-5902.3.

PRATI, C., GIANI, M. y LEURATTI, N., 1990, *SAR interferometry: a 2-D Phase unwrapping technique based on phase and absolutes values information*, Proceedings ICGARS '90, 2043.

LEE, J-S, 1981, *Speckle analysis and smoothing of Synthetic aperture radar images*. Computer Graphics and Image Processing Vol. 17, 24-32.

S.Lehner, J.Horstmann, W.Rosenthal, W.Koch, 1996, *Mesoscale Wind Measurements Using Recalibrated ERS-SAR Images*, DLR /DFD.

**ERS-1 / SAR AND SPOT DATA FOR IRRIGATED LAND EVALUATIONS IN A SECTOR OF THE CHUBUT
INFERIOR VALLEY (CENTRAL PATAGONIA, ARGENTINA)**

Héctor F. del Valle

Centro Nacional Patagónico (CENPAT). CONICET.
CC 128. (9120) Puerto Madryn (Chubut). Argentina.
fax: 54-965-73680 - e-mail: DELVALLE@Cenpat.edu.ar

Néstor O. Elissalde

INTA E.E.A. Chubut. Trelew. Argentina.
phone: 54-0965-30558

Domingo A. Gagliardini

Centro Argentino de Estudios de Radiocomunicaciones y Compatibilidad Electromagnética (CAERCEM).
CONICET.
fax: 54-1-7760410; 54-1-3125537- e-mail: ANTONIO@caerce.edu.ar

ABSTRACT

Radar image (ERS-1/SAR) and SPOT composites have been analyzed with the purpose of identifying and describing surface features with better results than those to be obtained by single-sensor images. The objective of this study was to provide an apparent increase in resolution, classification and to portray better relief by adding radar images to Spot scenes. The study site was located in the south of Chubut Inferior valley in the Chubut Province (Central Patagonia, Argentina). Three procedures were defined: 1) Individual analysis of Spot image; 2) Accomplishment of IHS (intensity, hue, saturation) relationships with some variants ; 3) Principal Component Analysis (PCA) - being 2) and 3) applied to a 4-bands hybrid image. In general, high class accuracy was evidenced by IHS data. The comparison of the results obtained from each of the three classification approaches emphasized the importance of the additional ERS-1 band.

1. INTRODUCTION

In 1981, the first systematic survey of land irrigated that encompassed a wide range of attributes of soils was carried out in Chubut Inferior valley (Laya 1981). The aims of the survey were to asses the location, extent, and aptitude of irrigated land; to publicize problems raising community awareness; to assist resource allocation management ; and to present data in map and statistical form. Data were obtained from aerial photographs, local specialist knowledge, and existing data rather than from intensive field observations.

The forms of soil degradation included in the survey were soil salinity (both dryland and irrigation), decline of soil structure, scalding, infestation of woody shrubs, sheet and rill erosion by water, gully erosion, mass movement and wind erosion. It has been shown that more precise estimates of these variables can be obtained when the remote-sensed data are integrated with additional information describing specific environmental conditions. In the Chubut Inferior valley (Central Patagonia, Argentina) such studies do not exist. Thus, when satellite based remote-sensed data are used to conduct inventories of irrigated land in this valley, spectral data alone must be relied upon to provide discriminatory information.

Data integration is obviously not a new concept and has been pursued for many years on an analog basis in many Earth science disciplines. However, rapid advances in image analysis hardware and software have allowed for better versatility and innovative techniques for combining and integrating digital data.

The objective of this study was to determine if combined spectral data (ERS-1 & SPOT) could provide detailed inventory data describing soil conditions within a sector the Chubut Inferior valley. Digital data from two remote sensing satellites having different spatial and spectral characteristics were employed. SAR-images differed significantly from optical data, summarized by Green *et al.* (1992) under the key words "range dependency", "dynamic range", "speckle" and "multiple looks".

2. METHODOLOGY

2.1 Location of study site and environmental characteristics

The study site (Fig. 1) is situated in the southern part of Chubut Inferior valley, between $43^{\circ} 17'$ and $43^{\circ} 23'$ S and $65^{\circ} 37'$ and $65^{\circ} 46'$ W in Chubut Province (Argentina). The area covered comprised 6,900 hectares.

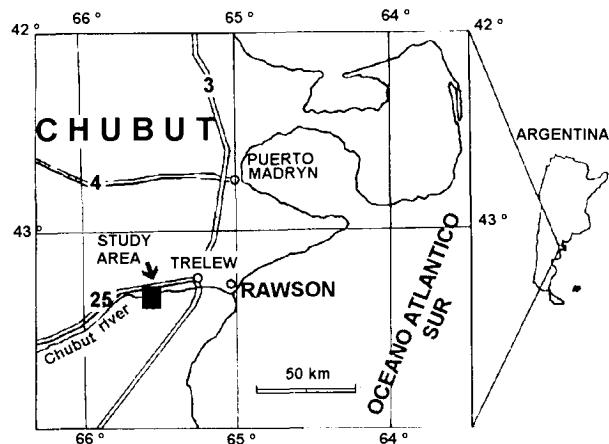


Figure 1. Study area.

The climate is arid with very scarce annual precipitation and high evaporation. The total annual rainfall rarely overcome 200 mm, and their regime of distribution along the year is not homogeneous. Nevertheless, the different peaks of maximum rainfall are not enough to determine a rainy season. Evaporation is more than 3 times the annual precipitation (722.4 mm). Wind speeds are highest in spring and summer, being dust storms normal phenomena (Laya 1981).

Some of the soils of valley are irrigated, and fruit, vegetable, and forage crops are produced under intensive agriculture. The cropping lands generally had a moderate to severe salinity. Irrigation-induced salinity occurred mainly in the irrigation areas of the valley in large established irrigation schemes. The saline water table had risen above the surface in some low-lying depressions.

The soils representatives (adapted of Laya 1981) are: Fluventic Camborthids, Typic Salorthids, Typic Natrargids, Vertic and Typic Torrifluvents, Vertic and Typic Torriorthents, and Typic Salitorrents (Soil Taxonomy 1992).

2.2 Data sources and analysis methods

The digital data from two remote sensing satellites (ERS-1/SAR & SPOT) were collected from the study site. The acquisition dates were: ERS-1 (01.19.1995) and SPOT (02.03.1994). All image enhancement steps were performed on a PC-486 DX2, using an ERDAS image processing software (ERDAS 1991), as well as own developed algorithms.

Figure 2 shows flow chart of methods utilized in this study.

The radar image was co-registered with SPOT image and transformed into a map projection within the area of interest. The size of pixel was 12.5 m by 12.5 m. Sixty control points were selected along the valley to convert the hybrid image into a map projection.

Different procedures were defined: a) Individual analysis of Spot image, and b) Accomplishment of IHS relationship and Principal Component Analysis (PCA) for a 4-bands hybrid image (one radar and three of Spot). The IHS transformation gives high coloring to the images enabling the acquisition of detailed texture images (Daily 1983, Guevara 1992). The IHS was performed with following variants: first, the IHS was taken to the Spot sub-scene; then, intensity (I) was removed and replaced by an ERS-1 band to perform the IHS analysis again.

The spectral analysis was carried out by classification (unsupervised and supervised). The field check made it possible to correlate spectral signatures with identified objects and to enrich land use information. Integration of digital environmental data, such as soils information (Laya 1981) with the remote-sensed data it was possible to improve the ability of predicting land cover types accurately.

Twenty five sub-classes were pre-classified. The final categories were defined according to a statistical analysis (maximum likelihood classifier) given by ERDAS (1991), including work on type categories and removing, and the utility of the output. The definition of the 25 subclasses was based mainly on trial and error. The final results showed ten basic land uses namely: urban/bare ground, deciduous woodland and irrigated pastures, irrigated pastures with vegetables and fruits, shrub-grass steppe and shrub steppes with a wide range of densities (Table 1 gives details).

A contingency matrix was used in 50 training samples to calculate the number and percentages of pixels that are classified as expected.

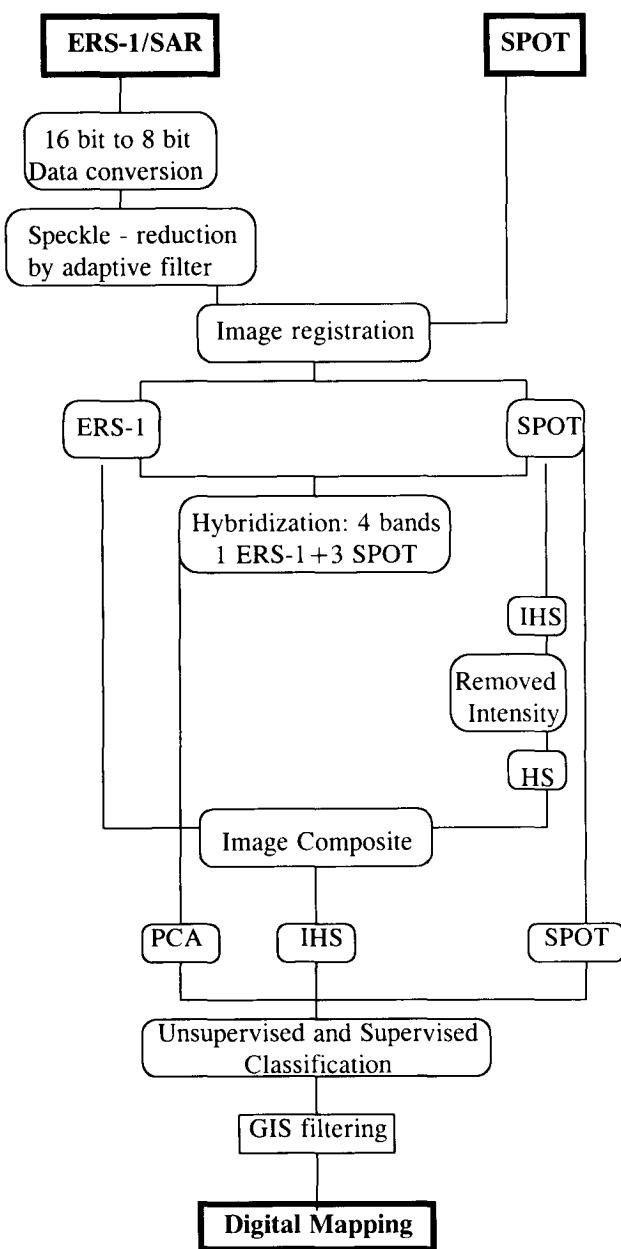


Figure 2. Flow chart

3. RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 gives the final classes into which pixels were allocated.

Table 2 gives the percentage of classes correctly classified within the training data both for the selected 10 classes and for each treatment (SPOT, IHS and PCA). In general, high class accuracy was evidenced by IHS data. Individual classes showed similar improvements, chiefly observed in classes 8 and 9 for SPOT, and class 5 for PCA).

Table 1. The final 10 simplified classes into which pixels were allocated

Class	Land quality
1	deciduous woodland/irrigated pastures 1 n
2	deciduous woodland/irrigated pastures 2 n
3	shrub-grass steppe d n z
4	irrigated pastures 1 n
5	irrigated pastures/vegetable/fruit 1
6	irrigated pastures/vegetable/fruit 2 n
7	irrigated pastures 2 n w
8	shrub steppe 1 e m n z
9	shrub steppe 2 e m n w z
10	bare ground /urban e-f-z

Limiting land quality: Codes of limitations

- erosion susceptibility e
- flood hazard f
- soil degradation hazard d
- moisture availability m
- nutrient availability n
- excess of salts z
- oxygen availability to roots (drainage) w

Table 2. Percentage of classes correctly classified

Class	SPOT	IHS	PCA
1	53.5	100.0	47.7
2	72.3	95.2	64.8
3	75.5	88.4	60.5
4	75.2	89.7	68.6
5	65.6	84.4	88.5
6	74.7	89.3	67.4
7	79.2	80.2	70.4
8	78.3	75.6	61.7
9	88.4	80.2	62.9
10	80.6	100.0	64.4
Overall accuracy	73.3	87.3	64.2

Where: SPOT = classification of the SPOT 3 bands; IHS = classification of the intensity, hue saturation of ERS-1 band & SPOT hue saturation bands; PCA = classification of the Principal Component Analysis of ERS-1 & SPOT. (References for Classes 1 to 10, see Table 1).

According to Anderson *et al.* (1976), a classification accuracy of 85.0 percent should be the minimum acceptable when using remote-sensed data. In this case, only the IHS analysis met or exceeded this minimum.

An image ready, for visual interpretation (containing maximum information on a number of land use type)

was achieved by PCA treatment which failed to produce one for classification.

As might be expected, the addition of the ERS-1 band to Spot bands for classification increased the accuracy significantly. The radar return from the underlying soil dominated the return from both irrigated lands areas and natural vegetation areas. Return from soil is strongly influenced by surface roughness and soil texture-moisture relationships.

4. CONCLUSIONS

SPOT and ERS-1 data may be used, however, when information regarding the spatial distribution and areal coverage of land use types is required. The comparison of the results obtained from each of the three classification approaches demonstrates the importance of the additional ERS-1 band (IHS classification). Nevertheless, the accuracy attained with the SPOT bands was slightly higher than the one achieved when ERS-1 & SPOT images were used and analyzed by PCA classification.

In order to determine if the accuracy level can be maintained when it is extrapolated to the full scene of Chubut Inferior valley, further work has to be conducted.

In order to achieve a proper evaluation of crop radar return in the context of image inventory, sequential test of multifrequency and multipolarization systems need to be conducted throughout different growing seasons. It is possible to determine data time dependencies and their early internal consistency, as well as the assessment of spatial and temporal bounds to be used in training sets based on ground data for extrapolation.

5. ACKNOWLEDGMENTS

This paper was carried out in the framework of the ERS-1 Pilot Project : "Integrated Study of Argentine Coastal Environment" and the authors are grateful to the European Space Agency, which provided the ERS-1 data used in this work.

6. REFERENCES

Anderson J.R., E.E. Hardy, J.T. Roach and R.E. Witner 1976. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. *United States Geological Survey. Geological Survey Paper 964* (Washington, D.C.: United States Geological Survey).

Daily M. Hue-saturation-intensity split-spectrum processing of SEASAT Radar imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*.

Green I.J., D.C. Lancashire & F.G. Sawyer 1992. ERS-1 / SAR. The first step towards spaceborne active microwave environmental monitoring. *SELPER*, Vol. 8, No. 2, pp. 50-54.

Guevara C.M. 1992. Sinergismo radar ERS-1/TM Landsat. *SELPER*. Vol. 8. No. 3-4:34-38.

Laya H. 1981. Formulación de un plan integral de manejo hídrico para el valle inferior del río Chubut. Levantamiento semidetallado de suelos. *Consejo Federal de Inversiones (CFI), Provincia del Chubut, Convenio VIRCH*. Volumen 1 y 2.

Soil Survey Staff, 1992. Key to Soil Taxonomy. *USDA*, Washington, DC., pp. 541.

ASSESSMENT OF ERS-1 SAR DATA FOR MONITORING DEFORESTATION LAM-4 RONDONIA, BRAZIL

M. G. Wooding, A. J. Batts and R.E. Brown

Remote Sensing Applications Consultants (RSAC), Mansfield Park, Medstead, Alton, Hants GU34 5PZ, U.K.
Tel: +44 1420 561377 Fax: +44 1420 561388 Email: consultants@rsac.demon.co.uk

ABSTRACT

The potential of ERS-1 SAR data for monitoring deforestation is evaluated in the context of an area which has been severely affected in the State of Rondonia, Brazil; as part of the JRC TREES ERS-1 project.

A total of 15 ERS-1 images have been used in the study. Initially there is a comparison of a single date ERS-1 image with a Landsat TM image which provides an excellent visual separation of forest and non-forest areas. Forest areas have light tones on the ERS-1 images and many cultivated deforested areas have a darker tone appearance. The main problem concerns separating areas of scrub/grass from forest because these areas have a similar light toned appearance.

Image enhancement techniques are then used to optimise the visual identification of deforestation on ERS-1 images. Speckle filtering and multi-temporal analysis significantly improve the discriminatory potential of the images, but there are still some problems in accurately separating forest and non-forest on the best multi-temporal colour composites produced during the study.

Attention is then directed specifically towards the potential of ERS-1 SAR images for updating forest maps prepared on earlier dates from Landsat TM images. The basis of an analysis strategy for monitoring deforestation is demonstrated using ERS images to monitor deforestation against a baseline forest map derived from optical satellite data.

INTRODUCTION

The JRC TREES ERS-1 project includes a number of studies of selected areas throughout the tropical belt to evaluate the usefulness of ERS-1 SAR data in the context of the overall objectives to develop a global tropical forest monitoring system. There are problems in acquiring optical satellite data in many parts of the tropics due to persistent cloud cover, and all weather data acquisition using radar systems is potentially important to the development of an operational system. The LAM-4 study area is located in the State of Rondonia, Brazil, a part of the south

central Amazon basin which has experienced widespread severe deforestation related to a colonisation programme initiated in 1968 (Malingreau and Tucker, 1988).

The aims of the LAM-4 study focus directly on the main TREES ERS-1 Project objectives, to evaluate the usefulness of ERS-1 SAR data for monitoring deforestation. This includes an assessment of multi-temporal images, and the value of different image analysis techniques to optimise the separation of forest and non-forest. As most of the Rondonia area is flat the study has not addressed the issue of geometric terrain distortions in ERS-1 SAR images. Also, no attempt has been made to examine the potential for mapping forest types.

More detailed research has been carried out independently in the same study area by Schmidt et al (1997).

TEST SITE DESCRIPTION

The clearing of forests in Rondonia is correlated with road development (Dale et al. 1993). The completion of a paved main highway through Rondonia in 1984 greatly facilitated immigration into Rondonia. When the colonists move in they cut the forest adjacent to the roads with the intent of establishing agriculture. Only a few of the most valuable trees are harvested, most are cut and burned. In areas such as the Ouro Preto de Oeste colonisation area the land is subdivided into approximately 100 hectare lots laid out in a grid 4 km apart. Farmers are rarely able to support their families and frequently move away from their original lot after a few years.

There have been a number of studies using remote sensing to estimate deforestation in Rondonia (Alves et al. 1994). Recent estimates for deforestation for the entire state range from 37,000 km² (Stone et al. 1989) to 45,400 km² (Setzer and Pereira, 1993).

Rondonia has also been included within larger programmes to measure the extent and rate of deforestation for the whole of the Brazilian Amazon. In 1980, results of the first complete assessment of deforestation based on Landsat MSS data were published by the Brazilian National Institute for

Space Research (INPE) and the former Brazilian Institute for Forest Development (IBDF). Then in 1988, INPE initiated a major study using Landsat TM imagery to estimate rates of deforestation since the late seventies. This showed rates of deforestation in the early 1990's to be approximately half those of the 1980's (Table 1).

Period (years)	Rate of Deforestation (Annual km ²)
1978 - 1989	21,500
1988 - 1989	18,800
1989 - 1990	13,800
1990 - 1991	11,100

Table 1: Deforestation rates in the Brazilian Amazon (Source: Alves et al. 1994)

AVAILABLE DATA

A total of 15 ERS-1 SAR Precision Images (PRI) have been used in the study, with all images being from descending passes during the 35 day repeat cycle. Figure 1 shows the coverage and dates of the ERS-1 SAR images. Only two dates (3/6/92, 6/10/93) were available for the main part of the study area, but up to six dates (15/5/92, 19/6/92, 24/7/92, 11/12/92, 15/1/93, and 30/4/93) were available for the eastern edge of the area.

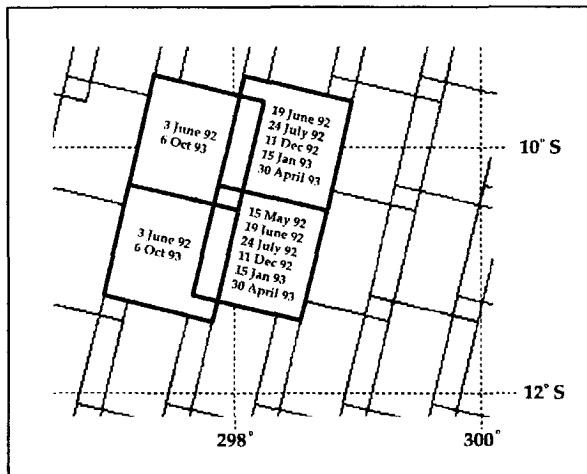


Figure 1: ERS-1 data coverage

A Landsat TM image dated 25 July 1992 has been used in the study. The area covered is approximately 63°00' - 61°30'W, 9°30' - 11°00'S (Path 231/Row 067). However, this was available only as a 1:250,000 scale hard copy colour composite of band 3 (blue), band 4 (green) and band 5 (red). The hardcopy has been scanned and converted to a digital format to enable geometric rectification and registration with ERS-1 images to be carried out.

Unfortunately it has not been possible to undertake a field visit as part of the study because of funding limitations. However, an opportunity was taken to visit INPE in December 1994 to discuss the work with INPE scientists, and collect general information on the Rondonia area. Selected parts of the Amazon deforestation map for 1988 were made available by INPE for the purpose of evaluating the potential for change detection using ERS-1 SAR images.

INITIAL ANALYSIS OF LANDSAT TM AND ERS-1 SAR IMAGES

Plate 1 shows Landsat TM and ERS-1 (single date) images for the Ouro Preto de Oeste area, near the town of Ji-Paraná to the north west of the town of Rondonia.

The Landsat TM image (Plate 1a) when seen in colour provides excellent discrimination of primary forest (dark green), scrub/grassland (bright green) and cultivated land (pink). Deforestation patterns seen in the bottom right part of the image extract are the characteristic "fish bone" type which is typical of much of that occurring in Rondonia. Parallel roads approximately 4 km apart are driven into the forest and then deforestation takes place on either side of the road. Usually just a narrow strip of forest remains between the converging strips of deforestation away from the road. The remainder of the image shows a different type of deforestation, with large blocks of deforestation within relatively large areas of standing primary forest.

The Landsat TM image is so good that it can be used effectively as ground information with which to evaluate the usefulness of the ERS-1 SAR imagery. An initial comparison of the 3 band colour composite TM image with the single date ERS-1 image is perhaps not a fair comparison, but it does immediately illustrate some of the difficulties. Although some of the largest areas of deforestation are seen to have distinctive dark tones within the generally lighter tones of the forest area, many of the areas of scrub/grassland, in particular, and also some of the cultivated areas are seen to have light tones similar to those of the forest. One can quickly conclude that some surfaces within the scrub/grassland and cultivated areas have similar roughness to the forest at C-band.

Statistical image properties of sample areas within the three main land cover classes have been analysed to further investigate the discrimination using the single date ERS-1 image. Mean and standard deviation values were extracted from 2 ERS-1 images (3/6/92 and 6/10/93) for a total of 20 large sample areas identified using the Landsat TM image.

An analysis of mean values against standard deviation for these 20 sample areas for these two images, showed a very strong correlation between the mean and standard deviations for all 3 cover types. This provided an early indication that image texture provides little additional information over and above that contained within the sample means.

Table 2 is a listing of the calibrated mean backscatter for these 25 sample areas for both dates. This shows that both forest and the scrub/grass cover types have similar backscatter at around -7.00dB, while cultivated areas have a range of values from -13.00 dB to -7.00dB. Comparing the backscatter of the forest and scrub/grass on the 2 dates it can be seen that the values are consistently higher on 6/10/93 by around 0.5 dB. The backscatter of the cultivated areas is seen to vary, up or down, by as much as 3 or 4 dB between the 2 dates. Such variation can be expected related to the large temporal variations in surface conditions of cultivated land.

Sample Area	Mean dB 3/6/92	Mean dB 6/10/93
1-Forest	-7.33	-7.76
2-Forest	-7.07	-7.50
3-Forest	-7.09	-7.57
4-Forest	-6.89	-7.22
5-Forest	-7.09	-7.56
6-Scrub/grass	-7.04	-7.58
7-Scrub/grass	-7.29	-8.10
8-Scrub/grass	-6.68	-7.02
9-Scrub/grass	-7.35	-8.01
10-Scrub/grass	-6.63	-6.83
11-Scrub/grass	-6.62	-7.69
12-Scrub/grass	-7.11	-7.21
13-Cultivated	-8.34	-7.58
14-Cultivated	-9.81	-8.88
15-Cultivated	-8.44	-8.19
16-Cultivated	-11.88	-10.34
17-Cultivated	-9.10	-9.93
18-Cultivated	-11.09	-9.52
19-Cultivated	-7.73	-13.28
20-Cultivated	-12.28	-9.29
21-Cultivated	-7.08	-10.47
22-Cultivated	-10.12	-10.03
23-Cultivated	-9.05	-10.79
24-Cultivated	-8.43	-9.45
25-Cultivated	-10.44	-8.70

Table 2: Mean backscatter for 25 sample areas.

IMAGE ENHANCEMENT

Spatial filtering and texture analysis have been investigated as means of improving the discrimination of forest and non-forest areas. In the first instance these techniques have been applied to single date images. Later we look at multi-temporal composites.

A large number of different speckle reduction filters have been tested, using the PCI EASI-PACE and ErgoVista software. The Lee, Frost and Gamma Map filters all significantly improve in the definition of forest and non-forest areas. There are quite small differences in the results achieved using different filters, but there has been a slight preference for the Gamma Map filter.

The effect of different filter window sizes has been explored for the Gamma Map filter. Plate 2 shows a small extract of the original image, and results obtained using three different filter window sizes: 3*3, 7*7 and 11*11. In all three cases there is seen to be a marked improvement in comparison with the original image. The 7*7 filter is considered to produce the best result in the context of the identification of deforested areas.

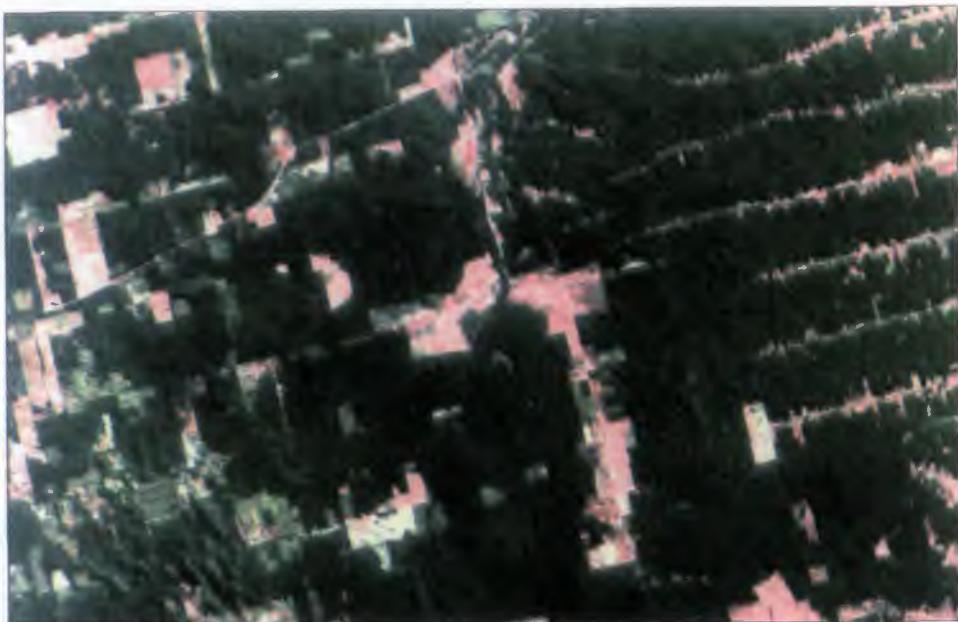
The use of textural measures, such as the coefficient of variation and the grey level co-occurrence matrix, was a major component of several studies carried out within the ESA SAREX-92 Programme (Wooling and Attema, 1994). Using high resolution airborne radar images it was shown that textural measures could be used to improve both forest/non-forest mapping and the discrimination of forest types, and in many cases that image texture provided more information than image tone. However, in cases where ERS-1 SAR images were also analysed, texture analysis results tended to be disappointing. Generally there is a poor expression of texture within ERS-1 SAR images related to the lower spatial resolution.

Some exploratory use of the techniques available within the PCI EASI-PACE software has confirmed the limited value of textural measures in the present study.

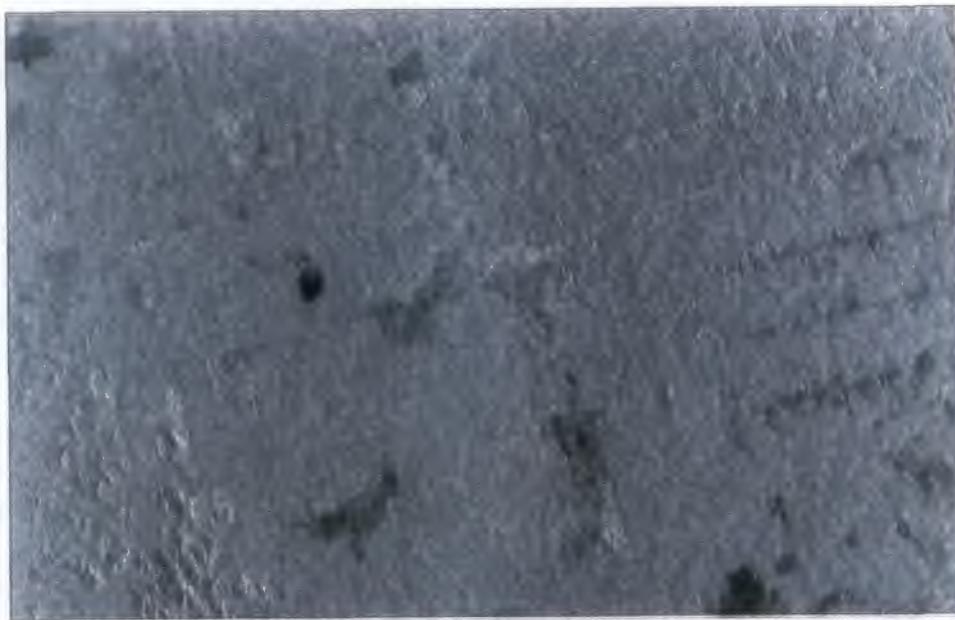
MULTI-TEMPORAL ANALYSIS

For most agricultural and land use applications there are significant benefits in using multi-date ERS-1 images. This is particularly the case where there are marked seasonal variations in cover types, for example for crop discrimination where backscatter may be related to the attainment of different surface conditions through the growing season. Forest

Plate 1 Landsat TM and ERS-1 SAR images of the Ouro Preto area
(APPROX 50 km x 30 km)

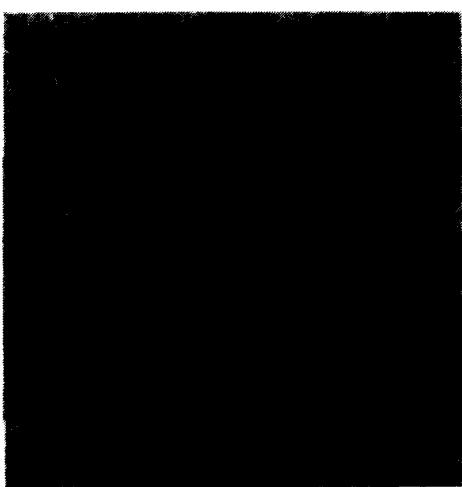


a. Landsat TM 25 July 1992

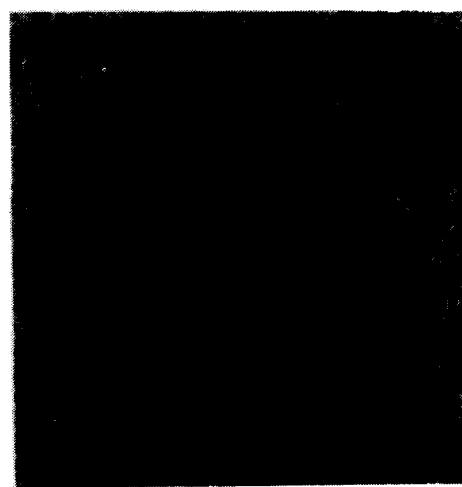


b. ERS-1 SAR 3 June 1992

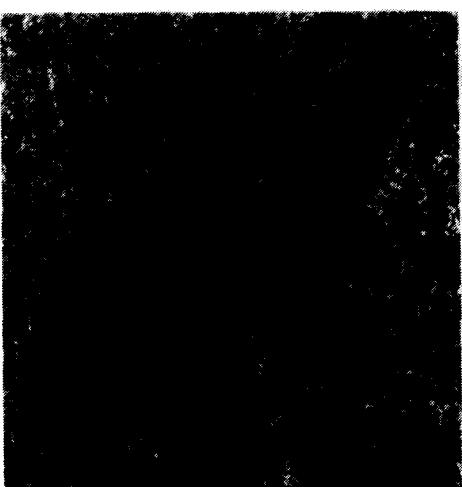
Plate 2. Gamma Map filtered ERS-1 images of the Ouro Preto area (3 June 1992)



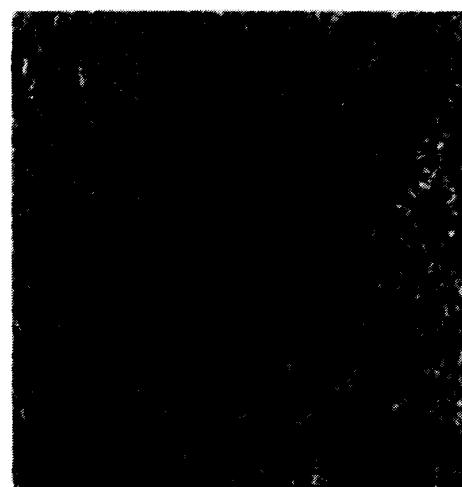
Unfiltered



3 x 3 window



7 x 7 window



11 x 11 window

(particularly evergreen forest) tends to have a more uniform (and relatively high) backscatter, which therefore often provides a strong contrast with the seasonal changes in backscatter associated with agricultural land. There can also be significant meteorological effects on individual images, particularly the effect of recent rain and strong wind on ground surface conditions.

There are 6 different date images available for the Presidente Médici area. The available dates include 4 from the wet season (March to October) and 2 from the dry season (April to September). Despite the good range of available dates, only relatively minor differences are seen between the different date images. The 2 dry season images (11/12/92 and 15/1/93) tend to show slightly better separation of forest and non-forest than the wet season images. For instance, vertical parallel strips of forest in the northern part of the area are more clearly seen on these dry season images. Overall, however, one can conclude that there are relatively small seasonal differences in this tropical environment.

Multi-temporal 3 date colour composites of the Map filtered images have been produced. The best combination of the 6 dates available for the Presidente Médici area are 30/4/93, 19/6/92, 24/7/92. The 2 dates available for the Ouro Preto de Oeste area are 3/6/92 and 6/10/93.

These multi-temporal colour composites are certainly more useful than the single date images for separating forest and non-forest. Cultivated areas show a range of colours caused by changing surface conditions between the image dates. However, problems remain where there are relatively narrow strips of deforestation and in separating scrub/regrowth areas from the forest.

There has been some experimentation with other ways of combining multi date images. For example, the addition of up to 6 dates to produce a single image. Also, the preparation of normalised difference images from selected image date pairs. Some of these results are quite interesting, but none seem to radically improve the separation of forest and non-forest.

CHANGE DETECTION

In view of the fact that visual separation of forest and non-forest still poses some problems on the best multi-temporal colour composites produced from the available 6 image dates, it is unrealistic to expect that accurate forest maps can be produced using automated image classification techniques. Attention within this study has therefore been directed more

towards the potential of ERS-1 for detecting new areas of deforestation using a baseline obtained from other sources.

The main problem in separating forest from non-forest is the heterogeneity of the non-forest area, and the fact that some scrub and regrowth areas have a similar backscatter to the forest. Forest itself tends to have a uniformly high backscatter and therefore if attention can be restricted to just the forest areas mapped on a previous date there may be potential for identifying changes and map updating.

One possibility is to use forest maps derived from Landsat TM images as the baseline for identifying subsequent changes. Plate 3a shows a forest map of the Ouro Preto de Oeste area derived from the July 1992 Landsat TM image (Plate 1a) superimposed on the 1992/3 2 date ERS-1 colour composite. In Plate 3b, an image mask of this forest area mapped from the Landsat image has been used to isolate just the forest area on the multi-temporal ERS-1 image. Most of the forest can be seen to have a uniform grey colour on the 2 date ERS-1 colour composite. Other colours are indicative of changes probably associated with deforestation: red colours indicate a lower backscatter on 6/10/93 in comparison with 3/6/92, and blue colours indicate a higher backscatter on 6/10/93.

CONCLUSIONS

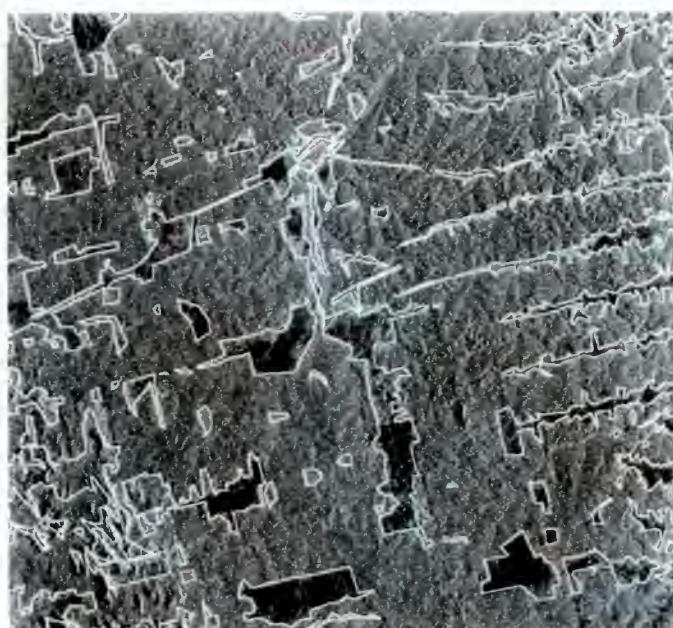
ERS-1 SAR images are a poor alternative to Landsat TM images for mapping deforestation in areas such as that studied in Rondonia. The main problems are the relatively narrow strips of deforestation, and the fact that scrub and regrowth areas have a similar backscatter to the forest.

The use of multi-temporal data, combined with speckle filtering, has been shown to improve the interpretability of deforested areas. Dry season images give slightly better discrimination of forest and non-forest areas, and preferably at least one dry season image should be used in producing a 3 date multi-temporal colour composite.

Even the best multi-temporal colour composites produced in the current study failed to show a clear visual separation of forest and non-forest. There seemed to be no prospect of obtaining accurate forest maps using automated image classification techniques.

Although it is concluded that ERS-1 data has limited potential for baseline mapping of forest, results are more encouraging concerning the potential for change detection. An analysis strategy for monitoring

Plate 3 Comparison of ERS-1 image and forest map derived from Landsat TM image, Ouro Preto



a. Multi-temporal ERS-1 image (1992) with overlay of forest boundaries (1992)



b. Image mask showing forest areas

deforestation has been demonstrated using ERS-1 images to monitor deforestation against a baseline forest map derived from optical satellite data. By restricting attention to just the area mapped as forest on an earlier date, first results indicate that ERS-1 images can be used to quickly identify new areas of deforestation and so produce updated maps.

This approach seems quite promising, and could be equally appropriate over most of the tropical forest. Further development and testing of the approach is therefore recommended.

The future operational deforestation monitoring system is likely to include both detailed monitoring of sample areas as well as larger area reconnaissance. Based on the results obtained in the present study, the future role of ERS-1 SAR data for detailed monitoring is seen primarily as a substitute for the lack of suitably timed optical data. However, it may have a more important role to play in change detection within larger area reconnaissance.

NOTE

Information from field work by Schmidt (personal communication) indicates that the areas identified here as cultivated are areas of grazing land dominated by grass species.

REFERENCES

Alves, D.S., Filho, L.G.M. et al. 1994. The Amazonia Information System. Unpublished paper from National Institute for Space Research, (INPE), Brazil.

Dale, V.H., O'Neill, R.V. et al. 1993. Causes and Effects of Land-Use Change in Central Rondonia, Brazil. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 59, No. 6, June 1993, pp.997-1005.

Malingreau, J.P. and Tucker, C.J. 1988. Large-scale deforestation in the south-eastern Amazon basin of Brazil. *Ambio*, 17 (1):49-55.

Schmidt, M., Scales, D., Kux, H. and Dos Santos, J.R. 1997 (in press). Investigation of forest dynamics and land use change by ERS-1 SAR data in Rondonia, Brazil. *Proc. International Seminar on the Use and Applications of ERS in Latin America*, Viña del Mar, ESA Publications.

Setzer, A.W. & Pereira, M.C. 1991. Amazon biomass burnings 1987 and an estimate of their tropospheric emissions. *Ambio*, 20:19-22.

Stone, T.A., Brown, F. et al. 1989. Estimation, by remote sensing, of deforestation in Central Rondonia, Brazil. *For. Ecol. Manage.* Vol. 38, pp.291-304

Wooding, M.G., Attema, E. et al. An overview of SAREX-92 data acquisition and analysis of the tropical forest environment. *SAREX-92 Workshop Proceedings, 6-8th December, 1993*, ESA-HQ Paris, pp.3-14.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was carried out under the auspices of the TREES programme, for which JRC and ESA support is acknowledged. The authors gratefully acknowledge the assistance of Dr. Herman Kux and colleagues at the Brazilian National Institute for Space Research (INPE) for providing general information and making available parts of the Amazon deforestation map.

ESTIMACION DEL ESTADO HIDRICO DEL SUELO MEDIANTE IMAGENES ERS-1 SAR

Héctor Salgado

Facultad de Agronomía - Universidad de Buenos Aires
Avda.San Martín 4453 1417 Buenos Aires ARGENTINA
FAX: 0054 1 522-1687 E-mail: postmast@riesal.agro.uba.ar

Stella Maris Zabala

Centro de Investigaciones Biometeorológicas - CONICET
Serrano 669 2ºpiso 1414 Buenos Aires ARGENTINA
TE : 0054 1 855-4858

ABSTRACT

Monitoring soil moisture, with adequate temporal and spatial coverage, is of great importance for hidrology, climatology and agriculture.

The microwave active sensors, such as the ERS-1 Synthetic Aperture Radar (SAR), have been shown to be a useful tool to estimate soil moisture content in the first soil layer. This occurs because the backscattering depends on the dielectric constant of the target, which is a function of the volumetric water soil content.

This ability of the C-band ERS-1 SAR is explored here over agricultural and cattle test lands (sites) in the Buenos Aires Province, Argentina.

Using topographic maps and soil taxonomy, in addition to the hydrologic balance method with meteorological and land use data, we estimate near-surface moisture.

Two SAR.PRI images, supplied by ESA, were used, one towards the end of fall, and the other towards the ends of spring. Three different surface roughness conditions were classified.

For each of the three roughness classifications, a linear positive correlation coefficient between soil moisture and Digital Number (DN) was computed. Their range was 0.8 to 0.9.

These preliminary results are presented in detail, and some limitations analyzed.

KEYWORDS: Soil moisture ; Hydrological Balance Method ; ERS SAR images

INTRODUCCION

La estimación del nivel de humedad de los suelos es fundamental en el estudio del ciclo hidrológico, en particular en el conocimiento de la relación agua-suelo-planta, constituyendo un paso trascendente en la determinación de los requerimientos de riego de los cultivos. Por lo tanto resulta muy valiosa para la predicción de los rendimientos de los mismos.

La teledetección de estado de humedad de suelos mediante microondas radar ha sido objeto de varios estudios (Ulaby et al.,1978; Shi et al.,1991). En particular las bandas X y K han sido aplicadas para caracterizar distintas condiciones de stress hídrico (Paloscia et al.,1984).

A partir del lanzamiento en el año 1991 del Satélite Europeo de Percepción Remota (ERS-1), con su Radar de Abertura Sintética (SAR) en la banda C, con polarización vertical VV y ángulo de incidencia de 23°, numerosos trabajos han probado su capacidad para discriminar el grado de humedad del suelo, con respecto a los demás factores que influyen en la retrodispersión, como ser tipo de cobertura vegetal y rugosidad del suelo (Mohan et al.,1992, Wooding et al.1992).

Los resultados se muestran promisorios en cuanto a la posibilidad de determinar no sólo humedad del suelo, sino tambien del canopeo en general (Demircan et al.,1992).

En el presente trabajo se propuso obtener la correlación entre el nivel de humedad de suelos de aptitud agrícola-ganadera y la firma espectral radar, representada, en este caso, por el nivel de "brillo" (Digital Number) en la imagen SAR.

ZONA DE ESTUDIO

El área de trabajo está ubicada en la zona costera de la Provincia de Buenos Aires, República Argentina, en las cercanías de la Ciudad de Mar del Plata (Fig. 1).

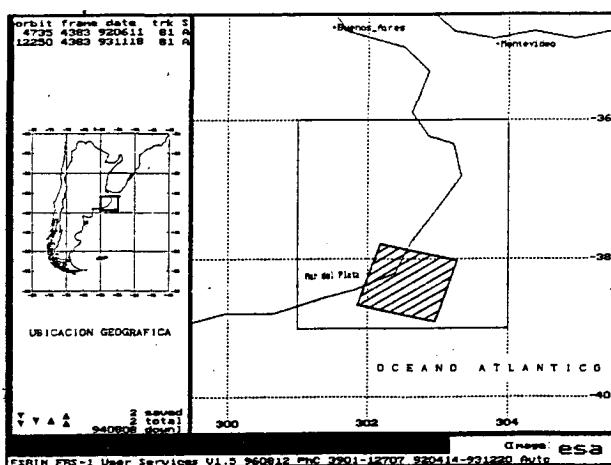


Fig. 1: Ubicación de las imágenes SAR ERS-1

Se encuentra dentro del clima templado, con una marcada influencia oceánica, que ejerce un efecto moderador sobre la amplitud térmica (de aprox. 12°C entre invierno y verano). Su período medio libre de heladas va desde octubre hasta abril, contabilizando cerca de 260 días.

El régimen pluviométrico es aproximadamente isohigro, con 750 mm anuales, con lluvias de marcada intensidad, principalmente en el verano, que pierden efectividad desde el punto de vista agrícola, ya que se produce escorrimiento superficial, con el consecuente peligro de erosión y lavado de suelos.

El balance hídrico, proveniente de la diferencia entre las lluvias y la evapotranspiración potencial (Thornthwaite y Mather 1957), indica que se producen déficit en el verano y excesos en el invierno. De acuerdo a la clasificación en base al Índice Hídrico Ih (Burgos y Vidal 1951), se encuentra en el borde sur de la región subhúmeda, limitando casi con la subhúmeda-seca al oeste.

Los suelos pertenecen al orden de los Molisoles, originados a partir de loess, con regímenes de humedad údico, ústico y ácuico, con temperaturas que favorecieron la formación del epipedón mólico (INTA, 1989). Siguiendo la clasificación del Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975), los suelos más difundidos en las zonas analizadas corresponden al Suborden de los Udoles, gran grupo de Argiudoles y Hapludoles.

Los Argiudoles son los más representativos, y su perfil típico demuestra el resultado de la acción del clima húmedo o subhúmedo sobre loess en posiciones bien drenadas (INTA, 1989). Sobre estos suelos se lleva a cabo la mayor parte de la actividad agrícola, predominando trigo, maíz y girasol como granos, y los verdeos y pasturas consociadas para los campos ganaderos.

MATERIAL Y METODO

En el presente trabajo se han utilizado 2 imágenes SAR.PRI (Fig.1), de fines de otoño y fines de primavera, y se seleccionaron 3 áreas principales (Camet, Chapadmalal y Sierra de los Padres), en las cuales se definieron 42 sitios (campos) de observación y calibración (ver Fig.2).

La caracterización de los suelos y de sus constantes hidrológicas se basó en investigaciones (Falasca et al., 1994) y cartografía de suelos a escala 1:500.000 y 1:50.000 producida por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 1981).

La referencia geográfica se apoyó en cartografía topográfica de la zona realizada por el Instituto Geográfico Militar (IGM), y en planos catastrales municipales complementarios.

La información climática fue extraída de las estadísticas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), mientras que los registros pluviométricos diarios proceden del banco de datos del Centro de Investigaciones Biometeorológicas (CIBIOM-CONICET).

Debido a que este trabajo fue planificado a posteriori de la captura de las imágenes SAR, no fue posible efectuar la medición del contenido de humedad del suelo simultáneo con los pasajes del satélite. Por lo tanto se planteó una metodología que permitiera estimar el contenido volumétrico de humedad con una precisión aceptable.

El método se basa en el balance hidrológico diario entre la precipitación ocurrida (PP) y la evapotranspiración potencial (ET), de acuerdo al modelo de Thornthwaite y Mather (1955).

La evapotranspiración puede ser modificada con el coeficiente del cultivo (Kc), que depende de la cobertura vegetal existente.

$$\text{Balance (mm/d)} = \text{PP (mm/d)} - \text{ET (mm/d)} * \text{Kc}$$



Fig.2: Sector de imagen SAR de junio, con campos de áreas de Camet y Sierra de Los Padres.

Dentro del perfil del suelo, el nivel de humedad está regulado por dicho balance y por el agua útil o capacidad de almacenamiento, la cual depende de las constantes hídricas volumétricas (Capacidad de Campo CC y Coeficiente de Marchitez CMP) del suelo y del espesor del horizonte considerado (E).

$$\text{Agua Util (mm)} = [\text{CC} - \text{CM}] * \text{E}$$

donde:

CC = humedad volumétrica a CCampo (%)

CM = humedad vol. en Coef.de Marchitez (%)

E = espesor del horizonte (dm)

Para facilitar el manejo estadístico de los datos de precipitación, el cálculo del grado de humedad del suelo a nivel diario se realizó mediante el programa AGROAGUA (Forte Lay et al,1995).

La cobertura de los campos en el momento de la captura de las imágenes fue determinada por visitas y encuestas a los productores, efectuadas en estaciones del año coincidentes con las de las tomas. De este modo se definieron 3 tipos de cobertura básicos:

Se observan campos con suelo desnudo (D), pasturas (P) y vegetación natural en laderas de sierras (S).

A. Suelo desnudo (incluyendo al estado de barbecho, al de pre-siembra y al de pre-emergencia)

B. Agrícola (con trigo principalmente)

C. Pastoril (incluyendo pasturas naturales y sembradas, verdes de invierno, y laderas de sierras con vegetación natural)

Por otro lado, las imágenes SAR fueron ingresadas al programa IDRISI (by Clark University,USA), con el cual se realizaron las operaciones de selección de zonas, georreferenciación y obtención del Nivel de Brillo "DN"(Digital Number) de los campos testeados.

RESULTADOS

Se realizaron los análisis de regresión simple entre los DN de las 2 imágenes y las estimaciones de humedad volumétrica del suelo. Las rectas obtenidas, y sus expresiones se muestran en Figs. 3 a 5.

Los valores más altos de correlación se obtuvieron para los campos con trigo (*Triticum spp.*), en la imagen de noviembre, con índice de correlación $r = 0.95$ (Fig.3), mientras que en suelos desnudos, sin cobertura vegetal (en la de junio y noviembre) el valor fue $r = 0.83$ (Fig.4), y en suelos con vegetación espontánea y pasturas resultó de 0.81 (Fig.5).

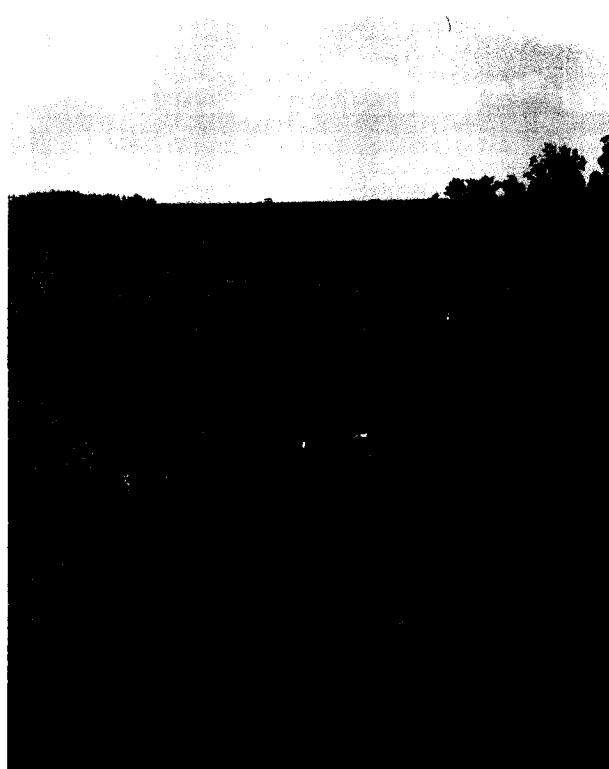


Fig.3 a: Campo con Trigo , área Camet

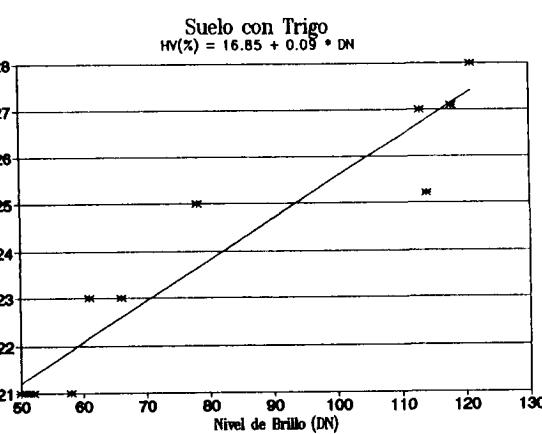
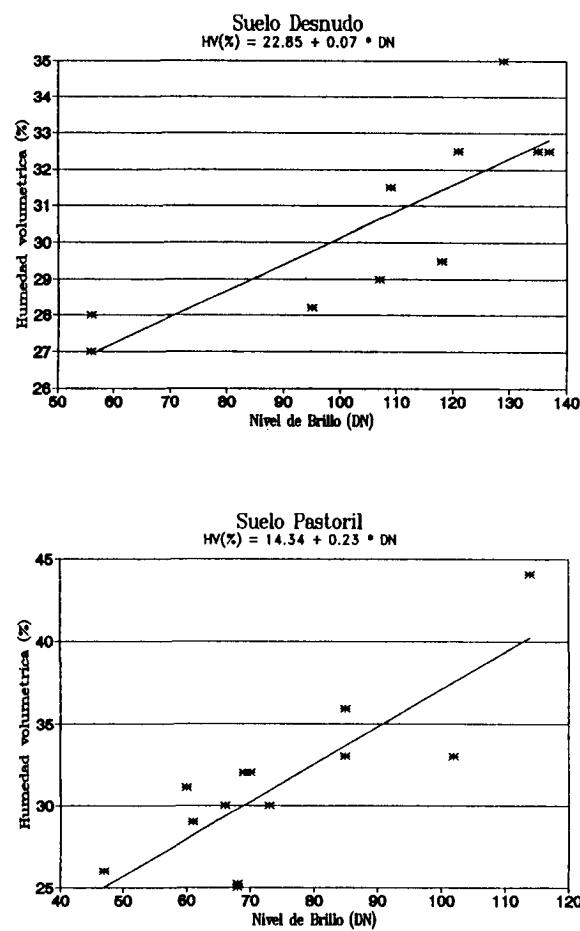


Fig.3 b: Recta de regresión para Suelo con Trigo



Figuras 4 y 5

Asociando las coberturas A y B . dado que ambas se refieren a suelos agrícolas en distinto momento del año, el índice es de 0.82, lo cual indica una alta correlación (Fig.6).

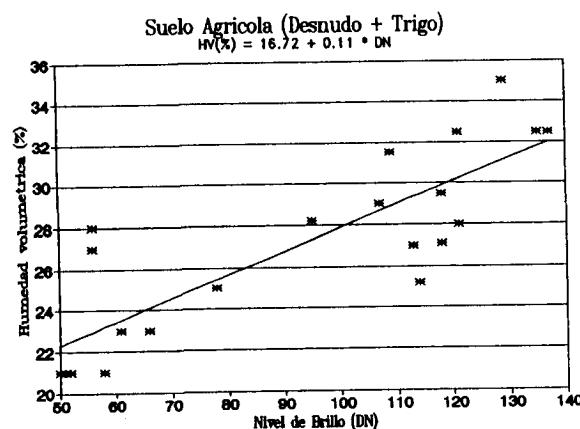


Fig.6: Recta de regresión para suelo agricola

DISCUSION - LIMITACIONES

Los resultados preliminares expuestos forman parte de un Proyecto tendiente a la evaluación e incorporación de la teledetección con microondas SAR para el monitoreo detallado, extendido areal y temporalmente, de las condiciones de humedad de los suelos con fines agropecuarios. En tal sentido, se elaboraron las siguientes consideraciones.

Las imágenes SAR obtenidas ya habían sido pre-procesadas, con su correspondiente reducción de 16 a 8 bits por pixel y la eliminación del ruido (speckle), situación que debe ser tenida en cuenta para la evaluación de los DN de los campos. O sea, en las rectas de regresión pesa más el valor de la pendiente que el de la ordenada al origen. Esto será resuelto a partir de la adquisición por parte de la Institución, de un programa que permita el proceso completo de imágenes SAR.

Por otra parte, se prevé para la próxima etapa la medición de la humedad del suelo, calibrando, a su vez, el método de estimación empleado.

Otra observación surge del hecho que, en las 2 situaciones consideradas (en junio y noviembre), las condiciones de humedad del suelo están dentro del rango de agua útil (entre capacidad de campo y coeficiente de marchitez), no presentando situaciones extremas de exceso (saturación) o déficit. Para una mejor definición de la correlación se debería realizar un seguimiento del grado de humedad a lo largo del tiempo, con la secuencia de imágenes correspondientes.

Finalmente, los resultados obtenidos son promisorios, mostrando que es posible estimar la humedad del suelo mediante imágenes SAR. Esto permitirá mapear nivel de humedad, lo cual, asociado a información de los cultivos, posibilitaría generar estimaciones de sus rendimientos a cosecha.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Burgos J. y Vidal A., 1951 "Los Climas de la República Argentina según la nueva Clasificación de Thornthwaite", Revista Meteoros (Servicio Meteorológico Nacional). Año 1, N°1, BsAs, 3-32.
2. Demircan A., Rombach M., Mauser W. 1992 "Extraction of Plant and Soil Parameters from Multitemporal ERS-1 SLC-Data of the Freiburg Site", Proceedings First ERS-1 Symposium, Cannes, France, 631-634.
3. Falasca S., Zabala SM., Bernabé M., Ulberich A. y Lopez R., "Constantes Hidrológicas de Suelos Pampeanos", en prensa.
4. Forte Lay J. et al., 1995 "AGROAGUA", Centro de Investigaciones Biometeorológicas (CIBIOM-CONICET), BsAs, Argentina
5. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA, 1989 "Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires", INTA, Buenos Aires, Argentina.
6. Mohan S. et al. 1992 "Assessment of ERS-1 SAR Data for Soil Moisture Estimation", Proceedings First ERS-1 Symposium, Cannes, France, 635-639.
7. Paloscia S. y Pampaloni P. 1984 "Microwave Remote Sensing of Plant Water Stress, Remote Sensing Env. 16, 249-255.
8. Shi J. et al. 1991 "SAR-Derived Soil Moisture Measurements for bare Fields", IEEE Proc IGARS 91, Espoo, Finland, 393-396.
9. Soil Survey Staff, 1975 "Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys", US Department of Agriculture, Agriculture Handbook N°436, Washington DC.
10. Thornthwaite C. y Mather J., 1955 "The Water Balance", Drexel Institute of Technology, Public. in Climatology, Vol. VIII, N°1, Centerton.
11. Ulaby F. et al. 1978 "Microwave Backscatter Dependence on Surface Roughness, Soil Moisture and Soil Texture, Part I, Bare Soil", IEEE Trans Geosci Electron, GE-16, 286-295.
12. Wooding M et al. 1992 "Temporal Monitoring of Soil Moisture using ERS-1 SAR Data" Proceedings First ERS-1 Symposium, Cannes, France, 641-648.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Agencia Espacial Europea (ESA), que facilitó las 2 imágenes SAR, al Ing.Agr.Juan A.Forte Lay del Centro de Investigaciones Biometeorológicas (CIBIOM-CONICET), el cual colaboró con indicaciones y ayuda en la operación del programa AGROAGUA, utilizado en el cálculo de la estimación de humedad del suelo, y al Ing.Agr.Daniel Roca de la Catedra de Hidrología Agrícola de la Facultad de Agronomía de Buenos Aires, quien colaboró en la compaginación y armado de esta publicación.



GEOLOGY / GEOLOGIA

Chairman/Presidente: **Hermann Kux**



EVALUACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE SAR ERS-1 Y SPOT- LANDSAT EN LA CARTOGRAFÍA DE MOVIMIENTOS EN MASA

**Germán Vargas Cuervo
Geólogo Msc, PhD**

**INGEOMINAS, Ingeniería Geoambiental. Diagonal 53 No 34-53
Santa Fe de Bogotá, Colombia. Tel 2218959, Fax 2220020.
Profesor Universidad Nacional de Colombia.**

RESUMEN

A fin de evaluar el potencial de las imágenes de satélite en la cartografía de movimientos en masa, se presenta en este trabajo los resultados de un estudio comparativo de mapas morfodinámicos obtenidos a partir de tres métodos y técnicas diferentes: 1) por interpretación de un par estereoscópico de imágenes SPOT XS-LANDSAT TM; 2) por interpretación de un par estereoscópico de imágenes radar ERS-1; 3) por levantamientos de terreno apoyados en interpretaciones de fotografías aéreas. El área test se localiza en la cordillera oriental de los Andes colombianos sobre la cuenca alta de río Chicamocha.

De un total de 458 movimientos en masa cartografiados sobre el terreno, 265 fueron identificados sobre el par estereoscópico Spot-landsat y 52 sobre las imágenes radar ERS-1. Por otra parte, 43 nuevos movimientos en masa fueron identificados y cartografiados en el par estereoscópico Spot-landsat y 7 sobre las imágenes radar ERS-1. Este estudio establece la importancia de los levantamientos de terreno y la utilidad de las imágenes de satélite en la complementación de estos mapas morfodinámicos. Igualmente se establecen las ventajas y desventajas en cada método o herramienta de trabajo.

ABSTRACT

In order to evaluate The satellite image potential in The mass movement mapping, it was developed methods to compare morfodinamic maps obtained from: 1) stereoscope pair of spot xs-Landsat tm images interpretation, 2) stereoscope pair of radar ERS-1 images interpretation, 3) field work, based upon aerial photographs. The test's area is located

in The Colombian Easter Cordillera in The high part of The Rio Chicamocha basin.

From 458 mass movements, field mapped, 256 were identified over The stereoscope pair of spot-landsat. In addition, 43 no identified mass movement were recognized and mapped over The stereoscope pair spot-landsat and 7 over The ERS-1 radar images.

This work emphasize on The importance of The field work to elaborated morphodinamic maps as well as it establish The satellite images in The complement of them; furthermore, it shows The advantage and fails of each method as a work tool.

INTRODUCCIÓN

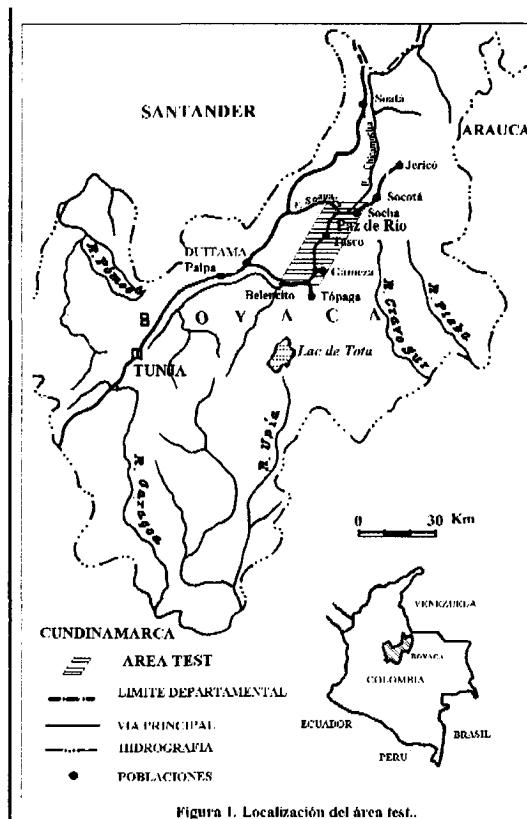
Los sensores remotos constituyen una herramienta indispensable en estudios ambientales. La evolución y perfeccionamiento de las técnicas espaciales y de equipos de recepción y análisis ofrecen día a día mejores productos digitales y fotográficos. Las imágenes de satélite particularmente SPOT y LANDSAT han sido ampliamente utilizadas en diferentes estudios. Vargas, (1992 y 1994) presenta una metodología para la zonificación de mapas de susceptibilidad utilizando imágenes de satélite y SIG; Vargas y Chorowicz, (1994a) presentan métodos de cartografía automática de movimientos en masa sobre imágenes de satélite; Vargas y Chorowicz, (1994b) evalúan las imágenes radar ERS-1 en el estudio de movimientos en masa en zonas montañosas. En este trabajo se presenta por primera vez una evaluación del potencial cartográfico de movimientos en masa de las imágenes de satélite Landsat, Spot y radar ERS-1 a partir de un estudio detallado de campo y análisis de fotografías aéreas.

Este trabajo se realizó en el marco de una tesis de Doctorado sobre métodos de cartografía de movimientos en masa y zonificación de amenazas (Vargas, 1995). Investigación que fue auspiciada por el INGEOMINAS y el proyecto internacional GARS (Geological Applications of Remote Sensing in Colombia).

ÁREA TEST

El área de estudio se localiza al noreste del departamento de Boyacá, sobre la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos y hace parte de la cuenca alta del río Chicamocha. Geográficamente está limitada al sur con los municipios de Belencito y Tópaga y al norte con la población de Paz Viejo. (Figura 1). Las coordenadas geográficas de sus puntos extremos son:

NW: X = 1.158.900	Y = 1.145.600
SW: X = 1.130.000	Y = 1.129.300
EN: X = 1.158.900	Y = 1.155.600
SE: X = 1.130.000	Y = 1.139.400



La superficie aproximada es de 300 km². En del área la principal vía de comunicación la constituye la carretera que partiendo de Sogamoso une las poblaciones de Corrales, Tasco, Paz del Río y Soacha,

esta vía es pavimentada hasta Corrales y afirmada en el resto de su recorrido, va paralela al curso del río Chicamocha.

El relieve en el área estudiada es el reflejo de la interacción de factores geológicos, tectónicos, climáticos y procesos degradacionales de erosión y fenómenos de remoción en masa.

La presencia predominante de formaciones geológicas de rocas duras y blandas, determinan una variedad de geoformas en escalón, que se manifiesta por escarpes o pendientes muy abruptas que se interrumpen con morfologías más suaves y onduladas.

Por otra parte la tectónica regional con fallas longitudinales y transversales al valle del río, pliegues sinclinales y anticlinales, desarrollan geoformas estructurales como escarpes de falla, colinas alineadas, cuestas, depresiones morfológicas, etc.

IMÁGENES DE SATÉLITE UTILIZADAS

Las imágenes de satélite SPOT y LANDSAT utilizadas en este estudio fueron suministradas por el Centro Nacional de Estudios Espaciales de Francia (CNES) en el marco del proyecto de investigación GARS (Geological Application of Remote Sensing) en Colombia. Este proyecto fue lanzado por la International Union of Geological Sciences (IUGS) y la UNESCO y participaron INGEOMINAS, el BRGM (Francia), la Universidad de Paris VI y el ITC (Holanda). La imagen radar ERS-1 fue suministrada por la Agencia Espacial Europea (ESA) en el marco del proyecto piloto ERS-1. Las principales características de estos productos satelitales son:

- ◆ Una imagen SPOT-XS K649 J338, del 16 de febrero de 1989. Ángulo de incidencia 26.5°, azimut +123.4°, cobertura de nubes 1102, nivel de corrección geométrica 1B.
- ◆ Una imagen LANDSAT-TM path 007-row 56 del 11 de enero de 1988.
- ◆ Una imagen SAR ERS-1 frame 58411, orbit 5554, del 16 de octubre de 1992, formato PRI.

ERS-1 EN LA CARTOGRAFÍA DE MOVIMIENTOS EN MASA

En las zonas frecuentemente cubiertas por nubes los captores que operan en el dominio óptico son

ineficaces. Las imágenes radar satélite constituyen una nueva herramienta para el estudio y vigilancia de los fenómenos naturales. Afin de evaluar el potencial de las imágenes radar SAR ERS-1 para la cartografía de movimientos en masa en zonas montañosas, se realizó una interpretación visual sobre la pantalla de la computadora, con un mejoramiento previo de la dinámica y realce de bordes y estructuras aplicando filtros.

Del análisis e interpretación de la imagen de referencia se pueden extractar las siguientes apreciaciones y resultados (ver figura 2):

1. En los valles profundos, la capacidad cartográfica de las imágenes radar es limitada. En la zona test las laderas de la margen izquierda del río Chicamocha muestran distorsiones, inversiones de relieve y efectos de sombra.
2. En la zona test, los movimientos en masa, especialmente los movimientos en masa recientes y de grandes dimensiones han modificado la superficie del terreno. La vegetación ha sido removida dejando el suelo o la roca desnuda. En el terreno adyacente o intacto se desarrolla generalmente una superficie lisa con un coeficiente de retrodifusión nulo a muy bajo que se manifiesta sobre la imagen como zonas con tonalidades negras a grises oscuras. Las áreas de deslizamientos generan por lo general superficies muy rugosas que produce un fuerte coeficiente de retrodifusión manifestado en las imágenes como zonas de tonalidades grises claras.
3. Ciertas áreas, presentan rugosidades en la superficie del terreno como producto movimientos de reptación de suelos. Estas zonas fueron identificadas sobre la imagen radar por sus tonalidades claras, como una respuesta a la rugosidad del suelo y al alto valor del coeficiente de retrodifusión.
4. En zonas donde se presentan depósitos poco de movimientos en masa sobre laderas de alta pendiente y de bajo espesor, desarrollan unas formas lineares. Sobre las imágenes radar ERS-1 estas características permiten su identificación.

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE TRABAJO

Sobre un área test (300 km^2) de alta incidencia de fenómenos de remoción en masa y alta erosión se realizó un estudio cartográfico de movimientos en masa mediante tres técnicas y métodos diferentes:

- 1) A partir de estudios convencionales de interpretaciones de fotografías aéreas (escalas 1:25.000-1:50.000) y trabajos de campo (1:25.000),
- 2) utilizando un sinergismo estereoscópico entre una imagen Spot XS (bandas XS3, XS2, XS1) y una imagen Landsat TM (bandas TM4, TM5, TM3). Las imágenes fueron corregidas geométricamente mediante el proceso de correlación automática y la generación del modelo numérico de terreno respectivo e interpretadas sobre productos fotográficos a escala aproximada 1:50.000. (figura 3)
- 3) un par estereoscópico formado por imágenes radar ERS-1. Estas imágenes fueron corregidas geométricamente a partir de un modelo numérico de terreno obtenido del par estereoscópico Spot-landsat e interpretadas digital y visualmente sobre productos fotográficos a una escala aproximada 1:50.000. El área de cobertura de la imagen ERS-1 con respecto al área test es mostrada en la figura 4 y el par estereoscópico en la figura 5.

RESULTADOS

Los resultados cartográficos de movimientos en masa obtenidos a partir de los tres métodos utilizados se presentan graficamente en la figura 6 y estadísticamente en la tabla 1.

La utilización de cada uno de estos métodos presenta una serie de ventajas y también de desventajas que son resumidas en la tabla 2.

CONCLUSIONES

En este trabajo se demuestró que los estudios detallados de terreno en conjunto con el análisis de fotografías aéreas son más irrelevantes para la cartografía de movimientos en masa que cualquier otra técnica. Sin embargo se demuestra igualmente que las imágenes de satélite no solamente constituyen una herramienta que complementa estos estudios, si no que permiten obtener

cartografías preliminares de buena precisión para áreas donde se requieran evaluaciones rápidas con un mínimo de control de campo. Un ejemplo del tiempo de optimización del tiempo con la utilización de las imágenes de satélite (Landsat-Spot) pudo ser estimado en este estudio. El trabajo de terreno y la interpretación de fotografías aéreas tuvo una duración de unos 6 meses, mientras que el análisis e interpretación de las imágenes de satélite se realizó en un lapso de una semana sin tener en cuenta el tiempo de adquisición de los productos.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- 1) **Vargas Cuervo G.**, (1989). Estudio geológico-geomorfológico y zonificación de amenazas de la cuenca alta del río Chicamocha entre Socha y Belencito, Departamento de Boyacá, Colombia. Informe Ingeominas. pp 176, Tres anexos.
- 2) **Vargas Cuervo G.** (1992a). Methodologie pour l'établissement de cartes de sensibilité aux mouvements de terrain, fondé sur l'utilisation d'un couple stéréographique SPOT-XS/LANDSAT-TM. Memorias I Simposio Suramericano de Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el estudio de riesgos naturales. IGAG, SELPER. Bogotá, Colombia, mars 1992.
- 3) **Vargas Cuervo G.**, (1992b). Los modelos numéricos de terreno y su aplicación al estudio de los deslizamientos. Memorias II Simposio Latinoamericano Sobre Riesgo Urbano y II Conferencia Colombiana de Geología Ambiental. Vol 2, 17 p.
- 4) **Vargas, Cuervo G. y Jean Chorowicz.** (1994b). Evaluacion de imagesnes Spot y Landsat en la identificacion y cartografia de movimientos en masa. Investigaciones sobre los riesgos geologicos en ciudades de America Latina. CREAMOS, AGID. pp. 1-25.
- 5) **Vargas Cuervo G.**, (1994). Metodología para la cartografía de zonas susceptibles a los movimientos en masa a partir de sensores remotos y SIG. Boletín Geológico Ingeominas Vol 34 - 1 de 1994.
- 6) **Vargas Cuervo G.**, (1995). Developpement de methodes de cartographie des mouvements de masse et de zonage de l'alea dans les Andes de la Colombie. These de Doctorat en Ciences de la terre, spécialité Géosciences de l'environnement. Université pierre et Marie Curie (Paris VI). No 95.8. 329 pp. 12 mai, 1995.

Método y técnica de trabajo	Número de movimientos en masa			
	Totales	Respecto al trabajo de terreno		% sobre el total
		No identificados	Nuevos	
CARTOGRAFÍA DE TERRENO (fotos aéreas)	458	-	-	91,47
SPOT XS - LANDSAT TM	265	193	43	52,89
SAR ERS-1	52	399	7	10,37
TOTAL MOVIMIENTOS		501		

Tabla 1. Resultados comparativos de movimientos en masa cartografiados a partir de tres métodos diferentes.

Método de estudio	Ventajas	Desventajas
FOTOS AÉREAS Y TERRENO	<ul style="list-style-type: none"> - Sin límites de resolución - Bajos costos de los materiales (fotos) - Facilidad de análisis - Capacidad de análisis estereoscópico - Sin límites de escala. - Buena precisión cartográfica - Distinciones y clasificaciones detalladas - Inventarios precisos. 	<ul style="list-style-type: none"> - No disponibilidad de datos digitales. - Visión local del terreno - Interpretación prolongada y dispendiosa - Poca disponibilidad de productos en color. - Problemas de nubosidad. - Altos costos por las misiones de terreno..
SPOT-LANDSAT	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad de interpretación digital y fotográfica. - Mayor análisis con banda multiespectrales - Capacidad de realce espectral - Cartografía automática - Estereoscopia por sinergismo - Vista sinóptica - Buen contraste morfológico. - Diferenciación de zonas saturadas - Optimiza el trabajo de campo y reduce los costos de los estudios regionales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costos de las imágenes - Se requiere una capacitación para el procesamiento digital. - Limitantes de resolución espacial (20 m-30 m) - Limitantes fotográficos a escalas 1:50.000) - Inoperantes en zonas de nubes - Poca definición de los contornos de los movimientos. - Difícil identificación de suelos reptantes - Difícil identificación de movimientos cubiertos por vegetación..
SAR ERS-1	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad de Interpretación digital y fotográfica. - Vista sinóptica. - Operante en zonas cubiertas por nubosidad - Capacidad de distinguir suelos reptantes - Distinción de zonas saturadas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitaciones en zonas de fuerte relieve (efectos de sombras, distorsiones e inversiones en la posición de los objetos). - Resolución espacial limitada a 25 m - Requiere de una capacitación. - Poca definición de los contornos de los movimientos.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de los métodos utilizados.

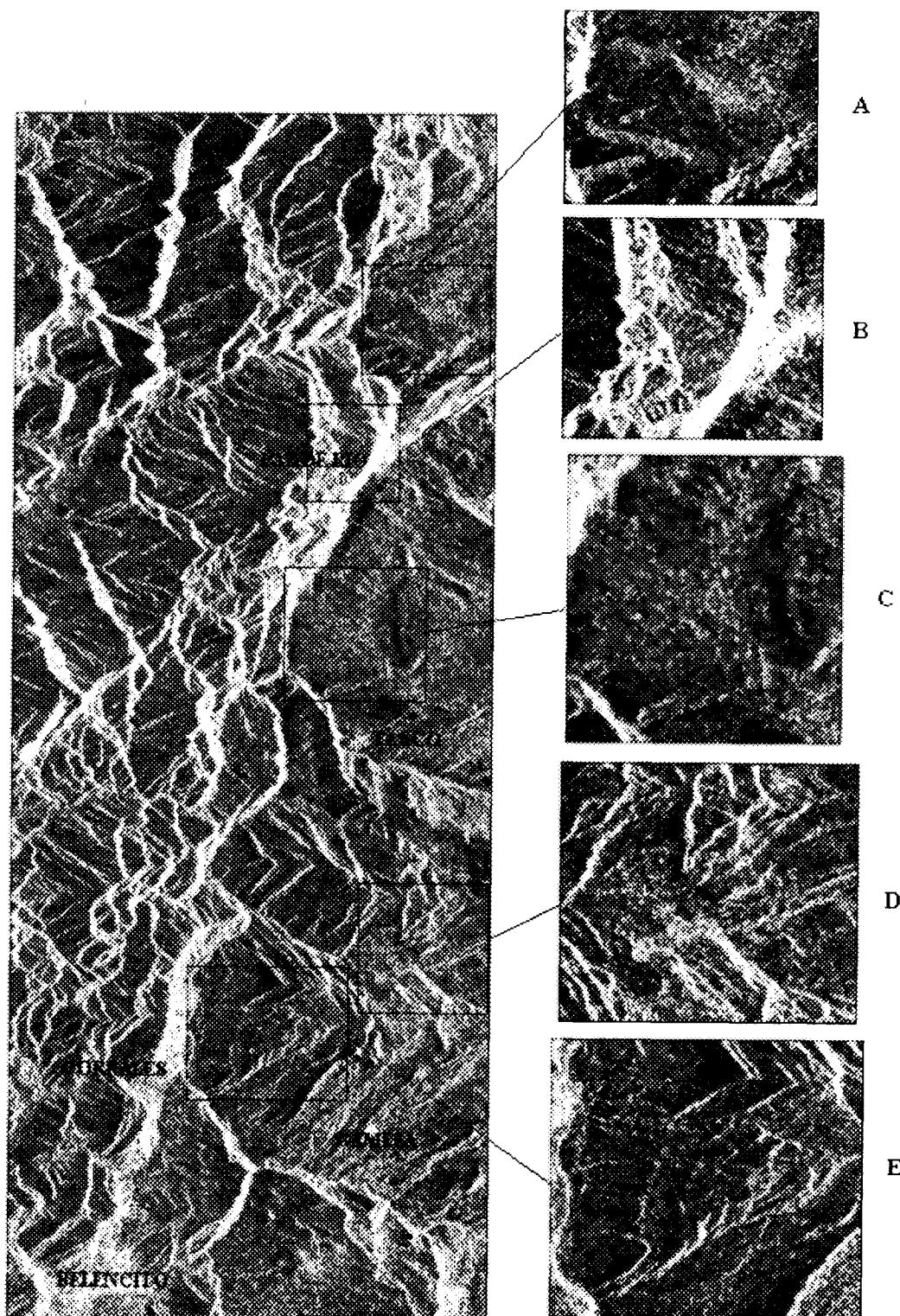


FIGURA No 2. Ejemplos de identificación de movimientos en masa sobre una imagen ERS-1

- A : Deslizamiento desprovisto de vegetación en tonalidad gris claro. Superficie rugosa.
- B : Deslizamiento en abanico identificado por contraste morfológico.
- C : Cicatrices de deslizamientos identificadas por contraste de tonos y morfología.
- D : Zona de reptación de suelos (tono gris claro) identificada por contraste de tonos. Superficie rugosa
- E : Deslizamiento en abanico identificado por el desarrollo de una estructura lineal perpendicular a la dirección de la capas.

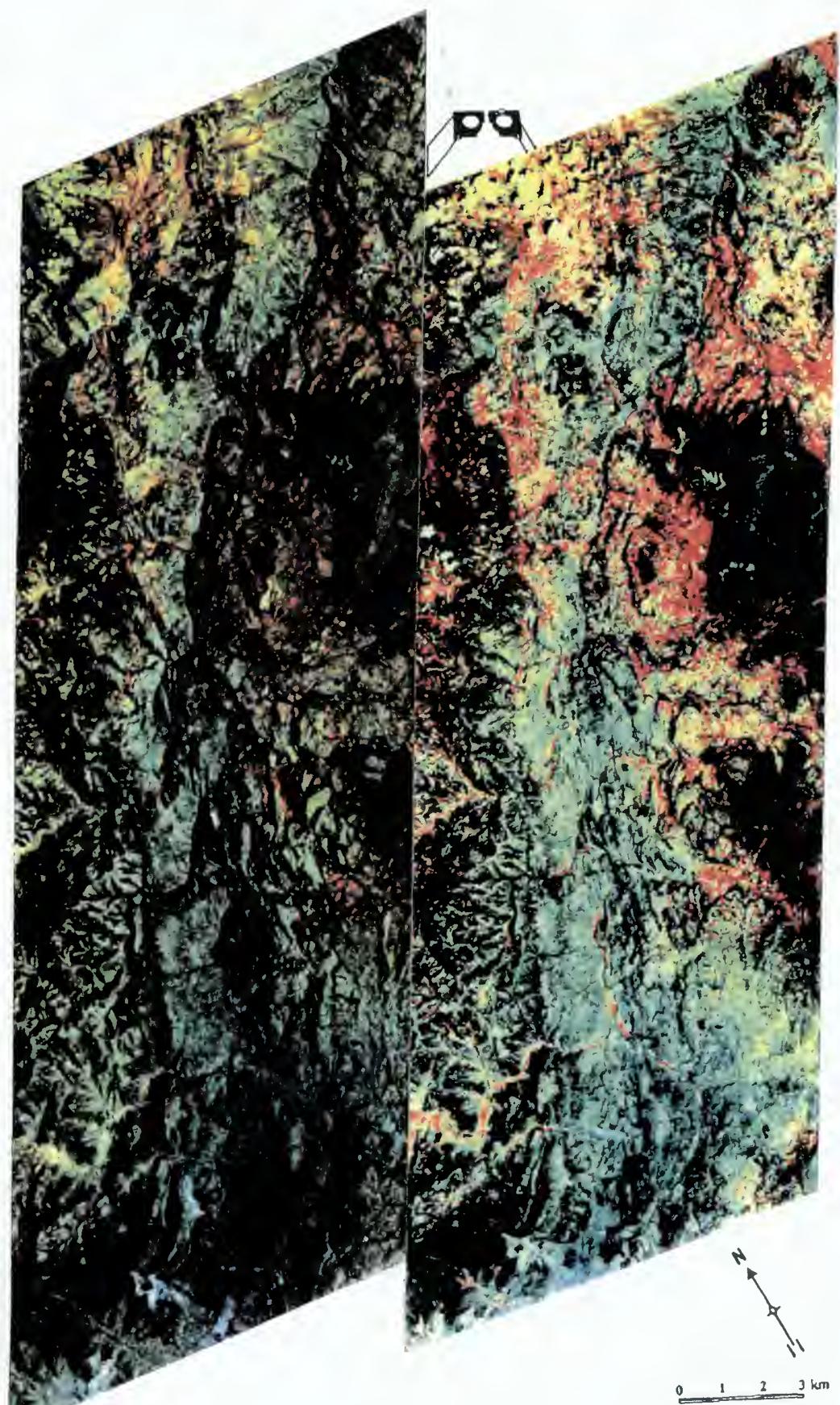


Figura 2. Sinergismo estereoscópico entre una imagen SPOT-XS (bandas XS1, XS2, XS3) y una imagen LANDSAT-TM (bandas TM4, TM5, y TM3).

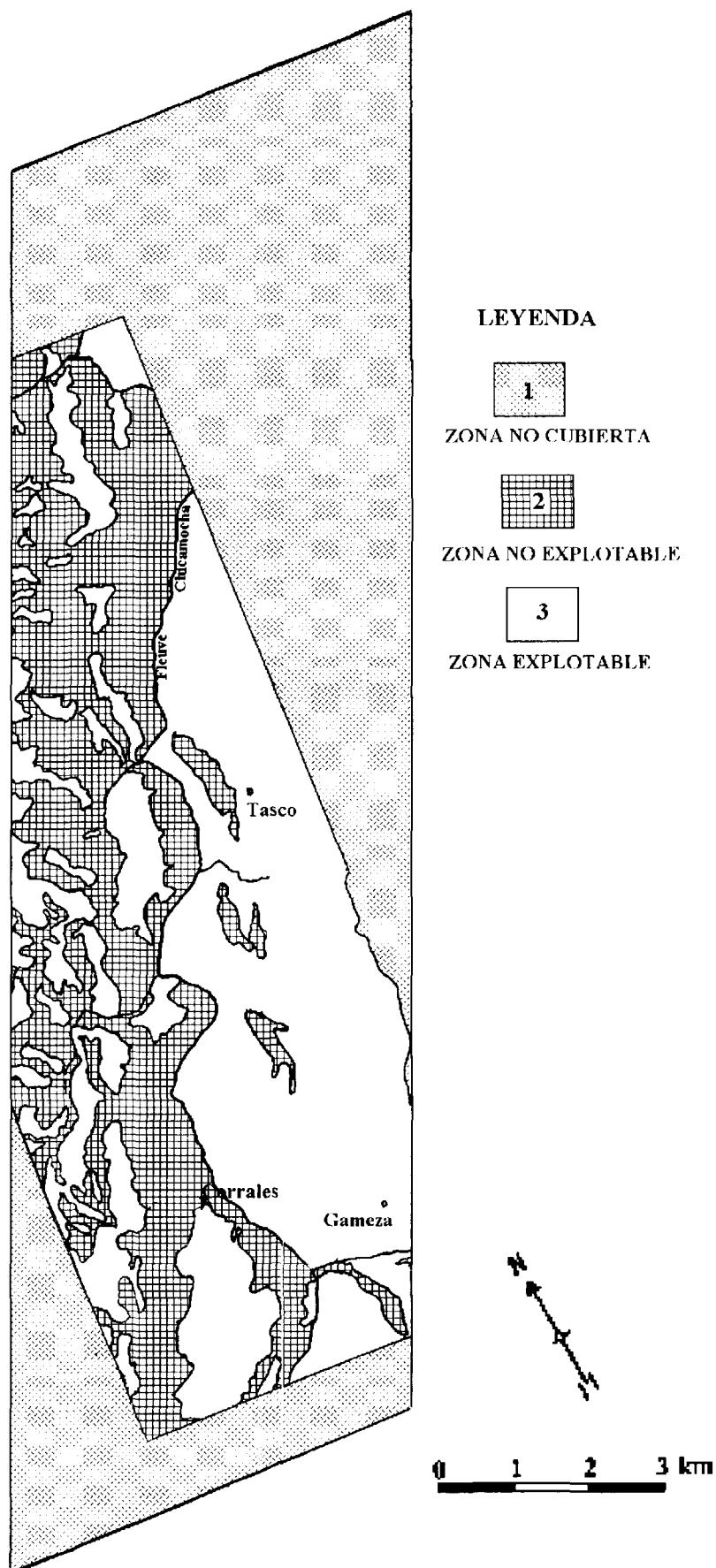


Figura 4. Zona de translape de la imagen SAR ERS-1 en relación al área test.

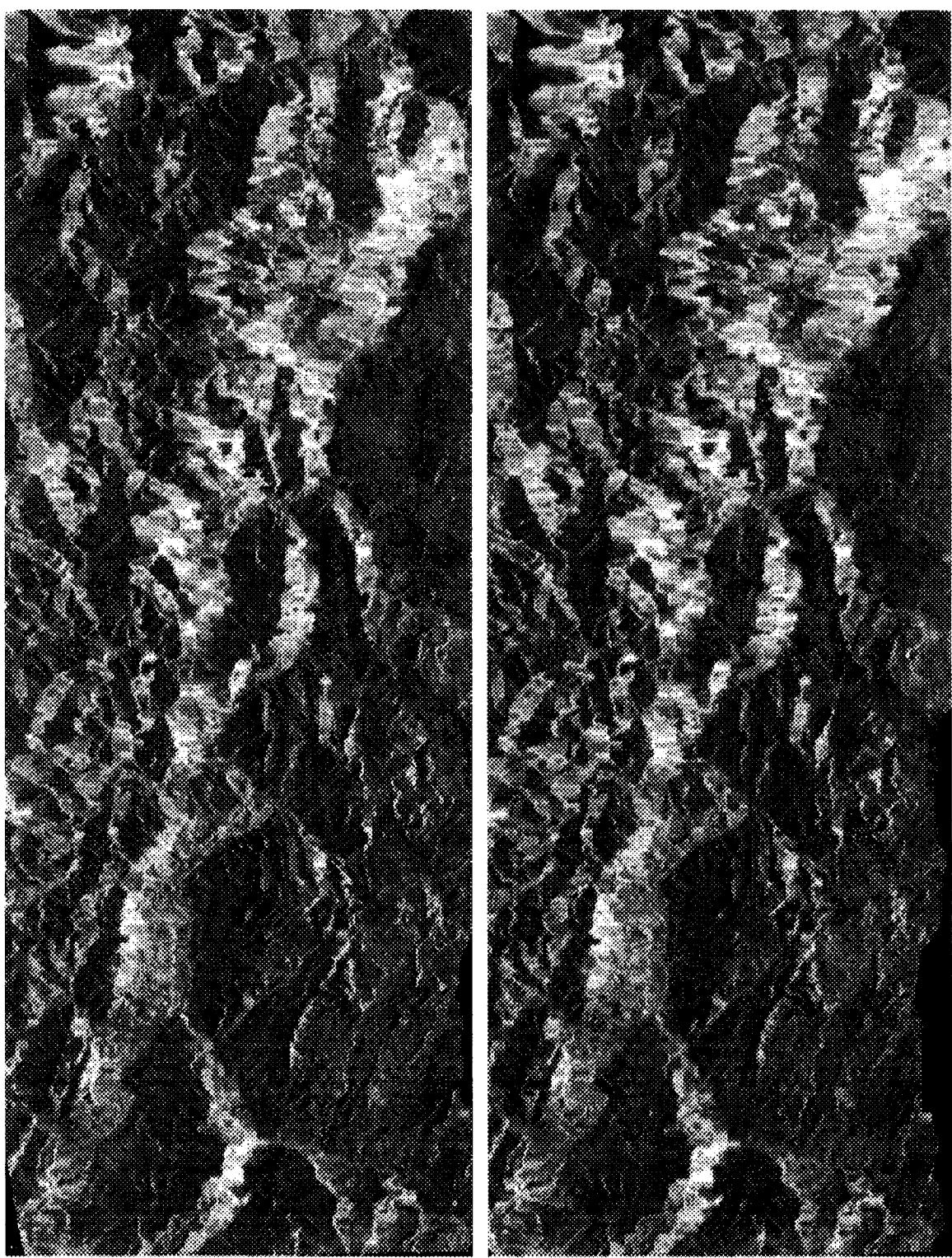


Figura 5. Par estereoscópico sintético de imágenes radar SAR ERS-1

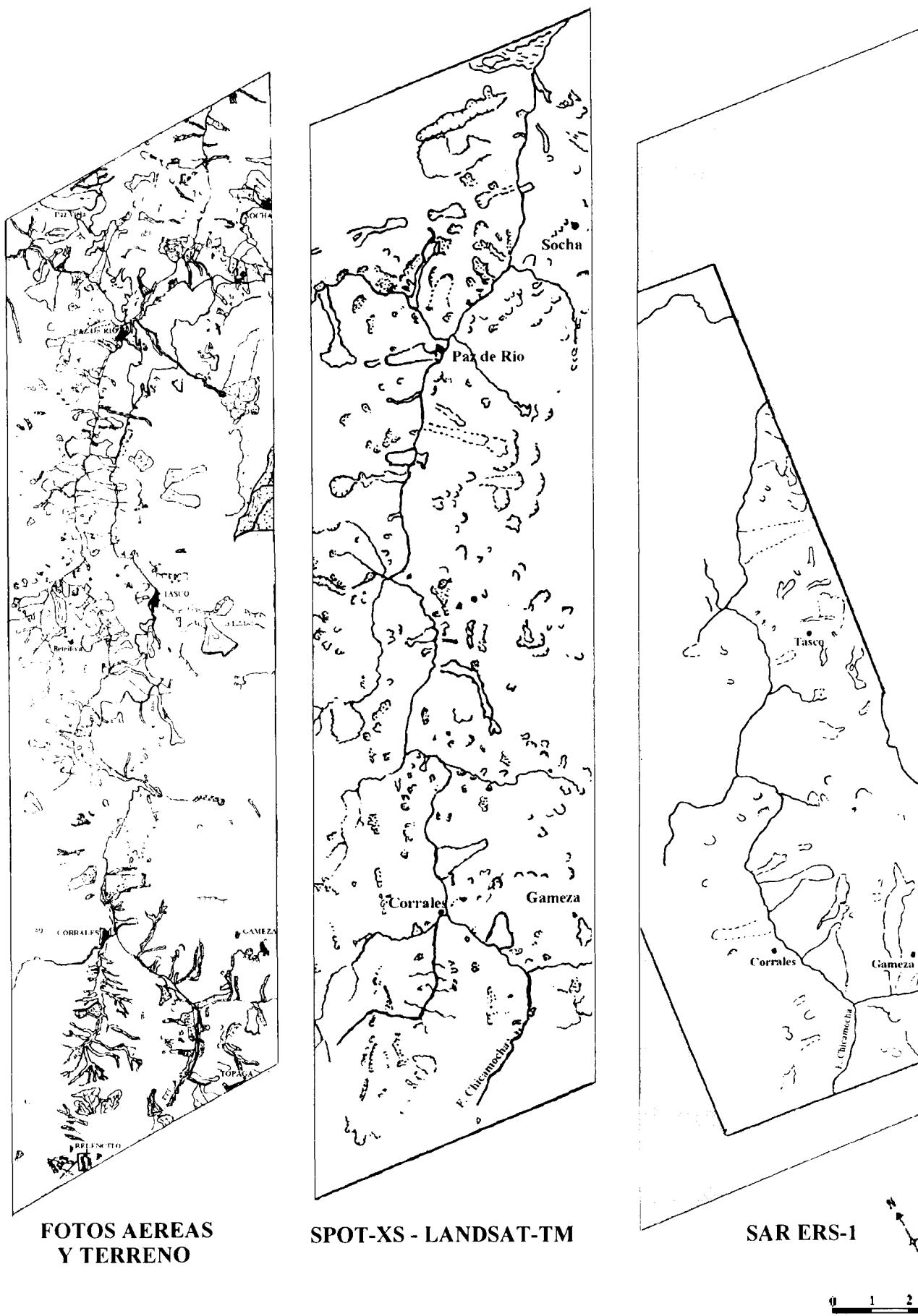


Figura 6. Cartografía comparativa de movimientos en masa a partir de tres métodos diferentes

APORTE DE LAS IMÁGENES ERS-1 A LA CARTA GEOTECTÓNICA DE CUYO. SECTOR CENTRO-ESTE DE LA PROVINCIA DE SAN JUAN, ARGENTINA.

Juan Carlos Perucca, Graciela Salinas de Salmuni, María C. Puertas y Juvenal Zambrano

Universidad Nacional de San Juan
Laprida 1130 (o) - Cp: 5400 - San Juan - Rep. Argentina.
Tel: (54-64) 211700 - int: 341. Fax: (54-64) 220556. E-mail: teledet@unsj.edu.ar

ABSTRACT

In this paper is reported the way ERS imagery can be applied as an useful approach for the correct assessment of the most important alignments observed 20 years ago by means of other satellite scanners. In the sense, San Juan is a very good test area because it is being investigated from long time ago with aerial photographs surveys (1960-66-81), ERTS-2 MSS (1977), Landsat 4-5 TM (1984), Landsat MSS and TM (1994) and now with ERS-1 image. The results that were obtained in this research tend to stand out the contribution that radar imagery makes to understand the data which were previously confused interpretation.

RESUMEN

En este trabajo presentamos la forma en que las imágenes ERS se pueden aplicar como un método útil para evaluar correctamente los lineamientos más importantes observados desde hace 20 años, mediante otros escánes satelitales. En este sentido, San Juan es área de ensayo muy buena, ya que se la está investigando desde hace mucho tiempo con un levantamiento aerofotográfico (1960-66-81), ERTS-2 MSS (1977), Landsat 4-5 TM (1984) y en la actualidad con cobertura Radar ERS, con los resultados obtenidos en esta investigación se tiende a destacar el aporte que realizan las imágenes de radar para comprender los datos anteriormente revelados, que presentan una interpretación confusa.

1- RESEÑA GEOLOGICA

Dominan la Provincia de San Juan cuatro unidades orográficas: las Sierras Pampeanas al este, la Precordillera en el centro y las Cordilleras Frontal y Principal al oeste, separadas todas por grandes valles longitudinales de rumbo meridiano (Fig.1).

En las Sierras Pampeanas se encuentran los afloramientos más antiguos, compuestos por anfibolitas, gneisses y esquistos carbonáticos o micáceos o cuarzosos de edad precámbrica a eopaleozoica. En forma errática y en los bordes de la sierra suelen aparecer sedimentitas continentales de edad carbonífera, pérmbica y triásica, hasta mioceno-plioceno. Las formaciones del Triásico son famosas por su fauna de vertebrados.

La Precordillera recorre íntegramente la provincia de norte a sur, con cordones que suelen alcanzar los 5000 m de altura. Se caracteriza por potentes formaciones calcáreas cambro-ordovícicas, de intenso aprovechamiento industrial, sedimentitas clásticas marinas de edades que van del Silúrico al Carbonífero, sedimentitas continen tales carbopermáticas, rocas efusivas ácidas y mesosilíceas permotriásicas con actividad mineralizadora. Es conocido en este sentido el batolito de Huachi, datado radimétricamente como Cretácico Inferior.

La Cordillera Frontal es una cadena de unos 700 km que cruza San Juan en su borde occidental, con cotas que superan los 6000 m; la integra un complejo de sedimentitas marinas ordovícicas, silúricas, devónicas y carboníferas, vulcanitas ácidas del Pérmico y enormes cuerpos plutónicos ácidos permotriásicos. Se encuentran también importantes afloramientos de sedimentitas y vulcanitas terciarias, casi todas ellas relacionadas con manifestaciones cupro-auríferas que parecen alcanzar volúmenes significativos.

Finalmente, la Cordillera Principal ocupa el rincón SW de San Juan, con un basamento eopaleozoico muy saltuario, vulcanitas permotriásicas, sedimentitas continentales del Triásico Superior, piroclastitas triásicas y jurásicas, marinas jurásicas con intercalaciones de evaporitas, marinas cretácicas, vulcanitas del Cretácico Sup., intrusivas del Cretácico al Terciario y efusivas terciarias a cuaternarias.

Los valles intermontanos, en los cuales se asienta la población sanjuanina, siguen la misma directriz N-S de los cordones montañosos, siendo muy anchos los orientales y algo más angostos los intercordilleranos. En sus bordes suelen aflorar cerrilladas donde predominan limos, arcillas y conglomerados continentales del Terciario, que alcanzan hasta 5000 m de espesor. Por estos valles discurren los dos únicos ríos que alimentan los oasis habitados, formando en algunos sitios lagunas de evaporación llamadas "barrealitos", así como formaciones de origen eólico que cubren grandes áreas.

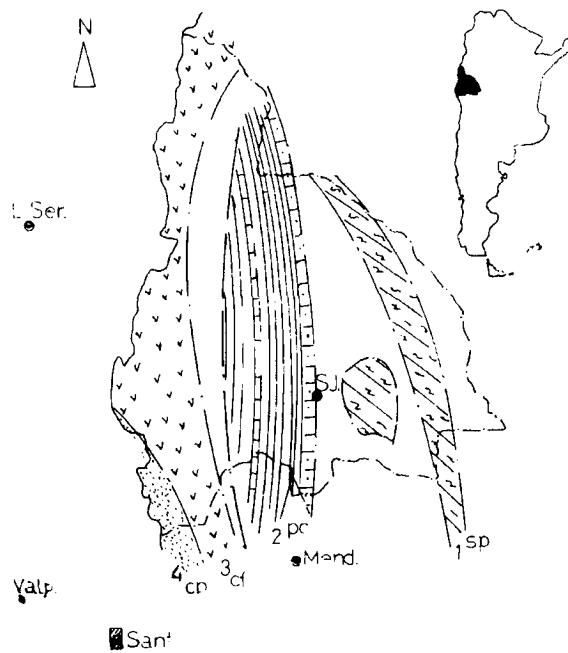


FIGURA 1- Croquis de ubicación.

2. ESTRUCTURAS

Las Sierras Pampeanas muestran una característica estructura en bloques limitados por fallas longitudinales inversas, con ascenso y vuelco del macizo fracturado. Los rumbos predominantes son N-S y NNW-SSE, buzando casi todas entre 45 y 70 hacia el bloque levantado. Este sistema de fractura fué asignado a una orogenia variscica reactivada durante el Terciario

inverso y ángulo medio a bajo. El estilo corresponde a la tectónica andino-terciaria. Existe un importante sistema de fallamiento rumbodeslizante, N-S, reconocible a lo largo de 300 km en la Precordillera Occidental.

La tectónica de Cordillera Frontal es compleja y se caracteriza por una estructura imbricada compuesta por pliegues y fallas inversas, generalmente de alto ángulo buzando al oeste. La Cordillera Principal muestra pliegues simples de amplio radio de curvatura, raramente volcados con rumbo submeridional; en el borde aparecen corrimientos y escamas que se montan de este a oeste.

En los abanicos pedemontanos y en los valles longitudinales es común observar alineamientos que corresponden a fracturas de actividad moderna.

3. USOS DEL SUELO Y ECONOMIA REGIONAL

San Juan, ubicada en el centro-oeste de la Argentina, está inserta dentro de la llamada "diagonal árida" de América del Sur, con una superficie de 92.000 km², de los cuales apenas 850 km² están cultivados gracias al riego artificial. La población puede estimarse en unos 500.000 habitantes, de los cuales el 90% se encuentra en el Valle del Tulúm, asiento de la ciudad capital.

La economía provincial puede sintetizarse según los datos siguientes:

a. agricultura y ganadería	23 %
b. industrias (vinicultura, cales y otras)	20 %
c. comercio	13 %
d. minas y canteras	7 %
e. construcciones	7 %
f. servicios	30 %

La viticultura representa un 70 % dentro del sector agrícola y con ello equivale a un 16.1 % del PBI provincial.

La actividad minera, que nos interesa particularmente, se ha basado en las últimas 3 décadas casi exclusivamente en la explotación y procesamiento

En la actualidad existe una enorme expectativa ante los numerosos prospectos auríferos y cupro-auríferos que se están explorando en la alta cordillera por parte de empresas canadienses, australianas y estadounidenses.

4. TRABAJOS ANTERIORES CON LANDSAT 1 - MSS y TM

En estudios realizado hace varios años se elaboró la Carta Geotectónica de Cuyo (Perucca J.C.; Zambrano J. 1979) (Fig.2), con imágenes del barredor MSS del Landsat 1 (o ERTS 1), se detectaron numerosos alineamientos, expresados a través de escarpas y cortes en el terreno, control de cursos de agua y en el relieve de los macizos rocosos. Si bien el estilo tectónico de estos últimos es en gran parte el resultado de movimientos ándicos

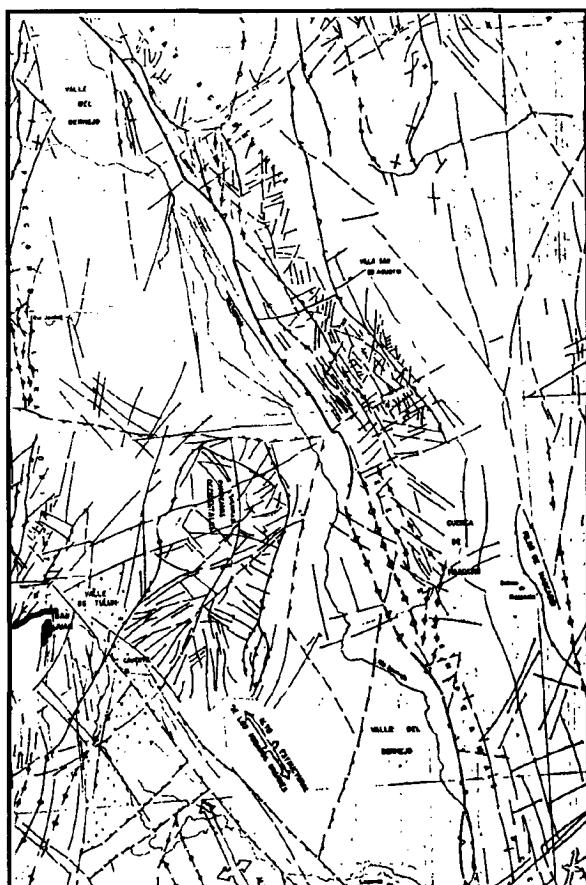


FIGURA 2: Zona bajo estudio extraída de la Carta Geotectónica de Cuyo.

ocurridos durante el Cenozoico, muchas trazas regionales y megafracturas se originaron como

consecuencia de procesos tectónicos más antiguos, en especial los variscos y tacónicos.

El límite entre las Sierras Pampeanas y la Precordillera está determinado no sólo por fallas regionales, sino además por la desaparición hacia el este de los terrenos cámbicos, ordovícicos, silúricos y devónicos. La mayor sismicidad en Cuyo se registra en áreas vecinas a este límite, donde se observan numerosas fallas activas. De allí la importancia asignada a la detección de trazas que pudieran relacionarse con procesos de neotectónica en las acumulaciones cuaternarias de los grandes valles longitudinales.

Las imágenes Landsat del MSS en banda 4 (0,8 a 1,1 micr) fueron de gran ayuda para definir alineamientos en los terrenos modernos, casi siempre vinculados a fallamientos en bloques de sedimentitas terciarias. En los abanicos pedemontanos se observan numerosos alineamientos, con barrancas de falla, que provocan el ascenso de las capas freáticas frente a los bloques arcillosos del Terciario. Muchas de estas fracturas fueron clasificadas como "activas" de acuerdo a Normas de la IAEA (Viena).

Gracias al mosaico Landsat a escala 1:1.000.000 se definieron varias megatraces de enorme significado sismo-tectónico: la del sistema Bermejo-Desaguadero con unos 1200 km de recorrido con rumbo NNW-SSE; la de Guayaupa-Olta-Salinas Grandes de rumbo ENE-WSW y unos 500 km de longitud; la San Juan-San Luis, no conocida anteriormente, de unos 400 km y rumbo NW-SE; y la macrotraza del Río Mendoza con 200 km y rumbo N-S. Estas últimas tres conforman un triángulo que coincide con la depresión del Valle del Tulum. Hacia el noreste de la Sierra del Pie de Palo también se detecta un importante crucero de megatraces, área donde se han concentrado los epicentros de los últimos sismos que afectaron el territorio sanjuanino. (Fig. 3)

Para dimensionar el significado capital de estos fenómenos detectados con el mosaico Landsat nos remitimos al trabajo del Dr. Slemmons (Universidad de Nevada, Reno, USA) (Fig. 4) detallando la relación lineal establecida por Albee & Smith entre la longitud del fallamiento moderno y las magnitudes de los sismos esperables en el área de influencia. Este análisis fue comprobado en San Juan, al ubicarse los epicentros de los mayores sismos ocurridos en los últimos años coincidiendo llamativamente con los cruces de megatraces tal como aparecen señalados en el análisis del mosaico.

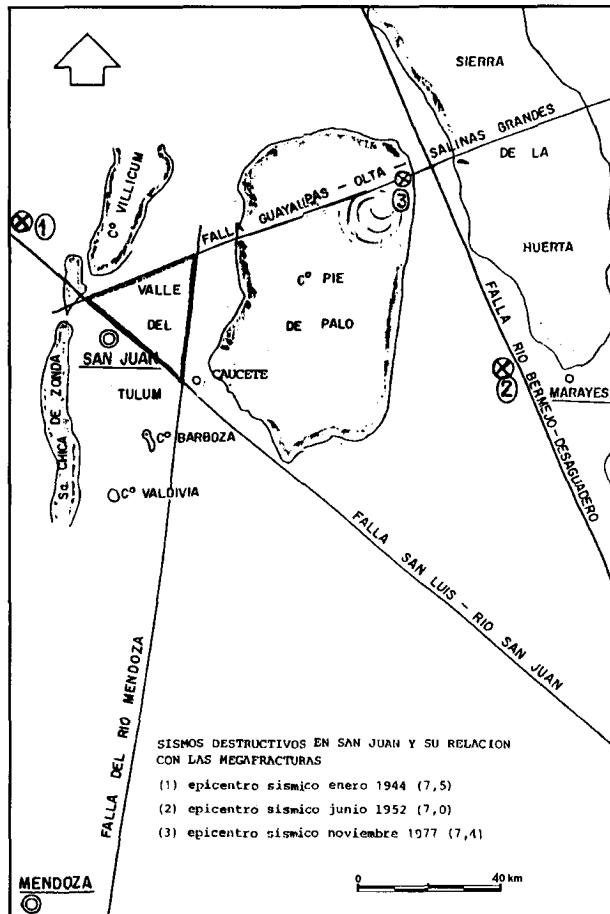


FIGURA 3

A partir del año 1994, se procesaron digitalmente (procesador ERDAS) las imágenes Landsat MSS y TM de la zona bajo estudio dando lugar a numerosos trabajos, entre los que mencionaremos el estudio detallado de fotointerpretación y procesamiento digital de la imagen Landsat MSS en una zona ubicada al sudeste de la Sierra de la Huerta perteneciente al Sistema de Sierras Pampeanas, la aplicación de estos procesamientos dio como resultado la aparición de zonas anómalas relacionadas con un complejo esquema de alteración hidrotermal y su posible relación con la mineralización presente de importancia económica por la presencia de numerosas minas portadoras de minerales como oro, plomo, plata, zinc, fluorita y otros (Puertas, M.C., 1994).

Además, se realizó otro trabajo donde se aplicó la teledetección como método de exploración. Se realizaron bancos de datos con cartografía digital, se utilizaron imágenes Landsat, Sensor MSS, se aplicaron técnicas digitales de realce, de clasificación, de enmascaramiento y filtrados.

Este estudio es de interés por individualizar aluviones con indicios de minerales de tierras raras (Lund, M.) (1994). Sobre este mismo tema, se comprobó que la Teledetección puede ser un gran asistente aplicado en la exploración para encontrar nuevos depósitos porque permitió hacer una clara discriminación entre litologías que permitió seleccionar áreas de interés para la exploración de tierras raras (Berenguer, T.) (1994). Además, se realizaron procesamientos digitales de imágenes que permitieron mostrar diferentes características en la superficie del área de estudio como las estructuras y la litología que reflejaron algunas anomalías detectadas en un distrito minero, asociadas a la mineralización de la zona. Estas técnicas asociadas con la interpretación visual y la superposición de información temática, constituyen a la interpretación de procesos geológicos y metalogénicos. (Puertas, María C., 1994).

Respecto a la Sierra de Pie de Palo, se realizaron trabajos detallados donde se interpretaron y generaron datos provenientes de las imágenes Landsat TM, como su verificación en el terreno con información cartográfica y geológica. Se efectuó un procesamiento digital aplicándole diversos métodos de realce matemático y operaciones entre bandas y se interpretaron las imágenes lo que condujo a ubicar las manifestaciones de agua termomineral relacionadas con zonas de contacto entre el complejo metamórfico y los afloramientos terciarios. (Salinas de Salmuni, G., 1994).

Y el trabajo que se efectuó con el objeto de conocer la geología del cuaternario que rodea la Sierra de Pie de Palo.

Se realizaron combinaciones RGB. La imagen obtenida de la clasificación de la banda térmica permitió diferenciar secuencias de geoformas cuaternarias. (Suvires, G.) (1994).

5- MATERIALES Y MÉTODOS

- Materiales

Se dispuso de una imagen ERS-1 correspondiente a órbita 4621-4239 con fecha 3 de junio de 1992.

Se trabajó con un Sistema de Procesamiento digital de Imágenes ERDAS IMAGINE 8.2

- Métodos

Para lograr una buena visualización de los rasgos analizados, tonalidades y texturas relacionados con los procesos de erosión-acumulación. Se ensayaron varios tipos de filtros - Lee, Frost y Map - para disminuir el

efecto Specke y se realizó un análisis visual y finalmente se aplicó el filtro Frost con una ventana de 3x3 por considerarse el más adecuado.

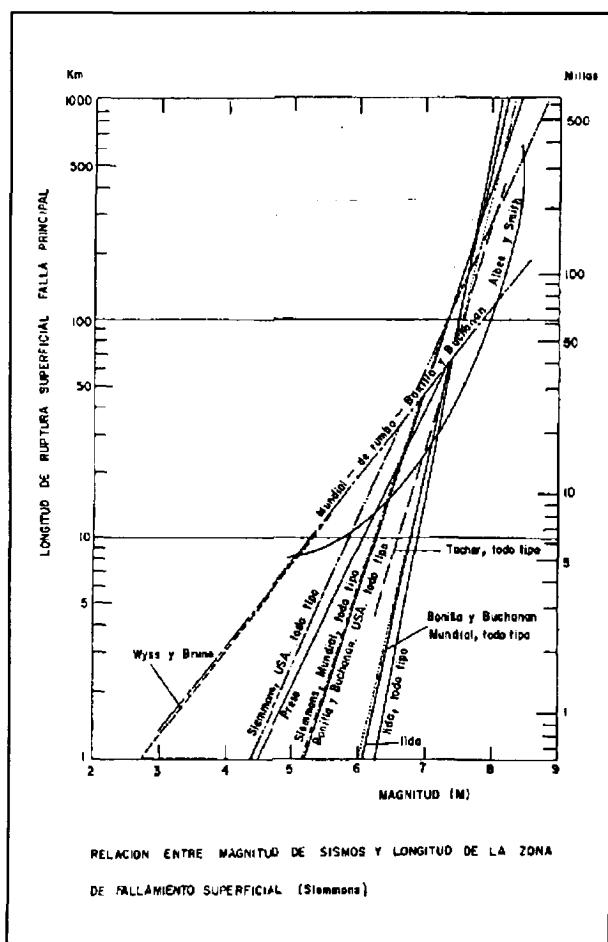


FIGURA 4

FIGURA 5



6- APLICACIONES POSIBLES DEL ERS

Es interesante observar los aportes que puede introducir en el estudio regional las imágenes Radar del tipo ERS-1. La figura 5 muestra la zona bajo estudio, constituida por dos escenas consecutivas dentro de la misma órbita.

Ciertas incógnitas pendientes y facilitando la definición de procesos tectónicos hasta ahora dudosos. Uno de los fenómenos más remarcables es la jerarquización de la gran falla que limita al macizo serrano del Pie de Palo por el este (Fig.6), esta

estructura, si bien conocida desde mucho tiempo atrás no tenía asignada la importancia que ahora remarca

con total nitidez la imagen ERS-1. Es muy llamativa la línea recta que delimita la Sierra, cortándola netamente y separándola de las nacientes de los abanicos pedemontanos que la flanquean al oriente. También son muy notables los alineamientos que evidencian ascensos en bloques del Terciario, especialmente en los

Campos de Ampacama (rincón EN) y los manantiales de Nikisanga (rincón SE).



FIGURA 6. Sector de la imagen ERS-1 de la Sierra de Pie de Palo.

La jerarquización resultante del análisis RADAR tiene gran importancia, porque uno de los aspectos que más nos llamaba la atención era la ubicación del epicentro del gran sismo de noviembre de 1977 (Fig. 7), demasiado hacia el oeste de la megatraza del bermejo y dentro del macizo serrano. La presencia de una traza de la importancia señalada por el ERS resuelve el problema.

Recordemos que la Sierra del Pie de Palo sufrió un ascenso del orden de los 160 cm durante el sismo mencionado; en un principio se pensó en un asentamiento del Valle del Tulum, en vista de los procesos de liquefacción observados, pero las mediciones con relación a un punto fijo 250 km hacia el este, demostraron que fue la sierra la ascendida.

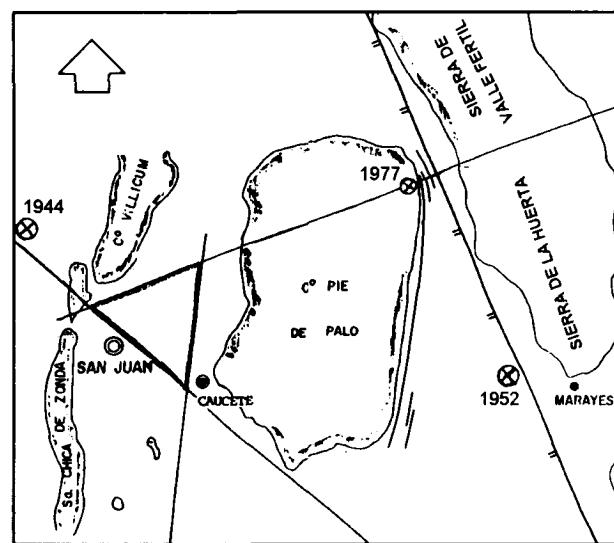


FIGURA 7- Aportes de las imágenes ERS-1 a la interpretación tectónica del Pie de Palo (San Juan).

Otro fenómeno cuya importancia tectónica se ve enfatizada por la imagen ERS-1 es el desplazamiento del cauce del Río Bermejo. Se observa en la imagen que en un principio el río intentó correr muy próximo a la sierra, siendo obligado por el ascenso de ésta a correrse hacia el este, para continuar su curso normal NW-SE. La presencia de paleocauces como el definido en la imagen tiene gran importancia económica pues sirven de guía para la prospección de acuíferos, en una región donde llueven de 70 a 120 mm anuales.

7- TECTÓNICA INTERIOR DE LAS SIERRAS ORIENTALES

En las imágenes del ERS se definen con gran nitidez los alineamientos transversales u oblicuos a los ejes de los cordones montañosos, los que forman dos sistemas: uno orientado WSW-ENE y otro que forma ángulos de 25 a 30° con el anterior, dirigido WNW-ESE. En la Sierra del Valle Fértil los alineamientos del primer sistema coinciden, en varios casos, con zonas de alteración hidrotermal (Fig. 8).

Igualmente, es bien visible una anomalía semicircular en el borde NNE de la Sierra que ya habíamos detectado en una imagen Landsat en 1977, pero cuya existencia fuera puesta en duda por algunos autores. Es importante esta verificación porque en estas sierras hasta ahora no se ha demostrado la presencia de

cuerpos intrusivos profundos, fenómeno del cual una estructura circular suele ser indicio seguro.

En el sector de la cuenca triásica de Ischigualasto aparecen con gran claridad numerosos

alineamientos transversales al rumbo de las estructuras aflorantes, orientados WSW-ENE, los que sólo se distinguen con dificultad en las imágenes



FIGURA 8 Sector Noreste de la image ERS-1

8. SEDIMENTOS MODERNOS

Se destaca con mucha claridad en la imagen del ERS la separación entre sedimentos de llanura aluvial y los del pie de monte; en estos últimos, las líneas de drenaje aparecen con mucha nitidez. Es muy buena también la definición de los campos de dunas tanto los de dimensiones importantes como son los de Las Chacras y los de la Difunta Correa, como los de desarrollo incipiente que cubren la bajada pedemontana en el rincón SW del Pie de Palo y hacia el noreste de la Villa de San Agustín en las estribaciones meridionales de la Sierra de Vilgo.

Las distintas granulometrías del relleno cuaternario aparecen bastante bien diferenciadas, siendo evidente la excelente aplicación de la imagen RADAR para la clasificación de suelos y del uso del territorio.

9-BIBLIOGRAFÍA

- 1975 **Mapa Geológico de San Juan.** - Aparicio, E. - Instituto de Investigaciones Geológicas. Universidad nacional de San Juan.
- 1976 **Reseña geológica estructural de la Región Cuyo** - Zambrano, J. J. - Instituto de Investigaciones Geológicas. Universidad Nacional de San Juan
- 1977- **State-of-the Art for Assessing Earthquake Hazards in the U.S.** - Slemmons, D.B. - Miscellaneous Paper S-73-I - U.S. Army Engineers Corp-
- 1979- **Carta Geotectónica de Cuyo** - Perucca, J.; Puertas, M.; Uliarte, E.; Zambrano, J. - Laboratorio de Fotogeología y Sensores Remotos. Universidad Nacional de San Juan. 1979.

- 1991- Nociones de Fotointerpretación y Sensores Remotos. E1CAM-Universidad Nacional de San Juan.
- 1994 . " Teledetección aplicada al Distrito Minero Cerro Blanco, Sierra de la Huerta, San Juan", M.C. Puertas, G.S. de Salmuni, M. Roldán , M.C. Puigdengolas de Uñac, presentado al "**3º Simposio Argentino de Teledetección**" Córdoba, Argentina.-
- 1994 . "Procesamiento digital de imágenes aplicado a la prospección minera de las Sierras de Valle Fértil, Provincia de San Juan" , M.I. Lund, T.A. Berenguer, G.S. de Salmuni, J.Arturo" presentado al "**3º Simposio Argentino de Teledetección**" Córdoba, Argentina.-
- 1994 . " Teledetection applied to the exploration of rare earths" , T.A. Berenguer, G.S. de Salmuni, M.I. Lund, M.C. Puertas" presentado al "**ECO RIO 94", International Symposium on Resource and Environmental monitoring.** Rio de Janeiro, Brasil.-
- 1994 . " The combined use of Landsat TM image and vector information applied to the characterization of Tulum Valey, San Juan, Argentina " G.S. de Salmuni, R. Porcel, M.I. Lund, M. Roldan." presentado al "**ECO RIO 94", International Symposium on Resource and Environmental monitoring.** Rio de Janeiro, Brasil.-
- 1994 - "Digital Image Processing, Photo interpretation and visual of Cerro Blanco . Mining District. San Juan. Argentina". G. S. de Salmuni, M.I. Lund, J. Arturo, M. C. Puigdengolas M.C. Puerta. Presentado al ECO RIO 94", International Symposium on Resource and Enviroment monitoring. Rio de Janeiro, Brasil.-
- 1994 . "Imagen Processing applied to identify the thermomineral water resources in the Pic de Palo range, San Juan, Argentina." G. S. de Salmuni, G.M. Suvires." presentado al "**3º International Symposium on Hight - mountain Remote Sensing Cartography**". Mendoza, Argentina.-
- 1994 . "Quaternary piedmont units by means of digital analysis of Landsat TM image survey, Pie de Palo range, San Juan, Argentina." G.M. Suvires, G. S. de Salmuni." presentado al "**3º International Symposium on Hight - mountain Remote Sensing Cartography**" Mendoza, Argentina.-
- 1994 . "Imagery applied to the geologic Risk evaluation in Agua Negra International road NR 150, San Juan Province, Argentina." M.M. Sarquis, L. Salinas, G. S. de Salmuni, M. Herrera." presentado al "**3º International Symposium on Hight - mountain Remote Sensing Cartography**" Mendoza, Argentina.-

**EVALUACIÓN DE LA IMAGEN DE RADAR DE ABERTURA SINTÉTICA DEL ERS-1 Y DE SU
INTEGRACIÓN DIGITAL CON DATOS DEL SENSOR ÓPTICO (TM-LANDSAT) PARA EL
MAPEAMIENTO GEOLÓGICO DE LA REGIÓN DE SALOBO, PROVINCIA MINERAL DE CARAJÁS-
BRASIL**

Pedro Alberto Bignelli

Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais
Av. Brig. Faria Lima, 3305 São José dos Campos S.P. Brasil
CEP 12227-000 tel/fax:(012) 321-9003
e-mail: bignelli@ltid.inpe.br

ABSTRACT

This work has focussed on the evaluation of the orbital (ERS-1) SAR data and its integration with TM-Landsat image in the geological mapping of the Salobo area, Carajás Mineral Province (Brazilian Amazon Region). The main objectives of the investigation have encompassed visual and digital analysis of the SAR data and integration image in the lithological discrimination and structural mapping taking into account distinct sensor parameters and acquisition data geometry (polarization, resolution, incidence and azimuth angles and look direction). The research has also aimed at providing insights for the geological knowledge of the Salobo area. The test-site is inserted in the Itacaiúnas Belt, a wide shear zone with probable Archean age and copper deposits, located in the northwest border of the Carajás Mineral Province. The results have shown that the most important radar parameters were incidence and azimuth angles and look direction. ERS-1 data has presented distortion problems related to "layover" and "foreshortening" affects in the high relief area. However, geological information could be extracted in the low relief regions. Digital enhancement and integration techniques proved to be important in the extraction of information with geological meaning from SAR dataset.

1. INTRODUCCION

Existe poco conocimiento y monitoreo de los recursos naturales y especialmente de las reservas minerales de la región amazónica de Brasil. Cerca del 58% del territorio brasileño está cubierto por Bosques Húmedos Tropicales y solamente el 90% de esta porción cubierta por bosques, posee el mapeamiento geológico a escala 1:1.000.000. A pesar de esta situación, algunos yacimientos fueron descubiertos en esta región, entre los cuales se encuentra la Provincia Mineral de Carajás con los mayores depósitos de hierro del mundo y los principales yacimientos de cobre, manganeso y oro de Brasil.

En este contexto, el uso de la Percepción Remota se encuadra como una herramienta importante para la ampliación del conocimiento de esta región. Desde 1972, con el advento del MSS-Landsat, los sensores del espectro óptico han sido utilizados para diferentes

aplicaciones en las Geociencias. La utilización de imágenes de sensores ópticos, para fines geológicos en áreas como la Amazonía, presenta un relativo suceso y algunas limitaciones, estas últimas asociadas a la constante cobertura de nubes de la región, al recubrimiento de la vegetación y también al alto ángulo de elevación solar en las áreas ecuatoriales. De esta forma, la capacidad de discriminación litológica, debido a la interacción directa de la radiación solar con el substrato rocoso, no ocurre en esta situación. Así, la información contenida en las imágenes y diferenciada por matices, se relaciona principalmente con las respuestas espectrales de las asociaciones vegetales, lo que proporciona solamente (lo que permite inferir información sobre los tipos litológicos a través de metodologías de trabajos de geobotánica) abordajes geobotánicas con inferencia de los tipos litológicos, (Paradella et al. 1994).

Por otro lado, las imágenes de radar se han mostrado eficaces para la adquisición de informaciones geológicas en este tipo de ambiente (Silva et al. 1974; Bignelli 1994, entre otros), debido a la geometría de vista lateral y a las longitudes de ondas largas, las cuales posibilitan el realce de los rasgos del relieve y la obtención de datos bajo condiciones climáticas adversas. Así, a pesar de recientes, los sistemas de percepción remota que operan en la faja de microondas (ERS-1, ERS-2, JERS-1, RADARSAT, STAR-1 y CV580) han generado un volumen bastante grande de datos de la región Amazónica. Entre estos datos se encuentran los utilizados en este estudio, obtenidos por el SAR a bordo del satélite europeo ERS-1 durante el Proyecto SAREX ("South American Radar Experiment"), el cual tuvo como objetivo, simular las diferentes configuraciones de imageamiento disponibles en el ERS-2 y RADARSAT.

Considerando la complementariedad existente entre estos dos tipos de datos de sensores remotos, resulta de gran interés desarrollar una metodología que considere la integración digital de ambos datos (Harris et al. 1994), constituyendo así, uno de los objetivos de este estudio, en conjunto con el análisis visual y digital de la imagen SAR con la finalidad de contribuir al conocimiento geológico del área de estudio, representada por el yacimiento de cobre Salobo en la Provincia Carajás.

La imagen SAR utilizada fue obtenida el 24/04/92 por el satélite ERS-1 en su órbita 4048 (descendiente), con longitud de onda de 5,6 cm (Banda C); polarización VV; resolución espacial de 7 "looks" de 25 X 25 m; faja de recubrimiento de 100 X 100 Km; ángulo de incidencia medio de 23° y dirección de vista N78°E (ESA, 1992). La imagen TM-Landsat (seis bandas) utilizada esta identificada con la órbita/punto 224/64, de fecha 31/05/84.

2. CARACTERISTICAS DEL AREA DE ESTUDIO

El mayor yacimiento de cobre de Brasil, denominada Salobo, se localiza al sureste del Estado Pará (centro en 50°30'W y 5°57'S) comprende un área compuesta por un conjunto de sierras alineadas en la dirección WNW-ESE, con altitudes entre 200 y 750 m, circundadas por terrenos planos, recubierto por vegetación tropical densa, representativa de los ambientes fisiográficos de la Amazonia (Silva et al. 1974), como muestra la Figura 1.

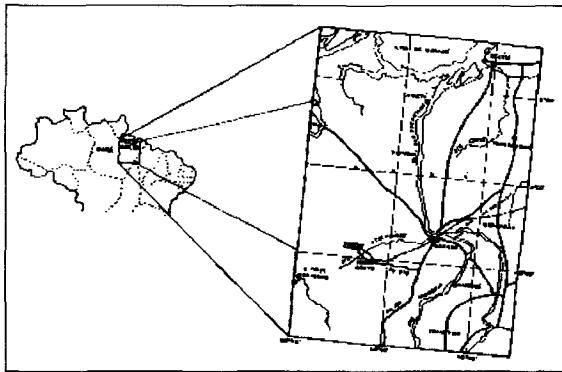


Figura 1 - Localización del área de estudio.

Geologicamente, el área se encuentra al norte de la Sierra de Carajás, en el Sistema "Transcorrente Cinzento" (Siqueira & Costa 1991), formada por varios ejes de cisallamiento sinistrales. La forma general de esta estructura se asemeja a un elipse asimétrico compuesta por fajas irregulares y lentes de formaciones ferríferas, quartzitos, anfibolitos, anfibólio-xistos, quartzo-clorita xistos y gnaisses diversos más o menos migmatizados. Estes gnaisses son atribuidos al Complejo Xingu mientras que los demás conjuntos petrográficos pertenecen al Grupo Salobo. Son también encontradas intrusivas ácidas y básicas en forma de diques y estructuras circulares (Lindenmayer & Fyfe 1991).

3. ABORDAJE METODOLOGICA DEL ESTUDIO

(1) Análisis Visual: la interpretación visual de las imágenes de radar y la integración SAR/TM-Landsat, para fines de mapeamiento geológico, está basada en las observaciones similares a las utilizadas para fotografías aéreas, (Koopmans 1985). Las variaciones de textura, tonalidad y colores son los elementos a ser reconocidos, con el objetivo de identificar la

distribución espacial de las unidades homólogas que llevarán a la deducción del modelo geológico de la región. Este estudio cualitativo exige un análisis padronizado, y por eso se optó por el Método de Fotointerpretación Lógico - Sistemático de Soares & Fiori (1976), adaptado para imágenes orbitales por Veneziani & Anjos (1982), que lleva en consideración los elementos naturales (relieve y drenaje), sus formas, dimensiones y tonalidades que constituyen conjuntos con propiedades similares, que una vez discriminadas generan un mapa fotogeológico.

(2) Análisis Digital: esta fase envuelve tres etapas de corrección radiométrica y una de corrección geométrica para los datos de radar. La primera etapa visa minimizar las variaciones radiométricas a lo largo de la dirección de vista (efecto padrón de antena). Este problema es corregido parcialmente cuando es adquirido el dato, sin embargo se optó por la aplicación de una función polinomial multiplicativa de corrección, basada en datos de las áreas de intensidad homogénea de la propia imagen. Esta función genera un polinomio, que aplicado para toda la escena, remueve las variaciones reminescientes de retrobrillo, (Kux et al. 1995). La segunda fase se refiere a la atenuación del ruido "speckle" a través de la utilización de filtros adaptativos, los cuales suprime parcialmente el ruido, manteniendo las características texturales de la escena. Diversos de estos filtros fueron testados, siendo escogido con base en el análisis de atributos visuales, el filtro FGAMMA de Lopes et al. (1990) con máscara de 3 X 3 "pixels". Finalmente, fue aplicada una ampliación no lineal de contraste (Método Driemann) para optimizar el aspecto visual de la imagen con vistas a la obtención de mejores resultados en la fase de fotointerpretación. En lo que se refiere a la corrección geométrica, se transformó la proyección de la vista inclinada del radar de cada uno de los "pixels", para la proyección plana de la superficie terrestre ("ground range") con la aplicación de una función trigonométrica, (Kux et al. 1995).

En el pre-procesamiento de la imagen TM-Landsat fueron seleccionadas las bandas 4, 5 y 3, por intermedio de la rutina de "Optimum Index Factor", (Paradella et al. 1994), siendo en la secuencia realizadas por decorrelación, (Gillespie et al. 1986). Este procedimiento maximiza los intervalos de color, incrementando el rango de matices en el producto final de la integración, (Harris et al. 1994).

(3) Procesamiento de Integración: se inicia con la selección de áreas comunes en la imagen TM-Landsat y en la faja de recubrimiento del SAR ERS-1. La referida región es entonces registrada, utilizando puntos de control (1 punto a cada 15 Km²) y una transformación por convolución cúbica. Teniendo de esta forma, el área referenciada, se buscó la selección de la técnica de integración. Naturalmente, se objetiva un amplio intervalo de colores para poder relacionar con las complejas asociaciones entre las diversas variables envueltas (vegetación, litología, estructuras, etc.). Harris et al (1994) estudiaron este tema y concluyeron que la técnica de transformación por IHS ("Intensity, Hue and Saturation") fue la que presentó el mejor

desempeño entre las varias disponibles. Siendo así, la integración digital aquí abordada se basa en la transformación IHS donde los canales decorrelacionados del TM-Landsat son usados como "input" en la transformación RGB-IHS. En el dominio IHS, el canal de intensidad es substituido por la imagen de radar realizada, el canal de matiz ("hue") es mantenido constante y el canal de saturación es substituido por una máscara sintética, que optimiza los contrastes entre los colores. Despues de estas substituciones, se aplica la transformación inversa IHS-RGB. El producto final tiene sus canales realizados linealmente y la composición en color será obtenida.

4. DISCUSION

Con base en la fotointerpretación de la imagen ilustrada en Figura 2; fueron generados la discusión sobre el desempeño del radar del ERS-1 y el mapa fotogeológico ilustrado en la Figura 3.

Son discriminadas nueve zonas homólogas correspondientes a las unidades litológicas que de cierta forma son correlatas a las unidades previamente mapeadas por DOCEGEO, (1988) y CPRM, (1991). Una contribución al conocimiento geológico de la región, se encuentra en la capacidad de discriminación de dos subunidades fisiográficamente distintas, en las áreas genericamente atribuidas al Complejo Xingu. Los caracteres texturales de la Asociación Xingu 1, son visualmente más groseros y portanto deben ser interpretados como pertenecientes a una unidad más resistente a la erosión. Por otro lado, el aspecto homogéneo de los elementos texturales de relieve de la Asociación Xingu 2 llevan a la interpretación de un área plana, sustentada por rocas metasedimentarias y metavolcánicas, poco resistentes a la erosión.

En la región de ocurrencia de las rocas supracrustales del Grupo Salobo, fueron diferenciadas 4 unidades fotolitológicas, siendo también mapeadas estructuras circulares atribuidas a la ocurrencia de rocas intrusivas. Las cuberturas lateríticas fueron diferenciadas por el formato irregular e isotropía, así como por la tonalidad oscura debido a la alta densidad de cobertura vegetal.

Finalmente, la unidad Cuaternaria que aparece asociada al drenaje actual, es caracterizada por terrenos planos, donde más se visualiza el ruido "speckle". Este hecho perjudica su individualización y torna problemática la discriminación entre esta unidad y la fracción más plana del embasamiento.

En lo que se refiere a la tectónica, fue hecha un análisis de los elementos estructurales, que demostró la buena capacidad del radar del ERS-1 para el delineamiento de las zonas de cisallamientos, descritas por Siqueira, (1990). Se destacan las estructuras orientadas para NNW (foliación milonítica, fallamientos sinistrales y zona de cisallamiento curvilínea al norte). En segundo plano se encuentran los rasgos para NE y NNE-SSW, y finalmente la dirección EW, representativa de la zona de cisallamiento rectilínea, que tiene poquisima expresión en las imágenes ERS-1.

De la integración del radar del ERS-1 con datos ópticos (TM-Landsat), resulta el producto ilustrado en la

Figura 4, en el cual las variaciones de matiz corresponden a las respuestas espectrales controladas por la composición físico-química de la superficie, en tanto que el radar destaca la información morfológica del terreno. En el caso del área test Salobo, el producto integrado SAR/TM-Landsat se mostró valioso para la caracterización de actividades antropogénicas y para la detección de controles geobotánicos (variaciones de estratificación y de densidad en la cobertura vegetal) relacionados con expresiones topográficas asociadas a la geología (litologías y estructuras). En adición, estos productos posibilitan un realce mayor de estructuras, particularmente aquellas orientadas casi paralelamente a la vista del radar, y que son evidenciadas a través del sombreado vía TM-Landsat, conforme se verifica en Paradella et al. 1996.

5. CONCLUSIONES

El producto obtenido por el radar del ERS-1, a escala 1:100.000, mostró una buena correspondencia con las publicaciones previas analisadas. La fotointerpretación de las imágenes permitió la separación de nueve unidades litológicas, dejando para las áreas de relieve más elevado, las principales dudas. Tal hecho se explica por los efectos distorsivos de "layover" y "foreshortening", atribuidos al conjunto de parámetros que caracteriza el imageamiento ERS-1, principalmente el ángulo de incidencia de 23°.

Los trazos estructurales regionales fueron bien definidos, a excepción de la dirección N75-85°W correspondiente a la zona de cisallamiento rectilínea posicionada al sur de Salobo, debido al sub-paralelismo de esta orientación estructural en relación a la dirección de vista del sensor.

Los atributos generales (vías de comunicación, desforestación, etc.), tuvieron su interpretación perjudicada, por la baja resolución espacial y por la ocurrencia de "speckle".

La contribución del producto de la integración puede ser apreciada principalmente en las áreas aluvionales, en las cuales se asocia la presencia de palmas con el color marrón. Las tonalidades de azul evidencia locales sin cobertura de bosques (áreas deforestadas y lateritas ferruginosas). En lo referente al ámbito tectónico, se observó la complementación de los trazos estructurales no registrados por la dirección de vista del radar ERS-1.

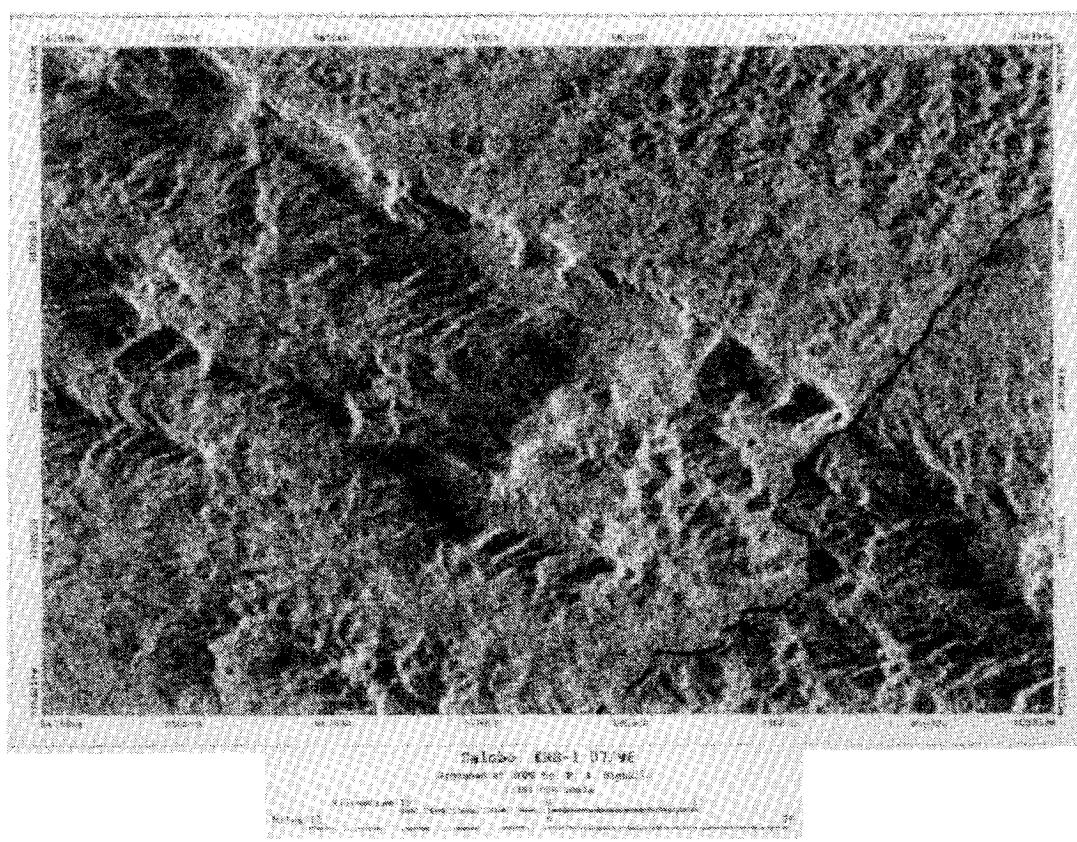


Figura 2 - Imagen ERS-1 sobre yacimiento de Salobo, Carajas - Brasil.

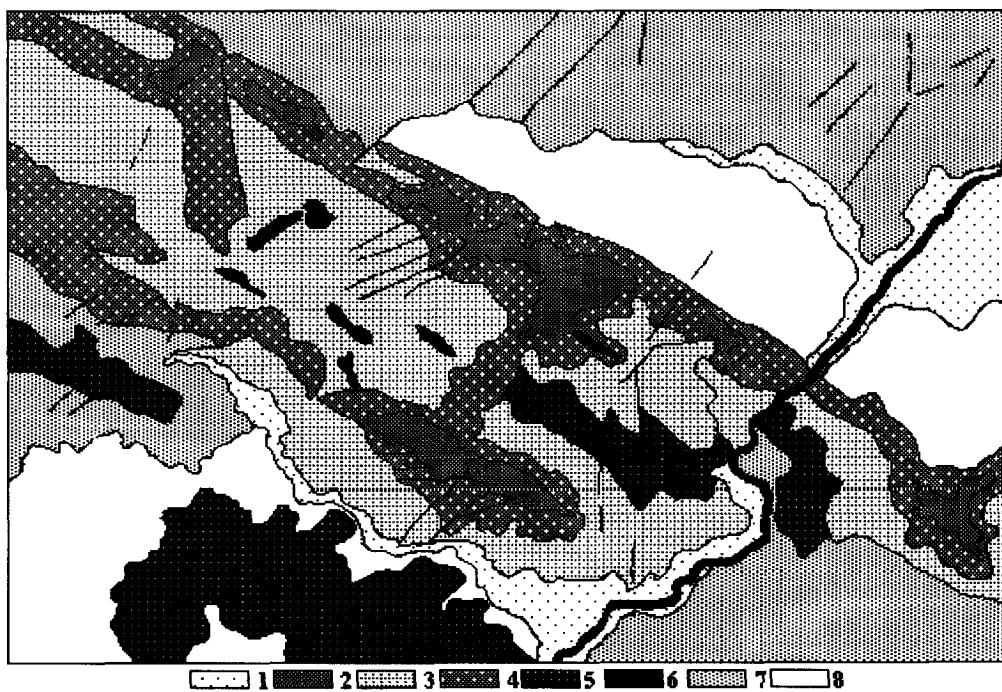


Figura 3 - Mapa Fotogeológico del la imagen ERS-1 sobre lo yacimiento de Salobo Carajas - Brasil. 1- Coberturas Aluvionárias (Quaternário); 2- Coberturas Lateríticas (Terciário); 3- Metabásicas e Metavulcânicas; 4- Clorita Quartz Xistos; 5- Quartzitos, Formações Ferríferas e Xistos; 6- Formações Ferríferas Bandadas; 7-Associação Xingu I (Migmatitos) e 8- Associação Xingu II (Metasedimentos e Metavulcânicas).



Figura 4 - Imagen del a integración digital de datos ERS-1 con datos TM-LANDSAT sobre lo yacimiento de Salobo Carajas - Brasil.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIGNELLI, P.A. 1994. Avaliação dos dados de radar (SAR) do Projeto SAREX'92 e ERS-1 em mapeamento geológico na região de Salobo, Província Mineral de Carajás. São José dos Campos, INPE, 124p.
- COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS 1991. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Serra dos Carajás, Folha SB. 22-Z-A Estado do Pará. Brasília, NUTEC-CPRM, 70p.
- DOCEGEO 1988. Revisão lito-estratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. Boletim Especial. Belém, S.B.G., p.11-54.
- ESA 1992. ERS-1 System. Noordwijk, Netherlands, Pam Vass & Bruce Battrick ed., 1992. 85p.
- GILLESPIE, A. R.; KAHLE, A. B.; WALKER, R. E. 1986. Colour enhancement of highly correlated images: decorrelation and HSI contrast stretches. *Remote Sensing of Environment*, **20**, p: 209-235.
- HARRIS, J.; BOWIE, C.; RENCZ, A.N.; GRAHAM, D.D. 1994. Computer-enhancement techniques for the integration of remotely sensed, geophysical and thematic data for the geosciences. *Canadian Journal of Remote Sensing*, **20** (3), p. 210-221.
- KOOPMANS, B.N. 1985. Report on the results in geology and geomorphology of the European SAR-580 experiment. *ITC Journal*, **3**:203-206.
- KUX, H.J.H.; AHERN, F.J.; PIETSCH, R.W. 1995. Evaluation of radar remote sensing for natural resource management in the tropical rainforests of Acre state, Brazil. *Canadian Journal of Remote Sensing*, **21** (4):430-440.
- LINDENMAYER, Z. G.; FYFE, W. S. 1991. Metamorfismo de alta temperatura e baixa pressão no depósito de Cu do Salobo: evidência de rift continental Arqueano. In: *Symposium Geologic Amazon*, 3, 1991, *Anais*, p 36-48.
- LOPES, A.; NEZRY, E.; TOUZI, R.; LAUR, H. 1990. Maximum a posterior filtering and first order texture models in SAR images. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium, , Washington, USA, Proceedings, pp: 2409-2412.
- PARADELLA, W. R.; PIETSCH, R. W.; TOUTIN, T.; BIGNELLI, P. A.; VENEZIANI, P.; SINGHROY, V. H. 1996. Airborne and spaceborne SAR integration with TM-Landsat and Gamma ray spectrometry for geological mapping in a Tropical Rain Forest environment. In: Eleventh Thematic Conference and Workshops on Applied Geologic Remote Sensing, Las Vegas, NV, 27-29, Feb., 1996. *Proceedings*.
- PARADELLA, W. R.; SILVA, M. F. F.; ROSA, N. A.; KUSHIGBOR, C. A. 1994. A geobotanical approach to the tropical rain forest environment of the Carajás Mineral Province (Amazon Region, Brazil), based on digital TM-Landsat and DEM data. *International Journal of Remote Sensing*, **15** (8): 1633-1648.
- SILVA, A. C. et al. 1974. Folha SB-22 Araguaia e parte da Folha SC-22 Tocantins. Rio de Janeiro, D.N.P.M., 1974. (levantamento de recursos naturais, 4) 728 p.
- SIQUEIRA, J.B. 1990. Organização lito-estrutural do Duplex Salobo-Mirim, Serra de Carajás, Belém, Univ. do Pará, 1990, 125p.
- SIQUEIRA, J.B.; COSTA, J.B.S. 1991. Evolução geológica do Duplex Salobo-Mirim. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3., Belém, 1991. *Anais*. Belém, Brasil, S.B.G., p. 232-243.
- SOARES, P.C.; FIORI, A.P. 1976. Lógica e Sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícia geomorfológica*, **16** (3): 71-104, 1976.
- VENEZIANI, P.; ANJOS, C.E. 1982. *Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia*. São José dos Campos, INPE, 1982. 45p. (INPE-227-MD/014).

APORTES DE LA INFORMACIÓN DE ERS-1 EN EL RECONOCIMIENTO DE RASGOS ESTRUCTURALES DEL SECTOR CENTRAL DEL MACIZO DEL DESEADO, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, ARGENTINA. SU IMPLICANCIA METALOGÉNICA.

D. S. Marchionni, R. E. de Barrio, M. Tessone

Instituto de Recursos Minerales, Universidad Nacional de La Plata (INREMI).
Calle 47 Nro 522, La Plata 1900, Argentina
Te/Fax: 54-21-225648

H. Karszenbaum

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Julián Alvarez 1218, Buenos Aires 1414, Argentina
Te: 54-1-7721471 Fax: 54-1-7760410

ABSTRACT

Epithermal deposits of precious metals with economic interest have been identified during the last decade in the area of the Deseado Massif, Santa Cruz, Argentine. These mineralizations are spatial and temporally related to an extensive geological event represented by the Jurassic volcanism of Bahía Laura Group.

The analysis of the information provided by ERS-1 SAR images jointly with the observation of the optical available images, allowed the identification of the main lithological classes of this area, in the same manner as the structural features recognition, like regional lineaments and circular features, whose relationship with the referred deposits have not been yet completely elucidated.

The results of this research, in addition to the field observations contribution, would establish the metalogenic implications of the identified structures, facilitating, at the same time, prospecting guides definition.

RESUMEN

Depósitos epitermales de metales preciosos de interés económico han sido reconocidos en la última década en el ámbito del Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina. Estas mineralizaciones se encuentran asociadas espacial y temporalmente a un evento geológico de gran extensión representado por el volcanismo jurásico del Grupo Bahía Laura.

El análisis de la información proporcionada por las imágenes SAR de ERS-1, conjuntamente con la observación de las imágenes ópticas disponibles del mismo sector, ha facilitado la identificación de los principales tipos litológicos presentes en el área, así como el reconocimiento de rasgos estructurales tales como lineamientos regionales y rasgos circulares, cuya vinculación con los referidos depósitos aún no está totalmente dilucidada.

Los resultados de esta investigación, sumados al aporte de las observaciones de campo permitirían establecer las implicancias metalogénicas de las estructuras reconocidas, facilitando, al mismo tiempo, la definición de guías de prospección.

1. INTRODUCCIÓN

El Macizo del Deseado, unidad morfoestructural emplazada en la provincia de Santa Cruz, sector austral de la República Argentina, ha sido objeto, en los últimos años, de estudios orientados a la localización de depósitos cuarzo-auríferos de tipo epitermal de baja sulfuración (Schalamuk et al., 1995). Dichas mineralizaciones se encuentran asociadas espacial y temporalmente al volcanismo ácido jurásico representado por la Fm Chon Aike (Arribas et al., 1996) de gran extensión areal.

En este trabajo se presentan los resultados preliminares de un estudio centrado en el análisis e interpretación de las imágenes SAR de ERS-1 del sector central del Macizo del Deseado, donde han sido reconocidas mineralizaciones vetiformes auríferas de posible interés económico (Del Blanco et al., 1994; INREMI, 1996; Tessone et al., 1996).

Los objetivos planteados para esta investigación fueron, por un lado, analizar la aplicabilidad de las imágenes SAR y su complementariedad con respecto a otros tipos de datos (imágenes ópticas, trabajos de campo, mapeo de detalle) en la búsqueda de yacimientos

vetiformes epitermales y, al mismo tiempo, establecer las relaciones existentes entre la orientación preferencial de los depósitos vetiformes conocidos y los lineamientos regionales que puedan ser identificados en las imágenes satelitarias, con el propósito de facilitar la búsqueda de nuevos yacimientos.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada entre los $47^{\circ} 22'$ y los $48^{\circ} 30'$ de latitud Sur y entre los $68^{\circ} 47'$ y $70^{\circ} 02'$ de longitud Oeste, cubriendo un área aproximada de 10.000 Km^2 (Figura 1), con una altura promedio que oscila entre los 750 y los 1000 metros s.n.m. El clima imperante es continental riguroso, siendo la vegetación muy escasa y predominante, como procesos modeladores del paisaje, la acción fluvial y la eólica.

Morfológicamente esta zona se caracteriza por presentar tres ambientes netamente diferenciados: a) serrano, de lomadas suaves, conformadas por los flujos ignimbriticos de la Fm Chon Aike, con resaltos conspicuos en aquellos afloramientos que han sufrido silicificación, b) mesetiforme, constituido por extensas coladas de basaltos terciarios y cuaternarios en dos niveles diferentes y c) bajos o depresiones con avenamiento endorreico.

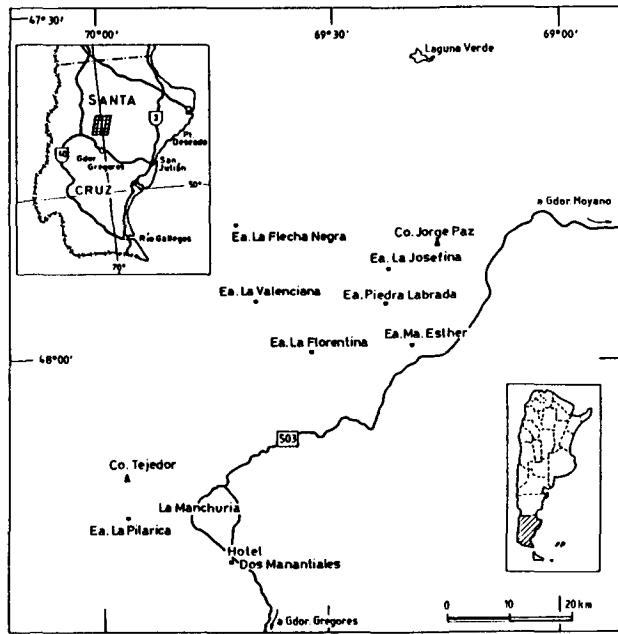


Figura 1: Mapa de ubicación del área de estudio y cobertura de la imagen SAR de ERS-1.

Marco Estratigráfico: Las rocas más antiguas del área corresponden a las metamorfitas de bajo grado (esquistos y filitas) de la Fm La Modesta, asignadas al Precámbrico o Eopaleozoico (Di Persia, 1960), aflorantes en reducidos asomos. Esta unidad es cubierta por las rocas efusivas de naturaleza basáltica y andesítica

correspondientes a la Fm Bajo Pobre del Jurásico medio (Lesta y Ferello, 1972).

De amplia distribución areal en la zona de estudio es el complejo efusivo de la Fm Chon Aike (Stipanicic y Reig, 1957), compuesto por flujos ignimbriticos y cuerpos riolíticos a riódacíticos (domos y lavas) que constituyen el 50 % de los afloramientos. Esta unidad, junto con las tobas estratificadas de Fm La Matilde, que la interdigitan, constituyen el Grupo Bahía Laura (Stipanicic y Reig, op. cit.). Este volcanismo calcoalcalino extensional representa el acontecimiento geológico más importante de la comarca (Figura 2) y es el principal hospedante de las mineralizaciones epitermales.

Durante el Cretácico, una importante tectónica de fallamiento produjo la evolución de pequeñas cuencas cerradas que facilitaron la depositación de sedimentos de origen continental, los que aparecen aflorando en el sector oriental del área: Formaciones Bajo Grande y Baqueró.

A fines del Cretácico comienzan las primeras efusiones basálticas, las que prosiguen, en forma intermitente, en el Eoceno, Mio-Plioceno y Pleistoceno. Este marco estratigráfico se completa con depósitos aluviales y coluviales cuaternarios.

Esquema Estructural: La estructura de la comarca en estudio es producto de la acción combinada de varias fases diastróficas donde el fallamiento ha sido el rasgo sobresaliente (Panza, 1986), dando un estilo estructural dominante de bloques rígidos limitados por fallas, con plegamiento muy subordinado.

Han sido descriptos dos sistemas principales de fracturación (Panza, 1982; 1986): Sistema El Tranquilo (Jurásico superior) con una dirección principal N $25-35^{\circ}$ O y conjugada N $50-60^{\circ}$ E, y Sistema Bajo Grande (Cretácico inferior) con una dirección principal N $50-65^{\circ}$ O y conjugada N $25-35^{\circ}$ E (desplazamiento horizontal levógiro y dextrógiro respectivamente, con componente vertical). Un tercer sistema identificado fue N $80-100^{\circ}$ E, de tipo directo, fracturación temporalmente más joven a las anteriores (Panza, 1986).

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología utilizada para la presente investigación, integra la información proveniente del reconocimiento y relevamiento de campo de las estructuras mineralizadas, con los resultados del análisis de la imagen SAR de ERS-1, utilizada como base para la cartografía estructural del área de estudio. Las imágenes ópticas de Landsat-TM, correspondientes a dicho sector, fueron utilizadas como apoyo para la identificación de las unidades geológicas presentes en el área, así como para la rectificación geométrica de la imagen de radar.

Mineralizaciones Reconocidas: A partir del descubrimiento de Cerro Vanguardia (Genini, 1984) y de su confirmación como un yacimiento de importancia económica, varios fueron los descubrimientos de nuevos



IMAGEN SAR DE ERS - 1

Características de la imagen:

Órbita/Cuadro: 18332/4581

Fecha de Adquisición: 16-01-1995

Órbita: Descendente

Banda: C

Frecuencia: 5.3 GHz

Ángulo de incidencia: 23°

Polarización: VV

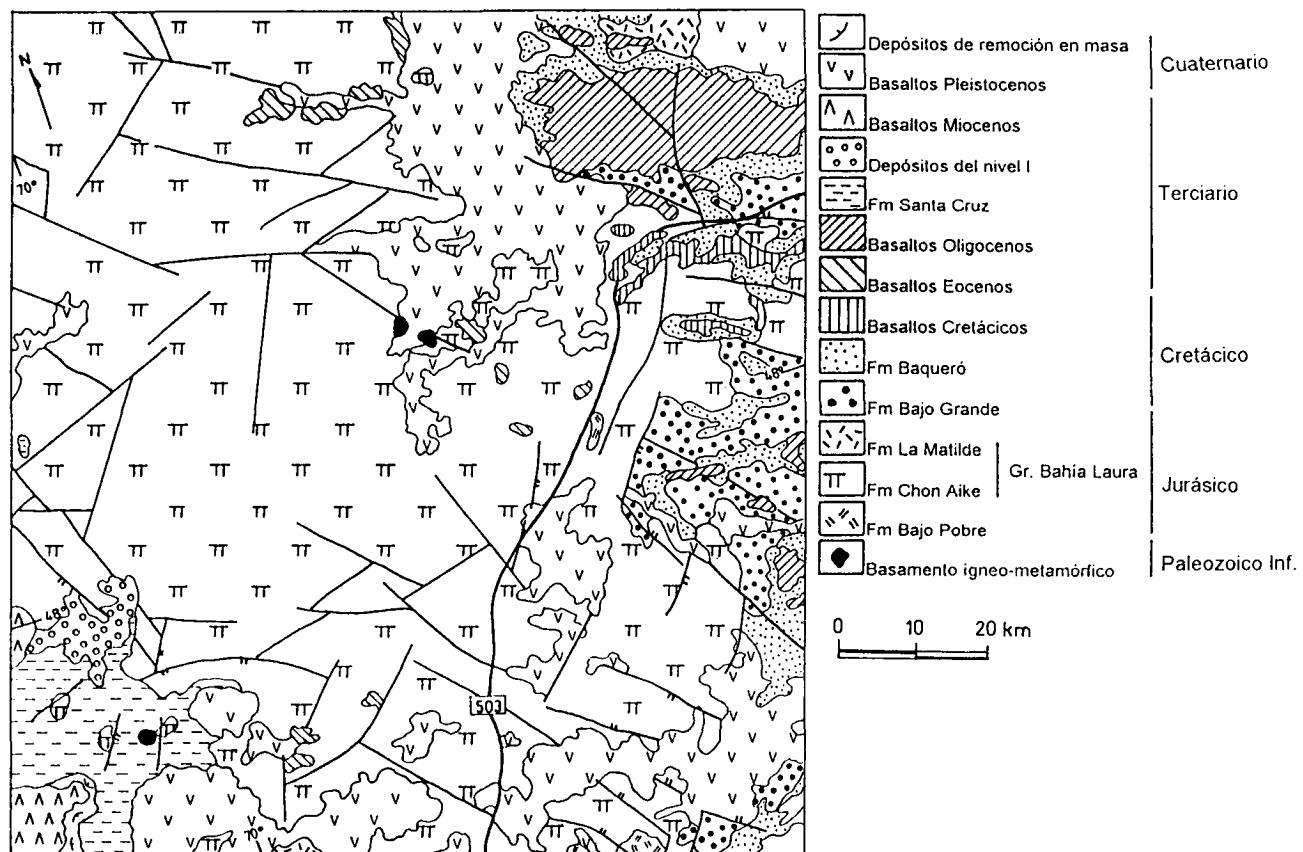


Figura 2: Mapa Geológico del área de estudio extractado del Mapa Geológico de la Provincia de Santa Cruz (Secretaría de Minería de la Nación, 1994, escala 1: 750.000).



Características de la imagen:

Órbita/Cuadro: 18332/4581

Fecha de Adquisición: 16-01-1995

Órbita: Descendente

Banda: C

Frecuencia: 5.3 GHz

Ángulo de incidencia: 23°

Polarización: VV

Figura 3: Imagen SAR de ERS-1 utilizada para la interpretación geológico-estructural.

distritos y prospectos mineros en el ámbito del Macizo del Deseado.

En el área que nos ocupa, tareas de prospección llevaron a la identificación de algunos sectores con procesos de relleno y reemplazo silíceos en las zonas de Ea. María Esther, Ea. La Josefina, La Manchuria y Ea. La Valenciana (Figura 1), las tres últimas de ellas con mineralizaciones auriferas confirmadas (Del Blanco et al., 1994; INREMI, 1996., Tessone et al., 1996).

Las mineralizaciones de la Ea. La Josefina se presentan como vetas en asomos discontinuos y arrosoariados, stockworks y brechas, alojadas en las facies ignimbriticas de la Fm Chon Aike a lo largo de una faja curva, cóncava hacia el este, de unos 10 a 12 Km de longitud con anchos que varían entre los 800 y 1200 metros. En esta área existen dos rumbos preferenciales para las estructuras mineralizadas, uno que varía entre N 10° - N 30° O, y un segundo con valores oscilantes entre N-S y N 20° E, con inclinaciones variables entre 70-80° generalmente al oeste y la vertical. Están compuestas fundamentalmente por cuarzo y ópalo que alojan oro nativo y electrum, acompañados por escasa piritita y galena.

En el área de Ea. La Valenciana, la estructura principal se presenta esencialmente como una veta, en parte brechosa, de rumbo N 15° E e inclinación 60-65° ONO a vertical, alojada en ignimbritas de la Fm Chon Aike. Se extiende por espacio de unos 1500 metros, en forma discontinua y con espesores de 1,5 m. Se asocian sectores con mineralización en venillas de disposición caótica (stockwork) de hasta 10 m de ancho. La mena está compuesta por oro nativo con escasos sulfuros.

La estructura principal del área de La Manchuria se presenta como una brecha mineralizada (que se convierte en una estructura vetiforme hacia su extremo norte) de alrededor de 3000 metros de longitud y espesores de hasta 1,5 metros, con un rumbo promedio N 10° a N 15° E e inclinación vertical a subvertical, alojada también en ignimbritas de la Fm Chon Aike. Los minerales principales son oro, electrum, sulfosales de Sb y As y escasos sulfuros, asociados a cuarzo y ópalo.

En el área de la Ea. María Esther las estructuras principales son cuerpos de reemplazo de sílice y brechas tectónicas en ignimbritas de Fm Chon Aike. Estos cuerpos alcanzan longitudes de hasta 2000 metros y las alteraciones se extienden lateralmente por cerca de 30-40 metros. El rumbo predominante de estos cuerpos es N 10° E a N-S. En lo que respecta a la mineralización, hasta este momento no se conoce la presencia de metales nobles.

Preparación de la imagen SAR: Para el análisis geológico-estructural fue utilizada la imagen SAR de ERS-1 18332/4581, de órbita descendente, del 16 de Enero de 1995, banda C (frecuencia 5.3 GHz), con un ángulo de incidencia de 23° y polarización VV.

La imagen SAR original fue convertida de 16 a 8 bits para luego proceder a la reducción del ruido Speckle a través de filtros adaptativos (Figura 3). Se ha

utilizado para este tratamiento el programa "Supresión de Speckle" del módulo de radar del sistema ERDAS 8.2. Los mejores resultados fueron obtenidos a través de la aplicación del filtro Frost (Frost et al., 1982), con un coeficiente de variación de 0.3 y ventanas de 3x3 y 5x5 pixeles, preservando los rasgos texturales y estructurales.

Se procedió luego a la rectificación geométrica de la imagen SAR respecto del mosaico digital realizado entre dos imágenes Landsat-TM del mismo sector (WRS: 229/093 y 229/094), del 16 de Enero de 1986 georreferenciado con apoyo de las Hojas Topográficas del Instituto Geográfico Militar a escala 1:100.000 del mismo sector.

El análisis geológico-estructural se realizó sobre un ploteo de la imagen de radar a escala 1: 150.000, con apoyo del Mapa Geológico de la Provincia de Santa Cruz a escala 1:750.000 (Figura 2) compilado por la Secretaría de Minería de la Nación (1994), y de la observación de la imagen Landsat-TM del mismo sector: composición color con banda 7 (2,08-2,35 μm) asignada al rojo, banda 4 (0,76-0,90 μm) al verde y banda 2 (0,52-0,60 μm) al azul.

Identificación de las unidades litológicas: Mediante la utilización de la imagen SAR de ERS 1 se han podido identificar y caracterizar las unidades geológicas presentes en el área, correspondientes fundamentalmente a las facies volcanoclásticas y volcánicas del Grupo Bahía Laura (Jurásico), piroclásticas y epiclásticas de las Formaciones Bajo Grande y Baqueró (Jurásico superior - Eocretácico), y flujos basálticos terciarios y cuaternarios.

La discriminación y caracterización de las diferentes unidades fue realizada sobre la base de su patrón textural y morfológico, siendo difícil la separación de algunas de ellas de composición litológica y edades muy similares (Cuadro I). La consideración de las diferencias tonales es dudosa debido a la variación en la iluminación que presenta la imagen, iluminación propia de la geometría del radar (efectos combinados del spreading loss y anthena pattern) que generan una

	Textura	Rugosidad	Morfología	Contorno	Estructuras asociadas	Rasgos asociados	Litología
Basaltos Cuaternarios	granular homogénea	baja	plana	irregular	...	conos volcánicos	basaltos olivinos
Basaltos Mioc-Plioc.	granular homogénea	baja	mesetiforme	lobulado	...	conos volcánicos	basaltos olivinos
Depósitos Miocenos	lisa homogénea	baja	mesetiforme	aserrado	...	cáravas	pelitas y psamitas
Basaltos Oligocenos	motada heterogénea	alta	ondulada	lobulado	basaltos olivinos
Basaltos Eocenos	lisa homogénea	baja	mesetiforme	lobulado	basaltos olivinos
Basaltos Cretáceos	motada heterogénea	alta	ondulada	lobulado	basaltos olivinos
Depósitos Cretáceos	motada heterogénea	alta	serrieta	irregular	estratificación fallamiento	...	areniscas-conglom-tobas
Formación Chon Aike	granular heterogénea	alta	ondulada y serrueta	irregular	fracturación, estratificación plegamiento	crestones, domos y bajos	ignimbritas, tobas y lavas

Cuadro I: Caracterización de los grupos litológicos reconocidos sobre la imagen SAR de ERS-1.

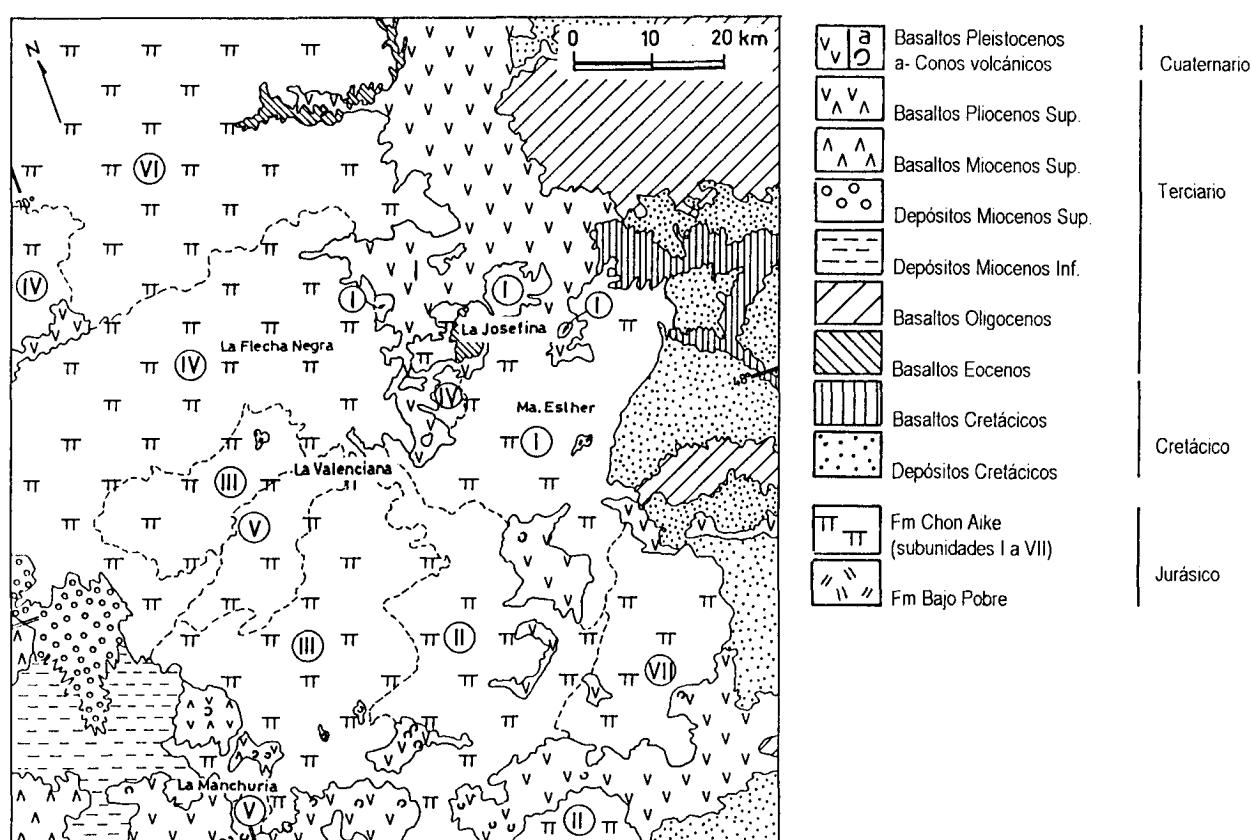


Figura 4: Unidades geológicas reconocidas sobre la imagen SAR de ERS-1 en el área de estudio y subunidades diferenciadas dentro de la Formación Chon Aike (I a VII).

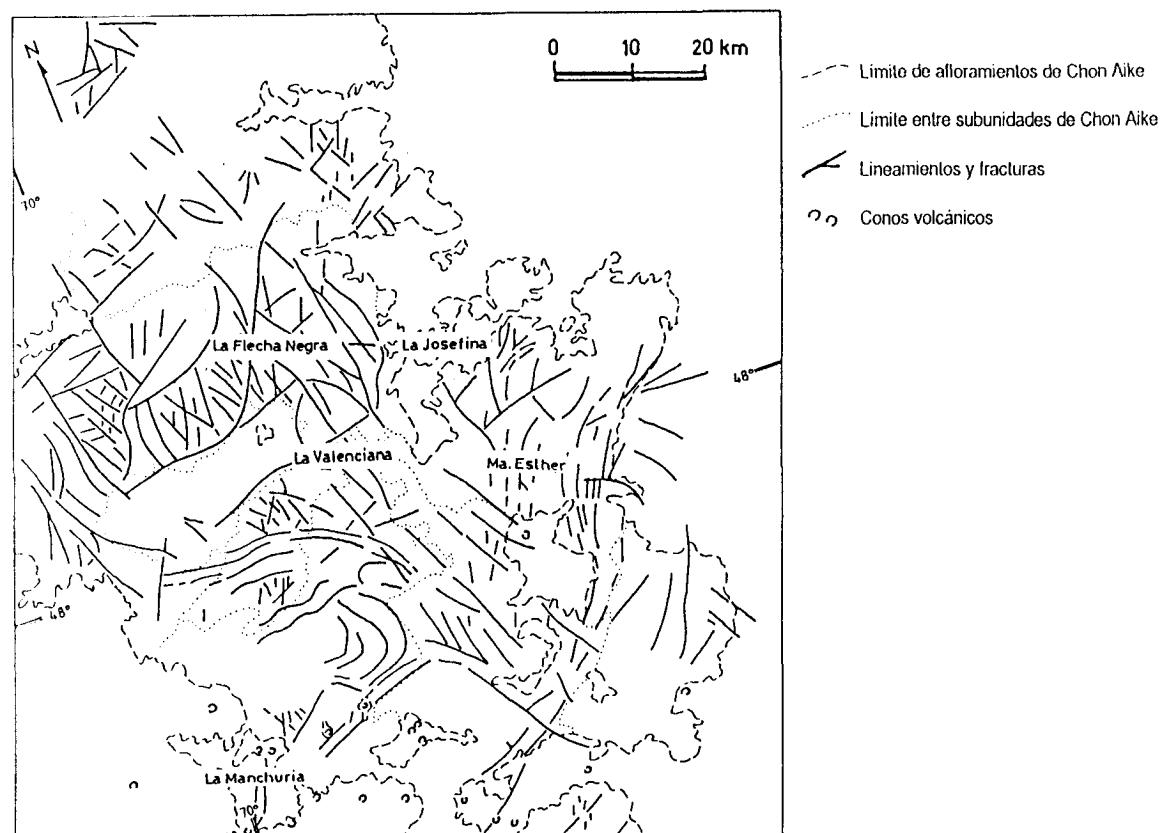
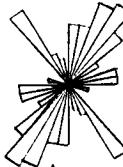
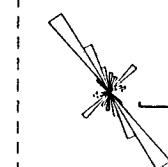
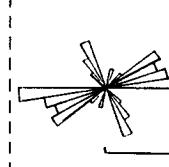
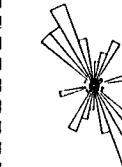
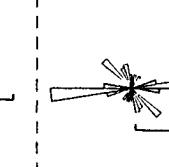
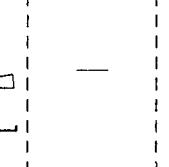
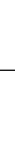


Figura 5. Mapa simplificado de lineamientos regionales interpretados sobre la imagen SAR de ERS-1 en el área de estudio.

Formación Chon Aike	I	II	III	IV	V	VI	VII
Textura	listonada heterogénea	granular heterogénea	curvada heterogénea	reticulada angular homogénea	reticulada y curvada homogénea	alveolar y bandeada heterogénea	alveolar
Morfología	serranías y crestas	serranías	serranías y bajos	serranías y valles	serranías	bajos y serranías	ondulada
Mineralizaciones	silicificación en vetas y venillas	no se conocen	silicificación en vetas y venillas	no se conocen	no se conocen	no se conocen	no se conocen
Rasgos asociados	—	formas dómicas	formas dómicas	depresiones tectónicas	—	—	bajos
Orientación de estructuras							

Cuadro II: Caracterización de las subunidades de la Formación Chon Aike, acompañadas de sus respectivos diagramas de fracturación (la escala de los diagramas equivale en todos los casos a una longitud de 30 Km).

disminución tonal gradual desde el *near range* hacia el *far range*, efecto que no ha sido corregido.

En función de la heterogeneidad textural y morfológica visualizada en los diversos afloramientos de la Fm Chon Aike, se ha dividido a la misma en siete subunidades denominadas correlativamente de I a VII (Figura 4), que han mostrado, a priori, evidencias de una respuesta diferencial a los esfuerzos tectónicos reinantes en el área (Cuadro II).

Identificación de las estructuras: Debe destacarse que, en la zona de estudio, el reconocimiento en el campo de los rasgos estructurales es difícil, viéndose facilitada su identificación a pequeña escala, en las imágenes satelitarias. En muchos casos la traza de las fallas o fracturas está solo evidenciada por sectores muy silicificados que constituyen resaltos topográficos (a veces acompañados por brechación y espejos de falla) puestos en evidencia en las imágenes de radar por el efecto de reflectores en corner. Sin embargo, establecer el tipo de estructura, la inclinación de los planos de falla y el sentido de los desplazamientos, se torna muy complejo a partir de las imágenes, sin las correspondientes observaciones de campo.

La deducción de los rasgos estructurales a partir de la existencia de indicadores indirectos (cambios de pendientes, límites de textura y tonalidad, linealidad de tonalidad, etc.), muchos de ellos vinculados a la morfología y rugosidad de la superficie, se ve enriquecida por la geometría inherente a las imágenes de radar.

Se realizó un relevamiento de lineamientos rectos y curvos sobre toda el área de estudio y de rasgos circulares tales como conos volcánicos y rasgos de morfología dómica. Tal relevamiento fue realizado en forma individual por tres observadores diferentes. Se tomaron en cuenta aquellos rasgos identificados en todos los análisis, mientras que los restantes fueron desechados (Figura 5).

Dentro de las subunidades diferenciadas de Fm Chon Aike se seleccionaron, para la realización de un mapeo de estructuras de mayor detalle, aquellas vinculadas espacialmente a las mineralizaciones descriptas (unidades I a V). Para la caracterización de los diferentes sistemas de fracturación observados en estas unidades se ha medido la longitud y orientación de más de 300 estructuras lineares individualizadas en la imagen SAR de ERS-1. Estos datos han sido ponderados estadísticamente por la longitud relativa de cada uno de ellos para la generación de diagramas de fracturación, los cuales han permitido la evaluación de los distintos sistemas de fracturación (Cuadro II).

Se ensayaron distintos análisis de textura con el fin de realizar los rasgos estructurales del área, obteniéndose los mejores resultados con el algoritmo de análisis de varianza (2do. orden), con una ventana de 7x7, y con el algoritmo correspondiente a la distancia euclídea media (1er. orden) con una ventana de 15x15. Se ha utilizado para este análisis el programa "Análisis Textural" del módulo de radar del sistema ERDAS 8.2.

4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Del análisis de los lineamientos regionales surge como primera conclusión que el sistema de fracturación más desarrollado presenta una orientación aproximada N 25°-35° O, correspondiente, en líneas generales, a la orientación principal del sistema El Tranquilo (Figura 6). Aparece también, con igual desarrollo, el sistema N 80-90° E, mencionado por Panza (1986). En cuanto al sistema Bajo Grande, con dirección principal de rumbo N 60° W, indicado por Panza (1982) como el de mayor desarrollo en el área, hay que señalar que no ha sido observado en la imagen radar analizada.

Hemos atribuido esta falta de información a la coincidencia de la orientación del sistema con la dirección de visión del radar. La presencia de una faja de

invisibilidad 10° a cada lado de la dirección de iluminación del radar ya ha sido mencionada por varios autores (Deslandes & Gwyn, 1991). Esta consideración ha sido ratificada a partir de los análisis realizados por Fernández et al. (1996) quienes han reconocido la dirección principal del sistema Bajo Grande en las imágenes Landsat-TM del mismo sector, si bien con escaso desarrollo en relación a las mediciones efectuadas en el campo.

Es en las subunidades II y IV donde el sistema El Tranquilo muestra su mayor desarrollo; en la subunidad II aparece conjuntamente con su dirección conjugada N 50° - 60° E. Respecto del sistema Bajo Grande sólo se identifica en su dirección conjugada, en las subunidades I (zona de Ea. María Esther- La Josefina) y IV (zona de la Ea. Flecha Negra) con valores azimutales fluctuantes entre N 25° y N 35° E.

El sistema de fracturación N 80 - 90° E aparece representado en las subunidades de Fm Chon Aike identificadas como III y V (al norte del área de La Manchuria) y con menor desarrollo en la subunidad I. En la subunidad III, en particular, ha sido observado además un patrón estructural dominante de lineamientos curvos, así como la presencia de pequeños pliegues muy localizados. Dichos lineamientos curvos se prolongan también sobre la subunidad V de Fm Chon Aike.

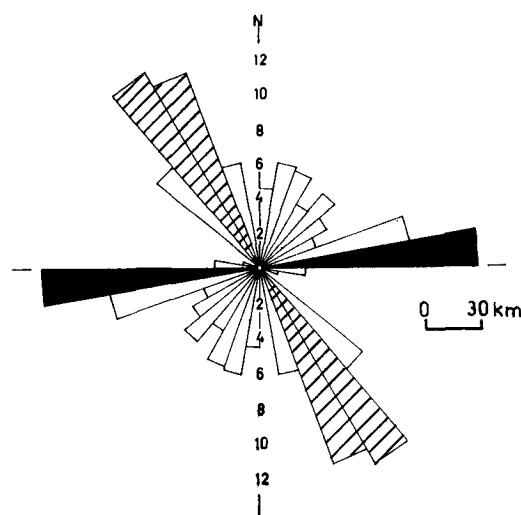


Figura 6: Diagrama integrado de orientaciones de los lineamientos reconocidos en la Fm Chon Aike.

En lo referente a la relación que se puede establecer entre los lineamientos regionales y las mineralizaciones reconocidas en el área, se puede concluir que para la zona de la subunidad III de la Fm Chon Aike, donde afloran las vetas de La Valenciana y La Manchuria, la dirección de las mismas, N 10 - 15° E, que aparece con escaso desarrollo en el diagrama de orientaciones, podría corresponder a un sistema de fracturación de carácter tensional relacionado a la dirección de fracturación de azimut N 80 - 90° E.

En lo referente a la subunidad I de la Fm Chon Aike, el rumbo N-S a N 15° E de las estructuras mineralizadas (área de estancias La Josefina - María Esther), que aparece representado en el diagrama de fracturación con escaso desarrollo, correspondería a fracturas tensionales relacionadas a la dirección principal del sistema El Tranquilo (N 30 - 40° O). En la zona de Ea. La Josefina, las mineralizaciones con orientación N 20° O, representarían fracturas tensionales de cizalla coincidentes con la dirección principal del sistema El Tranquilo.

5. CONSIDERACIONES FINALES

El análisis de la imagen SAR de ERS-1 permitió la identificación y caracterización de diferentes unidades geológicas correspondientes a las facies volcanoclásticas y volcánicas del Grupo Bahía Laura, piroclásticas y epiclásticas de las formaciones Bajo Grande y Baqueró y basaltos terciarios y cuartarios. También permitió la discriminación y caracterización de distintas subunidades dentro de la Fm Chon Aike y la identificación de rasgos circulares (conos volcánicos y morfologías dómicas) asociados a las mismas.

El análisis de la imagen SAR de ERS-1, asimismo, permitió la realización de una cartografía estructural a escala 1: 250.000 y su vinculación con la orientación de las mineralizaciones reconocidas en el campo. Tal análisis permitió la confirmación de las orientaciones de los lineamientos regionales mencionadas por Panza (1982; 1986), con excepción de la dirección principal del sistema Bajo Grande, cuya orientación es coincidente con la faja de invisibilidad del radar, y no aparece representada en la imagen.

En síntesis, es en la discriminación textural de las unidades geológicas y en la cartografía estructural donde el radar hace su contribución esencial. Respecto de las áreas de alteración, que normalmente aparecen vinculadas a los depósitos epitermales, hay que señalar que son las imágenes TM de Landsat las que mejor permiten su reconocimiento en sentido amplio, dada su cobertura espectral en las longitudes de onda del visible y del infrarrojo. En tal sentido, las imágenes de radar facilitan la identificación de las áreas silicificadas en particular, dada la expresión morfológica positiva de las mismas, contrastante con el resto de las alteraciones.

A partir de los resultados preliminares arrojados por esta investigación, tanto desde el punto de vista geológico-metalogénico como de la aplicabilidad de las imágenes SAR de ERS-1 y su complementariedad con las imágenes ópticas, se han planteado para su continuación los siguientes objetivos:

- la realización de un análisis de detalle a menor escala (1: 50.000) sobre las áreas mineralizadas.
- la utilización de una imagen de órbita ascendente sobre el mismo sector para completar la información estructural correspondiente a la faja de invisibilidad.

- la combinación de las imágenes SAR con las imágenes ópticas Landsat-TM del mismo sector a través de distintos procedimientos digitales (sinergismo), dado que en este trabajo la información óptica se utilizó sólo como apoyo de la información de microondas.

6. AGRADECIMIENTOS

La imagen utilizada en este trabajo fue facilitada por el Dr. A. Gagliardini (CONICET), y forma parte del conjunto de datos que la ESA proporciona en el marco del Proyecto Piloto "Estudio integrado del desierto costero patagónico". Las imágenes Landsat-TM fueron proporcionadas por FOMICRUZ S.E. Los autores agradecen, en particular, al Lic. J. C. Gómez por la lectura critica del manuscrito.

7. LISTA BIBLIOGRÁFICA

ARRIBAS Jr., A., SCHALAMUK, I. B., de BARRIO, R. E., FERNÁNDEZ, R. R. & ITAYA, T. (1996): *Edades Radimétricas de mineralizaciones epitermales auríferas del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina*, en XXXIX Congreso Brasileiro de Geología, Salvador-Bahia, Anales VII: 254-257.

DEL BLANCO, M. A., ECHEVARRÍA, L., ECHEVESTE, H., ETCHEVERRY, R., TESSONE, M. O. & MONDELO, R. (1994): *Estancia La Josefina, un nuevo prospecto aurífero en el Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina*, en Encuentro Internacional de Minería, Secretaría de Minería de la Nación, Buenos Aires, Actas: 93-99.

DESLANDES, S. & GWYN, Q. H. J. (1991): *Evaluation de SPOT et SEASAT pour la cartographie des linéaments: comparaison basée sur l'analyse de spectres de Fourier*, en Canadian Journal of Remote Sensing, Ottawa, XVII (2): 98-110.

DI PERSIA, C. A. (1960): *Acerca del descubrimiento del Precámbrico en la Patagonia Extraandina (provincia de Santa Cruz)*, en I Jorn. Geol. Arg. II: 65-68.

FERNÁNDEZ, R., ECHEVESTE, H., ECHEVARRÍA, L. & SCHALAMUK, I. (1996): *Control volcánico y tectónico de la mineralización epitermal del área La Josefina, Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina*. En: XIII Congreso Geológico Argentino. Actas III: 41-54.

FROST, V. S., STILES, J. A., SHANMUGAN, K. S. & HOLTZMAN, J. C. (1982): *A model for radar images and its application to adaptative digital filtering of multiplicative noise*, en IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., PAMI-4.

GENINI, A. (1984): *Informe general Área N° 43 "Cº Vanguardia"*. Secretaría de Minería de la Nación - Plan Patagonia-Comahue. Informe inédito.

INREMI (1996): *Informe geológico-minero del Área de Reserva La Josefina provincia de Santa Cruz*. Informe inédito para FOMICRUZ S. E.

LESTA, P. & FERELLO, R. (1972): *Región extraandina de Chubut y norte de Santa Cruz*. En *Geología Regional Argentina*: 601-653.

PANZA, J. L. (1982): *Descripción geológica de las Hojas 53e "Gobernador Moyano" y 54e "Cerro Vanguardia"*. Servicio Geológico Nacional. Informe inédito.

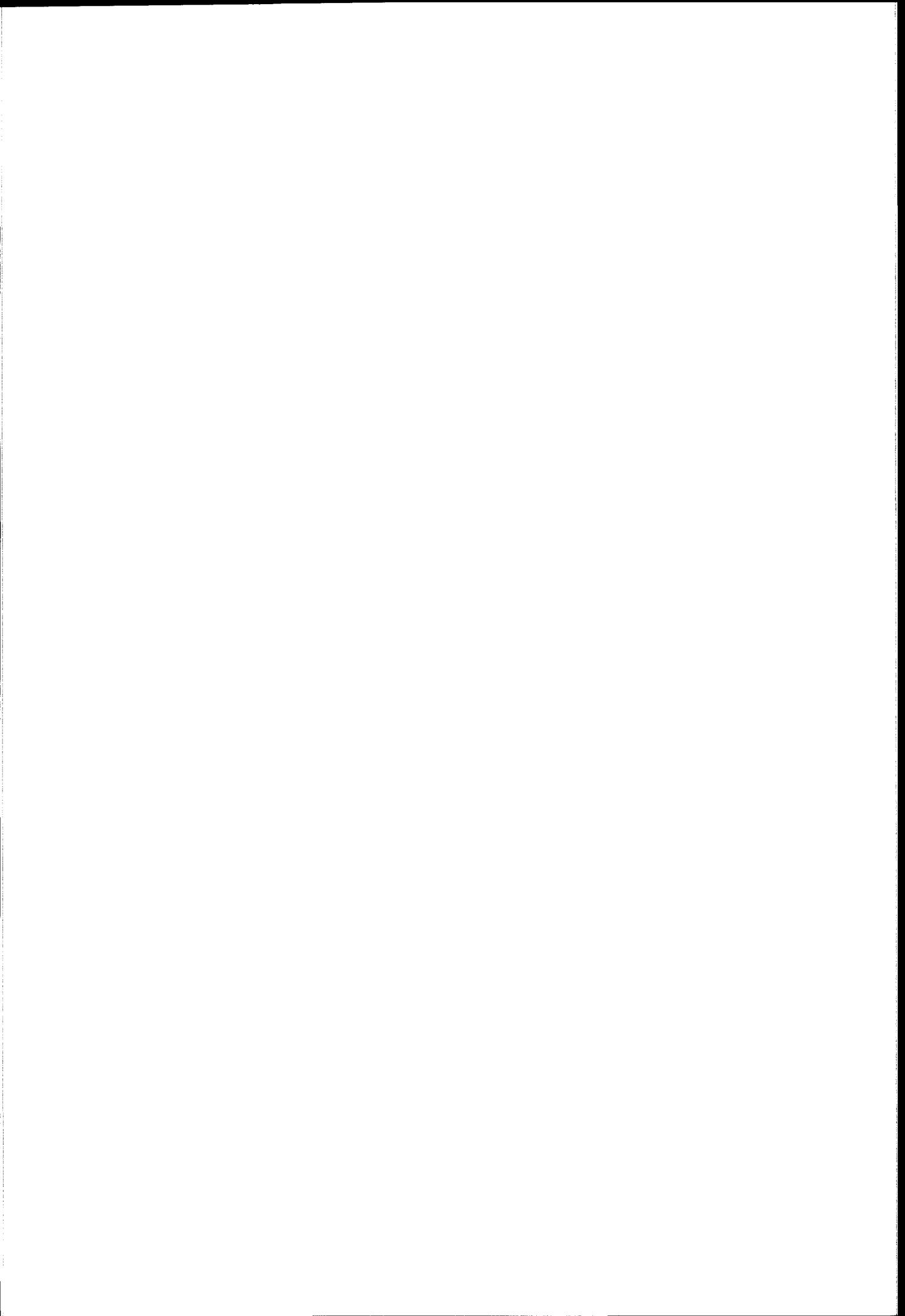
PANZA, J. L. (1986): *Descripción geológica de la Hoja 54d "La Manchuria"*. Servicio Geológico Nacional. Informe inédito.

SCHALAMUK, I. B., FERNÁNDEZ, R. R. & ETCHEVERRY, R. O. (1995): *Gold-silver epithermal veins in the Macizo del Deseado, Argentina*, en *Mineral Deposits, Proceedings of the Third Biennial SGA Meeting Prague/Czech Republic*: 385-388.

SECRETARÍA DE MINERÍA (1994): *Mapa Geológico de la Provincia de Santa Cruz*. Dirección Nacional del Servicio Geológico.

STIPANICIC, P. & REIG, A. (1957): *El Complejo Porfírico de la Patagonia Extraandina y su fauna de anuros*, en *Acta Geológica Lilloana (I)*: 185-297.

TESSONE, M. O., DEL BLANCO, M. A. & MARCHIONNI, D. S. (1996): *Mineralización epitermal de Veta Speme, Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz*, en *III Reunión de Mineralogía y Metalogenia, INREMI, Publicación N° 5, La Plata, Actas*: 231-235.



THE USE OF RADAR SATELLITE FOR HYDROCARBON EXPLORATION IN VENEZUELA

Adelso Vera, Régulo Osorio, José Arismendi

Corpoven, Fundación Instituto de Ingeniería

Urbanización Monte Elena II, Sartenejas - Caracas - Venezuela

Phone: (582) 942.00.25 - 942.00.45 - 942.02.23, Fax: (582) 942.04.45 - (016) 22.10.90

Fons Dekker

Dekker Remote Sensing Corporation, Radarsat International Inc.

80 Canyon Drive N.W., Calgary, Alberta, T2L 0R3, Canada

ABSTRACT

The radar image interpretation in conjunction with some other data such as seismic, bouger anomalies, magnetic and gravimetric, permitted to identify geological structures near Barinas on the eastern flank of the Mérida Andes and the foothills of the Cordillera de los Andes. The test sites were selected based on exploration interest as well as a lack of digital imagery due to a continuous cloud-cover problems. The area is 100 x 100 kilometers and range from Valera in the northwest, to Guanare in the northeast, and from El Toreño refinery near San Silvestre in the southeast to a point midway between Mérida and Ciudad Bolívar in the southwest. This area has been under hydrocarbon exploration for the past 50 years; however, due to the difficult access, cloud cover conditions, the topography and dense vegetation, the lithological and structural interpretation has been limited. Finally, the geointegration has provided excellent support for the design, planning and execution of the exploration programs.

1. INTRODUCTION

The project consisted in training professionals in the technology of radar remote sensing for hydrocarbon exploration and environmental impact assessment. Lectures on the theory and practical applications of radar, computer processing of remote sensing data, visual interpretation of various data sets and a visit to the site were all part of this project. It was executed by Petróleos de Venezuela (PDVSA) and its subsidiaries, Radarsat International Inc. and Fundación Instituto de Ingeniería (CPDI).

2. MAIN OBJECTIVES

- To illustrate how airborne and spaceborne radar imagery may contribute to the knowledge of geological processes from the perspectives of information value and cost effectiveness.
- To set up a technology-transfer project whereby staff from FII and PDVSA and its subsidiaries were trained

in the interpretation analysis and digital processing of spaceborne radar imagery.

- To provide basis for a potential market in the oil industry.

These objectives were formulated because the organizers recognized that multiple data sources are required in the exploration process. The intention of the SAR project was to identify the most suitable data from the perspective of cost and information benefits at each stage of the exploration process.

3. BARINAS SITE DESCRIPTION

The Barinas site is located near the city of Barinas, it covers the southeastern slopes of the Venezuelan Andes.

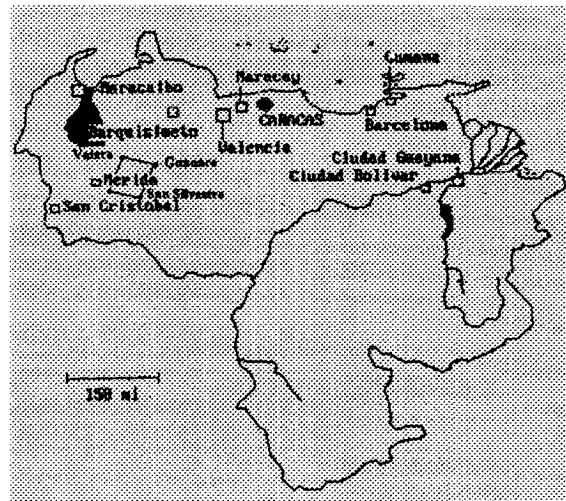


Figure 1. Location of the Synthetic Aperture Radar test site.

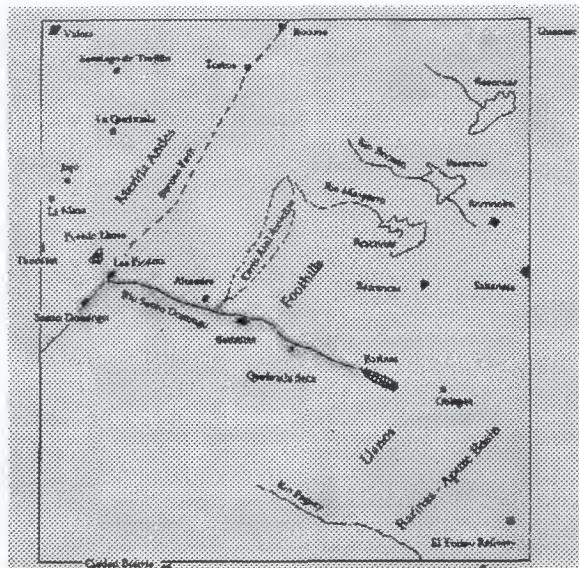


Figure 2. Geographic reference map for the Barinas area. Overlay of Figure 4.

ERS-1 imagery was selected because it is an easily available source of spaceborne radar imagery. The image was acquired in a descending path (flight of satellite from north to south during the day), and was acquired on July 16, 1992 (Figure 3).



Figure 3. ERS-1 radar image of the Barinas test site.

4. TOPOGRAPHY

The area covered by the ERS-1 image (Figure 3) ranges from Valera, located high in the Andes in the northwest corner, along Boconó in the center north, to Guanare in the plains in the northeast. The eastern margin runs through the Llanos, along Sabaneta, towards El Toreño refinery near San Silvestre (Figure 4).

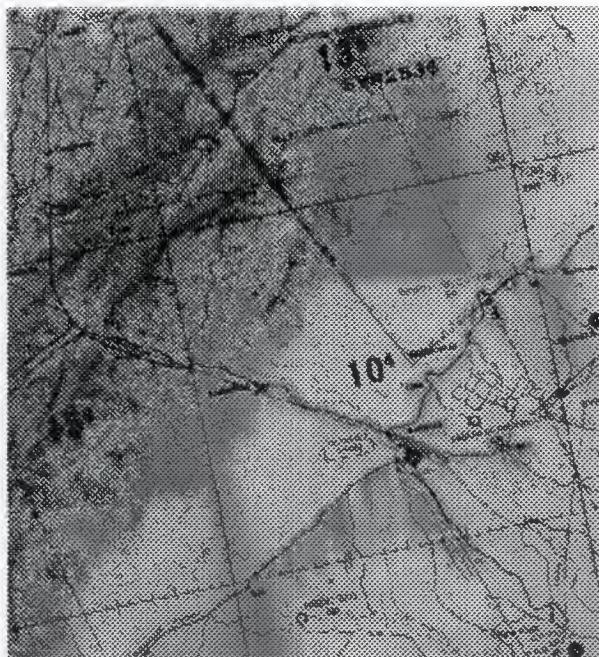


Figure 4. Topographic map of the study area.

The elevation varies from about 300 feet (100 meters) near San Silvestre in the southeast, to just over 13,000 feet (4,000 meters) on the highest peaks. The mountain range trends approximately SW-NE at a slight angle with the satellite path which runs from NNE to SSW, "looking" towards the west.

Mountains and valleys are elongated more or less parallel to the SW-NE orientation of the mountains range, with some valleys oriented perpendicular to it such as the Rio Santo Domingo valley which runs NW-SE from Las Piedras to Barinas.

5. GEOLOGY

The study area is located at the western edge of the Barinas-Apure basin on the South American Craton. the NE-SW oriented Mérida Andes, on the west side of the study area, forms the contact zone between the south american block to the east and the Maracaibo block to the west. The NW-SE Mérida arch crosses from the Barinas-Apure basin into the Maracaibo

basin, just south of Barinas. There is no clear surface expression of the Mérida arch but in the subsurface it has influenced the distribution of mesozoic sediments, creating the potential for stratigraphic traps against the highlands (Figure 5).

The Barinas-Apure basin was connected with the Maracaibo basin during the cretaceous, when marine sediments were deposited on the basement, the tertiary rised of the Mérida Andes, due to collision of the Maracaibo and the south american plates. The two basins were then separated and a thick package of eocene and younger sediments were deposited in the Barinas-Apure basin. Total sediment thickness in this basin may be up to 9.000 meters. In the area, the stratigraphic units range from quaternary fill in the Llanos in the SE, through tertiary folded sediments in the foothills and some irregularly distributed cretaceous sediments to metamorphosed and igneous paleozoic and perhaps precambrian rocks in the center of the mountain range.



Figure 5. Geological map of the study area. Part of geological map NC-19-III, 1976 edition, by the Ministerio de Minas e Hidrocarburos.

In a simple stress diagram based on the collision of the Maracaibo and south american plates, this WNW direction would represent normal faulting which tends to have major implications for the interpretation of seismic and the modelling of hydrocarbon migration

pathways and reservoir/trap continuity (Figure 6). Several more major lineaments in this direction can be seen to crossing the foothills in the image area.

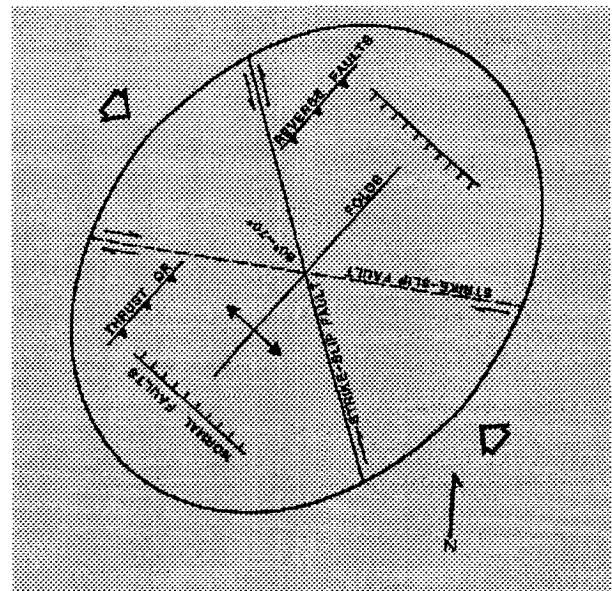


Figure 6. Strain ellipse diagram for the Merida Andes as it relates to the collision of the Maracaibo and South American plates.

Other directions visible:

- Thrusts, reverse faults and folds (anticlines, synclines) perpendicular to the major horizontal stress direction and parallel to the Mérida Andes. This is the dominant structural component in the imagery.
- Strike-slip, or wrench faults with NNW and approximately E-W directions. These are not immediately obvious in the imagery but several NNW faults are shown on the geological map. However, another major feature visible on the ERS-1 radar image is the N-S oriented fault zone west of Barrancas and north of Barinas. Again, this lineament is not mapped as a fault in the existent geological map, only as an appendix of Alluvium in the Mio/Pliocene sediments of the foothills. This might very well represent the left-lateral (sinistral) strike-slip (wrench) component in the stress system. Based on the radar image, this fault system might continue all the way up to Boconó.

In this stress model, there is no room for the major fault in this area: the Boconó Fault. This wrench direction parallel to the orientation of the Mérida Andes cannot be explained by a simple compressional

model. This is where the impact of the collision with the Caribbean plate might come into structural picture.

6. CONCLUSIONS

1.- It was found that radar remote sensing provides information not easily accessible by other means in areas of continuous cloud-cover. This information concerns geological structure and stratigraphy, but also infrastructure and land use.

2.- Several major faults, not shown on existing geological maps, were interpreted from the radar imagery. These faults were explained by means of stress models based on plate collisions.

3.- Several of the stratigraphic units and lithologies can be discriminated on the imagery. This is especially important for areas which are difficult to access. The imagery provides, for the first time, a continuous picture of the surface geology.

4.- Spaceborne radar remote sensing is highly cost-effective in comparison with airborne radar. It is also very cost-effective as part of the exploration process because it can significantly reduces the time spent by geologists, environmental scientists, seismic and drilling scouts in the operations area.

5.- Spaceborne radar remote sensing is the only remote sensing technology which can provide the user with regular, cost-effective views of cloud-covered areas. This allows the user to monitor change in a cost-effective manner while being assured with data availability whenever needed.

6.- The Synthetic Aperture Radar technology transfer project was successfully completed as planned. Participants from the oil and gas industries, the environmental professionals and the Instituto de Ingeniería learned about the most important theoretical and practical aspects of radar remote sensing, as well as the digital processing of radar data.

7. RECOMMENDATIONS

- To minimize the effects of foreshortening and layover, and to maximize the information value, it is recommended that the users acquire both descending and ascending imagery (west-looking and east-looking). This will help the exploration geologists and geophysicists to model the area in more detail, and in turn reduce the exploration risks.

- Data integration with radar data, especially geological field maps, and seismic line plots and contour maps, could be very helpful to complete the

3-dimensional picture of the Barinas area. Seismic lines are 2-dimensional and fault connections from line to line are educated guesses. It is recommended that PDVSA form a data integration group which will combine all exploration data in the test area in a thorough manner, to make sure that all subsurface modelling adheres to the surface data and to optimize the knowledge gained from studying the surface geology.

- Radar data will provide the opportunity to monitor change in the test area as it relates to land use, crop conditions, pollution and infrastructure. Imagery can be obtained day and night on an as-needed basis. It is recommended that imagery be acquired on a regular basis and make this available to environmental professionals in order to familiarize them with change detection from radar imagery. It is important to become fluent in environmental analysis before the real need arises.

8. REFERENCES

- Berger, Z., 1994, *Satellite Hydrocarbon Exploration*. Springer-Verlag, New York, 319 pp.
- Chinge, 1985, *Aspectos relevantes en la exploración de Apure, Venezuela*. II Simposio Bolivariano, Exploración Petrolera en la Cuencas Sub-Andinas, Bogotá, Colombia, Tomo I, p. 1-48.
- Dekker, F., 1989, *Radar as an Exploration Tool in Tropical Rain Forest Areas*. ARPEL Conference, Calgary, Alberta, Canada. Unpublished Proceedings, 15p.
- Dekker, F., 1993, *What is the Right Remote Sensing Tool for Oil Exploration?* Earth Observation Magazine, Vol.2, No.1, pp.28-35.
- Dekker, F., Balkwill, H., Slater, A., Herner, R. and Kampschuur, W., 1991, *Exploring Papua New Guinea with Remote Sensing, Fieldwork*. WORLD OIL, Vol.221, No.3, pp.71-86.
- Dekker, F., and Dams, B., 1992, *Decision Tree for Hydrocarbon Exploration Applications of Remote Sensing: in a World of Applications*, Proceedings of the 15th Canadian Symposium on Remote Sensing, Toronto, Canada, pp.227-281.
- Dekker, F., Nazarenko, D., 1994, *Radar Offers Many Unique Benefits as an Exploration Tool in Tropical Environments*. Earth Observation Magazine, Vol.3, No.5, pp.26-29.
- European Space Agency (ESA), 1991, *ERS-1 Special Issue*, ESA Bulletin No.65, 130p.

European Space Agency (ESA), 1992, ERS-1: *First Images, First Results*, Twenty-four slides and a booklet, available from RADARSAT International.

European Space Agency (ESA), 1993, *The ERS-1 commercial distributors: who are they?*, Record of Images, September supplement of Earth Observation Quarterly, p.3.

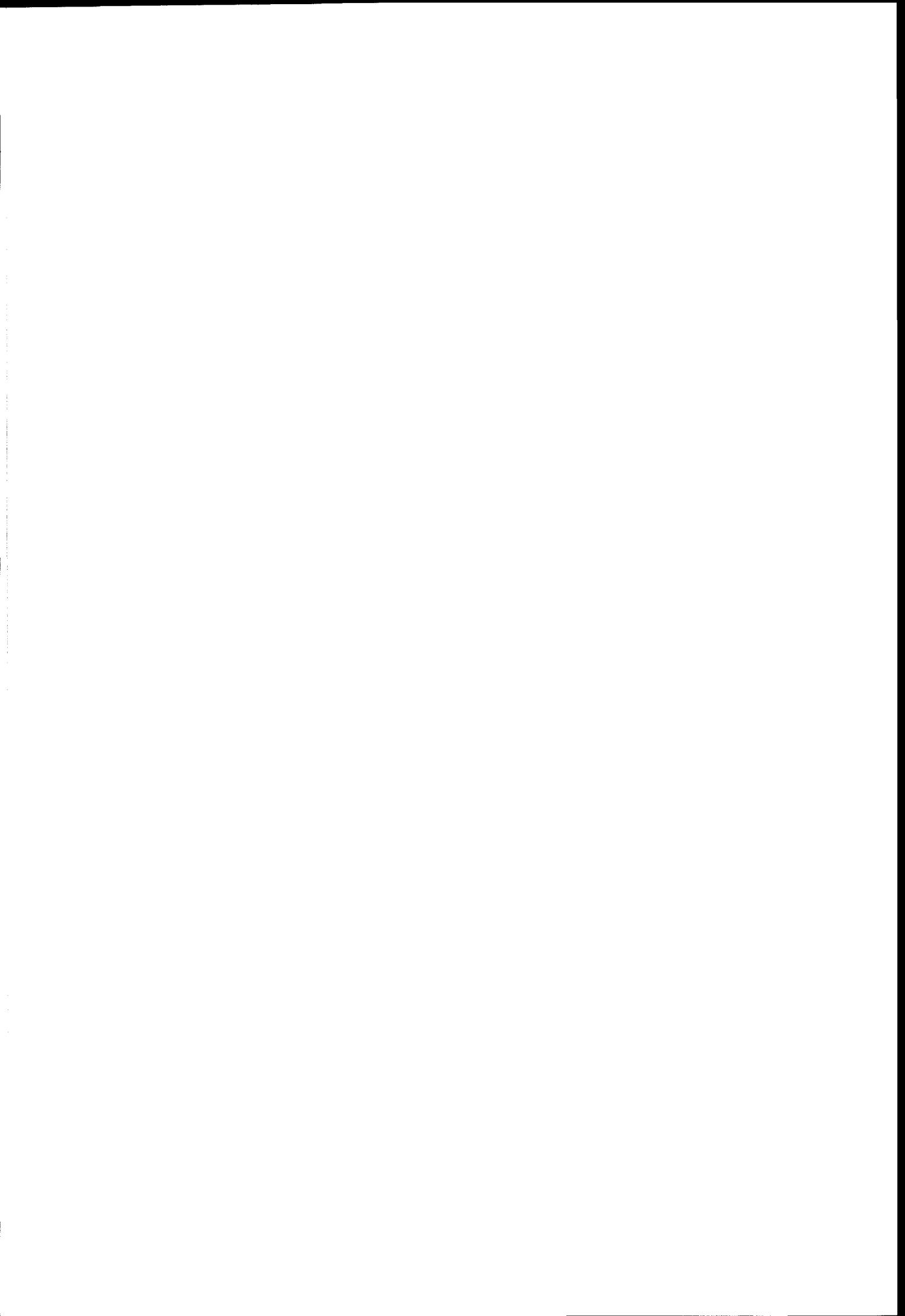
Luscombe, A.P., Ferguson, I., Shepherd, N., Zimcik, D.G. and Naraine, P., 1993, *The RADARSAT Synthetic Aperture Radar Development*. Can. J. Remote Sensing, Vol.19, No.4, pp.298-310.

Ministerio de Energía y Minas (eds.), *Léxico Estratigráfico de Venezuela*.

Nishidai, T., 1993, *Early results from "Fuyo-1" Japan's Earth Resources Satellite (JERS-1)*. Int. J. Remote Sensing, Vol.14, No.9, pp.1825-1833.

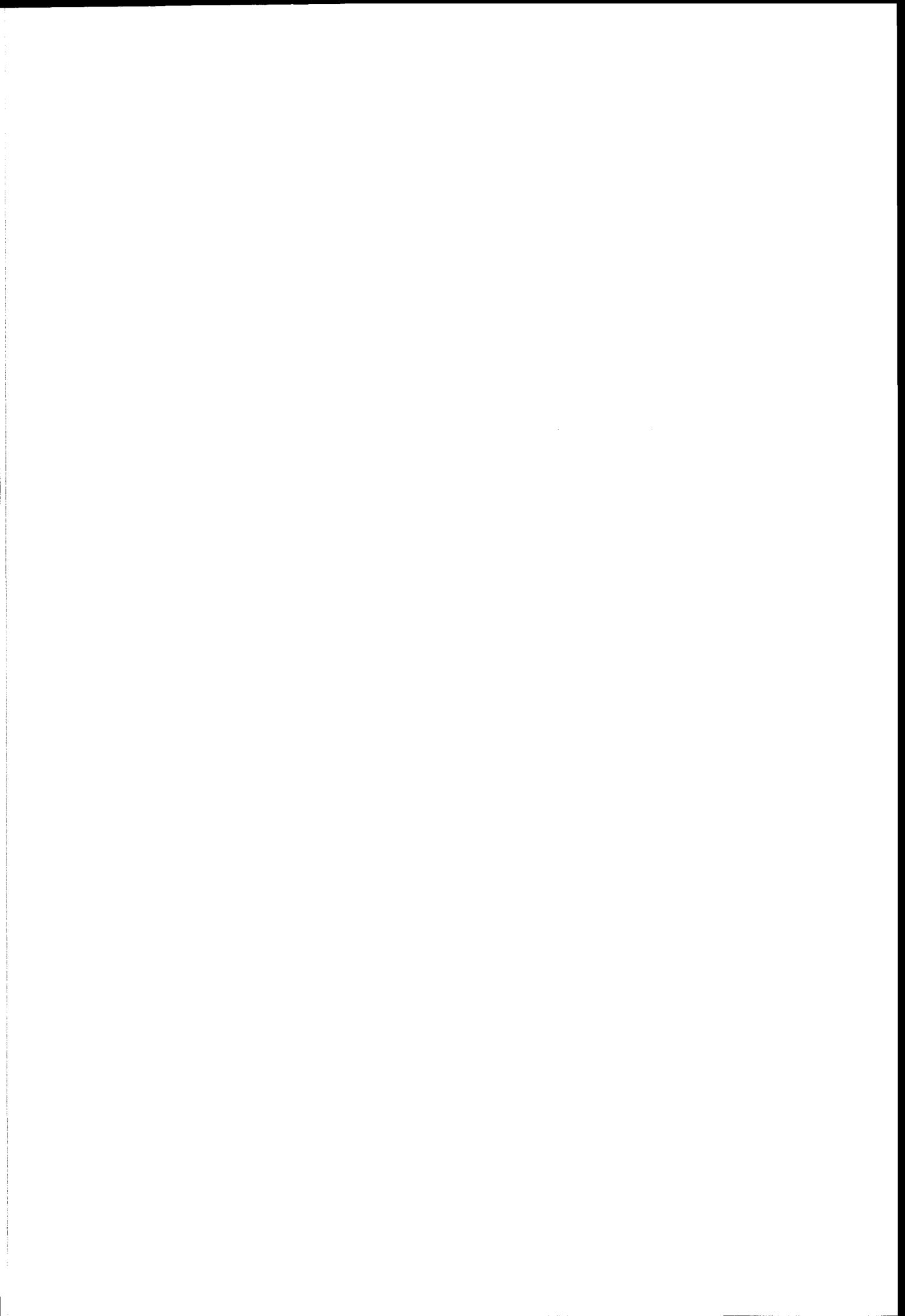
RADARSAT International (RSI), 1993, *RADARSAT: Canada's Earth Observation Satellite*. Twenty-four slides and booklet, available from RADARSAT International.

Singhroy, V.H., Slaney, R., Lowman, P., Harris, J. and Moon, W., 1993, *RADARSAT and Radar Geology in Canada*. Can. J. Remote Sensing, Vol.19, No.4, pp.338-351.



HYDROLOGY / HIDROLOGIA

Chairman/Presidente: Germán Vargas



SINERGIC EFFECTS OF COMBINED ERS-1 AND TM DATA IN THE STUDY OF PARANA'S DELTA
ARGENTINA. FIRST RESULTS OVER A TEST AREA

H. Karszenbaum, J.. Milovich, L. Frulla

Consejo Nacional de Actividades Cientificas y Tecnicas (CONICET)

Julián Alvarez 1218

1414 Buenos Aires, Argentina

phone (54-1) 772-1471 fax: 54-1 776 0410

e-mail: haydeek@conae.gov.ar

P. Kandus

Laboratorio de Ecología Regional, Departamento de Biología - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires (UBA) Argentina

P Minotti

Humedales para las Américas - Monroe 2142 - 1428 Buenos Aires - Argentina

C. Montenegro

Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano, San Martín 459, Buenos Aires, Argentina

ABSTRACT

The work discussed in this paper involves the analysis of the data obtained by two sensors LANDSAT/TM and SAR ERS-1 separately and in combination, to determine the synergistic effects in the study of the Parana's delta, a freshwater wetland in Argentina.

The Lower Delta hydrology of Parana's river is dominated mainly by the Parana's river and De La Plata river estuary. The flooding patterns, the hydrologic regime, the geomorphological changes in the islands from upstream to downstream and the patterns of human activity determine the characteristics of this large wetland.

This work is part of an ESA/CONICET (Satellite Radiometry Group) pilot project entitled "Integrated study of the Argentine Coastal Environments". This group received four ERS-1 images from this area, corresponding to August 1995 (winter season in the southern hemisphere). Due to date limitations of ERS-1/SAR images and to the delta's landscape complexity for microwave analysis, a test area was chosen.

A complete study of the area was undertaken prior to this work using a multitemporal series of TM data (to take into account the phenology cycle of vegetation), aerial photography and field work. An habitats conceptual classification scheme was also developed. Therefore, the purpose of this work was to evaluate the following topics: highland and lowland species distribution, bathymetric relief, forest management, etc, where optical and radar data used in combination

could provide a better understanding and discrimination of natural habitats, forest plantations, and water patterns.

This paper describes the preprocessing steps applied to TM data and ERS-1 data. Next, the effect of the environment (wind) on the radar images and the analysis techniques used. This is followed by a discussion of the synergic effects on land and water. A discussion of the problems that arise when only one of the required dates (vegetation phenology cycle) are available and when the images differ in the hydrologic conditions follows.. Recommendations for the continuation of this work are included in the conclusions.

1. INTRODUCTION AND BACKGROUND

The terrestrial surface is a natural mosaic of vegetation covers determined by differences in topography, climate, substrate characteristics and disturbance history. The natural patterns of these regional mosaics, and the process that maintain them can be investigated by remotely sensed data from microwave and optical sensors. In particular, wetlands play a major role in the regional and global conditions of the earth. Human activities such as drainage of wetlands to create arable lands, use of wetlands as dumps for wastes and channelization of rivers are resulting in a steady modification of these areas.

Optical remote sensing systems have proven to be excellent sources of information for regional studies and mapping of these areas (Klemas et al, 1993). On

the other hand, the use of radar data for the study of wetlands is yet in a preliminary stage. Nevertheless, several studies based on forest and agricultural applications (Lozano Garcia and Hoffer, 1993, ESA publication, 1995) show that the combined use of radar and optical sensors could provide superior classification accuracies to single sensor observations.

Following this line of study, this work attempted to analyze if the combined use of optical and radar images could improve the ability to determine the relationships between natural vegetation, soil and topography, flooding regime and human intervention in the proposed region of study.

Kandus et al, 1996 gives a complete description of the characteristics of Parana's Delta and presents the conceptual vegetation classification scheme proposed for the area. The links between the conceptual classification scheme and the derived TM spectral classes are discussed in detail. The mentioned work was the baseline for the analysis of the proposed study.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Study site description

The Buenos Aires Province section of the Lower Delta of Parana's River covers 2,700 square kilometers located at 59 ° West and 34° South (center coordinates, approximately). The climate is humid temperate, having a mean annual temperature of 16.7 °C, annual rainfall of 1073mm and mean annual relative humidity of 79.1%. This area is the terminal portion of De La Plata River basin and it is a deltaic plain which is presently in an aggradational phase into De La Plata estuary.

The Lower Delta hydrology is determined mainly by the Paraná River and the De La Plata estuary. The former has its main flood peak in fall - winter. The second one on the contrary, has a moon and wind tide regime (south-east winds which may cause considerable flooding). This region can be seen as a delta-estuary complex model. In addition, from an ecological point of view, the area could be classified as a Tidal Freshwater wetland.

The study area is made up by crescent-shape islands. Freshwater marshes cover the central lower portion of each island. The higher grounds (levees), were originally covered with natural riparian forest called "Monte Blanco" which has a high biodiversity and complex structure. Due to human activities, (particularly afforestation and tourist infrastructure), only patches of this forest remain..

Since the beginning of the current century, man has developed different kinds of productive activities with different degrees of environmental impact. At present, the most important activity, not only from the economical point of view, but also in geographic extension, is the afforestation with *Salix* spp and *Populus* spp. Right now, an afforestation program is in progress, and an important production of *Salix* and *Populus* species has been planned. Figure 1 shows an overall view of the Lower Parana's Delta, its location, shape and complexity. The test area chosen is located at the lower right.

2.2 Habitat conceptual classification scheme

The application of remote sensing data to the study of Parana's delta required the use of a conceptual classification scheme for the area. The scheme proposed is based on the hydrologic regime and the level of human intervention (current and historical) which are the main factors determining spatial heterogeneity in this area. Kandus et al , 1996, present a detailed description of this scheme. Table 1 gives a summary of the main habitats of the region.

Table 1: Main habitats of Parana's Delta

Type	Name
• Natural (primary succession)	-sedges -protected sedges -lagoons -mixed marsh -cortadera marsh -cortadera marsh with sparsely woody plants -seibo forest -seibo forest with cortadera understory -riparian perennial forest
• Modified	Forest plantation (<i>Salix</i> sp) (deciduous) Parks and gardens
• Abandoned (secondary succession)	Forest plantations => cortadera marsh with woody plants, riparian perennial forest.

Natural habitats are derived from primary succession, and depending on the flooding regime are classified as permanently flooded, irregularly exposed, regularly flooded. This depends on topographic characteristics and on the fact of the habitats being directly connected to river waters or not. Modified habitats are those where human intervention took place such as forest plantation and parks and gardens. When these habitats are abandoned, secondary succession occurs.

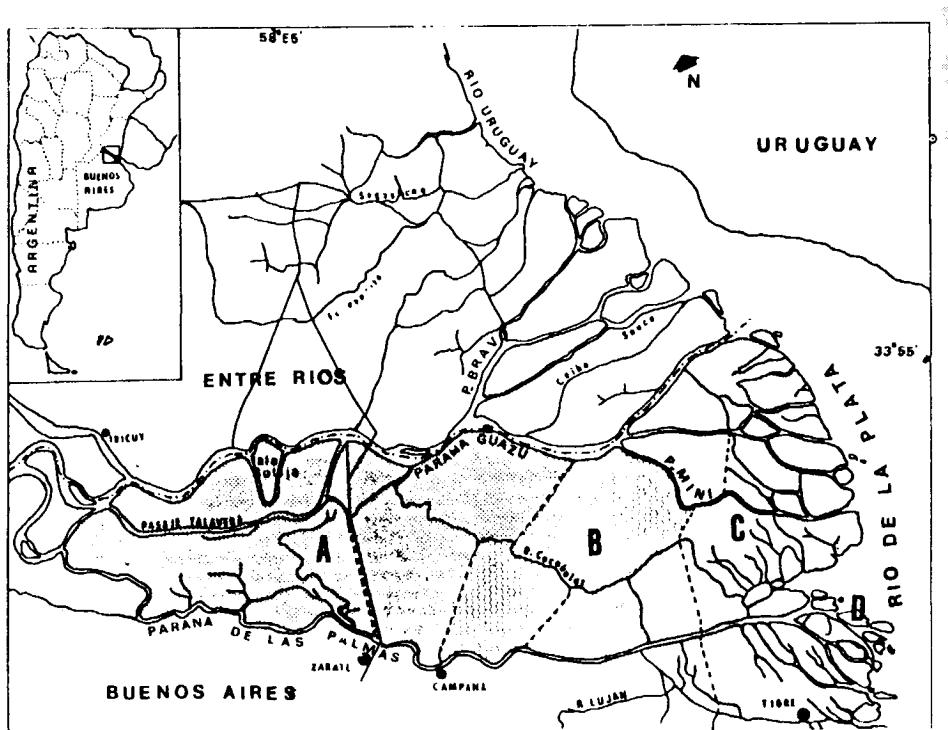


Figure 1: Overall view of the Lower Parana's Delta . The test area is located at the lower right.

2.3 Data acquisition

The data available for this research included three cloud free images of Landsat -5 Thematic Mapper of August, October 1993 and January 1994 and a set of ERS-1/SAR imagery collected August 4, 20 and 23, 1995 by Brazil's ground station. The data used was radar imagery of August 4 and 20 and TM image of August, 1993.

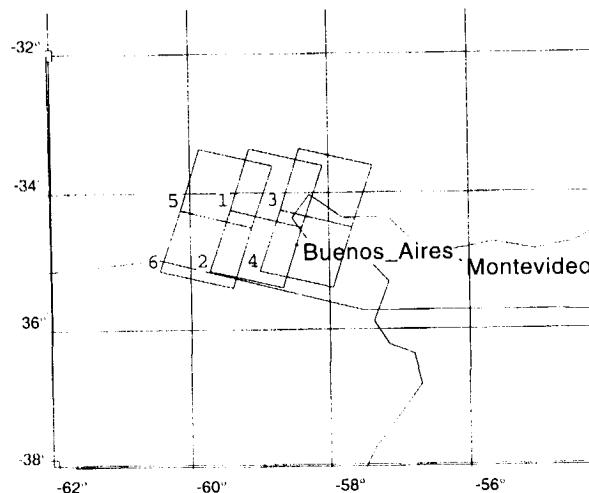


Figure 2: ERS-1/SAR orbits of the region

For natural vegetation comparison between ERS-1/SAR data and TM data, the fact that images belong to different years is not misleading, as long as the

month is the same (because of the phenology cycle). With respect to forest plantations, different development stages might difficult the comparisons. As to water features, this work attempted to compare those features that are permanent within the estuary such as channels and the bathymetric relief. Figure 2 shows the area and ERS-1 orbits and frames.

2.4 Data processing

Preprocessing

Optical imagery as well as radar imagery were subject to several procedures to obtain a set of coregistered images of 8 bits reflectance values (for TM data) and 8 bits digital numbers for radar data.

First, to remove geometric distortions in TM imagery, each scene was geocoded to Gauss Kruger coordinate system based on ground control points collected from maps of a 1:50000 scale. A first order transformation and nearest neighbor resampling of uncorrected imagery was performed in ERDAS Imagine 8.2 software. Next these images were co-registered. And finally, reflectance values were obtained following the procedure described in Milovich et al, 1995.

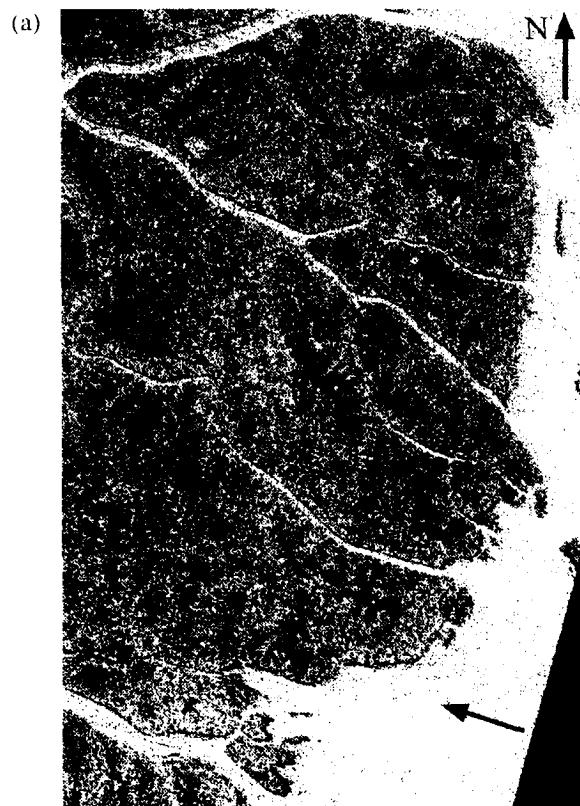
Radar images underwent several treatments. First, the data were degraded from 16 bits to 8 bits through data histogram analysis. Next, radar images were co-

registered to TM images using a set of control points that could be identified in both sensor images. A bilinear interpolation was applied in this case. Radar images were resampled to TM resolution (28.5m). For speckle removal the Frost filter with a window of 3x3 of the radar module of ERDAS 8.2 was applied.

Environmental conditions of radar images

Influence of wind

The wind often exerts a very significant effect on the geometry of a plant canopy; particularly for smaller plants or those with thin stalks. When radar backscatter is influenced significantly by the vertical geometry of plants, it is expected that temporary disruption of the geometry will modify the backscatter signal. Wind provides a contribution to regional "noise" effects (ESA report) on the temporal backscatter signal. Wind also increases the roughness of the water surface, resulting in enhanced radar backscattering. Such effects are observed in the ERS-1/SAR images of the Delta. Figures 3a and b show the test area under strong winds and in a calm day. The difference in water features is significantly. In the windy day no bathymetric relief could be observed in the water. On the other hand, in the calm day, water features (bathymetric relief) were very distinct. On land, there are some major differences in the backscattered signal of the different habitats. The next section discusses the subject



(b)



Figure 3: a) ERS-1 radar image of August 4 (windy day), b) ERS-1 radar image of August 20 (calm day).

Optical and radar habitats signatures

A set of samples obtained from aerial photography and field work was selected to determine the spectral signatures of the main Delta's habitats. Figures 4 a and b show the spectral curves for TM bands 3, 4 and 5 and ERS-1/SAR band C for the windy day and the calm day. Since the TM image used in this work is of August 1993 (winter), the riparian forest (perennial) has a well defined signature. The rest of the signatures have poor responses due to the time of the year. Emergent vegetation (sedges) and lagoons are also well defined. The radar response of the calm day provides a good differentiation between cortadera marshes and forest types. The lagoon is also clearly identify. On the other hand, on the windy day, the backscattered signal for most of the signatures is higher, but it is difficult to distinguish among them. Figure 5 shows the mean value of the backscattered signal of field samples taken in the lagoon area and in the mixed marsh region for the calm day image and the windy day data. Most of the species show a higher signal during the windy day, in particular lagoons and sedges (mainly water), but the mixed marshes, even though they are close to protected sedges, show the

opposite behavior. The lower signal was measured during the windy day. A possible explanation to this phenomena is the fact that, within the area, mixed marshes constitute the habitats of greatest diversity and greatest variety of life forms. A large response is obtained during the calm day. It is assumed that during the windy day, winds disrupt the species geometry and a more uniform structure is observed by the radar instrument.

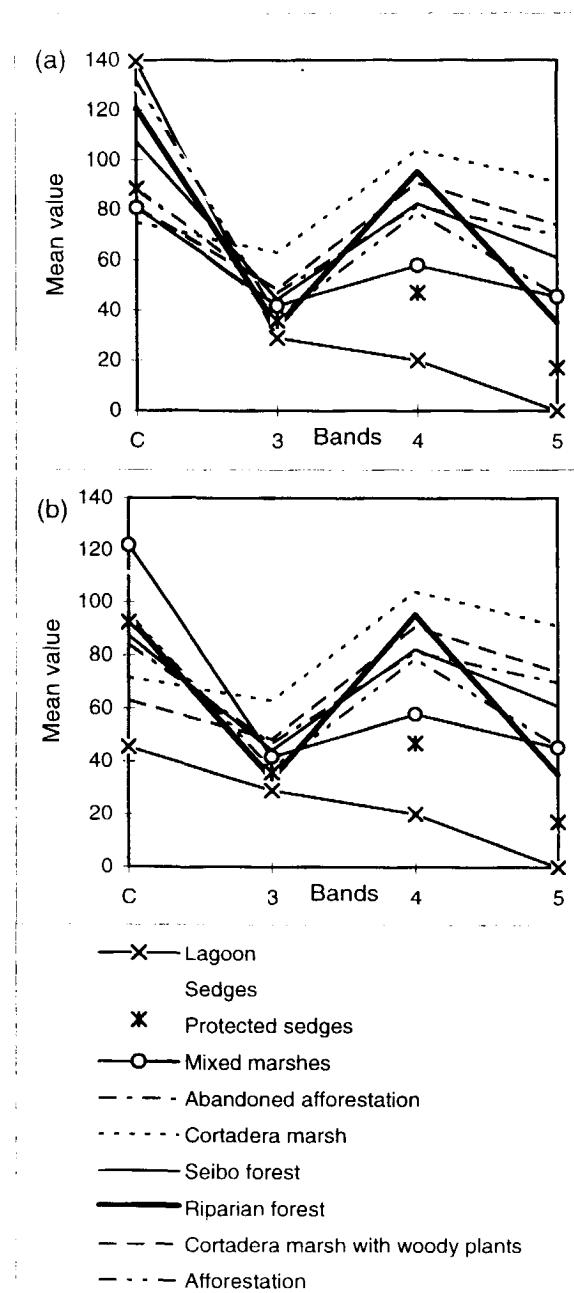


Figure 4: a) spectral signatures of TM bands 3,4 and ERS-1/SAR data (windy day, b) during the calm day

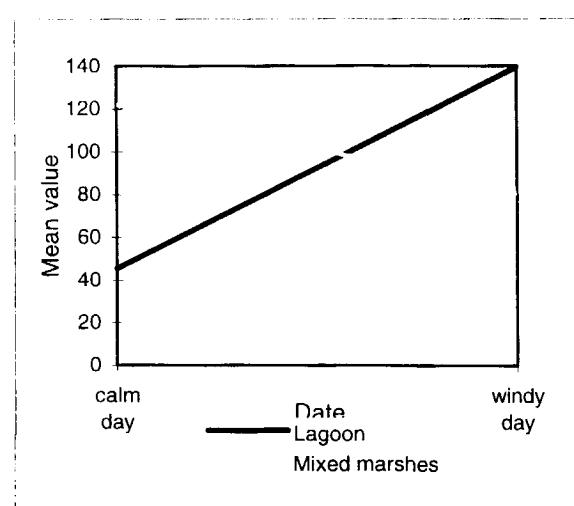


Figure 5: Backscattered radar signal for mix marshes and lagoons on the calm day and on the windy day.

Analysis techniques

A visual analysis of the co-registered TM and SAR images was performed. Figure 6 shows TM band four over water (land is masked). The sediment and clear water plumes are very well defined. The radar image during the calm day where the hydrologic conditions of De La Plata river were adequate for visualization of the main channels. The windy image shows no structure in water. Color composites of TM bands 3 and 4 and SAR data (calm day) provides a good combination for mapping the bathymetric relief and determining the conditions of Paraná's and De La Plata rivers.



Figure 6: Water plumes on TM band 4.

Figure 7 shows TM band 4 for land features (water is masked). The top arrow shows the direction of the

north. A second arrow points to a large forest plantation. This is hardly visible in radar images. On land, the possible combinations TM (bands 3, and 5) and SAR data have a number of interesting features. Water bodies are very dark due to a low reflectance in TM channels and a low radar return in the sar data (calm day). The most important effect of radar data is the enhancement of lowland areas covered mostly by cortadera marsh (dark pattern in the radar image). An interpretation of the color composites provided an indication of the cover types that could be differentiated during the classification process with the data sets available.

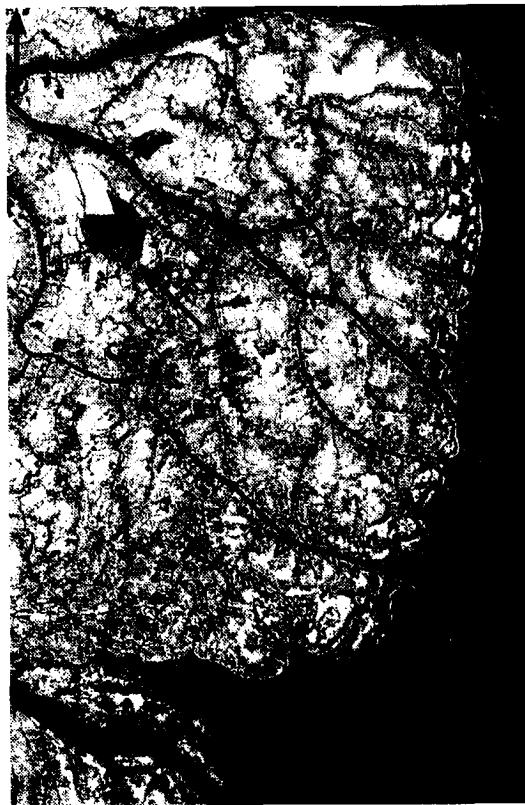


Figure 7: TM image, band 4.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Figure 8 shows the thematic map obtained when a standard statistical unsupervised classification yielding 15 clusters was applied to the combined data set of ERS-1/SAR image of August (calm day), and TM image (bands 3,4 and 5) of August 1993. Table 2 presents the error matrix obtained when the classified land cover is compared to the actual land cover as revealed by a set of sample sites (obtained from field work and aerial photographs). This is done for two cases : a) when the unsupervised classification is applied to TM bands 3,4 and 5 of August, 1993 as a single data set and b) when ERS-1/SAR data and TM

data are used in combination. Even though the data sets were classified into 15 classes, and these classes should have been "recoded" into the classes summarized in table 2 (10 classes), only four final classes were obtained. Cortadera marshes, riparian forest and sedges were labeled individually, all other classes were grouped under "others". This was done because 1) it was expected that the ability of SAR data to detect canopy structure would contribute to a better discrimination of the riparian forest, and 2) most of the other habitats have no canopy in the month of August, and discrimination between forest and understory becomes very difficult for which they were grouped into "others".



Figure 8: Thematic map resulting from the combined classification of SAR and TM data. Cortadera marshes are in white. Riparian forest in dark gray. Sedges are in light gray, class "others", and masked water in black.

Before discussing the results obtained (table 2 a and b), that is, the low correct percentage for the riparian forest when TM plus SAR is used as compared to the classification of TM used as a single data set, it is important to summarize what was known when this work was started and what was expected from sensor data combination

Using a conceptual classification scheme of delta's land cover, a thematic map was obtained based on a multitemporal and multispectral TM data set (Kandus et al, 1996). The overall accuracy was of the order of 83%. Even with a multitemporal TM set, because of the fuzzy limits between habitats, three areas of confusion were identified: a) ecotones discrimination (cover types found between marshes and natural forest), b) patches variability in the community mosaics due to lowland abandoned forest plantations, and c) permanent flooded habitats with different dominant plants and soils..

Table 2: Error matrix : a) combined classification (TM plus radar data), b) only TM data. Numbers in the matrix represent numbers of pixels. For each class the correct percentage is added.

(a)		Reference data			
Classified data	Sedges	Riparian forest	Cortaderia marsh	Others	Correct (%)
Sedges	412	0	0	140	75
Riparian forest	4	251	6	410	37
Cortaderia marsh	0	0	745	25	97
Others	221	275	790	2694	68
Column Total	637	526	1541	3269	
<hr/>					
(b)		Reference data			
Classified data	Sedges	Riparian forest	Cortaderia marsh	Others	Correct (%)
Sedges	477	0	0	75	86
Riparian forest	5	486	1	179	72
Cortaderia marsh	0	0	763	7	99
Others	217	71	654	3040	76
Column Total	699	557	1418	3301	

Since ERS-1/SAR data are sensitive to geometrical characteristics of the ground surface, to moisture conditions and to canopy structure, it was expected from the classification of combined optical and radar data to provide additional information and a better discrimination of habitats. But, in this region, microwave signals undergo a complex and wide range of interactions with plants, soil and water. Therefore, no improvement could be attained due to the lack of radar images of the appropriate dates.

Consequently, with respect to vegetated habitats, even though the obtained results are negative, that is, no improvements in the accuracy assessment of the classification occurred when radar and optical images were used in combination, as compared with a classification of only optical images, the expected sensitivity of radar to structure and moisture suggest that, given an appropriate set of radar measurements, it will be possible to obtain additional information that

will make a positive contribution to the confusion zones identified using only TM data.

With regard to water features, the radar contribution is promising, but additional SAR images are required in order to study the dynamic features under different environmental conditions (winds and tide level), and to generate a map of the bathymetric relief.

4. CONCLUSION

In this work, the analysis of the combined use of TM and SAR images was limited to the month of August 1995. This fact limited the use of classification approaches and pose additional questions on the final conclusions of this paper. In spite of this, the following may be highlighted:

- Since the TM image of August was good enough to discriminate the riparian forest (perennial) from the deciduous forests, it was expected that the combined TM and SAR could improve the obtained results (Kandus et al, 1996), but this wasn't the case. It was not possible to separate the riparian forest from the rest of the forested areas when SAR and TM data was classified in combination

- When performing a visual interpretation of De La Plata river waters, the difference between the SAR signal in windy conditions and calm conditions was striking. The bathymetric relief was clearly observed in the calm day image, whilst no patterns appear in the windy image. This constitutes an important evidence for the selection of image dates and conditions.

- The phenologic characteristics of vegetation species in Parana's Delta determined the approach to classification techniques. That is, TM and SAR images from specific dates are required. Also, when SAR images are used for the study of this complex area, it is necessary to take into account the different environmental conditions, such as the hydrologic conditions (tide level), and meteorological conditions (winds) in the interpretation of images in order to be able to discriminate between the contribution of environmental conditions and that of the canopy structure within signal.

- For forest plantations , the use of radar data might contribute to the understanding of the management techniques implemented in each plantation, such as channelization and barriers etc. The month of August prove to be good for soil characteristic determination because trees have no leaves yet..

- As to the classification procedures used, additional classifiers and improvements in the existing

classification methods are needed when TM and SAR data are used in combination.

Several studies undertaken as part of the EOS mission show clearly the importance of the temporal variability in determining land cover/land use with radar images alone, and with optical and radar images in combination. Therefore, no final conclusions can be drawn in this case. Further multitemporal quantitative studies (classification and accuracy assessment for all species (natural and anthropic), analysis of the water bodies, and additional combination methods are needed to determine the best combinations of SAR and TM data, considering dates and environmental conditions.

Acknowledgments:

The authors wish to express their gratitude to Dr Gagliardini for his continuous support. We also want to thank C. Revella, Director of the Institute of Climate and Water from INTA Castelar that provide part of the data used. The field work was done with a grant provided by the University of Buenos Aires, UBACyT Ex:214, Programme 95-97.

REFERENCES

ESA publication SP-1185, 1995, Satellite Radar in Agriculture. Experience with ERS-1.

Kandus P. and J.M. Adamoli, 1993, Freshwater marsh vegetation response to flooding patterns in the lower delta of Parana river. *Wetlands Ecology and Management*, Vol 2, No 4, pp 213-222.

Kandus P., H. Karszenbaum and L. Frulla, 1996, Land Cover Classification System in the Lower Parana's Delta Region: Its link with Landsat/TM Spectral Classes. To be published.

Klemas V., J.E. Dobson, R.L. Ferguson, and K.D. Haddad, 1993, A Coastal Land Cover Classification System for the NOAA Coastwatch Change Analysis Project, *Journal of Coastal Research*, Vol. 9, No. 3.

D.F. Lozano-Garcia, 1993, Synergistic effects of combined TM and SIR-B data for forest resources assessment, *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 14, No. 14, pp 2677-2694.

Milovich, J. A., L. A. Frulla and D. A. Gagliardini, 1995, Environment contribution to the atmospheric correction for LANDSAT-MSS images. *Int. J. of Remote Sensing*, Vol. 16, No 14, pp 2515-2537.

NASA Instrument Panel Report.. Earth Observing System, Vol. Iif, 1985..

U. W. Palme, M de Moura Abdon, J. Dos Santos Vila da Silva, P. Bignelly, 1995, Avaliacao Preliminar de Dados Radar (ERS-1) para Estudos no Pantanal. *Encontro sobre Sensoramiento Remoto Aplicado a Estudios no Pantanal. Livro de Resumos*, Corumbá, 9-12 Octubre.

ANALYSIS OF FLOODING DYNAMICS IN THE PANTANAL, USING TIME SERIES OF ERS-1 SAR IMAGERY

Hermann J. H. Kux

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Caixa Postal 515 -12227-010 São José dos Campos, SP, Brazil

Tel: +55-12-325-6426, Fax: +55-12-325-6449, E-mail hermann@itid.inpe.br

Geoffrey M. Henebry

Dept. of Biological Sciences, Rutgers University, Newark, NJ 07102, USA

Tel. (201) 648-5053, Fax (201) 648-5518, E-mail: henebry@andromeda.rutgers.edu

Abstract

The Pantanal is a wetland ecosystem with a seasonal cycle of flooding and drydown. This creates a number of landscapes that are heterogeneous spatially and temporally. These include freshwater and saline lakes, periodically inundated grasslands and forested sections that are highly heterogeneous in spatial arrangement and in response to inundation. This region is well suited to perform spatio-temporal analysis of land cover dynamics from SAR image time series, since land cover types can exhibit great contrasts in backscattering. In this study, we use seven ERS-1 SAR images from December 1992 to November 1993. This period includes both seasonal inundation followed by a significant climatic drought that transformed the spatial structure of backscattering across the landscape. Lacunarity analysis of the SAR image series captures the spatio-temporal rearranging and illustrates how complex land cover change can be quantified within a predictive framework.

1. Introduction and Objectives

The initial objective of this project was to investigate the feasibility of using spaceborne SAR to monitor the flooding within the *Pantanal Matogrossense*, the largest wetland on the planet. The first analysis of ERS-1 SAR data processed by INPE, indicated that several environmental factors in the Pantanal interact to create a significant challenge to flood mapping. Specifically, the region's reduced declivity (2-5 cm/km), the well-drained sandy soils, and the spatial heterogeneity of minor local topographic variations (1-3 m) that control the vegetation composition and the seasonality of inundation, all combine to generate landscapes that are characterized by extreme spatio-temporal heterogeneity (Henebry & Kux 1995b).

Given this heterogeneity, change detection and quantification became difficult tasks, and we faced the following questions: 1. What is an appropriate baseline? 2. What constitutes an acceptable range of

radiometric variation within an area? 3. How to measure spatial heterogeneity through time? We concluded that it was imperative to develop an approach to measure heterogeneity in space and time in order to provide robust dynamic baseline behaviors for operational environmental monitoring using SAR, whether in the Pantanal or any remote region of ecological and economic interest, such as e.g. the floodplains of Amazonia.

One of the most interesting regions within the Pantanal is the southern section of the Rio Taquarí floodplain, called Nhecolândia. It is an area of high radiometric contrast due to a landscape full of perennial and ephemeral lakes, corridors of forests, and sections of periodically inundated grasslands. Furthermore, floating canopies of aquatic macrophytes emerge following inundation and change the surface roughness of the water to enhance microwave backscattering.

2. Detailed description of experiment

Spatial analyses of SAR data are hindered by the high frequency noise of speckle. There is a need for a robust procedure for SAR scene spatial analysis. We developed a new approach, lacunarity analysis, during Dr. Henebry's Fulbright Scholar visit to INPE during 1993-94.

Lacunarity describes the complex intermingling of the shape and distribution of gaps within an image: a highly *lacunar* image exhibits gaps distributed across a broad range of sizes (Henebry and Kux 1995a; Plotnick et al. 1993). Lacunarity is an aspect of fractal geometry: lacunarity (L) is the multiplicative prefactor in the general power-law formula of which the fractal dimension is the exponent, $F(x) = Lx^{(D-E)}$. As a texture measure, lacunarity quantifies the deviation of a geometric object (e.g., shape, pattern, fractal) from translational invariance and thus is well-suited to analysis of natural scenes.

Lacunarity can be estimated by a simple index, λ_1 , which is sensitive to observation scale, as is expected from a fractal measure. Indeed, the index's descriptive power is revealed only when it is observed as a function of window size w , hence we use $\lambda(w)$. The image value of $\lambda(w)$ occurs when the window size equals the spatial resolution of the image, i.e. when the variance is zero. Calculation details can be found in Plotnick et al. (1993) with significant modifications for SAR imagery in Kux and Henebry (1994b); Henebry and Kux (1995a and 1996).

Lacunarity indices use multiscale windowing to measure the scale dependency of spatial heterogeneity and anisotropy in binary maps in terms of departures from translational and rotational invariance (Plotnick et al. 1993; Henebry and Kux 1995a; Henebry and Kux 1996). The indices are sensitive to the map density and local aggregation. Higher lacunarity indicates a more sparse, more clumped distribution within the map. Random maps show little persistent spatial structure under multiscale windowing and thus exhibit low lacunarity scores (Fig.1). Conversely maps containing larger aggregates maintain high lacunarity scores until the extent of the sampling window exceeds the extent of the aggregates. Thus for spatio-temporal analyses it is useful to track lacunarity using a constant window size. Anisotropy can be estimated by the ratio of lacunarity indices obtained from rectangular windows with extreme but complementary shapes, e.g., $w(I_j)$ and $w(I_j)$ (Fig. 5) (Kux and Henebry 1994b).

Although the definition of lacunarity is restricted to binary data, gray-scale (ordinal or interval) data can be analyzed by deriving a series of binary images based on quantiles of the image histogram. We construct four binary images from each SAR image corresponding to the quartiles of the histogram. For example, in the first quartile image (Q1) pixels having gray levels between the minimum and the 25th percentile are mapped to white and the remaining pixels are mapped to black. The Q1 image thus illustrates the spatial distribution of the regions in the scene that have the least backscatter; similarly, the Q4 image captures the arrangement of the pixels with the greatest backscatter. The decay of lacunarity as a function of window size, characterizes scale-dependency of spatial non-stationarity in binary image. Changes in the spatial arrangement of backscattering translate into changes in the lacunarity function; thus lacunarity analysis is useful for characterization of natural spatio-temporal variability within a scene as well as change detection. Finally, lacunarity analysis can discriminate between the texture of speckle noise and

the texture intrinsic to the scene. Speckle noise is manifested as a spatially random texture and the lacunarity analysis of a spatially random binary process exhibits a characteristic rapid decay to the minimum value as window size increases; whereas, scene texture will exhibit a more complicated decay, if the sensor is indeed well-suited to reveal scene texture.

Presently we are working with an ERS-1 SAR image time series of seven dates (Table 1). This image series covers one inundation cycle during 1992-93, which included a significant drought event during the later part of the cycle (Fig. 2). We have analyzed these data in various ways, resulting in several publications and presentations at scientific symposia. Our results are outlined in section 3 below.

3. Results of the experiment

Initially we had access to only three scenes from Nhecolândia: 12.12.92, 20.02.93 and 01.05.93. On these data we were able to develop and refine the procedures for lacunarity analysis. Specifically the following was shown:

- (1) lacunarity was more sensitive to changes in spatial structure and texture than the typical SAR texture based on the gray level co-occurrence matrix (Kux and Henebry 1994a);
- (2) lacunarity could measure changing scene anisotropy during flooding (Fig.3) (Kux and Henebry 1994b);
- (3) lacunarity, coupled with quartile slicing, could: (a) distinguish relevant scene texture from speckle noise and (b) be used to relate changes in image structure to actual changes in the landscape (Fig. 4) (Henebry and Kux 1995a).

Upon acquiring four additional SAR scenes that complete the 1992-93 inundation cycle, we have been able to explore more fully the spatio-temporal heterogeneity of the Nhecolândia region. Within each of the seven scenes we selected several representative landscapes for detailed analysis using lacunarity indices based on the first (Q1) and fourth (Q4) quartile binary images derived from each date. To facilitate comparison of shifts in spatial arrangement, we mapped these indices into a common metric space (Fig. 4). Some of these results are shown in Figures 5 to 7 and appeared in Henebry and Kux (1996). The plots appear to show in each case a definite perturbation to a quasi-periodic trajectory in the metric space. We suspect that the proximate cause of the perturbation is the significant drought that the Pantanal experienced in the latter half of 1993. This is an exciting result, since it illustrates the utility of lacunarity analysis of multi-

date SAR image series for environmental change detection and quantification.

In landscapes such as those from the Pantanal the use of only Q1 and Q4 binary data has shown to be the most efficient. In earlier work (Henebry and Kux 1995a; Kux and Henebry 1994b), we saw that most of the spatial heterogeneity was located in Q1 and Q4, corresponding to the lowest and highest backscattering values, while the middle 50 percent of the histogram was dominated by spatially random noise. This was again the case for each landscape examined. Together Q1 and Q4, although comprising 50 percent of the pixels, accounted for 72 to 91 percent of the total lacunarity. The partitioning of anisotropy, however, was a different matter. There was no significant difference between quartiles at a single date, although there was significant variation in anisotropy over the course of the image series (Henebry and Kux 1996).

We have devised a further demonstration of the high information content of the extreme quartiles - a comparison of image segmentations, one based on a principal components analysis (PCA) of the seven date full (16-bit) image series, versus the other based on a PCA of Q1 and Q4 images, derived from each of the seven dates. The first four principal components (PCs) from each PCA were submitted to an unsupervised (ISODATA) classification to 5 classes. A 3x3 majority filter was then applied twice and two classes were merged to bring the total number of classes to three.

As can be seen in Figure 8, the segmentations are quite comparable. Black represents perennially wet areas. Gray denotes areas not flooded, such as forested regions on locally higher terrain. White represents areas of significant water level change, whether inundated grasslands or exposed shoreline from lake drydown. It is important to note that 112 data bits per pixel (16 bits x 7 dates) were submitted to PCA to derive the image on the left; whereas, only 14 bits per pixel (1 bit x 7 dates x 2 quartiles) were submitted to PCA to derive the image on the right!

While these results are impressive, segmentation to only three classes is probably not optimal. Ground level observations are difficult to obtain in this remote and geomorphologically very dynamic region. We are, however, pursuing further segmentation and classification of these scenes using additional classes.

4. Discussion and Conclusions

This study has been quite successful and fruitful in terms of: (1) development of tools for SAR spatial

analysis, (2) documentation of Pantanal's dynamics, (3) assessment of multi-date SAR data for land cover monitoring in areas susceptible to flooding. We believe there is significant potential to transfer the approaches developed here to a project related to the delineation of the Rio Amazonas floodplains, e.g. the *Várzea/Terra Firme* boundary.

The project outcomes represents a refinement rather than a divergence of the original objectives: the extreme radiometric seasonality coupled with extreme spatial heterogeneity required that significant resources be devoted to quantifying the development of spatial pattern through time. Furthermore, the reduced declivity of the landscape and its dynamic character mean that there are no terrain models or persistent landmarks to aid image navigation and georeferencing. These constraints required the development of image analysis procedures that were atypical but quite appropriate to the local situation.

This study is part of an ERS-1/2 supported project (AO2.BR105) during which we will add to our SAR image time in order to (1) refine our analytical techniques, (2) develop a library of spatio-temporal land cover signatures, (3) improve the segmentation and classification of the scenes, (4) link with other investigators working at coarser spatial resolutions, and (5) work with a complementary RADARSAT project (PI: J. Melack, UCSB) of which Henebry is a Co-investigator.

Acknowledgements

We would like to acknowledge those agencies and institutions that have supported this work. FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) supported travel by Kux to both IGARSS'94 and '96 that included a side trip to work with Henebry at Kansas State University.

The US Fulbright Scholarship Board and the Fulbright Commission of Brazil supported Henebry's stay at INPE during 1993-94. INPE received and processed the ERS-1 SAR data used in this study. NSF supported Henebry's continuing work on lacunarity analysis of SAR data through the Konza Prairie LTER Project.

References

- Henebry, G. M. and H. J. H. Kux. 1996. Spatio-temporal land cover dynamics in the Pantanal assessed using lacunarity analysis of an ERS-1 SAR image time series. *Digest of IGARSS'96*, Piscataway, NJ: IEEE, pp. 195-197.

- Henebry, G. M. and H. J. H. Kux. 1995a. Lacunarity as a texture measure for SAR imagery. *International Journal of Remote Sensing* 16: 565-571.
- Henebry, G. M. and H. J. H. Kux. 1995b. Understanding wetland ecosystems. New Views of the Earth: Scientific Achievements of ERS-1. European Space Agency, Noordwijk, The Netherlands, p.116.
- Kux, H. J. H. and Henebry, G. M. 1994a. Multi-scale texture in SAR imagery: landscape dynamics of the Pantanal, Brazil. Electronic Digest of IGARSS' 94. Piscataway, NJ:IEEE , pp. 1359-1364.
- Kux, H. J. H. and G. M. Henebry. 1994b. Evaluating anisotropy in SAR imagery using lacunarity functions. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 30(7a):141-145.
- Plotnick, R.E., R.H. Gardner, and R.V. O'Neill. 1993. Lacunarity indices as measures of landscape texture. *Landscape Ecology* 8:201-211.

Table 1: ERS1-SAR data from track 210 and frame 3987

Acquisition Data	Orbit Number	Center Latitude	Center Longitude
12.12.92	7369	S 19°12'04"	E 304°02'06"
20.02.93	8371	S 19°12'40"	E 304°01'26"
01.05.93	9373	S 19°15'00"	E 304°01'19"
05.06.93	9874	S 19°11'42"	E 304°02'10"
14.08.93	10876	S 19°11'38"	E 304°01'52"
18.09.93	11377	S 19°12'14"	E 304°01'19"
27.11.93	12379	S 19°11'56"	E 304°01'55"

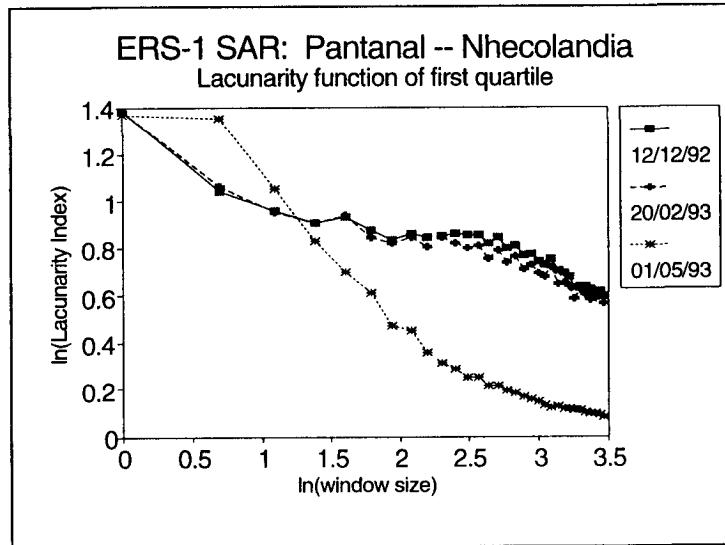


Figure 1: Rapid decay of lacunarity indicates quasi-random spatial arrangement; decay is slower when large aggregates of pixels generate more spatial heterogeneity.

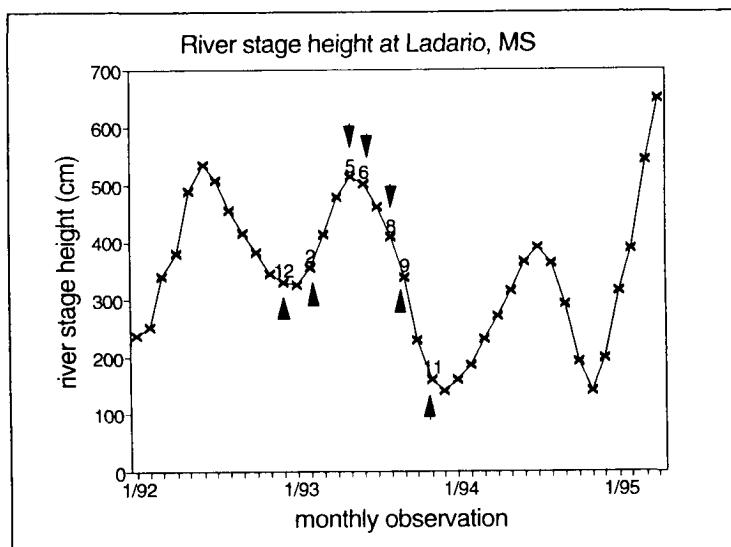


Figure 2: River stage height at Ladario, Mato Grosso do Sul. Arrows and numbers indicate month of acquisition for ERS-1 SAR data used in the study.

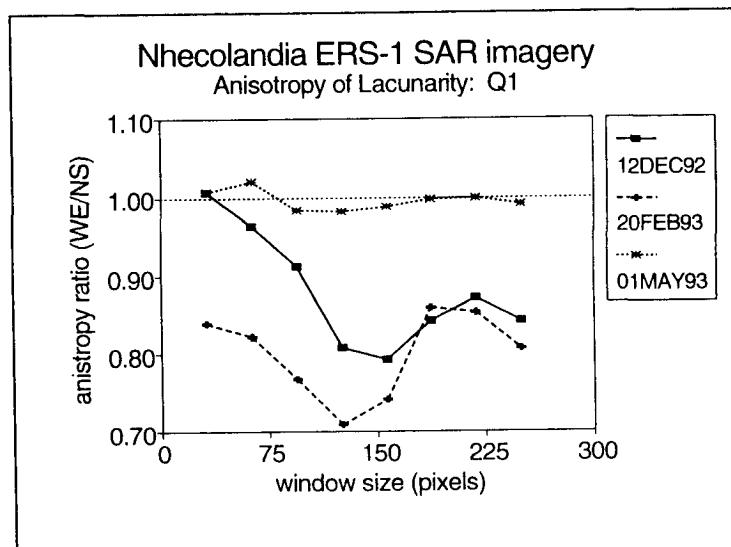


Figure 3: Lacunarity is also sensitive to the anisotropy of pixel arrangements. The north-south orientation evident DEC and FEB is lost in MAY due to flooding.

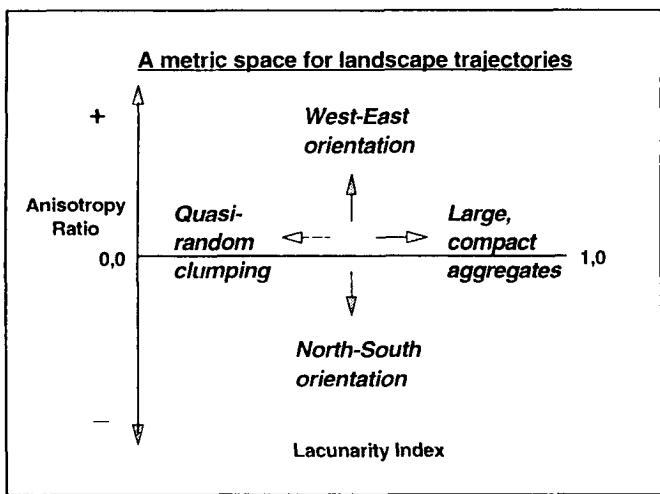


Figure 4: A metric space for landscape trajectories derived from SAR image time series. Normalized lacunarity forms the x-axis and anisotropy ratio of lacunarity forms the y-axis.

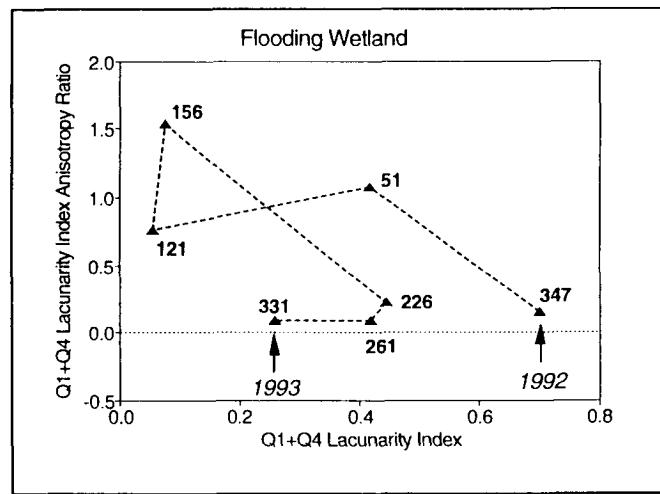


Figure 5: Landscape trajectory of a flooding wetland . Note the disparity between trajectory endpoints, attributable to a drought.

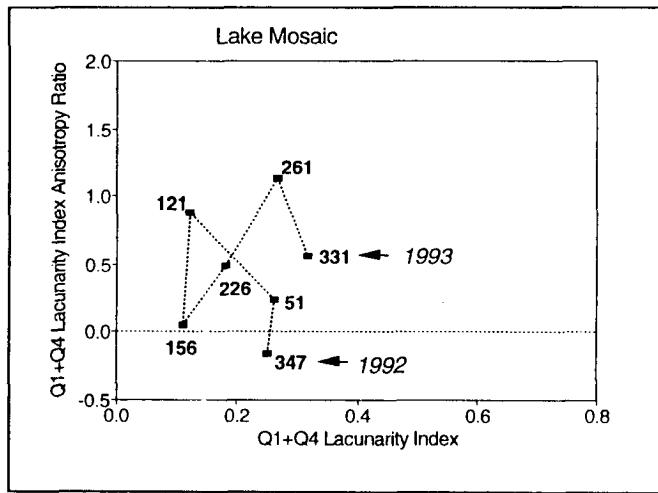


Figure 6: Landscape trajectory for a lake mosaic. Note the attenuation of anisotropy as a result of the drought in the austral winter of 1993.

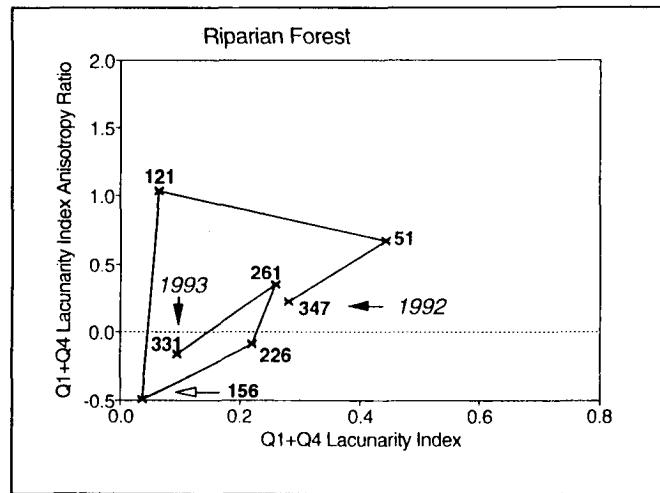
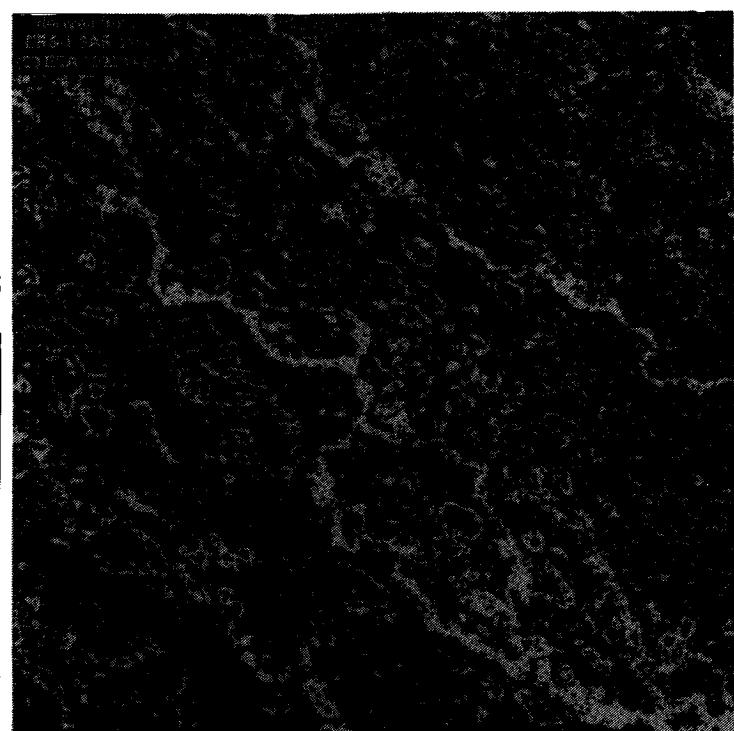


Figure 7: Landscape trajectory for a riparian forest. Note the lack of significant spatial structure (low values on both axes) at DOY 331.

Classification based on PCA of full image series



Classification based on PCA of Q1 + Q4 series

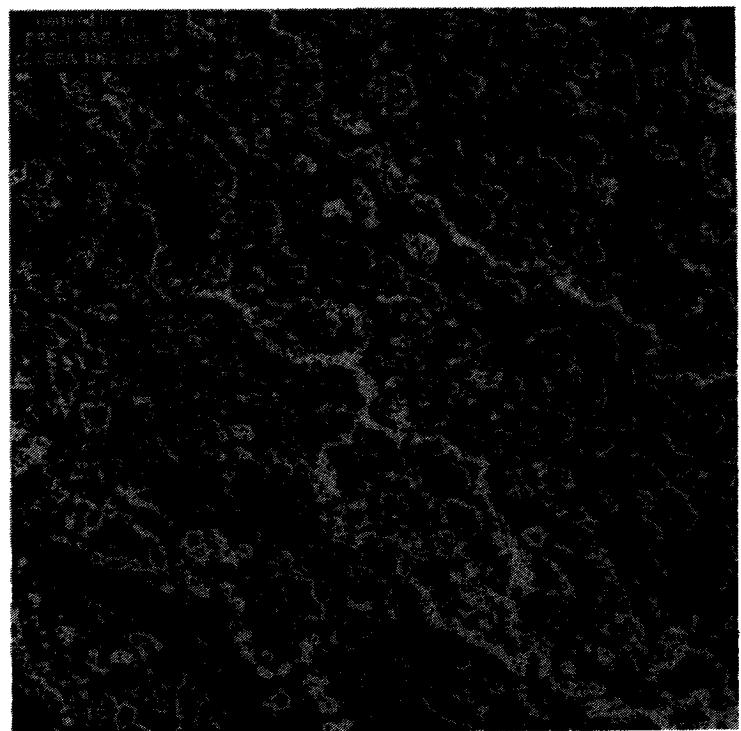
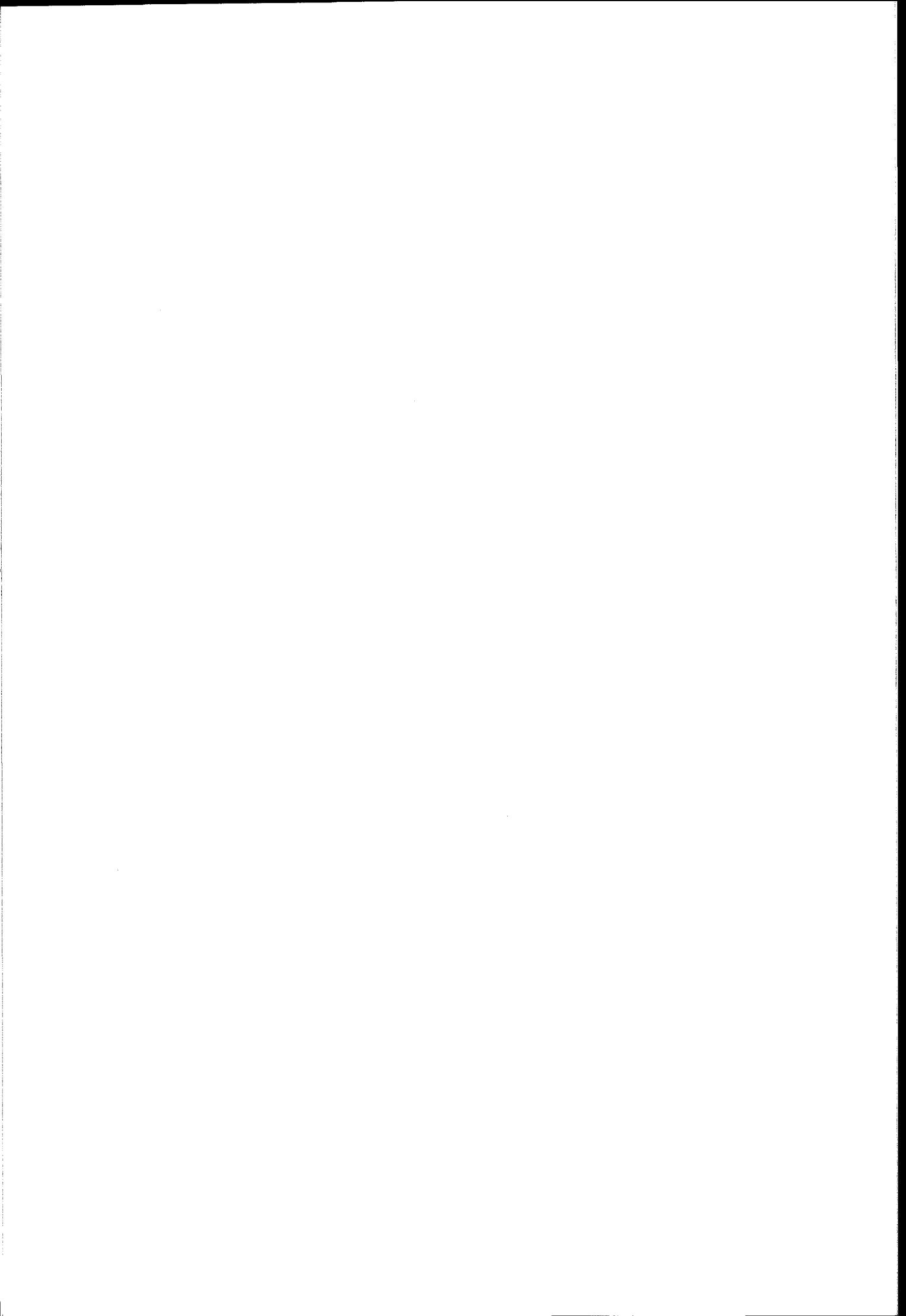


Figure 8



ENVIRONMENT / MEDIO AMBIENTE

Chairman/Presidente: Jorge Torres



SISTEMA DE VIGILANCIA DE MACHAS DE PETROLEO EN EL MAR, BASADO EN IMÁGENES SAR (SAROIL)

A. Martínez and V. Moreno
INDRA ESPACIO
C/ Mar Egeo, s/n, Pol. Ind. 1
28830 SAN FERNANDO DE HENARES
MADRID - SPAIN
TEL: +34-1-396 39 11 FAX: +34-1-396 39 12
e-mail: amar@mdr.inisel-espacio.es

ABSTRACT

The importance of oil pollution control and monitoring is well known to the general public: the environmental effects of oil spills are stressed for a closed basin as the Mediterranean Sea, surrounded by countries in which tourism plays an important economical role.

This communication presents a project for the study, development and implementation of a marine oil spill detection system for the Spanish coast based on satellite SAR imagery. The project is currently under evaluation by the Spanish authorities (Merchant Navy Authority and Science and Technology Ministerial Board). The following points will be further developed in the presentation:

- **Problem Description** The main sources of marine oil pollution are intentional and accidental releases from ships, natural slicks and pollution from land.
- **Project Scope** The project is divided into two phases. The first phase covers the implementation of a demonstrator. The second phase covers the implementation of a pre-operational system and the feasibility study of a fully operational system. The demonstrator and the pre-operational system will be tested on a few test sites, selected according to the presence of both heavy marine traffic and oil industry.
- **System Requirements** Three requirements are considered for an operational system:
 - **Data availability**, that is dependent on the number of SAR satellites, their orbital and sensor characteristics and the extension and location of the studied area.
 - **Delay from data acquisition to alarm triggering**, mainly determined by the ground infrastructure and, to a lesser extent, by the data processing.
 - **Alarm reliability**, and its dependence on external (meteorological conditions) and

internal parameters (radiometric and geometric resolution of SAR images, goodness of the detection algorithms).

- **Data sources**. The initial source of SAR images are standard ESA products (ERS, RAW, FDC and PRI). For operational use, a ground reception station for ERS (Maspalomas Station, in the Canary Island) with SAR processing capability is considered.
- **Data processing**. The following processes are to be applied to the SAR data: ingestion of HDDT SAR data, calculation of relevant processing parameters, SAR image generation (both quick look and full resolution images). SAR image analysis (speckle reduction, oil spill detection and geolocation of events) and GIS database handling.
- **System Operation**. The demonstration operation is as follows:
 - For a given ERS.RAW product, determine if it covers the area of interest. If positive, continue with the calculation of SAR processing parameters.
 - Generation of a quick-look image, covering the full data extent. The preliminary characteristics of this quick-look image are: pixel spacing 100-200 m, ground projection, equivalent number of looks 8-32, processing time less than 10 minutes.
 - Overlapping land mask, automatic detection of potential targets, input auxiliary data (meteorology, oceanography). The image analysis should not take longer than 5 minutes.
 - Visual display to the user to confirm (or not) the results obtained.
 - Generation of a precision image of the potential targets. The preliminary characteristics of the precision image are: pixel spacing 12.5-30.0 m, ground range projection, number of looks 3, processing time less than 10 minutes (for 20 km x 20 km image).
 - Overlapping land mask, automatic detection of potential targets, input auxiliary data.

- Visual display to the user to confirm (or not) the results obtained.
- Alarm triggering (or not), report generation and graphical database update.

1. INTRODUCTION

El medio ambiente marino está sujeto a contaminación por productos petrolíferos no sólo como consecuencia de accidentes petroleros. Resulta pardójico que el volumen de petróleo vertido durante operaciones "normales" de navíos sea de tres a cuatro veces superior que el provocado por accidentes [8].

Para atajar esta situación, desde 1973 se viene trabajando en la Organización Marítima Internacional (IMO, International Maritime Organization) sobre la prevención de polución provocada por barcos. Estas actividades se desarrollan dentro del programa MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships). En 1983 entró en vigor una normativa internacional limitando el vertido operacional de hidrocarburos desde barcos y estableciendo zonas especiales donde estos vertidos están prohibidos (el Mar Mediterráneo es un de estas zonas).

Como consecuencia de estas normativas surge la necesidad de verificar su cumplimiento y de establecer mecanismos y técnicas operativas para la detección, seguimiento y evaluación del impacto ambiental de los posibles vertidos en las zonas costeras.

La gran superficie a vigilar hace altamente incíviente el empleo de barcos de observación. El uso de aviones facilita esta tarea, aunque la superficie que puede ser observada es limitada. Tres tipos de sensores remotos aerotransportados han sido utilizados con frecuencia para la detección de manchas de petróleo:

- Radar lateral (SLAR, Side-Looking Airborne Radar)
- Barredores de infrarrojos (IRLS, Infrared Line Scanners)
- Barredores de ultravioleta (UVLS, Ultraviolet Line Scanners)

Cada uno de estos sensores tiene una serie de ventajas sobre los otros, aunque ninguno de ellos por separado puede funcionar operativamente bajo todas las condiciones.

En los últimos años se está estudiando seriamente la utilización de satélites de observación de la Tierra (EOS, Earth Observation Satellites) para la detección y seguimiento de vertidos de petróleo en el medio marino. Las principales ventajas que aporta el uso de satélites de teledetección es el carácter global de los datos, que permite la cobertura de amplias áreas de la superficie terrestre, y la posibilidad de repetición de la toma de datos de una misma región con una determinada periodicidad.

De todos los sensores a bordo de satélites de observación de la Tierra el único adecuado para la detección de vertidos de petróleo es el radar de apertura sintética. SAR (Synthetic Aperture Radar).

El SAR es un sensor remoto que trabaja en el intervalo de frecuencias de las microondas (longitud de onda entre 1 y 30 cm). Básicamente su funcionamiento es como sigue [2]:

Una antena a bordo de un avión o satélite emite pulsos de microondas en la dirección perpendicular a la de vuelo; estos pulsos llegan a la superficie terrestre donde se dispersan. La radiación electromagnética que es dispersada en la dirección de la antena (ésto es, la radiación retrodispersada) es recogida por la antena y grabada. Los pulsos retrodispersados recibidos por la antena son posteriormente procesados para la formación de una imagen. La imagen SAR contiene información sobre el coeficiente de retrodispersión de microondas de la superficie terrestre.

Las propiedades de la superficie que más influyen en el coeficiente de retrodispersión de microondas son la constante dieléctrica y la rugosidad; en el caso de la superficie marina es ésta última propiedad la que afecta a la retrodispersión de microondas, y por extensión, la que será observada en las imágenes SAR.

Las ventajas más importantes que presenta el SAR para la teledetección son:

- El carácter activo del instrumento lo hacen independiente de la iluminación solar, pudiendo recoger imágenes a cualquier hora.
- Las microondas se ven muy poco afectadas por la presencia de nubes, por lo que es posible la toma de imágenes con independencia del tiempo meteorológico.
- Las imágenes SAR tienen una resolución espacial elevada (25 m), que permite el estudio de fenómenos de pequeña escala espacial.
- Las imágenes SAR cubren amplias zonas, lo que permite su utilización a escala global.

La enorme utilidad del SAR se pone de manifiesto al considerar el número de misiones satelitarias dedicadas en los últimos años y las previstas en un futuro inmediato.

MISIÓN	AÑO	AGENCIA
SEASAT	1978	NASA (EEUU)
SIR-A	1981	NASA
SIR-B	1984	NASA
ALMAZ 1A	1991	U.R.S.S.
ERS-1	1991-95	ESA (Europa)
JERS-1	1992-94	NASDA (Japon)
SIR-C	1994	NASA
ERS-2	1995-...	ESA
ALMAZ 1B	1995?	Rusia
RADARSAT	1995-...	Canada
ENVISAT	1998-...	ESA

Las microondas no penetran más allá de algunos milímetros la superficie del mar. Por ello las imágenes SAR del océano recogen exclusivamente información sobre la rugosidad de la superficie marina. Las modulaciones del mar de tamaño similar a la longitud de onda del SAR, son las que contribuyen en mayor medida a la retrodispersión mediante el mecanismo de dispersión resonante de Bragg <VES-82>; estas modulaciones son producidas fundamentalmente por el viento.

Hay un gran número de fenómenos que alteran la rugosidad de la superficie marina y que pueden ser observados en las imágenes SAR: ondas internas, frentes de densidad, corrientes y estructuras submarinas (batimetría). Es por ello por lo que el SAR es una útil herramienta para los oceanógrafos [5]. Además, los barcos son fuertes retrodispersores de las microondas, y suelen aparecer en las imágenes SAR como puntos brillantes.

Entre los fenómenos observables en las imágenes SAR está la presencia de películas superficiales, de origen natural (algas y fitoplacton) o articial (derrames de hidrocarburos).

El efecto de una película superficial sobre el mar es el de suavizar su superficie respecto a la de aguas limpias. Como consecuencia, una menor proporción de la radiación de microondas incidente será retrodispersada, al aumentar la contribución de la reflexión especular (que desvía la radiación en dirección opuesta a la antena). En condiciones ambientales adecuadas, la presencia de hidrocarburos en el mar se refleja en las imágenes SAR por la aparición de zonas oscuras (con menor coeficiente de retrodispersión). En el caso de producirse un vertido desde un barco, en la imagen

SAR aparecerá éste como un punto brillante junto con el vertido (zona oscura).

La aplicación del SAR a la detección de manchas de petróleo no es inmediata, desgraciadamente. Existe una serie de factores que dificultan dichas aplicaciones. Entre estos factores destacan:

- Dependencia de las condiciones climatológicas (especialmente la velocidad del viento). Como se ha comentado anteriormente, la detección de vertidos de petróleo en las imágenes SAR se realiza por el contraste entre la zona circundante, más rugosa (mayor intensidad en la imagen), y la mancha, de superficie más suave (menor intensidad en la imagen). En condiciones de mar muy calmada (velocidad del viento inferior a unos 2 o 3 m/s) la superficie marina estará lo suficientemente suave como para no poder distinguir las posibles películas superficiales. Así mismo, para estados agitados del mar (velocidad del viento superior a unos 15 m/s) el efecto suavizador de la superficie provocado por la presencia de petróleo queda anulado, no pudiéndose discriminar del resto del mar.
- Discriminación de películas naturales y artificiales. En el mar existen películas superficiales de origen natural cuyo efecto sobre la dispersión de las microondas es muy similar al de vertidos crudos. Estas películas suelen ser producidas por organismos (fitoplancton).

La potencialidad del radar de apertura sintética para la detección y seguimiento de vertidos de hidrocarburos junto con la disponibilidad de datos SAR en el presente y en un futuro próximo ha hecho que varios países inicien en los últimos años programas de investigación encaminados al desarrollo de sistemas de detección operativos. Entre estos países podemos destacar Noruega [1], Holanda [4], Alemania [9], y Japón [3].

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El principal objetivo del proyecto es el estudio, desarrollo, implementación y evaluación de un sistema demostrador para la detección de vertidos de petróleo en la costa de España, basado en imágenes SAR desde satélite. El proyecto está actualmente bajo evaluación por las autoridades españolas (Dirección General de la Marina Mercante y Ministerio de Educación y Ciencia).

El principal objetivo puede dividirse en tres etapas:

- Desarrollo e implementación de un demostrador de un sistema de detección de manchas de petróleo basado en imágenes SAR.
- Pruebas y evaluación del demostrador.
- Estudio de viabilidad de un sistema pre-operacional.

La descripción de un demostrador es presentada en el siguiente apartado. Respecto a las pruebas y evaluación se han considerado dos áreas con presencia de gran tráfico marítimo de petroleros e industria petrolífera: El Estrecho de Gibraltar y Tenerife (Islas Canarias) Fig. 1, se analizarán un gran número de imágenes SAR y se realizará un estudio para determinar la frecuencia de manchas.

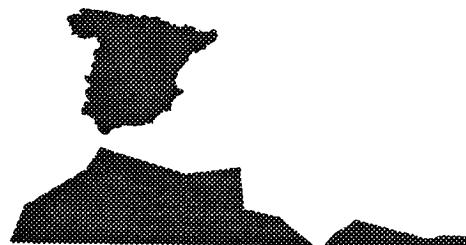


Fig. 1

3. OPERACION DEL DEMOSTRADOR

La implementación del sistema demostrador se realizará tratando de describir lo más posible la situación operacional. La estructura de un sistema integrado para vigilancia de manchas de petróleo marítimas está representado en la figura 2.

- Sistema de recepción de datos (Estación de Maspalomas). Este subsistema es responsable de la adquisición de los datos SAR del satélite y su transformación a un formato compatible con ordenador.
- Sistema de proceso de datos. el objetivo específico del proyecto. El subsistema de proceso es responsable de procesar todos los datos para obtener la detección y situación de las potenciales manchas de petróleo (en forma de un informe que contenga datos gráficos y texto).
- Gestión y diseminación de las alarmas/informes desde el subsistema de procesado a las autoridades

marítimas. Una unidad central y varias estaciones regionales se contemplan para el caso de España.

Las características principales del subsistema se describen en los siguientes sub-apartados.

3.1 Entorno Hardware

El sistema demostrador estará desarrollado sobre una estación de trabajo comercial con un entorno UNIX:

- SUN SPARC 20/71, 1 procesador a 75 MHz
- 128 Mb RAM, 4 Gbytes de disco
- Unidad de CD-ROM
- Unidad de cinta Exabyte

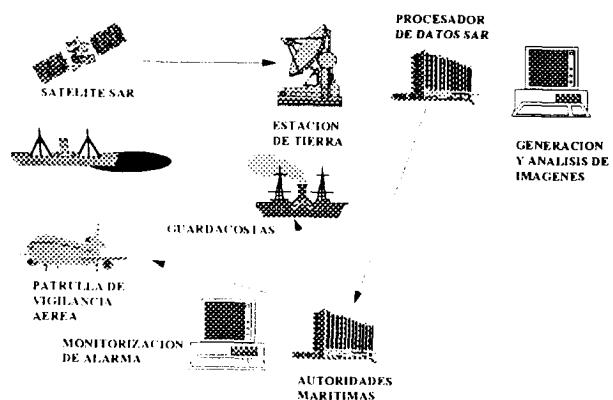


Fig. 2

3.2 Ingestión de datos

Los datos fuente de SAR para el proyecto son los productos ERS.RAW, en Exabyte o CD-ROM.

Para un sistema operacional, debe ser tenida en cuenta la ingestión de los datos SAR en HDDT. Una vez los datos están dentro del ordenador, el siguiente paso es leer la información auxiliar de la cabecera y determinar el área cubierta por los datos, después se selecciona el área de interés (enmascarando la parte de tierra).

El cálculo de los parámetros necesarios de los datos ERS.RAW (PRF, información del tiempo, centroide Doppler, FM rate y sus solapes, etc.) se realiza durante el proceso de ingestión. Esta información se reúne y almacena en un fichero de parámetros de proceso que sirve como entrada al procesador de SAR.

3.2 Generación de la imagen Quick-Look

Una vez generados los parámetros de proceso, se genera a partir de los datos brutos ("raw data") una imagen de quick-look proyectada en "ground-range".

El tamaño aproximado de esta imagen es de 1 Mbyte, codificada cada pixel en 1 byte (256 valores de gris).

Se estudiará la variación y comportamiento de una serie de parámetros con el fin de optimizar el sistema:

- factores de decimación (en las direcciones de rango y azimuth)
- número de "looks" (en rango y azimuth)
- espaciado de pixels
- cuantificación de pixels

Estos factores influyen en la calidad de la imagen (resolución radiométrica y geométrica) y en las prestaciones del procesador (tiempo de proceso). Los valores preliminares de estos parámetros son:

- factor de decimación en rango: de 1 a 4
- factor de decimación en azimuth: de 1 a 4
- número de looks en rango: de 1 a 4
- número de looks en azimuth: de 4 a 8
- espaciado en pixel: de 100 a 200 m
- cuantificación de pixel: de 4 a 8 bits
- tiempo de proceso: de 5 a 10 minutos para una escena de 100 Km X 100 Km.

3.3 Análisis de la imagen Quick-Look

La imagen quick-look generada será analizada automáticamente para la detección de manchas de petróleo. Se realizarán los pasos siguientes:

- Se enmascara la tierra sobre el área de interés de la imagen a procesar. Esta tarea requiere conocer las coordenadas de las esquinas de la imagen.
- El algoritmo de detección solo operará sobre la zona de interés. La base del algoritmo es buscar áreas pequeñas que tengan una dispersión baja. Dependiendo de la resolución de la imagen quick-look, puede ser útil detectar incluso barcos en los alrededores de las manchas potenciales. El tiempo de proceso de la detección será menor a 5 minutos.
- Las manchas potenciales identificadas por los algoritmos de detección serán seleccionadas y marcadas en la pantalla. Se desarrollarán las herramientas idóneas para medir la distancia y la superficie en la imagen y visualizar la información necesaria que pueda ayudar al operador del sistema (información meteorológica y oceanográfica).
- El operador del sistema podrá analizar los resultados y tener posibilidad de rechazar alguna mancha potencial, generar una alarma y también procesar los datos de interés.

3.4 Generación de la imagen a resolución completa

Será también posible generar unas sub-imágenes de alta resolución de las manchas potenciales seleccionadas o de la escena completa a partir de los datos brutos. Esto permitirá resolver dudas. Las características del proceso son:

- proyección de imágenes en "ground-range"
- número de looks en azimuth: de 3 a 8
- espaciado de pixel: de 10,5 a 30,0 m
- cuantificación de pixel: 8 a 16 bit
- tiempo de proceso: de 5 a 10 minutos para subescenas de 20 Km X 20 Km

3.5 Análisis de la sub-imagen de alta resolución

Se aplicarán filtros de speckle para reducir el rango e incrementar las prestaciones de los algoritmos de detección.

Los análisis de las imágenes SAR de alta resolución serán básicamente similares a los de la imagen quick-look, con la diferencia de los valores de umbrales de detección y la aplicación para barcos.

Los resultados de los análisis de las sub-imágenes de alta resolución se presentarán en la pantalla sobre los datos imagen. La máscara de tierra se podrá visualizar opcionalmente si es necesaria. Se contará con herramientas y velocidad para barcos que pueden aparecer en la imagen.

El operador del sistema analizará los resultados y podrá rechazar una mancha potencial.

3.6 Generación del informe

Un informe texto se generará conteniendo la siguiente información:

- Lista de blancos potenciales y coordenadas geográficas
- Parámetros para barcos (localización, velocidad, dirección, tamaño estimado)
- Información meteorológica y oceanográfica

Copias comprimidas de las imágenes de quick-look y alta resolución podrán ser añadidas al informe. Complementariamente se podrá generar una imagen sintética vectorial, con la información extraída de la imagen de alta resolución, con el fin de reducir el tamaño de los datos del informe. El tamaño del informe será del orden de 100 Kbytes, permitiendo una transmisión rápida a través de las redes convencionales

al centro de toma de decisiones. Las imágenes reales pueden ser enviadas posteriormente bajo petición.

Con esta metodología la cantidad de datos se reduce drásticamente desde 300 Mbytes de entrada (RAW data) hasta 100 Kbytes.

Los datos generados (informes, imágenes de quick-look e imágenes de alta resolución) se archivarán en una base de datos gráfica, para su posterior utilización.

4. HACIA UN SISTEMA OPERATIVO

Hemos identificado tres requisitos básicos que son necesarios para un sistema operativo en la vigilancia y detección de manchas de petróleo basado en imágenes SAR desde satélite:

1. Posibilidad de tener datos SAR
2. Rápida reacción ante las alarmas
3. Alta precisión en la obtención de alarmas

4.1 Posibilidad de tener datos SAR

Un sistema operativo debe tener la posibilidad de vigilar el área de interés con una frecuencia similar a la ocurrencia del fenómeno que se quiere detectar. El intervalo de tiempo entre datos SAR de la misma zona debe ser similar al tiempo de cruce de los barcos por el área a barrer, si bien esto es muy restrictivo, una posibilidad más realista sería tener una revisita entre uno o tres días.

El tiempo de revisita depende básicamente de la configuración en le segmento espacial:

- características orbitales
- características del sensor
- número de satélites SAR
- localización del área de interés (latitud)

Esto se puede lograr con más satélites SAR: ERS-1 y 2, RADARSAT y con los futuros ENVISAT.

4.2 Retraso desde la adquisición al cálculo de la alarma

El segundo requisito para un sistema operativo de detección y vigilancia de manchas de petróleo es el tiempo de reacción desde los datos de entrada hasta la generación de la alarma. Este tiempo no debe ser superior a dos horas; en este tiempo las autoridades deben tomar medidas para corregir el efecto y castigar al infractor.

El tiempo de reacción viene determinado por la infraestructura de tierra. Con la estructura de tierra de

ERS actual el retraso en suministrar los productos SAR es al menos de 2 semanas o 24 horas usando ESA BDDN (Broadband Data Dissemination Network), lejos del uso operativo necesario. La solución es la posibilidad de tener una estación de recepción que pueda suministrar datos en pocos minutos desde la adquisición. La duración del tiempo de procesado es importante si se ha resuelto el problema de la adquisición de los datos.

4.3 Precisión de las alarmas

La precisión del sistema es dependiente de factores externos e internos. Los factores externos afectan a la detección de las manchas de petróleo:

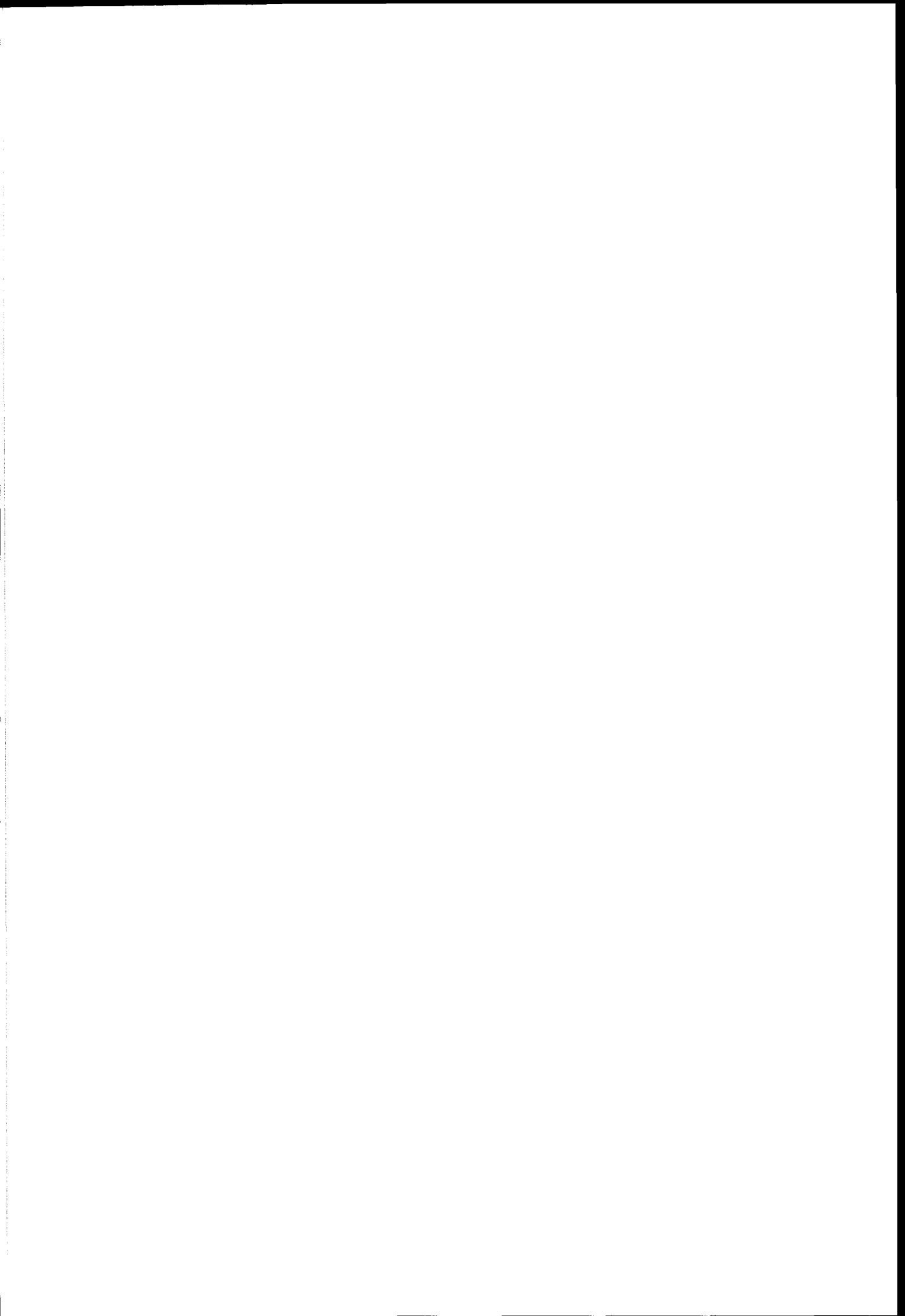
- Las condiciones meteorológicas, sobre todo la velocidad del viento en el área de interés. Sabemos que las manchas de petróleo no pueden ser detectadas por el SAR cuando la velocidad del viento es muy baja o muy alta. Los límites son entre 3-5 m/seg y 13-15 m/seg respectivamente..
- Presencia de otras características que se asimilen en apariencia a una mancha de petróleo, como manchas naturales de plancton.

Parámetros internos que tienen que ser investigados como los parámetros de procesado de datos SAR (resolución radiométrica y geométrica) y aquellas que afectan a determinar y fijar el umbral radiométrico de detección en los algoritmos.

5. REFERENCIAS

- [1] Bern T.I. et al "Oil Spill Detection Using Satellite Based SAR: Experience from a Field Experiment", ESA SP-359 (1993) 829-834.
- [2] C. Elachi, "Spaceborne Radar Remote Sensing: Applications and Techniques", IEEE Press, 1987
- [3] K. Okamoto et al., "Artificial Oil Pollution Detection and Wave Observation in the Sea Adjacent to Japan by ERS-1 SAR", ESA SP-359 (1993) 829-834
- [4] Pellemaus A. et al "Operational Use of Real-Time ERS-1 SAR Data for Oil Spill Detection on the North Sea. First Results", ESA SP-361 (1994) 425-430.
- [5] I.S. Robinson, "Satellite Oceanography", John Wiley & Sons, 1985

- [6] K. Tomiyasu. "Tutorial Review of Synthetic Aperture Radar (SAR) with Applications to Imaging of the Ocean Surface". Proc. IEEE 66 (1978) 563-583.
- [7] J.F. Vescky and R.H. Stewart. "The Observation of Ocean Surface Phenomena Using Imagery from the SEASAT SAR: an Assessment". J. Geophys. Res. 87 (1982) 3397-3430.
- [8] Vidiotel Marine International "Response to Marine Oil Spills", report for the International
- [9] V. Wismann. "Radar Signatures of Mineral Oil Spills Measured by an Airborne Multi-frequency Radar and the ERS-1 SAR" Proc. IGARSS'93 (1993) 940-942.



SEGMENTATION OF TEXTURES IN ERS-1 / SAR IMAGES APPLIED TO EVALUATE LAND DEGRADATION OF RANGELANDS (CENTRAL PATAGONIA, ARGENTINA)

Héctor F. del Valle

Centro Nacional Patagónico (CENPAT). CONICET.
CC 128. (9120) Puerto Madryn (Chubut). Argentina.
fax: 54-965-73680 - e-mail: DELVALLE@Cenpat.edu.ar

Laura A. Frulla and Domingo A. Gagliardini

Centro Argentino de Estudios de Radiocomunicaciones y Compatibilidad Electromagnética (CAERCEM).
CONICET.
Julián Alvarez 1218. (1414) Buenos Aires Argentina.
fax: 54-1-7760410; 54-1-3125537- e-mail : LAURA@caerce.edu.ar

ABSTRACT

Radar images present diverse types of textures in direct and/or indirect relationships with geophysical and biophysical information. Space resolution and sign-noise relationship characteristics, make these images useful for the analysis of human impact and natural disturbances. According to this, the applications of ERS-1/SAR images make it necessary to have reliable digital methods of analysis as well as better approaches for observation of this type of images. Presently study comes an analysis in order to evaluate, classify and interpret texture classes for mapping status of land degradation, in two pilot areas of rangelands in the northeast of Chubut Province (Central Patagonia, Argentina). Moreover, enhancement techniques (Haralick texture) satisfied the objective of producing a composite image ready for visual interpretation containing maximum information on a number of land degradation factors. The texture of the images, as function of the degree, orientation, and rate of change of slope (as well as vegetation cover and land use), were taken into consideration to classify in four classes of status of land degradation (moderate, moderate to severe, severe and very severe).

1. INTRODUCTION

Remote sensing has long been championed for provision of actual land-cover information. For this purpose, great effort has been put on the exploitation of the optical region of the electromagnetic spectrum (Townshend *et al.* 1991). According to Dobson *et al.* (1995) the realization of this capability has been frustrated by several causes, being the following the most important ones: 1) the suitability of the data for classification, and 2) lack of congruence between the physical properties to which the sensor is responding and the generalized classification.

The landscapes of Patagonia rangelands share many features with deserts in general. Rainfall is low; vegetation, sparse or lacking; and the land surface is exposed to processes that change mostly the status of soil, vegetation and local water resources. Especially in these arid areas the penetration depth of the radar can be half of the wavelength. Therefore, covered morphological features not discerned by optical systems are detectable by microwave. However radar observations are often defined as those that had been previously available and not necessarily as those of true functional interest to a given process model (i.e. roughness can be poorly inferred from simple interpretation and classification of vegetation type or relief).

According to this, the applications of ERS-1/SAR images make it necessary to have reliable digital methods of analysis as well as better approaches for observation of specific texture objects (Lira *et al.* 1992). Presently study comes an analysis in order to evaluate, classify and interpret texture classes for mapping status of land degradation, in two pilot areas of rangelands in the northeast of Chubut Province (Central Patagonia, Argentina).

2. METHODOLOGY

2.1 Study areas and environmental characteristics

2.1.1 Telsen area

The Telsen area (Fig. 1), covers 6,037 km² and is located on the Central Patagonian northeast, between 42° 00' and 42° 50' S and 65° 37' and 66° 46' W in Chubut Province (Argentina). The landscapes are conformed by hilly terrains, peneplains, basaltic terraces and structural terraces of gravels. Considering the extension and spatial variability of the landscape,

the most outstanding feature is that of the exhumed peneplain. The drainage is completely controlled by the geologic structure and for the tectonic depressions existent in the region (del Valle *et al.* 1995, del Valle 1996).

The climate is arid and temperate, and exhibits temperatures between 11 °C and 13 °C with annual precipitations generally minor to 200 mm. Soils correspond to Argids, Orthids, Orthents and Psammments, from the Aridisols and Entisols orders respectively (Beeskow *et al.* 1987). A wide distribution of shrub steppes features this area, being *Larrea spp.*, *Monthea aphylla*, *Schinus jhonstonii* and *Prosopis alpataco* the dominant species. The dominant tussock grasses are *Stipas spp.* The total vegetation cover varies from 25 to 50 %. In the depressions with saline soils, steppes of *Atriplex lampa* are developed together with *Ciclolepis genistoides* and *Suaeda divaricata* (Cabrera 1976).

2.1.2 Valdés area

The Valdés area (Fig. 1), covers 3,800 km² and is located on the Central Patagonian coast (42° 05' S and 63° 37' W).

The climate is semiarid and temperate. Mean annual precipitation varies from 200 mm (west) to 250 mm (southeast). Rainfall is almost uniformly distributed throughout the year, being May and October the wettest months. Annual and monthly totals exhibit high variability (Barros & Rivero 1982). Mean annual temperature is 12 °C. The mean annual wind velocity at 10 m above ground level is 4.5 m/s (Barros 1986).

Vegetation is that of a shrubby steppe type with different dominant species in the shrubby stratum (Bertiller *et al.* 1981). The shrubby steppe of *Chuquiraga avellaneda* is distributed in the closed basins. In the plateaus, the dominant species are *Chuquiraga avellaneda*, *Ch. hystric*, *Condalia Microphylla* and *Schinus jhonstonii*. The aeolian mantle environment includes a mixture of tussock grasses as *Stipa tenuis* and *Sporobolus rigens*. The younger sand deposits are covered by *Hyalix argentea* as the dominant species.

The geologic structure is simple (Haller 1981). The area is almost entirely covered by deposits of gravel named "Rodados Patagónicos" (plio-pleistocene age). The basement complex is visible in the littoral cliffs and in the erosion front of the tectonic depression. It consists of tertiary continental (pyroclastic) and marine (sandstones, pelites) sedimentites (Puerto Madryn and Gaiman Formation).

2.2 ERS-1/SAR image acquisition

Data consisted of two ERS-1/SAR sub-scenes collected from the study sites. The acquisition dates were: Telsen area (07.04.1992) and Valdés area (07.09.1992).

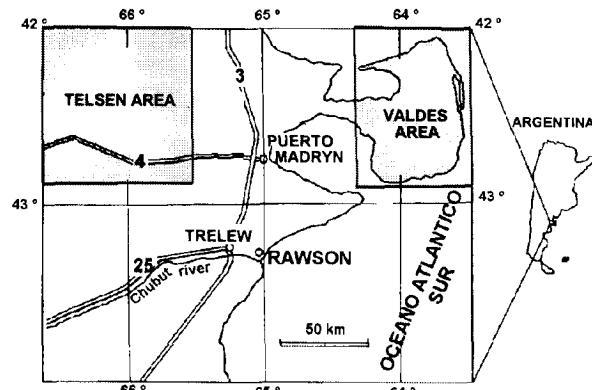


Figure 1. Study areas.

2.3 Processing of remote sensed data

The methods used in this analysis are shown in Fig. 2. All image enhancement steps were performed on a PC-486 DX2, using an ERDAS image processing software (ERDAS 1991) complemented by IDRISI for windows software (IDRISI Project 1995), as well as own developed algorithms. To simplify processing and storage, the ERS-1/SAR image was first converted from 16 Bit to 8 Bit. Getting a Gaussian histogram distribution best results were derived by using a logarithmic transformation. The next step consisted in repeating speckle reduction by adaptive filters (Frulla *et al.* 1995). Image segmentation was performed using a division by local landscape systems and relief types (Gagliardini *et al.* 1994; del Valle *et al.* 1995; del Valle 1996). Feature extraction as well as pattern and shape recognition were obtained and compared among the landscapes units as to their efficiency in allowing visual discrimination of land degradation features as revealed by ground truth. Analogously to the possibility to emphasizing spatial and spectral characteristics, the sub-scenes were enhanced by Haralick texture like contrast (Haralick *et al.* 1973, Lira *et al.* 1992). This treatments was utilized as auxiliary band and individually annexed to the original band (from pixels averages with a window of 5x5). The comparative analysis of the characteristics of the sub-scenes were carried out by unsupervised and supervised classification. Ground truth obtained from selected sites made it possible to correlate spectral signatures with identified objects and to enrich the information concerning soil surface status and vegetation. A contingency matrix was used to compare

the classes with the classified ones in 60 training samples. The status of classified land degradation were: moderate, moderate to severe, severe and very severe. A hierarchization of land degradation status was also carried out resulting in the texture classification: smooth, regular, intermediate and rough), according with Lira *et al.* (1992). The final digital mapping was obtained through a filtration of classes (mediane filter, with a windows 3x3). The IDRISI for windows software (IDRISI Project 1995) was applied for calculating landscape patterns (dominance and fragmentation index).

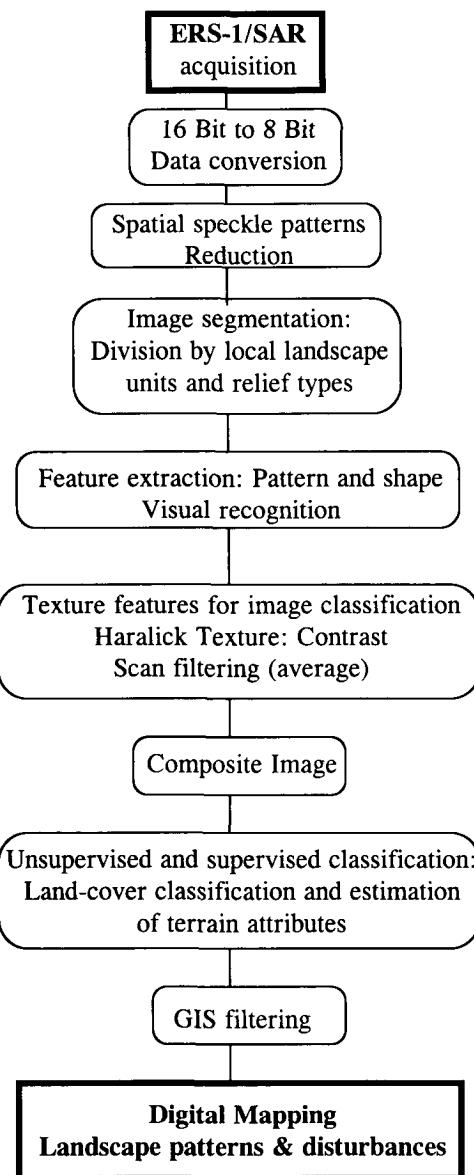


Figure 2. Flow chart

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Telsen area

3.1.1 Landscape units and relief types

The identified landscape units and relief types were grouped into three land systems: Complejo Porfirítico peneplain, Telsen-El Moro basaltic plateaus and Gaiman structural terraces (del Valle *et al.* 1995).

The degree of erosional dissection of landscapes are related to images texture, drainage density and erosional characteristics of the terrain (Fig. 3 A-D).

3.1.2 Textures: Patterns and shapes

Table 1 show the class textures identified as a discriminate indicator in the land units analyzed.

The average gray scale or tone on the ERS-1 image is a very important characteristic in radar interpretation (especially in geologic and vegetation mapping). The organization of texture types relates to the distribution of structural elements within plant communities. Such distributions are not randomly organized, as they are at least related to land degradation. Land degradation is defined in this study as a decline in the condition or quality of the land as a consequence of misuse. The assumption of misuse is qualified for individual forms of degradation (natural and/or human impact).

Table 1. Classes of textures identified

Land Unit	Texture Class
Exhumed Peneplain (1)	rounded, rugged and peaked divides
Covered Peneplain (1)	coarse, subdued (blurred)
Intermontane-basin landforms (1)	Mixed, fine, coarse, mottled
Stream channel-valley landforms (1)	Fine, mottled
Structural basaltic terraces (2)	Fine
Complex of foot and backslopes (2)	Mixed
Basaltic-basin landforms (2)	Fine, mottled
Structural sedimentary terraces (3)	Coarse, fine, mottled
Paleochannels (3)	Fine, coarse
Gravel-basin landforms (3)	Fine

Land Systems: 1. Complejo Porfirítico peneplain. 2. Telsen-El Moro basaltic plateaus. 3. Gaiman structural terraces.

Surface roughness is the dominant factor in determining the amplitude of return and, hence, the tone of the sub-scene analyzed. The energy incident upon the surface is partially reflected in either a specular or a diffuse manner, depending on the roughness of the surface.

3.1.3 Classification

Fifteen subclasses were pre-classified and the final categories defined according to a statistical analysis (maximum likelihood classifier) given by ERDAS (1991), including work on type categories and removing, and the utility of the output. The 15 classes can be further aggregated to give four basic status of land degradation (Table 2).

Table 2. Percentage of status of land degradation

Land Unit	Status			
	A	B	C	D
Exhumed Peneplain (1)	5	13	11	71
Covered Peneplain (1)	11	20	35	34
Intermontane-basin landforms (1)	22	21	35	32
Stream channel-valley landforms (1)	20	40	35	5
Structural basaltic terraces (2)	50	35	10	5
Complex of foot and backslopes (2)	20	30	35	15
Basaltic-basin landforms (2)	37	35	20	8
Structural sedimentary terraces (3)	20	40	37	3
Paleochannels (3)	30	45	21	4
Gravel-basin landforms (3)	5	35	50	10

Land Systems: 1. Complejo Porfirítico peneplain. 2. Telsen-El Moro basaltic plateaus. 3. Gaiman structural terraces.

Status of land degradation: A = moderate (smooth texture), B = moderate a severe (regular texture), C = severe (intermediate texture), D = very severe (rough texture).

In this study, a quick classification of the sample pixels was performed, using the maximum likelihood decision rule. Then, a contingency matrix is presented in Table 3, which contains the percentages of pixels correctly classified. This Table represent the observed variability among status of land degradation as a function of landscape unit (mapping system delineations) and respective land unit concepts.

Anderson *et al.* (1976) demonstrated that a classification accuracy of 85.0 percent should be the minimum acceptable when utilizing remotely-sensed data. The data of Table 3 illustrate that the magnitude of classes correctly classified generally increases with increasing scale factor from land units to land systems within the study area. Land units are more specific

because they have restricted ranges in differentiating and accessory properties while land systems are more inclusive.

Table 3. Percentage of classes correctly classified

Observed Variability	Status			
	A	B	C	D
Land systems	66	73	80	100
Land units	83	80	85	100

Status of land degradation: A = moderate (smooth texture), B = moderate a severe (regular texture), C = severe (intermediate texture), D = very severe (rough texture).

3.1.4 Landscape pattern and disturbances

Table 4 gives the values of the indices calculated for the land units. Low values of dominance (0.3-0.6) are associated with landscapes in which many land uses types (e.g. natural vegetation) occur in approximately equal proportions. High values (0.8), indicating dominance of the landscapes by one or few land uses.

The fragmentation index (Fr), has a potential range of 1.0 to 0.4. The smallest values of Fr (0.4-0.5) are associated with simple rectangular shapes dominate, and the highest values (0.7-1.0) indicate highly dissected landscapes, tend to occur where there are human impact or natural disturbances into many small patches.

Table 4. Distribution of pattern indices. Values given are the average of the total land unit.

Land Unit	Landscape pattern	
	Do	Fr
Exhumed Peneplain (1)	0.3	1.0
Covered Peneplain (1)	0.4	1.0
Intermontane-basin landforms (1)	0.5	0.7
Stream channel-valley landforms (1)	0.4	0.8
Structural basaltic terraces (2)	0.8	0.4
Complex of foot and backslopes (2)	0.5	0.7
Basaltic-basin landforms (2)	0.5	0.7
Structural sedimentary terraces (3)	0.6	0.5
Paleochannels (3)	0.6	0.5
Gravel-basin landforms (3)	0.5	0.7

Do: dominance. Fr: fragmentation index.

3.2 Valdés area

3.2.1 Landscape units and relief types

The identified landscape units and relief types were grouped into four land systems: Valdés structural terraces; Valdés coastal environment, Pirámides dune and aeolian mantle environment and Salinas tectonic depressions (adapted of Gagliardini *et al.* 1994).

Valdés structural terraces

They occur mainly in the central-north area of the Peninsula. The structural stripped plains constituted by "Rodados Patagónicos" (plio-pleistocene age), have a wide distribution as landforms. Marine tertiary outcrops, erosion fronts, small closed saline basins and gullies, were also identified. In the south, these structural terraces are covered by dunes and aeolian mantles generated on the east coast of the Golfo Nuevo.

Pirámides dune and aeolian mantle environment

The wind aided by the arid climate is a dominant transportational and depositional agent at the southern area of the Peninsula (Fig. 3 E-F), and in a narrow belt in all the littoral zone. The identified landforms showed a west-to-east distribution pattern (regime winds almost unidirectional) which consists of: a) active barchanoid dunes ("megaparabolic" design in colonial forms) and associated erosion tongues; and b) longitudinal dunes, where some of these landforms break up downwind into individual barchanoid dunes. Other landforms such as: interdune areas together with aeolian mantles, fixed dunes together with old aeolian mantles and blowouts or wind scoured basins, were also observed.

Valdés coastal environment

It consists of the following landforms: pleistocene beach ridges ("oldest" littoral zone), holocene beach ridges and gravelly and sandy beaches ("young" littoral zone) as active cliffs, abrasion platform, marine plain and beaches. It occupies all the coastal zone of the Peninsula Valdés and varies from smooth sand beaches to abrupt active and inactive cliffs.

ERS-1 image shows, for this environment, the dynamics of the water mass which corresponds with the evolution of the coast from the littoral drift standpoint. An example of this is the formation of beach ridges that constitute the recurred spit on the eastern part of the Peninsula forming there Caleta Valdés.

Salinas tectonic depressions

This environment comprises three tectonic depressions (Salina Grande, Salina Chica and El Gran Salitral) according to bottom morphology. Both Salina Grande and Salina Chica are located in the central part in a large elongate depression in west-east direction oriented. The drainage between said depressions is constituted by the Tertiary sediments and sparse remains dissected of different plain levels. The basin El Gran Salitral is located in the northwest area and also shows a west- east orientation.

Here the ERS-1 images afford the best detection of structural lineations, which conform the eastern prolongation of the tectonic depression, once flooded by the sea (Golfo San José), and of the main regional liniments. Notwithstanding the tectonic origin of these endorreic basins, eolian action could be thought as a secondary mechanism of formation, evidenced in the thin sandy mantles located on the left side of the basins. This mantles were evidenced better in SAR images than in aerial photographs.

3.2.2 Textures: Patterns and shapes

Table 5 show the class textures identified as a discriminate indicator in the land unit analyzed.

Table 5. Classes of textures identified

Land Unit	Texture Class
Terrace (level IV) (1)	Coarse, mottled
Terrace (level III) (1)	Coarse, fine, mottled
Piedmont slope (1)	Coarse
Active dunes (2)	rough, mottled
Fixed dunes (2)	Fine, mottled
Littoral marine environment (3)	Coarse, fine, mixed
Basin landforms (4)	Fine

Land Systems: 1. Valdés structural terraces. 2. Pirámides dune and aeolian mantle environment. 3. Valdés coastal environment. 4. Salinas tectonic depressions.

3.2.3 Classification

Twenty subclasses were pre-classified, which can be further aggregated to give four basic status of land degradation (Table 6). These classes can be quantified, averaged, and used directly as roughness inputs applied to evaluate land degradation.

The clustering operation with 4 clusters shows a clear categorization of textures as an indicator of terrain attributes. According with Lira *et al.* (1992), these data may in turn be used as an input to a database for management of resources related to sub-scene analyzed.

Table 6. Percentage of status of land degradation

Land Unit	Status			
	A	B	C	D
Terrace (level IV) (1)	39	41	10	10
Terrace (level III) (1)	51	30	14	5
Piedmont slope (1)	38	36	12	14
Active dunes (2)	0	0	0	100
Fixed dunes (2)	56	40	2	2
Littoral marine environment (3)	28	53	15	4
Basin landforms (4)	13	35	35	17

Land Systems: 1. Valdés structural terraces. 2. Pirámides dune and aeolian mantle environment. 3. Valdés coastal environment. 4. Salinas tectonic depressions.

Status of land degradation: A = moderate (smooth texture), B = moderate a severe (regular texture), C = severe (intermediate texture), D = very severe (rough texture).

Table 7 gives the percentage of pixels correctly classified within the training data for the 20 subclasses. While the magnitude of spatial variability in a land unit remains constant, our perception of this variability is dependent on the choice of training areas and subsequent analyses of these areas. Thus, landscape variability is a consequence of real texture changes within the landscape unit, choice of a training pixel or training area to portray those changes, and systematic or random field check and errors of determination.

Table 7. Percentage of classes correctly classified

Observed Variability	Status			
	A	B	C	D
Land systems	77	81	90	100
Land units	85	85	92	100

Status of land degradation: A = moderate (smooth texture), B = moderate a severe (regular texture), C = severe (intermediate texture), D = very severe (rough texture).

3.2.4 Landscape patterns and disturbances

The dominance (Do), calculated as the deviation from the maximum possible landscape or habitat diversity is presented in Table 8. A large value of Do (0.6-0.7)

occurs when the landscape is dominated by one or a few land uses or land covers. A small value (0.3-0.5) is found when there are many land uses in approximately equal proportions.

The fragmentation index (Fr), has a potential range of 1.0 to 0.6 (Table 8). The smallest value of Fr (0.6-0.7) are associated with simple rectangular shapes dominate, and the highest values (0.8-1.0) indicate highly dissected landscapes, tend to occur where there are human impact or natural disturbances into many small patches.

Table 8. Distribution of pattern indices. Values given are the average of the total land unit.

Land Unit	Landscape pattern	
	Do	Fr
Terrace (level IV) (1)	0.5	0.7
Terrace (level III) (1)	0.6	0.6
Piedmont slope (1)	0.4	0.8
Active dunes (2)	0.3	1.0
Fixed dunes (2)	0.7	0.7
Littoral marine environment (3)	0.4	0.8
Basin landforms (4)	0.3	1.0

Do: dominance. Fr: fragmentation index

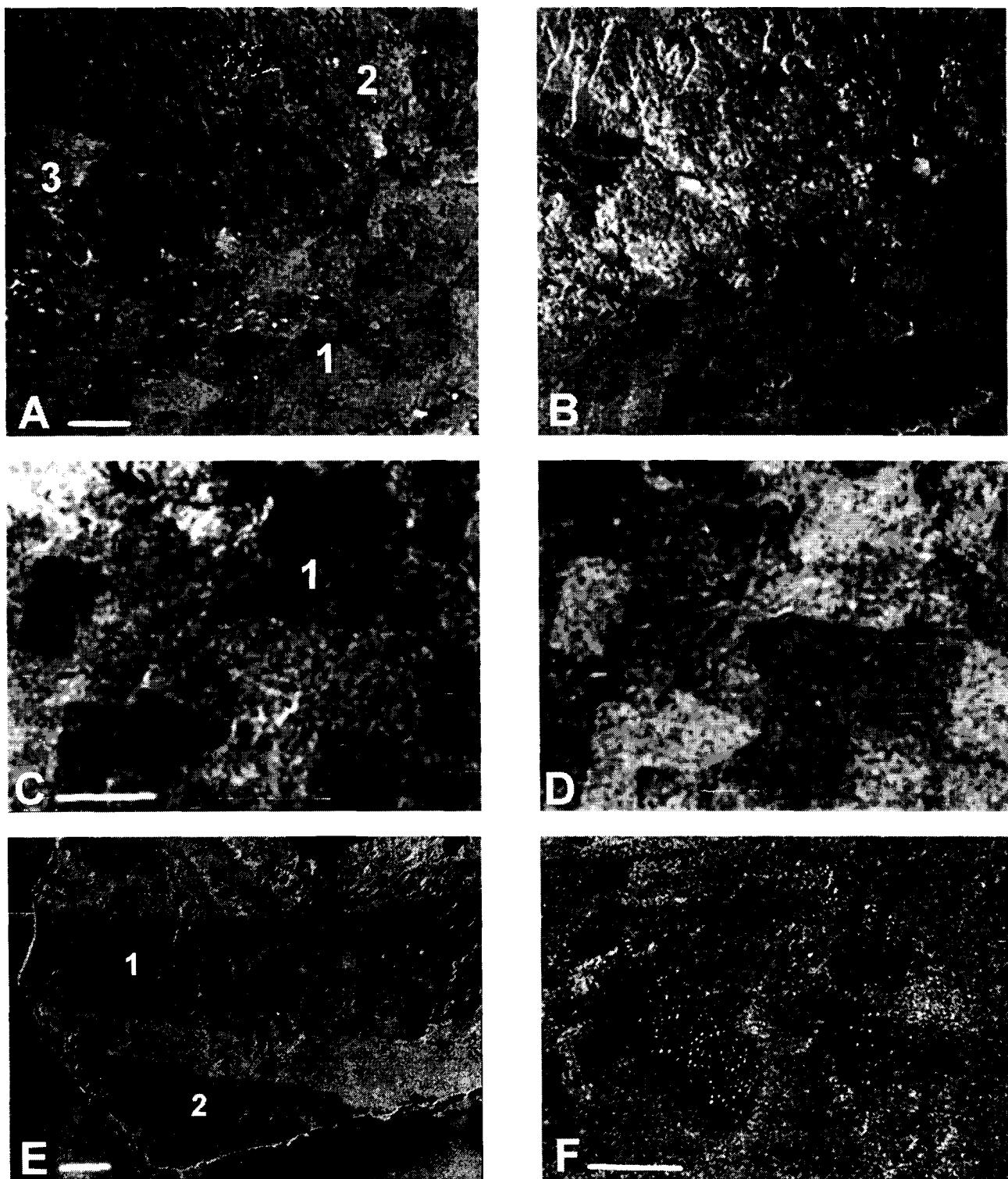
Land Systems: 1. Valdés structural terraces. 2. Pirámides dune and aeolian mantle environment. 3. Valdés coastal environment. 4. Salinas tectonic depressions.

4. CONCLUSIONS

For the purpose of this work and where precise limits were to be determined, ERS-1 image has proved to be an effective and reliable tool for the identification and subsequent mapping of texture types and its classification. Detection of texture objects may be seen as a previous step to evaluate morphological and topological characteristics of selected aspects of the sub-scene as land degradation. Both, human impact and natural disturbances periodically alter the structure and function of ecological systems. A fine-resolution satellite data and field observation will form the basis for the region wide assessment of landscape dynamics.

5. ACKNOWLEDGMENTS

This paper was carried out in the framework of the ERS-1 Pilot Project : "Integrated Study of Argentine Coastal Environment" and the authors are grateful to the European Space Agency, which provided the ERS-1 data used in this work.



Figures 3 A-F. Topographic and erosion textures from ERS-1 images. **A:** Reverse image of Telsen area. Bar length = 2 km. **1.** Structural sedimentary terraces with differences in land use. **2.** Exhumed Peneplain. **3.** Intermontane-basin landforms. **B:** Original image. **C:** Original image. Range condition in response to overgrazing. Bar length = 3.2 km. **1.** Good range condition class (inside of the perimeter delimited), and poor to fair range condition class outside. **D:** Reverse image. **E:** Valdés area. Bar length = 0.6 km. **1.** Active barchanoid dunes. **2.** Fixed dunes. **F:** Active barchanoid dunes and differences in range condition. Bar length = 1 km.

6. REFERENCES

- Anderson J.R., E.E. Hardy, J.T. Roach & R.E. Witner 1976. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. *United States Geological Survey. Geological Survey Paper 964* (Washington, D.C.: United States Geological Survey).
- Barros V. R. 1986. Atlas del potencial eólico de la Patagonia. *CENPAT (CONICET)*. Puerto Madryn (Chubut). Argentina, 293 pp.
- Barros V. & M. Rivero 1982. Mapas de probabilidad de precipitación de la provincia del Chubut. Pub. No. 54. *CENPAT (CONICET)*. Puerto Madryn (Chubut). Argentina, 80 pp.
- Beeskow A.M., H.F. del Valle & C.M. Rostagno 1987. Los sistemas fisiográficos de la región árida y semiárida de la provincia del Chubut. *SECYT. Delegación Regional Patagonia*, 173 pp.
- Bertiller M.B., A.M. Beeskow & M. del P. Irisarri, 1981. Caracteres fisonómicos y florísticos de la vegetación del Chubut: 2. La Península Valdés y el Istmo Ameghino. *(CENPAT)*. CONICET. Contribución 41, 20 pp.
- Cabrera, A.L. 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería. Segunda edición. Tomo II, fascículo 1. Editorial ACME. Bs. As., 85 pp.
- del Valle H.F. 1996. Procesos de fragmentación de paisajes y suelos a diferentes escalas en un sector de la biozona del monte patagónico (chubut). *Tesis Doctor en Agronomía. Departamento de Agronomía. Universidad Nacional del Sur (UNS)*. Bahía Blanca. 194 pp.
- del Valle, H.F., A.M. Beeskow, F.R. Coronato & C.M. Rostagno 1995. Evaluación del estado actual de la desertificación en tres segmentos de la provincia del Chubut: Segmento Noreste. En: Evaluación del estado actual de la desertificación en áreas representativas de la Patagonia. Informe Final de la Fase I. Proyecto de Cooperación Técnica entre la República Argentina y la República Federal de Alemania. *Proyecto INTA-GTZ, LUDEPA-SME*, IV.3:114-126.
- Dobson M. C., F.T. Ulaby & L.E. Pierce 1995. Land-cover classification and estimation of terrain attributes using synthetic aperture radar. *Rem. Sens. Environ.* 51:199-214.
- ERDAS 1991. ERDAS, versión 7.5. *ERDAS Inc.* Atlanta (USA).
- Frulla L.A., J.A. Milovich & D.A. Gagliardini 1995. Reducción del speckle en las imágenes SAR del ERS-1 en la región Antártica. Revista *SELPER*, 11(1-2):83-87.
- Gagliardini D.A., A. Súnico, P.J. Bousa & H.F. del Valle 1994. Geomorphology of the Peninsula Valdés based on ERS-1 image interpretation. *Resource and environmental monitoring. ISPRS*. Río de Janeiro, Brazil. September 26-30, 1994. Proceedings. Vol. 30, part 7a: 228-234.
- Haller, M., 1981. Descripción geológica de la Hoja 43h. Puerto Madryn, Provincia del Chubut. Servicio Geológico Nacional. Bs. As. Argentina.
- Haralick R.M., K. Shanmugam & I. Dinstein 1973. Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-3, 141-152.
- IDRISI Project 1995. IDRISI for windows software. The Idrisi Project. *Clark Labs. For Cartographic Technology and Geographic Analysis*.
- Lira J., S. Fernández & V. Moreno 1992. Segmentation of textures in SAR images by region growing and entropy schemes. *SELPER*. Vol 8, No.3-4:19-25.
- Townshend J., C. Justice, W. Li, C. Gurney & J. McManus 1991. Global land cover classification by remote sensing : Present capabilities and future possibilities, *Rem. Sens. Environ.* 35:243-255.

UTILIZACION DE DATOS ERS-1 PARA EVALUAR LA POTENCIALIDAD DE LA BANDA C, EN LOS ESTUDIOS DEL MEDIO AMBIENTE, SECTOR ANDINO Y EXTRA-ANDINO DE LA PATAGONIA, ARGENTINA

Francisca C. González (1); María C. Serafini (2); Miriam E. Antes (2,3); Alfredo R. Cuello (2,3)

(1) Dpto. de Geología; Universidad Nacional del Sur
 Lab. de Fotointerpretación - UNS; San Andrés 850, Piso 3; (8000) Bahía Blanca, Argentina
 Fax: (54-91) 21942; E-mail ghgonzal@criba.edu.ar

(2) PRODITEL, Dpto. de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján
 C.C. 221, (6700) Luján, Buenos Aires, Argentina
 Fax: (54-323) 25795; E-mail proditel@unlu01.edu.ar

(3) Centro de Sensores Remotos Fuerza Aérea Argentina
 Dorrego 4018 (1425) Buenos Aires, Argentina
 Fax: (54-1) 7715810

RESUMEN

Se presentan los resultados preliminares basados en el análisis de datos ERS-1/SAR-C, mapas publicados y controles terrestres, en un área andina y extra-andina de la Patagonia. La Agencia Espacial Europea (ESA) proveió los datos del SW de la provincia de Río Negro, Argentina. En la zona predominan variados ecosistemas naturales y el objetivo fue evaluar la potencialidad de la banda C para el mapeo de variables medio-ambientales. Se generaron productos especiales correspondientes a la imagen completa y a sitios de prueba representativos. La interpretación visual de los productos generados permitió observar que los datos ERS-1/SAR-C, en la zona andina, pese a las distorsiones provocadas por el relieve abrupto, posibilitan la obtención de resultados favorables en características estructurales, dinámica del agua en ambientes lacustres y algunos usos de la tierra. En la zona extra-andina son una excelente herramienta para el mapeo de rasgos estructurales regionales y locales, unidades eco-geomorfológicas y litológicas, patrones de drenaje y de algunos usos de la tierra.

ABSTRACT

Preliminary results based on the analysis of ERS-1/SAR C data, published maps and ground truth controls, in the Patagonian Andina and Extra-andina area, are shown. The data from SW sector of Río Negro Province, Argentina, were provided by the European Space Agency (ESA). Different natural ecosystems are predominant in this area. The objective was to evaluate the potentiality of C band for the mapping of environmental variables. Special products corresponding to the full scene and a set of sub-images, representatives of the eco-geomorphological units and different land uses, were produced. The visual interpretation of

generated products shown that the ERS-1/SAR-C data, of the Andina area, notwithstanding the distortions promoted by the abrupt relief, the obtention of favorable results is possible in reference of structural features, water dynamic in the lacustrine environment and land uses. ERS-1/SAR C data have shown excellent capability to map regional and local structural features, geomorphological and lithological units, drainage system patterns and same land uses in the Extra-Andina area.

1.- INTRODUCCION

Las amplias zonas de Argentina con ecosistemas naturales aún no completamente conocidos, alientan la realización de estudios destinados al manejo del medio ambiente, utilizando todos los productos de la teledetección, tanto los provenientes de sensores pasivos como de activos.

El radar de apertura sintética (SAR) a bordo del satélite europeo ERS-1 es un sistema de teledetección activo, que envía hacia la superficie terrestre micro-ondas con un ángulo bajo - 23°- e independientemente de los factores nubosidad e iluminación solar, permite medir parámetros, no detectados por los otros satélites disponibles, tales como: rugosidad de la superficie, humedad del suelo y propiedades de los materiales.

Las potenciales actividades relacionadas con la explotación minera, así como con la actual y potencial explotación forestal, turística, etc. indican la necesidad de una mayor información sobre las condiciones medio-ambientales, tanto de los suelos, las redes de fracturas, lineamientos glaciales útiles para la prospección de los drift, etc.

La geología, la distribución de los suelos y la biogeografía son suficientemente conocidos en el área de la imagen analizada, como para probar la sensibilidad de los datos ERS-1/SAR-C, VV, a los distintos tipos de terreno, cobertura vegetal y uso de la tierra.

Se espera probar las ventajas potenciales del uso de datos ERS-1 por su capacidad para descubrir características del medio ambiente aún desconocidas. En la tabla 1 se muestran algunas características de este sistema.

Tabla 1 Especificaciones del satélite ERS-1 y del Sistema SAR (Synthetic Aperture Radar) fuente de los datos utilizados en este trabajo (s/ ESA,1992).

Puesto en órbita el 17 de julio de 1991

Orbita: sincrónica con el sol, circular

Altura de órbita: 800 km

Ciclo de repetición: 5 - 35 días

SAR: banda de onda C

Long. de onda: 3,24 cm

Canal: VV

Ancho de franja barrida: 100 km

Resolución espacial: 30 m

Ángulo de incidencia: 23°

Codificación: 16 bits/pixel

En Argentina, el número de trabajos llevados a cabo con tratamiento de datos ERS-1 observa un importante incremento; no obstante no se han encontrado antecedentes de trabajos publicados de este sector de la Provincia de Río Negro. Se sabe sin embargo, que los organismos de planificación del uso de la tierra están ocupados en conocer el medio ambiente para tomar decisiones adecuadas, adaptando los usos reales de la tierra a su aptitud potencial, y el uso de imágenes ERS-1 puede contribuir a este conocimiento.

Los objetivos principales del presente trabajo están centrados en:

- Analizar la potencialidad de los datos ERS-1/SAR, banda C, con polarización VV, como una herramienta adecuada de mapeo de variables ambientales.
- Efectuar la transferencia de los resultados obtenidos a instituciones relacionadas con la educación, la gestión y la toma de decisiones sobre el medio ambiente regional.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Descripción del área de estudio.

El área bajo estudio (Fig.1), cubre aprox. 10000 km² y está localizada en un sector de la Patagonia andina y extra-andina de la Provincia de Río Negro. Las coordenadas de la imagen ERS-1/SAR son las siguientes:

- 1) 41°16' S - 71°49' W; 2) 41°00' S - 70°41' W;
- 3) 41°53' S - 70°20' W; 4) 42°08' S - 71°28' W.

El relieve más destacado del sector corresponde a la Cordillera de los Andes, una verdadera barrera orográfica que provoca elevada pluviometría a "barlovento" y una disminución brusca de las lluvias a "sotavento". Las elevaciones al N alcanzan alturas de 3554 m en Monte Tronador y aprox. 800 m en San Carlos de Bariloche, mientras que al S bajan de 2270 m en C° Piltriquitrón a 1200 m en Río Chico. Se destacan

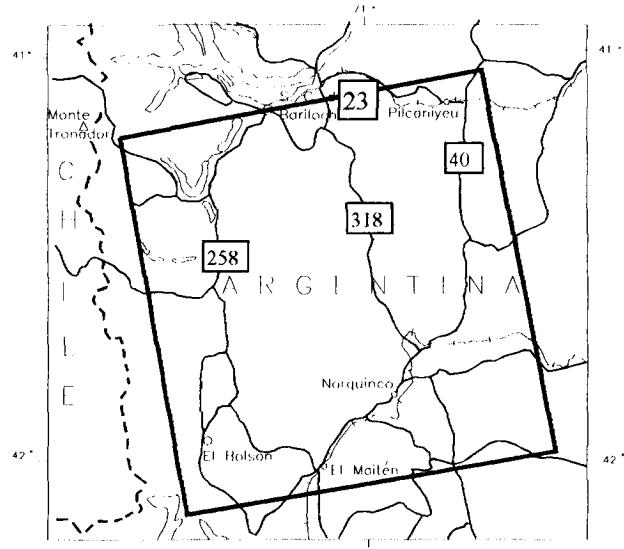


Figura 1. Localización del área de estudio.

por su altura la Sierra de la Ventana (2265 m), el Cordón Serrucho (2304 m), y en el sector central: C° David (1650 m), C° La Serrucha (2311 m) y C° Negro (1862 m). Estas montañas boscosas del O. alternadas con valles de dimensiones variables que interrumpen longitudinal y transversalmente el relieve abrupto; y sierras y mesetas esteparias al este modifican la relación paisaje-suelo-vegetación-uso de la tierra de un modo contrastante.

La historia geológica de la zona encuentra en el límite entre el Plioceno y el Pleistoceno un hito importante ya que a partir de ese momento comienzan a delinearse las características topográficas actuales cuando se produce el levantamiento de la Cordillera de los Andes. El área de la imagen puede dividirse en tres zonas: 1. la "faja plegada y corrida andina" (Fig.8) al oeste, extendiéndose desde aproximadamente el límite Argentino-Chileno hasta S. Carlos de Bariloche y Norquincó; 2. la "antefosa de Nirihuau" (Fig.10) en el centro que, alargada, angosta y con una configuración geométrica distintiva, margina la zona 1. y 3. el sector oriental, con niveles de pie de monte (Fig.13), paisajes muy disectados por valles angostos, y extensos cañadones, labrados en los rodados fluviales que marginan la meseta de Chenqueniyén - con escorial basáltico. En la zona 1. predomina una estructura de deformación de tipo compresional, caracterizada por fallamiento inverso y plegamiento asociado. En la zona 2. el plegamiento de los depósitos está segmentado por dos series de fracturas. La antefosa está además segmentada por un importante sistema de fallas transversales.

En cuanto a la composición litológica, es muy compleja. La denominada "Serie Andesítica" se encuentra en el sector interno y parte del externo, (Fig.2) compuesta por vulcanitas que se apoyan sobre basamento metamórfico y sobre rocas graníticas, y que portan intercalaciones de sedimentitas marinas y continentales. Los espesores son de aproximadamente 3500 m (de brechas, andesitas, basaltos, riocacitas,

ignimbritas, etc., con intercalaciones de wackes y tufitas, algunas de las cuales contienen restos de moluscos marinos de edad miocena-Fm. Ventana) y más de 2500 m (de wackes, tufitas, conglomerados, ignimbritas, tobas y brechas volcánicas, y calizas de ostrácodos de agua dulce, eocenas-Fm. Ñirihuau-esencialmente continental). (González Bonorino, 1978).

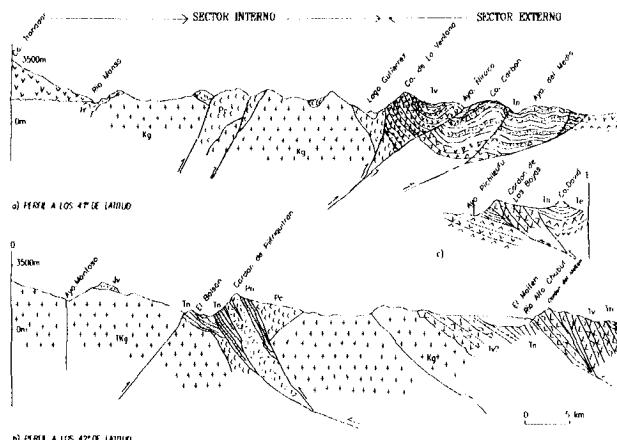


Figura 2. Perfil estructural del área de estudio. Modificado de Greco, 1975 y González Bonorino, 1978 (a los 41°S) y modificado de González Bonorino, 1944, Diez y Zubia, 1981 (a la latitud de 42°S). S/V.A.Ramos y J.M.Cortés, 1984.

La distribución de los materiales parentales de los suelos es muy variable, siendo marcada la relación con las cenizas volcánicas holocénicas, que al Sur de los 40°S tiene espesores que van de los 2 y 3 m a inexistentes; siendo en estos casos suelos frecuentemente de origen glacial: evolucionados sobre till, varves y otros materiales glacifluviales. (Mendia et al., 1986, Colmet Daage et al., 1991, en Irisarri y Mendia, 1995). "Las variaciones de las propiedades físicas, de humedad y mineralógicas, que a su vez se relacionan entre ellas, condicionan la vegetación y el potencial forestal de la zona. El déficit de agua es progresivamente más severo hacia el este por: disminución de las precipitaciones, aumento de la temperatura, cielo más diáfano, con mayor radiación y por elevación de la evapotranspiración" (Irisarri, Mendia, op.cit).

En el sector cubierto por la imagen el clima cambia de templado-frio y húmedo, con un régimen pluviométrico predominantemente invernal y con acentuado contraste en sentido oeste-este -isohietas de directriz N-S de 4000 mm -a clima semi-árido y árido, con 200 mm anuales respectivamente (Cordon et al., 1994), en una angosta faja menor a los 100 kilómetros. Un tema a destacar es que a pesar de la gran cantidad de mm acumulados en invierno, por la naturaleza de sus suelos, la vegetación de algunas zonas padece stress hídrico en verano. Por otro lado la dirección de los vientos-predominantemente del O, la elevación, exposición y grado de las pendientes, define uno de los factores microclimáticos de mayor importancia: la variación espacial de la radiación solar. Estos factores son variables localmente y esto hace que

se modifique mucho la capacidad de retención de humedad en los suelos y su uso potencial.

Desde el punto de vista fitogeográfico también son muy contrastantes las características de la zona andina y extra-andina: al oeste se extienden los distritos "valdiviano" y "del bosque caducifolio" (Cabrera, 1971) árboles de gran porte y un denso sotobosque el primero, integrado por pocas especies, y predominio de latifoliadas dispuestas en pisos altitudinales de composición regular. El nivel de las nieves permanentes define el límite altitudinal donde el bosque se torna achaparrado. Una angosta zona de transición se corresponde con la parte central de la imagen en la cual algunos bosques ingresan en la estepa y al este la zona extra-andina se corresponde con el "distrito patagónico occidental". La estepa patagónica, adaptada al clima seco y semi-árido con un mayor índice de heladas y vientos frecuentes e intensos, tiene hierbas y arbustos bajos, xerófilos como: coirón y neneo. Bordeando ríos, arroyos y en depresiones húmedas aparecen vegas de junquillos, y juncales en las charcas o "menudos". También hay mallines, y bosques en galería de chacay.

De los 10 órdenes de suelos reconocidos por el Soil Taxonomy, 1975, han sido identificados 3 en el área: Io: Inceptisoles, Molisoles y Aridisoles; cuya distribución geográfica se corresponde con la mencionada variación climática y microclimática (Aridisoles y Molisoles) y con la presencia de cenizas volcánicas como material parental (Inceptisoles). (INTA, 1990)

La Hidrología de esta zona cuenta con grandes reservas hídricas, lagos de distintos tamaños y una profusa red hidrográfica que drena sus aguas hacia la cuenca del Pacífico y del Atlántico. Las cuencas más extensas son las de los Ríos Manso, Limay, y Chubut siendo muchos ríos y tributarios condicionados por el control paleo-geomorfológico debido a que la deglaciación es muy reciente-en la cuenca del Río Manso Superior: 11.000 años, (Rabassa, 1977).

Los usos de la tierra son asimismo contrastantes: asentamientos humanos pueblan los valles cordilleranos, y un sector al NW es parte de un Parque Nacional. La tierra tiene usos forestales, silvo-pastoriles, agrícolas, fruti-hortícolas y turísticos en la zona andina, y predomina ganadería extensiva en la extra-Andina. En ésta, los asentamientos humanos son dispersos y los rasgos más relevantes del uso del suelo resultan las vías de circulación, entre las que se destacan el ramal de ferrocarril de trocha angosta de Ing. Jacobacci a Esquel y el de Pilcaniyeu a San Carlos de Bariloche. Inmediatamente al norte, fuera de la escena se encuentra, este centro turístico internacional y de funciones múltiples. Las restantes aglomeraciones humanas son El Bolsón, El Maitén y Norquinco. El Bolsón es un centro turístico internacional y de explotación agrícola, fruti-hortícola y ganadera. La explotación de recursos mineros es incipiente en el área que posee reservas de: cobre, plomo, plata, hierro, zinc, arcillas, oro en vetas y carbón. (Servicio Geológico, 1994)

2.2.- Materiales utilizados

La Agencia Espacial Europea - ESA, proveyó los datos ERS-1/SAR banda C, con polarización VV, del 23 de octubre de 1995. Una desventaja de las imágenes de primavera puede ser que las respuestas debidas a la variable altura de la vegetación no están minimizadas como en invierno. Una ventaja de la inclinación de 23° es que posibilita el reconocimiento de las características del relieve, aún de los más pequeños microrelieves.

En las instituciones involucradas se dispuso de:

1. Cartas topográficas (Instituto Geográfico Militar); 2. Cartas aeronáuticas (Fuerza Aérea Argentina); 3. Cartas geológicas (Servicio Geológico Nacional); 4. Cartas edafológicas (Inst. Nac. de Tecnología Agropecuaria); 5. Mapas de forestación (Consejo Federal de Inversiones y Centro de Sensores Remotos de la F.A.A). Las escalas varían de 1:100.000 a 1:1.000.000.

2.3.- Metodología

- Lectura e interpretación visual de la imagen SAR-C
- Selección de 12 subimágenes cuadradas de 667 pixels, correspondientes a distintos ambientes del sector Andino y Extra-Andino del SW de la Provincia de Río Negro.

Tanto la imagen completa como el set de subimágenes ERS-1/SAR-C generadas, fueron tratadas digitalmente con el fin de obtener productos adecuados para realizar la interpretación visual. Los tratamientos aplicados a la banda C incluyeron hasta ahora:

I. Correcciones radiométricas:

- Reducción de speckle con el filtro "speckle", tamaño de la ventana 3 x 3
- Cálculo de coeficiente de variación

II.- Realce de imágenes:

- Ensanche lineal
- Realce de bordes

Las subimágenes, utilizadas como sitios de control terrestre, se encuentran en áreas que presentan características eco-geomorfológicas, usos y coberturas de la tierra variados y se ubican a distintas alturas sobre el nivel del mar, en regiones climáticas diferentes.

• Viajes de Control terrestre.

Los sitios de control terrestre que se localizaron, en la zona andina fueron centrados en alrededores de:

1. Aeropuerto de la Ciudad de San Carlos de Bariloche
2. Lago Gutierrez ; 3. Zona del Río Manso superior
4. Río Foyel; 5. El Bolsón y 6. Las Golondrinas.

En la zona extra-andina:

1. Co. Chenqueniyén; 2. Relieve montuoso con lengas.
3. Rocas plegadas y falladas (1); 4. Rocas plegadas y falladas (2); 5. Ñorquicó y 6. El Maitén.

• Correlación de resultados

Se está ejecutando la correlación de información a partir de datos ERS-1, mapas publicados y controles terrestres

3.- Resultados obtenidos

Del mismo modo que sucede con las fotografías aéreas, en esta imagen ERS-1/SAR-C, registrada en el modo ascendente, la apariencia es más natural y las características son más fáciles de identificar si las sombras se dirigen hacia el observador, es decir si se mira la imagen en la dirección de iluminación opuesta a la que tuvo el radar.

Graham y Grant, 1990, señalan la diferencia de la observación de la imagen radar con las de fotos aéreas para el hemisferio norte y destacan: "De este modo, las características geomorfológicas del terreno están definidas por las zonas brillantes sobre las laderas que enfrentan la señal de radar transmitida y por las sombras en las laderas opuestas".

Las sombras son largas, oscuras y no permiten un mapeo correcto en el sector Andino debido al relieve abrupto y alto, pero en el sector extra-Andino de la imagen no se presentan problemas, dado que las características del relieve son de planicie pedemontana.

A partir de las subimágenes seleccionadas y teniendo como base el control de terreno en 9 de la 12 seleccionadas, se analizaron formas, tonos, textura y otros parámetros de interpretación visual y se señalaron distintos tipos de cobertura vegetal, vías de comunicación, aeropuertos y otras formas de actividad humana, así como aspectos del ecosistema natural tales como cuerpos de agua, geoformas, litologías, etc.

Teniendo como base un intensivo control de terreno, las clases temáticas de vegetación de la zona andina pudieron ser reconocidas con dificultad variable y en general el grado de confusión fue alto a la escala 1:100.000. Durante el control de campo se observó que las principales formaciones vegetales son:

1. Bosque de Lenga; 2. Bosque de Coihue; 3. Bosque de Ciprés; 4. Asociación Coihue-Ciprés; 5. Bosque de Ñire; 6. Bosque de Ñire-Monte leñero y 7. Monte leñero-Ñire.

En la zona extra-andina, las formaciones vegetales predominantes son: 8. Estepa patagónica y 9. Mallines.

A partir de la imagen ERS-1/SAR-C, en escala aproximada 1:170.000, se generaron a partir de los mapas obtenidos, las figuras siguientes:

1. Escurreimientos superficiales
2. Lineamientos rectilíneos
3. Lineamientos curvilíneos
4. Relieves y litologías principales
5. Correlación entre datos ERS y geología publicada

La Correlación con la geología publicada y comprobada en el terreno está en ejecución. Se buscó imprimir los datos ERS-1 en escala semejante con el fin de correlacionar con la escala 1:200.000 de los mapas geológicos publicados. Los lineamientos estructurales fueron inferidos en base a su longitud, altura, forma y continuidad.

Los lineamientos estructurales se mapearon separadamente sub-divididos en: curvilíneos (pliegues, y geoformas de origen glacial, volcánico, etc) y rectilíneos (fallas, fracturas y diques), también fue observado el patrón areal de tonos y texturas, que representan variaciones en rugosidad de la roca, humedad de la superficie, textura del till y de los escoriales.

Las características se dibujaron en overlays plásticos, con colores distintos, y se compilarán en mapas -base. Se efectuaron reducciones de cada tipo de rasgo, y los mapas geológicos y perfiles estructurales también fueron digitalizados con un scanner, e importados en forma de gráficos con una microcomputadora. Finalmente, está siendo comparada la información de los datos del radar, la geología, los mapas forestales y de suelos publicados, todos a distintas escalas.

Se ha encontrado una gran correlación entre las características rectilíneas mapeadas desde la imagen ERS-1/SAR-C, y fallas mapeadas con control terrestre - señaladas en Figura 3, con líneas de mayor grosor.

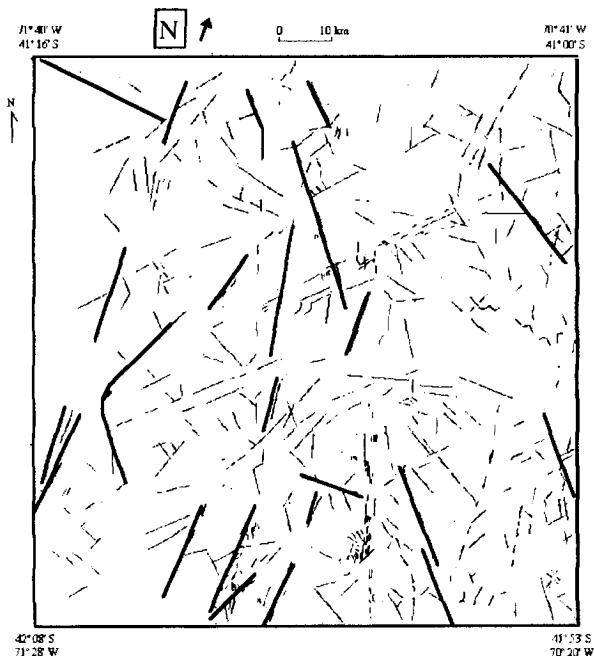


Figura 3. Características rectilíneas visibles en la imagen ERS-1/SAR-C, interpretadas como fallas, diaclasas y diques.

La correlación es muy alta entre la información proveniente de datos SAR-C y la publicada y confirmada en terreno, siendo el más magnífico ejemplo el caso de la estructura tectónica de la Cordillera Andina Patagónica. Bloques fracturados (con rechazo de hasta 1500 m en el Cordón Aspero) junto a largas y amplias depresiones tectónicas intermontanas de rumbo N-S, cuyo nivel está apenas a algunos cientos de metros sobre el nivel acuático del mar -ej. El Bolsón: a 320 m- junto al Cordón Piltriquitrón de 2270 m, cuyo detalle se analiza en Fig.15

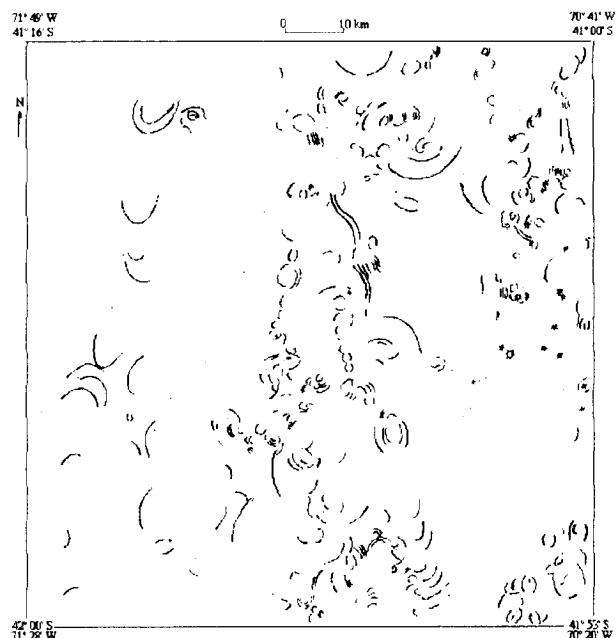


Figura 4: Características curvilíneas visibles en la imagen ERS-1/SAR C, interpretadas como pliegues y estratificaciones, morenas y conos volcánicos.

Se ha encontrado una gran correlación entre las características curvilíneas mapeadas desde la imagen ERS-1/SAR-C, y estructuras plegadas de tipo sinclinal y anticlinal, así como con geoformas de origen glacial, como morenas de retroceso y geoformas glaci-fluviales mapeadas con control terrestre.

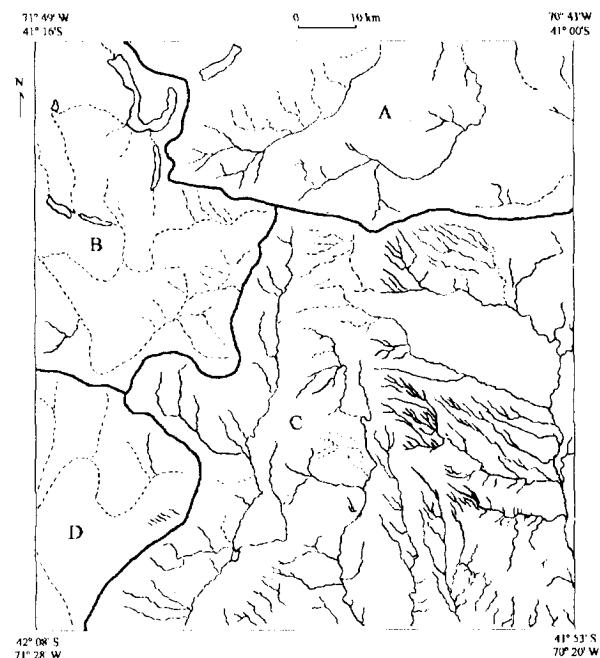


Figura 5: Escorrentías superficiales y lagos a partir de la imagen ERS-1/SAR C

Los escorrentimientos superficiales presentan un fuerte control estructural. Los ríos y arroyos que más se encuentran condicionados por fallas son los ríos: Chubut

Azul, Quemquentreu, Foyel, alto Ñorquinco, Río Chico y A° Fita Michi. El control topográfico se visualiza sobre todo en los ríos tributarios del río Chico.

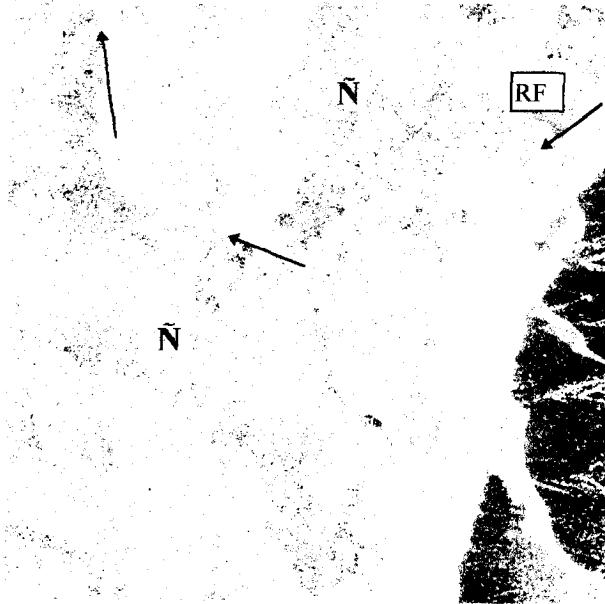


Figura 6. Datos ERS-1 (667 pixels) "Codo" del Río Foyel.

La sub-escena ERS-1/SAR de Río Foyel (RF) el más caudaloso colector de esta zona andina se ha utilizado para señalar la textura coincidente con bosques de ñire (Ñ) así como para destacar el notable control ejercido sobre el río que se ve obligado a cambiar de rumbo NE-SO a O, por la presencia de depósitos morénicos y a rumbo S-N, aparentando ser este codo el resultado de una captura, cosa que no se comprueba en terreno (González Bonorino, 1944)

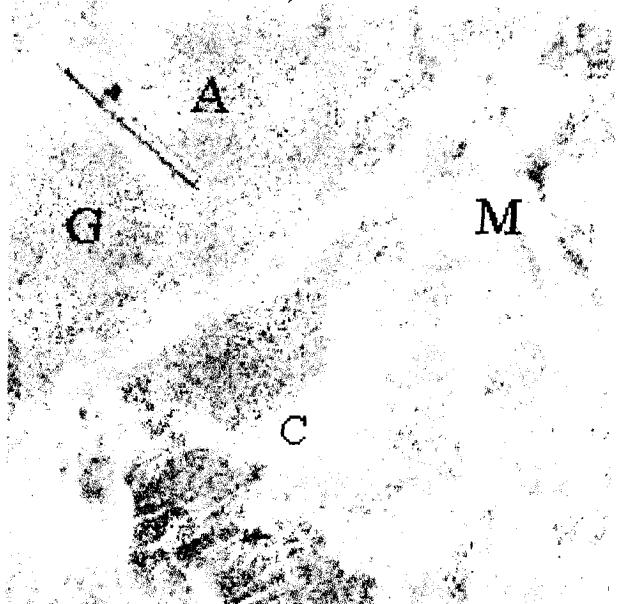


Figura 7. Subimagen ERS-1/SAR-C (667 pixels)

Delta el A° Nírihuau - sitio de control 1.

La Figura 7 muestra al Aeropuerto de San Carlos de Bariloche (A), en Pampa de Nahuel Huapi, como el hecho más destacado del punto de vista del uso de la

tierra, y con menor precisión los caminos (C). En esta localidad puede observarse la planicie glacifluval (G) hoy disectada parcialmente sobre la que se ubica el Aeropuerto. Al E y SE de éste, se encuentra una depresión mallinosa - Mallín Grande (M)-, la cual es interpretada (Rabassa y Brandani, 1983) como el fondo de un antiguo lago proglacial del Pleistoceno superior, posteriormente drenado, cuando el Río Nírihuau logró abrirse paso a través de la Morena Bariloche - inmediatamente al S. del C° Leones.

El delta fluvial post-glacial, actualmente funcional, pero que posiblemente aún lo fuera durante el fin de la última glaciación es un delta clásico, en el cual el cauce principal se modifica tomando una configuración distributaria. En él se reconocen geoformas típicamente fluviales, con cauces abandonados, canales activos, planicies de inundación, pero también pueden verse rasgos del paisaje costero, como playas, cordones de gravas, etc. (Rabassa y Brandani, op. cit.). Existen gradientes de distribución y abundancia vegetal a lo largo de la secuencia de deposición deltaica inferibles con datos ERS por cambios texturales, tonales y de formas que ayudan a la interpretación. La vegetación es típica de los mallines en la zona distal del delta.

En cercanías de Bariloche, fueron identificadas las grandes planicies de "out wash" (Flint y Fidalgo, 1963) y las morenas de retroceso de un brazo del glaciar del Lago Gutierrez.

Más hacia el E. de este sitio se observa - ver Fig. 13- la topografía suave del Drift Pichileufú (D), en una gran depresión entre las colinas vulcaníticas al N. y las sedimentitas plegadas al S. En el sector interno de estas lomadas, se reconocen a mayor escala varios escalones topográficos que corresponden a morenas y planicies glacifluviales y glaciacustres del Drift El Cóndor.

La identificación, clasificación y descripción de unidades geomórficas en algunos valles intermontanos pueden realizarse con precisión, aún en la zona Andina, mientras que en otros, quizás a causa de los vientos locales, esto no es posible. Existe un doble sistema de vientos longitudinales: valle arriba -de dia- y valle abajo -de noche- y vientos transversales: ladera arriba -de día- y ladera abajo -de noche- que sería muy interesante testear con SAR-C, ya que es posible adquirir datos nocturnos.

A la escala de la Fig. 8 se visualizan los valles, tanto longitudinales como transversales en tonos muy claros, y no siempre es posible localizar los cauces por donde fluyen los caudalosos ríos cordilleranos. Esta escala, sin embargo, es adecuada para identificar los valles tectónicos de gran magnitud de la zona andina.

Una zona de prueba dentro de este sector de imagen fue la cuenca alta del río Manso, donde se ven terrazas y albardones con materiales fluvio-glaciales; se localizan lagos, aún los muy pequeños en la zona de mallines, en cercanías de la desembocadura del río Manso en el Lago Mascardi.

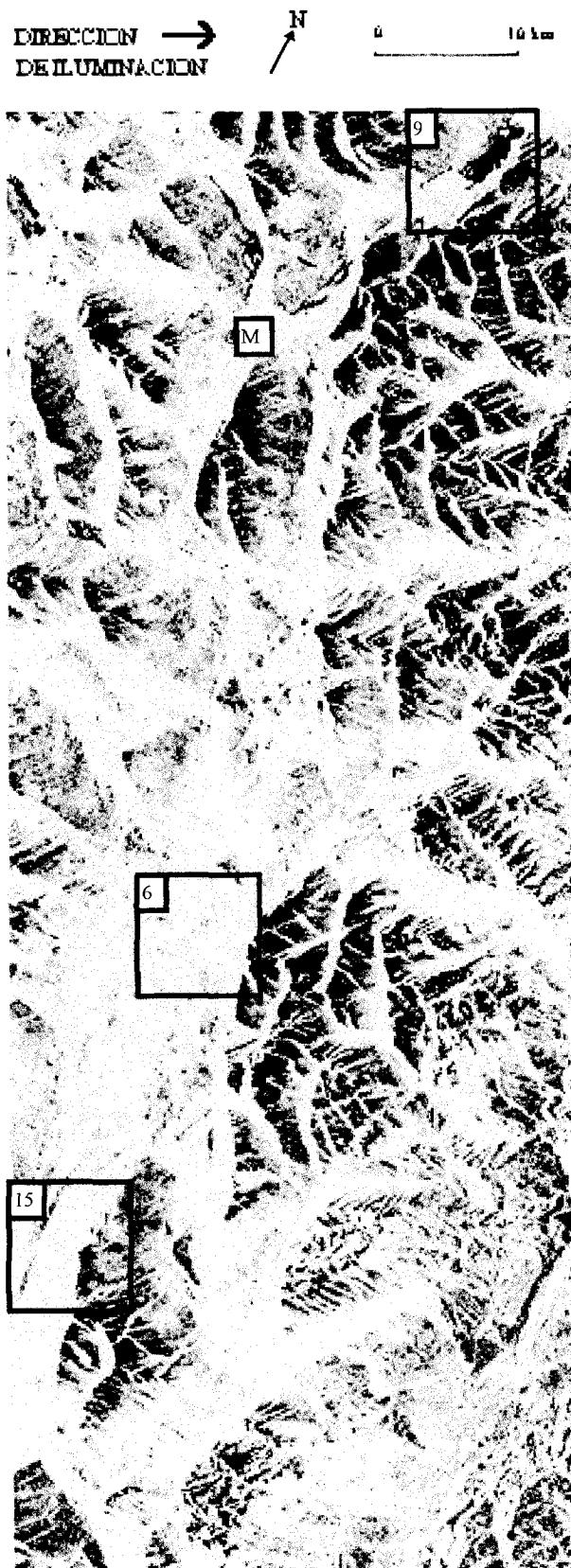


Fig. 8 Subescena ERS-1/SAR-C de la Cordillera Andina

El análisis de regularidades y patrones generales es posible con datos ERS-1/SAR C tanto en los ecosistemas naturales como artificiales, cambiando la escala de observación.

A nivel regional y local los datos ERS-1/SAR-C proveen excelentes resultados para la localización de rasgos estructurales y tectónicos de magnitud variable. Sin embargo las sombras negras y largas no permitieron un mapeo correcto del área montañosa, debido a las distorsiones geométricas, aún no corregidas, que produce el relieve abrupto y el bajo ángulo de iluminación del radar (23°).

Debe destacarse la amplia gama de posibilidades de estos datos, ya que es posible inferir la localización de, por ej.: estructuras anticlinales y sinclinales muy claras en la zona cubierta por la Fig. 10; localizar lineamientos compatibles con fallas; contabilizar las escarpas de fallas en distintos lugares; efectuar determinaciones métricas como longitudes de pistas de aterrizaje en los aeropuertos de El Bolsón y San Carlos de Bariloche; cuantificar construcciones en las localidades poco densas y aisladas, en los puestos de estancias de los alrededores de las localidades de San Carlos de Bariloche, El Bolsón, Norquincó, El Maitén y Pilcaniyeu.

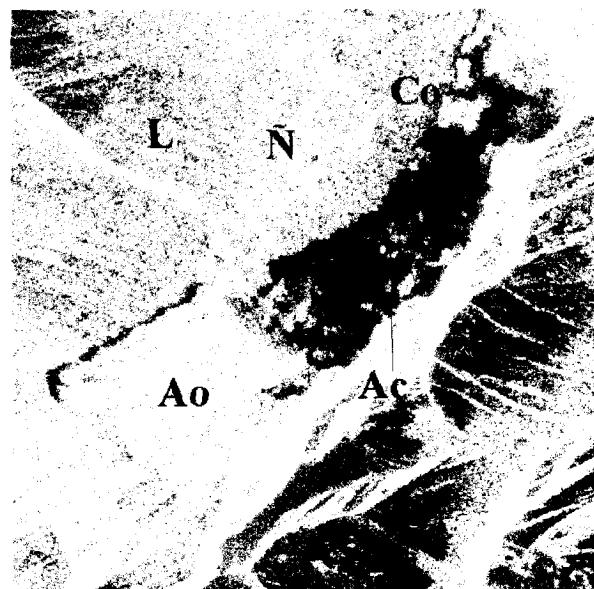


Figura 9: Rectángulo de 667x667 pixels ERS-1/SAR C en alrededores del Lago Gutierrez.

Se presenta indicada la textura correspondiente a los sectores en que predominan los bosques de coihue (Co), fiyre (Ñ) y lenga (L), en vecindades del Lago Gutierrez. Se puede diferenciar el agua calma en color negro (Ac) del agua con oleaje (Ao) en color blanco.

En este sentido los datos ERS-1/SAR C brindan información de la dinámica ambiental que no es posible obtener hoy con otros satélites disponibles en el mercado internacional. No se dispuso de datos de terreno sobre la dirección e intensidad del viento en la fecha de toma de la imagen, como para contrastar con información proveniente de ERS-1. De todos modos es posible inferir la presencia de vientos locales en Lago Mascardi (M) y otros, como Lago Guillermo, visible con dificultad.

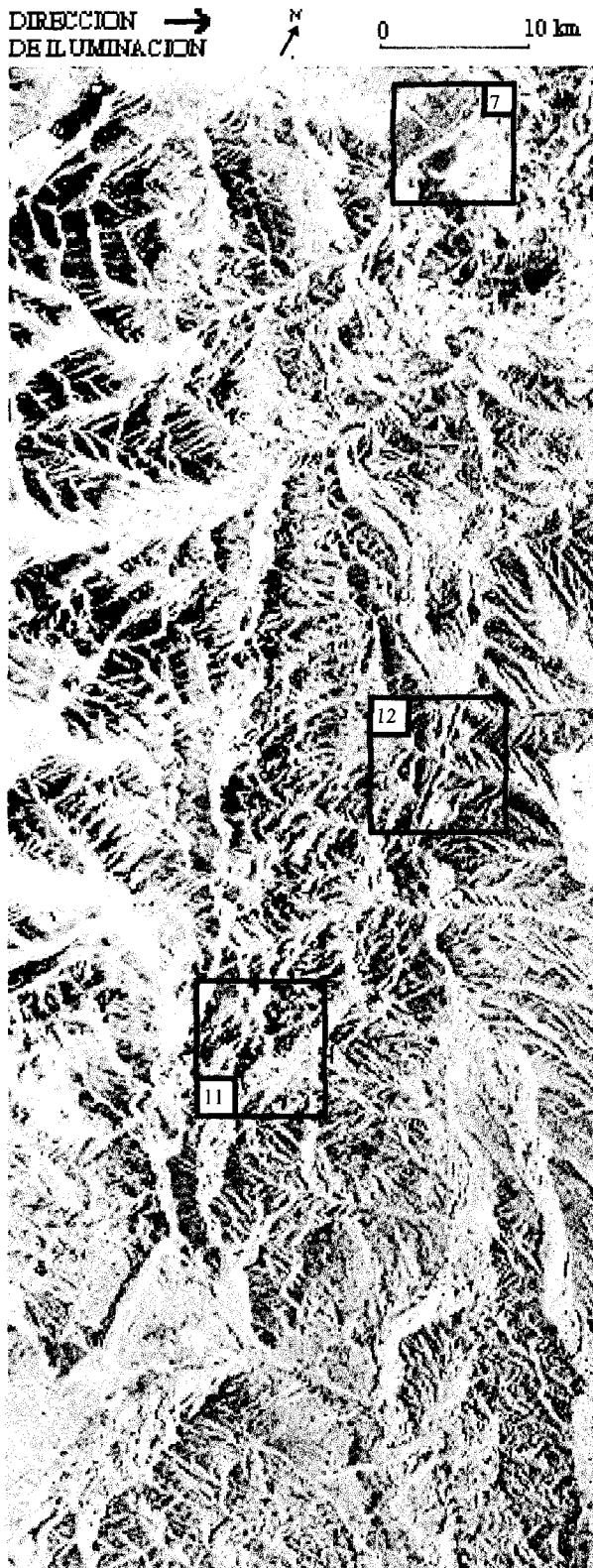


Fig.10 Faja de transición - de zona Andina a extra-Andina.

La antefosa de Ñirihuau se enangosta arriba y abajo definiendo un amplísimo arco limitado al W por una falla N-S que condiciona el curso del río Chubut a lo largo de más de 50 km y pone en contacto rocas de distinta litología de la Fm. Ñirihuau y de la Fm. Ventana.

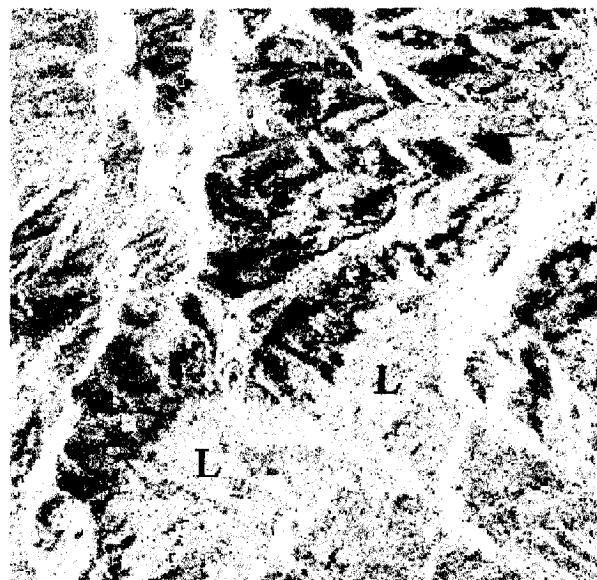


Fig.11 Textura de una ladera con bosque de lengas (L)

La posición topográfica, con profundidades de suelos y de napas de agua semejantes, es muy posible que haya sido la responsable de la identificación, con un grado de certeza no frecuente, de este bosque de lengas ubicado en proximidades del C° La Serrucha (2119 m). No hay mediciones disponibles hasta el momento, como para relacionar esta respuesta del radar con la cantidad de materia orgánica del suelo ni con la humedad. Es notable la manera en que el radar destaca los escurrimientos superficiales, bajo la cobertura vegetal del bosque, que asciende hasta muy cerca de la roca aflorante (Ra).



Fig.12 Flatirones (F), en cercanías del A° Chenqueniyén

Mapeados con datos ERS-1/SAR-C, permiten inferir rumbo y buzamiento de los estratos. Estas formas triangulares, originadas por la disección fluvial y la erosión diferencial sobre las rocas estratificadas pudieron ser mapeadas en la zona extra-Andina.

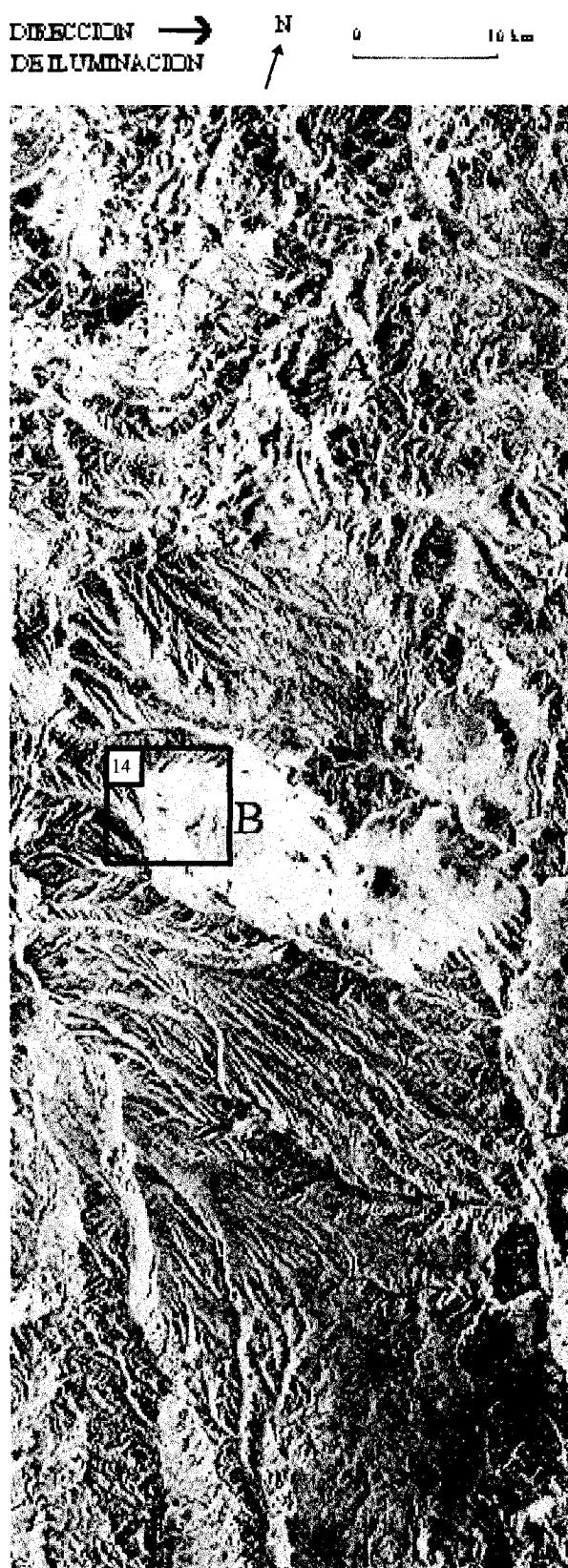


Fig.13 Faja extra-Andina registrada con datos ERS-1/SAR

Los datos permiten el abordaje de temáticas diversas: unidades geomorfológicas sencillas de reconocer como morfología volcánica del Terciario -Serie andesítica- (A) (Feruglio, 1944) y mesetas con vulcanitas básicas (B).

La extensa bajada señalada en (C) es una planicie de pie de monte profusamente disectada con pendiente hacia el E en la que el agua ha generado cañadones con escorrímento hacia el río Chico. Se destaca entre todos el Cañadón Chacayhuerruca, que finaliza atravesando las rocas más viejas del sector (D) esquistos y migmatitas de la Fm. Cushamen (Ravazzoli y Sesana, 1977)

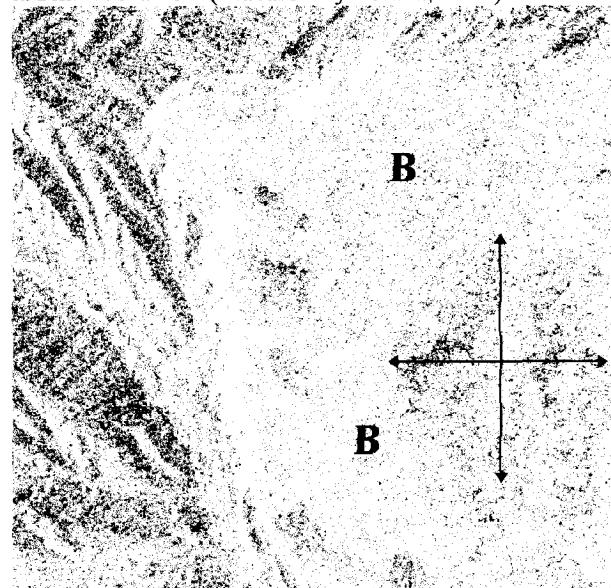


Fig.14 Escorial de basaltos olivínicos del Cº Chenqueniyen entre rodados fluviales pleistocenos mediante datos SAR

Este detalle (528 pixels) muestra la textura y tono típicos de basáltic que tiene su centro efusivo (+) en un volcán tipo escudo, con aspecto de domo chato, de unos 1500 m de diámetro (González Bonorino, 1944)



Fig.15 Detalle -513 pixels-Ciudad de El Bolsón (U) y su aeropuerto (A). El valle que condiciona la urbanización, las 7 escarpas de falla (1 a 7) del espolón N. del Cº Piltriquitrón (P) (González Bonorino, 1944) y la escarpa (8) junto al río Azul son muy bien visibles

4.- CONCLUSIONES

Las imágenes ERS-1/SAR-C son una herramienta de teledetección en toda condición de tiempo, de día y de noche, que muestra una amplia variedad de rasgos ambientales del ecosistema natural y cultural. Patrones de drenaje, estructuras de fallamiento y plegamiento, rasgos glaciales y glacifluviales erosivos y acumulativos, y geoformas volcánicas, etc. Fueron interpretados a partir del mosaico producido con estos datos.

El set de sub-imágenes generadas para este estudio de prueba, demostró que los datos SAR-C, en modo ascendente, realzan el relieve y la rugosidad de la superficie terrestre, minimizan los patrones de vegetación y permiten la observación detallada de patrones culturales no visibles en escalas generalizadas. A propósito, en escala de detalle pueden detectarse características del medio ambiente sin precedentes con otros sistemas satelitales: estado dinámico del agua de lagos, detalles del uso urbano de la tierra en la zona andina, y aún construcciones aisladas de puesteros de estancias en la zona extra-andina, donde la densidad de población es muy baja.

Los datos presentaron baja eficiencia para el mapeo en sectores con relieve abrupto, y tiempo ventoso, pero permitieron discriminar con gran eficiencia, en los sectores llanos, aún las geoformas de poca magnitud: pequeñas terrazas fluviales, morenas de retroceso e irregularidades en planicies de deslavado. Son datos buenos a excelentes para mapear en áreas cubiertas con till ya que revelan nuevos lineamientos y patrones de plegamientos, que probablemente representen estructuras aún no reconocidas a causa de esa cobertura. Hay sin embargo en la zona del valle longitudinal de El Bolsón a L. Mardassi formas curvilíneas donde fue incierto determinar si las formas eran debidas a las morenas o a estructuras y fallas.

Será interesante complementar los datos del modo ascendente con los del modo descendente, para mapear todos los fotolineamientos, independientemente de su orientación y elaborar un diagrama de frecuencias más confiable. Será necesario analizar imágenes de otras fechas y efectuar "merging" de imágenes ERS-1 con datos SPOT, LANDSAT-TM o de otros sistemas, para arribar a conclusiones sobre patrones generalizables de tipos de vegetación, humedad del suelo, contenido de materia orgánica y otros temas de interés ambiental.

Estas imágenes son una excelente herramienta para asistir la exploración de minerales en áreas con reducida roca expuesta por presencia de bosques o materiales superficiales como es parte de la zona andina entre los 41° y 42° de latitud Sur.

6.- AGRADECIMIENTOS

Se agradece la iniciativa de la Agencia Espacial Europea ESA, a través de su representante, Dra. Valerie Hood por haber facilitado los datos ERS-1 a este equipo

multidisciplinario de trabajo y haber propiciado la difusión de estos resultados preliminares.

Se agradece al Dr. Gagliardini, al Ing. Agr. Adrián E. Benítez, y al Lic. en Geología Jorge Kimsa, por su colaboración en la etapa inicial de la manipulación de los datos ERS-1/SAR-C.

6. REFERENCIAS

- INTA,1990. Atlas de Suelos de la República Argentina.** Proyecto PNUD. Argentina 85/019 Tomo II. Prov. de Río Negro. Publ. por Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Proyecto PNUD. Argentina 85/019 .
- Cordón, Forquerá, Gastiazoro, Barros, Schmidt ; 1994.** Estudio Microclimático del área cordillerana del sudoeste de la Provincia de Río Negro "Cartas de precipitación". En Actas de la VI Reunión Argentina de agrometeorología. 13 a 15/ABR/94, Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina
- Cabrera,A.L.;1971 Fitogeografía de la Rep.Argentina** Bol.de la Soc. Arg.de Botánica.Vol.XIV,Nº1-2,pag.1-42
- European Space Agency; ERS-1 500 days in orbit. 1992, 35p**
- Flint, R.F. y Fidalgo, F.; 1968.** Drift glacial al Este de los Andes, entre Bariloche y Esquel. Boletín N°119 del Instituto Nacional de Geología y Minería, Bs. As. Argentina
- González Bonorino,F;1944.** Descripción geológica y petrográfica de la Hoja 41b-Río Foyel (Río Negro), Bol 56 de la Dirección de Minas,Geología e Hidrogeología. 121 pp,1 plano, 5 perfiles, 17 láminas.
- González Bonorino,F y González Bonorino, G.; 1978.** Geología de la región de San Carlos de Bariloche: un estudio de las formaciones terciarias del grupo Nahuel Huapi. Asociación geológica Argentina, Revista XXXIII (3):175-210, 1978
- Graham D.F; Grant, D. R.; 1991.** A test of airborne, side-looking aperture radar in central Newfoundland for geological reconnaissance. Can.J.Earth Sci. Vol. 28, 257-265
- Irisarri, J. ;Mendía, J.;1995** Relaciones suelo-paisaje en la evaluación de la potencialidad forestal de la región central Andino-Patagónica, Argentina.
- Rabassa J.;1977 "Anales de Parques Nacionales XIV-1978, Geomorfología, pp 167.**
- Rabassa J. y Brandani.A.A. 1983.** Universidad Nacional del Comahue, Dpto. de Geografía, Escuela de posgrado; " Curso de campo en sistemas eco-geomorfológicos", pp 131.
- Ramos,V; 1984.** Editor. Geología y recursos naturales de la Provincia de Río Negro. Relatorio del IX Congreso Geológico Argentino. 784 pp, Bs. As.
- Servicio Geológico Nacional, 1947.** Carta geológico-económica de hoja 41 c.Río chico, por Ravazzoli y Sesana.
- Servicio Geológico Nacional, 1977.** Carta geológico-económica de San Carlos de Bariloche, hoja 40 b. Por Egidio Feruglio.
- Servicio Geológico Nacional, 1994.** Mapa geológico de la Provincia de Río Negro. República Argentina. Secretaría de Minería.
- Soil Survey Staff,1975.** Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. USDA, Washington.

APPLICATIONS OF ERS-1/SAR IMAGES FOR MONITORING LAND COVER CHANGES IN A BURNT AREA
OF RANGELANDS (CENTRAL PATAGONIA, ARGENTINA)

Héctor F. del Valle

Centro Nacional Patagónico (CENPAT). CONICET.
CC 128. (9120) Puerto Madryn (Chubut). Argentina.
fax: 54-965-73680 - e-mail: DELVALLE@Cenpat.edu.ar

Domingo A. Gagliardini and Jorge Milovich

Centro Argentino de Estudios de Radiocomunicaciones y Compatibilidad Electromagnética (CAERCEM).
CONICET.
fax: 54-1-7760410; 54-1-3125537- e-mail: ANTONIO@caerce.edu.ar

Guillermo E. Defossé

Centro Nacional Patagónico (CENPAT). CONICET.
CC 128. (9120) Puerto Madryn (Chubut). Argentina.
fax: 54-965-51543 - e-mail: DEFOSSÉ@Cenpat.edu.ar

María del Carmen Dentoni

Universidad Nacional de la Patagonia (UNPSJB)
Boulevard Alte. Brown 2700. (9120) Puerto Madryn (Chubut). Argentina.
fax: 54-965-51543 - e-mail: UNDENTONI@Cenpat.edu.ar

ABSTRACT

A study was conducted in a burnt area of rangelands (01.21.1994), located 10 km west of the city of Puerto Madryn ($42^{\circ} 46' S$, $65^{\circ} 03' W$), in the northeast of Central Patagonia (Argentina). The objective of this study was to relate certain parameters of the surface affected by the fire to the features of different ERS-1/SAR images. The gathering of field data was simultaneous and previous to the acquisition of the images, and included surface roughness, interpretation of soil and natural vegetation, and aspect of the land (evidences of soil erosion). Image analysis was accomplished by establishing parameters for the area affected by the fire, after being radiometrically and geometrically corrected. These parameters include the tone (levels of gray) and several textural indexes. The parameters were obtained by superimposing scenes of the area affected pre-and post-fire. The comparative analysis of the characteristics of the images and of the fire was carried out by unsupervised and supervised classification. Also, the visual interpretation allowed to perceive subtle variations in the intensity of the polarization as well as in the texture. Sectors with different behavior could be established in the response of the recovery of the vegetation cover and in the identification of erosive processes for their strong "brightness" (bare soil). These differences are

indicators that the fire severity was not uniform within its perimeter. The fire shape provided information on probable starting point and prevailing direction.

1. INTRODUCTION

ERS-1 is an active remote sensing system which first classifies land cover according to terrain attributes and then applies class-specific retrievals for geophysical and biophysical properties (Dobson *et al.* 1995). The intensity of the radar backscatter, as a key determinant of image tone, is a complex function of the interaction between terrain and the radar pulse. Especially in semiarid to arid areas, the penetration depth of the radar can be half of that of the wavelength. Therefore, covered morphological features, which cannot be discerned by optical systems, could be then detectable by the radar. The radar signal depends mainly on four factors: surface roughness, canopy architecture, moisture content of soil-vegetation, and the aboveground biomass of vegetation.

Both the geometrical and electric factors (control over radar backscattering) may be time-variant in response to atmospheric factors (temperature, precipitation, and wind), basal cover and phenological development of vegetation, and both man caused and natural disturbances. The challenge of extracting useful

information from ERS-1 data resides in how to evaluate the geometrical and electric effects on radar backscatter.

This paper overviews the first results of monitoring land cover changes after a wildfire, by using some aspects of radar images such as enhancement and classification techniques. Therefore, the objective of this study was to relate in time, certain parameters of the surface affected by the fire with the features of different ERS-1/SAR images pre-and post fire.

2. METHODOLOGY

2.1 Study site and environmental characteristics

The study site (Fig. 1) is located 10 km W of Puerto Madryn ($42^{\circ} 46' S$; $65^{\circ} 03' W$). The area lies on an extensive pediment with a slope less than 1 % and at an elevation of 100 m above sea level. This area belongs to the "Loma María" Land System, which occupies 9,500 km² (Beeskow *et al.* 1987).

The soils, formed in a gravelly, sandy alluvium 40-100 cm thick, are a complex of sandy, mixed, thermic, typic Paleorthids & Calciorthids. A brief description of soils formed in the alluvium follows: color grayish brown (10YR 5/2 dry) in the upper part to very pale brown (10YR 7/3 dry) in the lower part; loamy sand; with 10-15 % of pebbles; structureless, with exception of a vesicular crust in the upper 2 cm; calcium carbonate content increases from 5.2 % in the 0-10 cm to 32.0 % in the 40-50 cm soil depth (Beeskow *et al.* 1987).

The climate is arid and temperate. Mean annual precipitation is 170 mm. Rainfall is almost uniformly distributed throughout the year, and May and October are the most rainy months. Annual and monthly totals exhibit high variability. The coefficient of variation for the mean annual rainfall (1931-1960) was 40 % (Barros & Rivero 1982). Mean annual temperature is $13.5^{\circ} C$. The coldest month is June ($7.6^{\circ} C$) and the warmest January ($21.3^{\circ} C$). The mean annual wind velocity at 10 m above ground is 4.6 m/s (Barros 1986).

The vegetation is typical of the Monte region of Argentina (Cabrera 1976) with jarilla (*Larrea divaricata*), quilembai (*Chuquiraga avellaneda*) and *Lycium chilense* as dominant species in the shrubby stratum. A mixture of tussock grasses locally known as "coirones" (*Stipa speciosa*, *S. aff. neaei*, *S. tenuis* and *S. humilis*) and *Poa ligularis* and *Poa lanuginosa* cover the shrub clump interspaces. Total cover varied from 40 to 60 % (Beeskow *et al.* 1987).

2.2 SAR images acquisition

The data consisted of three ERS-1/SAR sub-scenes collected from the study site. The acquisition dates were: 01.19.1993 (pre-fire), 02.08.1995 and 01.16.1996 (both post-fire).

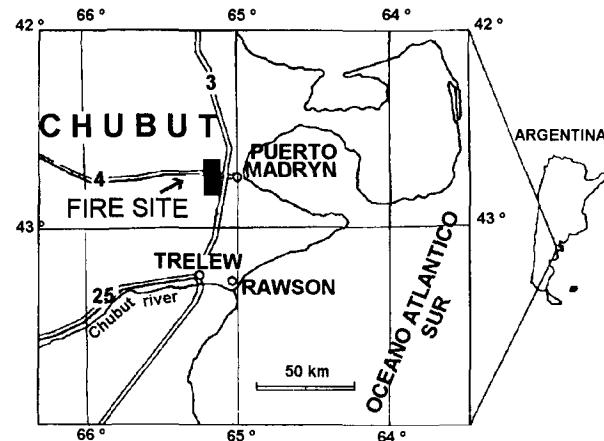


Figure 1. Study area.

2.3 Processing of remote sensed data

All image enhancement steps were performed on a PC-486 DX2, using an ERDAS image processing software (ERDAS 1991), as well as own developed algorithms (Frulla *et al.* 1995). The method used in this analysis are shown in Fig. 2. To simplify processing and storage, the ERS-1/SAR images were first converted from 16 bit to 8 bit. The three scenes were geometrically registered using several ground control points. The pixel size of the registered images was 12.5 m by 12.5 m, and the scenes consisted of 1936 rows by 1431 columns each one covering a land area of 43,288 ha. The presence of speckle in radar images makes the radiometric and textural aspects less efficient for class discrimination, and therefore we used a program for speckle reduction. This was tested and implemented additionally to the conventional filter package offered by ERDAS (1991). By reducing the speckle, different land-cover conditions are easily isolated and textural features in radar images are more efficiently highlighted. The filter used was Frost-filter (Frost *et al.* 1982, Frulla *et al.* 1995).

The Principal Component Analysis (PCA) given by Singh & Harrison (1985), was used to emphasize spatial and polygonal structures by filtering the spatial fire domain. This analysis involved the three scenes.

The spectral analysis was based on a set of comparisons involving classifications by traditional, polygon-based training, and manual refinement.

Classification accuracies for each scenes were then compared in selected sites.

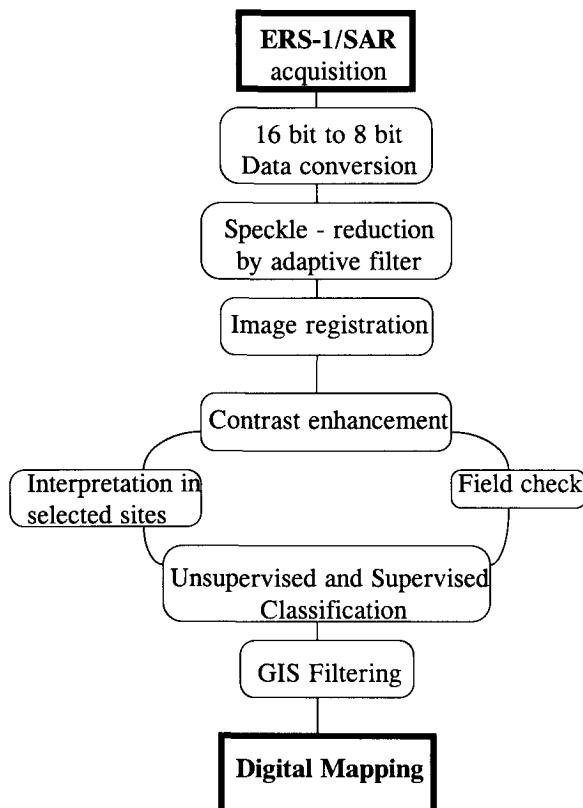


Figure 2. Flow chart of the method used in this study.

Image analysis was carried out by establishing parameters for the area affected by the fire. These parameters were obtained by superimposing different pre-and post-fire images to the affected area. The visual interpretation allowed to perceive subtle variations in the intensity of the polarization as well as in the texture. The comparative analysis of the characteristics of the images and that of the fire, was carried out by unsupervised and supervised classification. The field check obtained from selected sites made possible to correlate spectral signatures with identified objects and to enrich the information concerning the conditions of soil surface and vegetation.

Fifteen subclasses were pre-classified and the final categories defined according to a statistical analysis (maximum likelihood classifier) given by ERDAS (1991). This included a work on type categories and classes removing , and the utility of the output. The 15 classes were further aggregated to give three basic status of land evaluation. In order to distinguish the differences between pre and post-fire classes (vegetation cover and soil erosion), black and white prints of ERS-1/SAR data features were digitally mapped.

2.4 Field methods

Field data were gathered simultaneously with and previous to the acquisition of the images and included surface roughness, interpretation of soil and natural vegetation, and aspect of the land (evidences of fire severity). Fire severity was defined as the fire intensity and residence time (Robberecht and Defossé 1995).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Qualitative assessment: Texture analysis

The union of the three scenes showed the apparent roughness as a function of the relative differences between burnt and unburnt areas (Fig. 3). This union allowed to determine the perimeter of the fire, which was 86.6 km, and the area covered which comprised 12,722 hectares.

The analysis of the form of the affected surface allows to establish two ellipses due to a change in wind direction, showing also the possible starting point of the fire. The route 4 acted partially as a fireline.

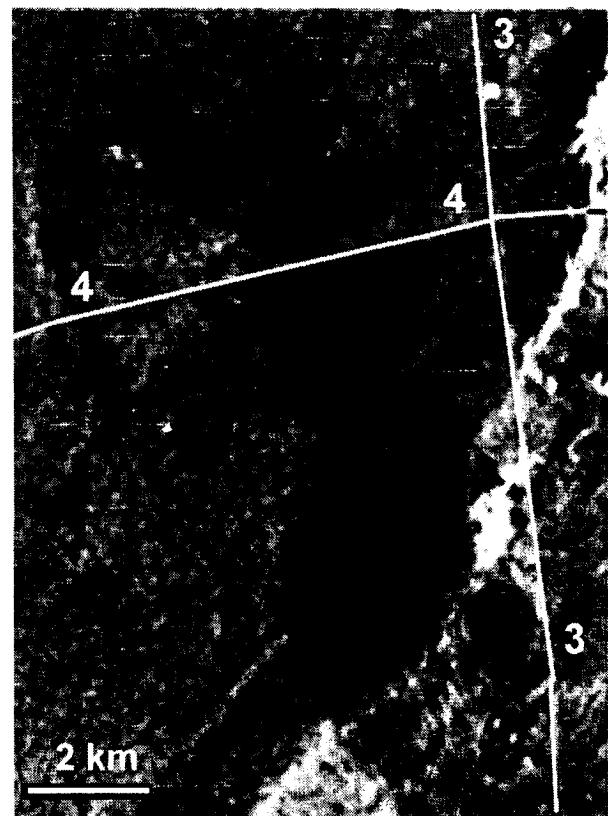


Figure 3. Variations in tone and texture conditions of vegetation types and soil degradation mostly caused by fire impact. 3-4: National and Provincial roads, respectively.

Surface roughness was the dominant factor in determining the amplitude of return of wavelength and incidence angle of the radiation and, hence, the tone of the scenes analyzed. The energy incident upon the surface was partially reflected in either a specular or a diffuse manner, depending on the roughness of the surface.

The burnt area, which appears on the image (Fig. 3) in mottled black-and-gray, shows a mixture of tussock grasses as the dominant vegetation. The lighter tones are soil spots with relatively good hydrological conditions, and the darker tones are dry and have poor hydrological conditions. The rest of the area has a medium-gray tone which can be distinguished by its relatively coarse texture (vegetation is a shrubby steppe). Areas with white tones represent the erosion fronts of marine tertiary outcrops and urban patterns (airport, electric plant, and roads)

On the basis of subtle changes, the broad area of medium-gray tones can be segregated into two types. The coarse texture represents mounds beneath shrub clumps (Rostagno & del Valle 1988). A more subdued texture results from areas where past overgrazing and past burns are in different successional stages of recovery. Finally, the dark area is related to different factors such as grass shape, moisture content, shrub as associated vegetation, and different proportions of bare soils.

The organization of texture relates to the distribution of structural elements within plant communities. Such distribution is not randomly organized, as it is at least partially related to edaphic conditions, species competition and response of the ecosystem to fire impact. According to this, the nearest-neighbor probabilities of juxtaposed gray-scale values show bimodality in shrub texture and unimodality in grasslands. The likelihood of a given gray value being juxtaposed to another given gray value is the same for all gray values in grassland and shrublands; however, lighter and darker tones are paired because of the presence of adjacent illuminated and shadowed shrub or clumps of shrubs above the general canopy.

3.2 Quantitative assessment: Spectral classification

The relationship found between the spectral class (classification supervised) in the total (43,288 ha) and fire (12,772 ha) areas is summarized in Tables 1 and 2..

The final classes were defined as variations in:

- the densities of the plant communities
- the type of vegetation
- the soil-microrelief features.

Class 1 represents three types of terrain attributes: the sparse vegetation, gentle shrub-mantled slopes ($< 3^\circ$), and bare soil characterized mostly by gravel pavement. The urban patterns (Electric Plant, Airport and roads) and litho-geomorphological units (erosion fronts of marine tertiary outcrops) also belongs to this category. Class 2 is defined by surface roughness and soil texture-moisture (soil ground) relationships. This class represents variations related to burnt shrubs (burnt patches), drainage patterns, the presence of relict emergent, soil mantle, abundant grass and pattern of regrowth. Class 3 exhibits soil mounds (patches) that can appear as erosion relicts (Rostagno & del Valle 1988, Rostagno *et al.* 1991) or as products of hydric or aeolian accumulation (del Valle 1996) under the shelter of shrubs. Shrubs represent also the dominant kind of vegetation class.

Table 1. Classes of total surface including the fire site)

Date	Class 1		Class 2		Class 3	
	ha	%	ha	%	ha	%
1	788	2	11943	28	30557	70
2	2566	6	12504	29	28218	65
3	1271	3	13373	31	28644	66

Date: 1 (01.19.1993); 2 (02.08.1995); 3 (01.16.1996).

Class 1: Bare soil; increase of wind speed and soil erosion. Immediate negative impact on fire site.

Class 2: Tussock grasses (regeneration). Positive long-term impact on fire site.

Class 3: Shrubby steppe as dominant; sparse grasses cover the shrub clump interspaces.

Table 2. Classes of fire site.

Date	Class 1		Class 2		Class 3	
	ha	%	ha	%	ha	%
1	145	1	3413	27	9214	72
2	1265	10	7782	61	3725	29
3	272	2	6943	54	5557	44

One year after the fire, a negative direct impact is shown (increase of Class 1). Two years after the fire, class 1 diminished abruptly. Class 2 had a positive expansion of herbaceous stratum (34 %), in order to diminish lightly (7 %) the 01.16.1996 with the increase of class 3 (increment of shrubs).

Vegetation growth, primary production and the consequent forage availability depend largely on precipitation, which is highly variable in the study area, both in spatial and temporal distribution.

The rainfall, summarized in Table 3 for the periods analyzed (pre and post fire) may explain in part, the

results found. In spite of having overcome the annual module (170 mm), pre and post-fire periods (1) were drier than the post-fire (2) one. This steep rise allowed the rapid recovery of perennial grasses occurred in the post-fire (2).

Table 3. Total Rainfall (mm)

Period	Rainfall (mm)
Pre-fire: 01.19.1993-01.20.1994	228
Post-fire (1): 01.21.1994-02.08.1995	239
Post-fire (2): 02.09.1995 -01.16.1996	360

Figures 4 to 6 show the results found in the supervised spectral classification and allowed us to identify some simple features related to soil surface aspects and vegetation. Differences in vegetation arrangement in the landscape as shown in Fig. 4 may account in part, for the differences in fire severity indicated by patches with larger amounts of bare soil found one year after the fire as shown in Fig. 5.



Figure 4. Pre-fire supervised classification (01.19.1993). 1: Electric Plant. 2: Airport.

- Class 1: Bare soil and erosion fronts of marine tertiary outcrops and urban patterns
- Class 2: Grass stratum dominant.
- Class 3: Shrubby steppe with sparse grass.



Figure 5. Classification supervised one year from fire (02.08.1995).



Figure 6. Classification supervised two years from fire (01.16.1996).

In the case of Patagonian rangelands it seems that fire control has increases the shrub component of the vegetation over the grass component. In the radar image, this shrub encroachment appears as coarse-grained landscape mosaic (shrubby steppe). Recently after a fire, the grass component found one year after a

more homogenous fine-grained mosaic (shrub-grass steppe).

4. CONCLUSIONS

The results from the analysis performed in the present study provided good information on the recent rates and landscape patterns of rangelands in a burnt area. This research provided a perspective within a relatively short period of time, and allowed us to perceive at landscape level the dynamics of the vegetation, disturbed by a fire. The ERS-1 images provided an appropriate mean for monitoring landscape change and inferring fire severity. The approach used provided an effective mean of quantifying the essential characteristics of a sector of "Loma María" Land System and also, provided a real-time cost-effective evaluation of landscape alterations and changes in the continuity of the natural communities in the northeast of Central Patagonia (Argentina). Fire disturbance may alter the structure and function of ecological systems. Quantification of these changes at local level provide data for simulation models that will allow to understand the spatial and temporal dynamics of the landscape in terms of rangeland fragmentation. The use of the fine-resolution satellite data, as ERS-1 imagery, and field observations, will form the basis for the region wide assessment of landscape dynamics.

5. ACKNOWLEDGMENTS

This paper was carried out in the framework of the ERS-1 Pilot Project : "Integrated Study of Argentine Coastal Environment" and the authors are grateful to the European Space Agency, which provided the ERS-1 data used in this work. We acknowledgments Mr. F. Coronato for providing meteorological data.

6. REFERENCES

- Barros V. R. 1986. Atlas del potencial eólico de la Patagonia. *CENPAT (CONICET)*. Puerto Madryn (Chubut). Argentina, 293 pp.
- Barros V. & M. Rivero 1982. Mapas de probabilidad de precipitación de la Provincia del Chubut. Pub. No. 54. *CENPAT (CONICET)*. Puerto Madryn (Chubut). Argentina, 80 pp.
- Beeskow A.M., H.F. del Valle & C.M. Rostagno 1987. Los sistemas fisiográficos de la región árida y semiárida de la Provincia del Chubut. *SECYT*. Delegación Regional Patagonia, 173 pp.
- Cabrera, A.L. 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Segunda edición. Tomo II, fascículo 1. Editorial ACME. Bs. As., 85 pp.
- del Valle H.F. 1996. Procesos de fragmentación de paisajes y suelos a diferentes escalas en un sector de la biozona del monte patagónico (Chubut). *Tesis Doctoral en Agronomía. Departamento de Agronomía. Universidad Nacional del Sur (UNS)*. Bahía Blanca. 194 pp.
- Dobson M. C., F.T. Ulaby & L.E. Pierce 1995. Land-cover classification and estimation of terrain attributes using synthetic aperture radar. *Rem. Sens. Environ.* 51:199-214.
- ERDAS 1991. ERDAS, versión 7.5. *ERDAS Inc.* Atlanta (USA).
- Frost V.S., J.A. Stiles, K. S. Shanmugan & J.C. Holtzman 1982. A model for radar images and its application to adaptive filtering of multiplicative noise. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. PAMI-4*.
- Frulla L.A., J.A. Milovich & D.A. Gagliardini 1995. Reducción del speckle en las imágenes SAR del ERS-1 en la región Antártica. *Revista SELPER*, 11(1-2):83-87.
- Robberecht R. & G.E. Defossé 1995. The relative severity of two bunchgrass species to fire. *International Journal of Wildland Fire*, 5 :127-134.
- Rostagno C.M. & H.F. del Valle 1988. Mounds associated with shrubs in aridic soils of northeastern Patagonia: Characteristics and probable genesis. *Catena*, 15:347-359.
- Rostagno C.M., H.F. del Valle & L. Videla 1991. The influence of shrubs on some chemical and physical properties of an aridic soil in north-eastern Patagonia, Argentina. *J. Arid Environ.*, 20:179-188.
- Singh A. & A. Harrison 1985. Standardized Principal Components. *Int. Journal of Remote Sensing*, 6,6 :883-896.

**CARACTERIZACION MORFOLOGICA DE LA FAJA VOLCANO
TECTONICA "PALI AIKE" MEDIANTE IMAGENES ERS-1**

Hugo Corbella

Museo Nacional de Ciencias Naturales
Avenida Angel Gallardo 470
(1405) Buenos Aires, Argentina
fax: (54-1) 327 0488

Domingo Antonio Gagliardini
CONICET

Julián Alvarez 1218
(1414)Buenos Aires, Argentina
tel.: (54-1) 772-1471 fax: (54-1) 776 0410

ABSTRACT

In southernmost South America, in the Argentine province of Santa Cruz, from the Magellan Strait (52° S lat.) up to the Chalia River (50° S lat.) a Plio-Pleistocene tectono-volcanic field, 50 Km wide and 150 Km long and with NNW trend, outcrops. This tectonic-volcanic belt known as Pali Aike, lies in southern Patagonia where Tertiary sedimentation formed extended aggradation plains. Topographic features of a recent eruptive field, the interactions of volcanism with glacial and periglacial phenomena and the changes and perturbations introduced by these geomorphic agents in the fluvial cycle are clearly observed on the region. The terrain, in this dessertic area, is mainly flat, with some terraced valleys and many volcanic relieves of low absolute height, generally aligned. For the most part, the surface is covered by soils or by a fine layer of eolic sediments. In many cases the continuity of these sediments does not permit the direct observation of the outcrops. Therefore, forms and characteristic textures of the relief constitute one of the most easy ways of obtaining geological and structural information. Since the summer 1989/90 a multidisciplinary research group have worked on the Pali Aike region with aerophotographic, geologic, gravimetric, magnetometric surveys and seismic information. From 1993 this group have had access also to ERS-1 data. The use of these images allowed the reinterpretation of the volcanic and tectonic morphology of the area. In this way, the comparison and evaluation of the limits and possibilities of the information obtained by ERS-1 were analyzed. The results obtained are shown in this paper with different examples.

1 INTRODUCCION

Pali-Aike es una faja volcano-tectónica que se encuentra en la suave planicie patagónica austral

donde la sedimentación terciaria Pleitoceno-Holoceno de 50 km de ancho y una extensión de 150 km en dirección NNO. La misma está ubicada en el extremo austral de Argentina, al borde de la bahía Grande, entre el estrecho de Magallanes (52° S) y el Río Chalia (50° S), en proximidad a la Ciudad de Río Gallegos (figura 1). El afloramiento de este campo tectono volcánico despliega la contrastante topografía de un campo eruptivo recientemente edificado así como la interacción del volcanismo con fenómenos glaciales y periglaciales y las modificaciones y perturbaciones introducidas por estos agentes geomórficos en el ciclo fluvial

El terreno en esta área desértica es principalmente plano, con algunos valles aterrazados y numerosos relieves volcánicos de escasa altura absoluta. La vegetación, escasa, consiste en pasturas y pequeños arbustos adaptados al clima caracterizado por fuertes vientos, precipitaciones promedio de 250 mm/año y temperaturas moderadas a bajas. La superficie está cubierta por un horizonte edáfico constituido por una fina capa de sedimentos eólicos. La continuidad areal de estos sedimentos inhibe en muchos casos la observación geológica directa de los afloramientos. Así las formas y texturas características del relieve constituyen una de las formas más accesibles de obtener información geológica y estructural.

Desde el verano 1989-90 un grupo interdisciplinario perteneciente al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y de la Universidad Federal de la Patagonia Austral, ha realizado tareas de relevamiento aerofotográfico, geológico, gravimétrico, magnetométrico y reinterpretación de la información sísmica ya obtenida. Debido a la inexistencia de una cobertura fotográfica regular completa del área y a una cartografía de mediocre representación morfológica inicialmente se trabajó con una imagen Landsat-MSS rectificada en proyección Gauss-Kruger a fin de emplearla como

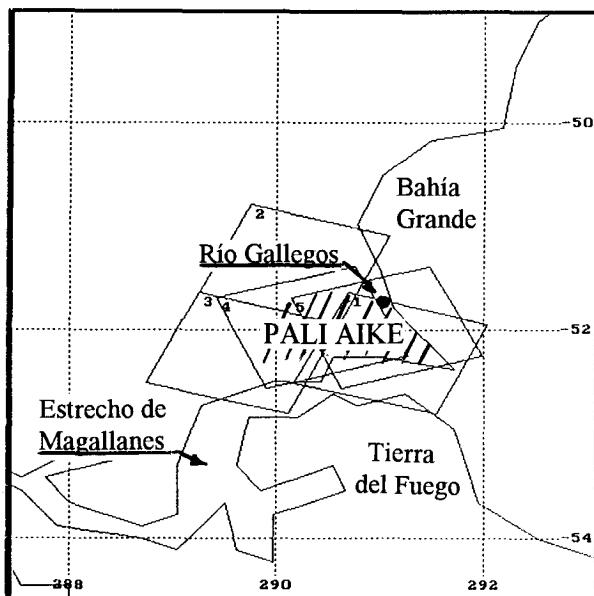


Figura 1: Pali Aike

plano base. La información geofísica fue volcada en otros planos con igual proyección y escala. A partir de 1993 este grupo dispuso de un cubrimiento completo del área de interés con fotografías aéreas y con imágenes ERS-1, las que se utilizaron de manera integrada con el resto de la información. Ello permitió la reinterpretación de la morfología volcánica y tectónica del área y además en base a esta información se programaron nuevas campañas de terreno. De esta manera se pudo hacer una comparación y evaluación de las posibilidades y límites de la información obtenible a partir de imágenes radar ERS-1.

2. PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LAS IMAGENES DE RADAR, DE INTERES PARA ESTE TRABAJO

Una de las características más destacable de las imágenes radar, fuertemente utilizada en este trabajo, es su gran capacidad para realzar rasgos que conforman el relieve de la superficie topográfica. Esta peculiaridad de las microondas de poner de manifiesto geoformas se complementa con la posibilidad de detectar diseños de drenaje propios de cada litología. Además, al poner de manifiesto modificaciones en la disposición regular de estos diseños de avenamiento, permiten también detectar accidentes tectónicos, intrusivos y erosivos.

Otra característica de las microondas, también de mucho interés para este estudio, es la de detectar texturas de distintas naturaleza, capacidad que en el caso de las geoformas de origen volcánico se manifiesta, presentando los campos y coladas de lava de distintas edades mediante brillos de

diferentes intensidades. En este caso la textura depende del tiempo e intensidad durante el cual han actuado los fenómenos de meteorización, sedimentación, colonización vegetal y desarrollo edáfico. Esta capacidad del radar se ha verificado en la región en estudio y será indicado para los distintos casos.

2. INFORMACION ERS-1 EMPLEADA

La zona de estudio queda cubierta, ya sea en modo ascendente o en descendente con 3 imágenes (Figura 1). De esta manera, inicialmente se trabajó con tres imágenes descendentes y una ascendente, existiendo por lo tanto un área común a ambos modos. Ello permitió observar que cada uno realza un mismo fenómeno geológico de manera distinta. En el caso de relieves rectilíneos, los mismos se observan con máxima nitidez cuando son paralelos a la trayectoria del satélite y con mínima nitidez cuando son perpendiculares, existiendo casos en los cuales desaparecen totalmente. En el caso de rasgos circulares son fuertemente realzados pero no siempre con la misma intensidad. Otros rasgos de carácter no lineal, con texturas de rugosidad muy acentuada o con suave superficie arenoso reciben una representación tan disímil que varía entre el contraste extremo a la no representación. Dada estas posibilidades, se completó el estudio con otras 6 imágenes, con ambos modos de observación.

3. GEOFORMAS

Las geoformas así identificadas en la región en estudio han sido clasificadas en los tres tipos indicados a continuación, y descriptas en los puntos subsiguientes:

- geoformas de origen volcánico
- geoformas de origen tectónico
- geoformas de origen fluvial y/o glacial

3.1 GEOFORMAS DE ORIGEN VOLCANICO

3.1.1 Campos de lava, Coladas y Mesetas

Los campos de lava, originados frecuentemente a partir de erupciones fisurales, se producen como consecuencia del derrame de importantes caudales de lavas. Las lavas basálticas, muy móviles, fluyen largas distancias sobre pendientes menores a medio grado de inclinación.

En la figura 2 se observan los 140 km² cubiertos por el campo lávico más joven del área, formado por la coalescencia de múltiples coladas emitidas a lo largo de una fisura de rumbo de 4 km de extensión. Puede advertirse que mientras en la imagen

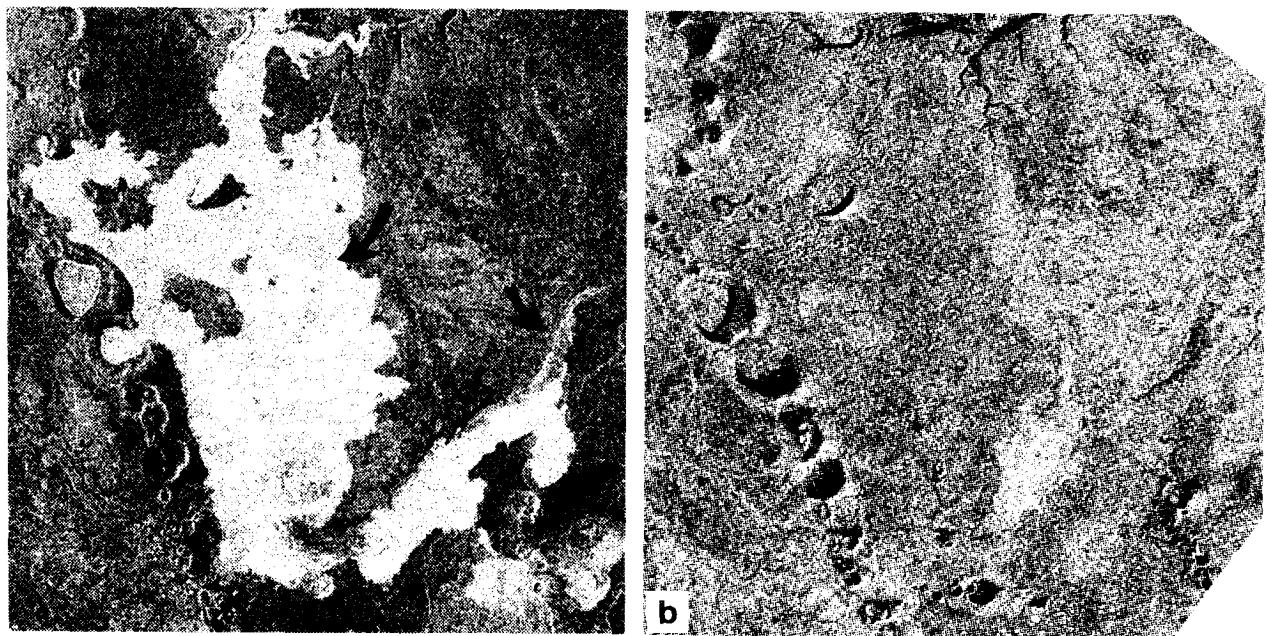


Figura 2: Campo lávico de 140 km² (a: modo ascendente, b: modo descendente).

ascendente el campo de lava es claramente identificable, mientras que en la descendente apenas se perciben en forma de ligera modificación textural. Por el contrario, la fisura emisora, jalonada por múltiples conos de salpicadura y escorias, claramente identificable en la imagen descendente, apenas se percibe en la ascendente. En la imagen ascendente también puede observarse la irrupción de lavas jóvenes dentro de una depresión maárica oval perteneciente a un ciclo volcánico anterior.

Cabe mencionar que las lavas identificadas en la imagen ascendente, se observan de la misma manera en todo el resto de las imágenes, inclusive las descendentes. Es decir que la no observación de este rasgo en la imagen descendente no está asociada al ángulo de observación sino a un evento transitorio (actualmente en investigación) que le dió al campo de lava características reflectivas similares al de la zona circundante.

3.1.2 Coladas encauzadas y Mesetas basálticas

Los derrames lávicos, fluyendo a lo largo de valles o depresiones previamente labrados por erosión fluvial, suelen recorrer considerables distancias a partir del origen dando lugar a coladas encauzadas.

En la figura 2 se ilustra una colada encauzada de 6 km de longitud cuyo frente alcanza el actual plano de inundación del Río Chico, lo cual testimonia su edad subactual.

Cuando importantes volúmenes de lavas basálticas de

reducida viscosidad, (a causa de su composición química y bajo contenido de gases) se derraman laminarmente sobre valles y planicies y luego son atacadas y puestas en relieve por los distintos agentes erosivos, constituyen mesetas o altiplanicies volcánicas.

En la figura 3 se observa la meseta basáltica emplazada en las inmediaciones de la localidad de Bella Vista, perteneciente a un evento temprano de este ciclo volcánico. En la figura 4 se expone la meseta basáltica emplazada en proximidad de la desembocadura del Valle del Río Gallegos, la que dió lugar al cierre parcial de dicho valle.

3.1.3 Volcanes en Escudo y Lagos de Lava

Reiterados derrames sobre el mismo lugar, dieron lugar a apilamientos lávicos denominados volcanes en escudo (aludiendo su nombre a la forma de un escudo). Son elevaciones amplias, de suave pendiente (en general menor a 6°), de perfil convexo y alturas moderadas.

La figura 5 ilustra un amplio volcán en escudo formado por el apilamiento de múltiples emisiones de lava de reducido volumen. Las elevadas pendientes del tramo cuspidal de este edificio corresponden a conos de salpicadura.

Los cráteres, pueden ocasionalmente estar inundados por un lago de lava, de nivel variable. Estos lagos de lava desbordan en ocasiones, derramándose parcialmente en torno al punto de emisión, edificando pendientes de ángulos pronunciado.

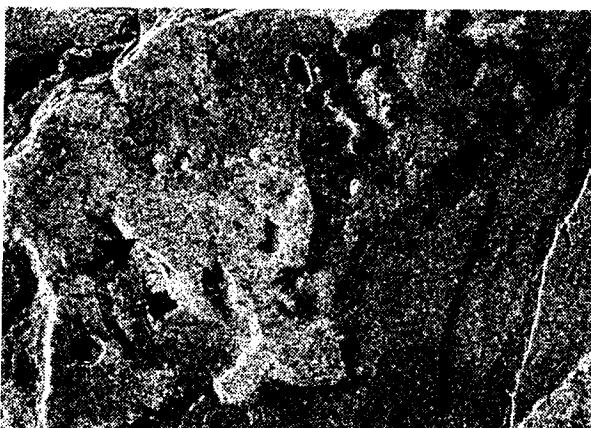


Figura 3: Meseta basáltica

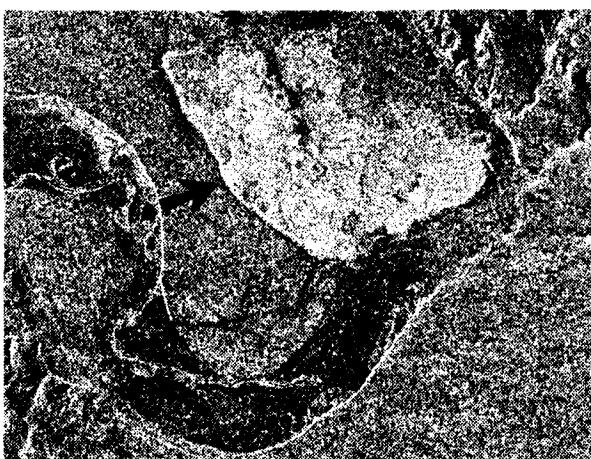


Figura 4: Meseta basáltica

La figura 2a, en su extremo inferior derecho, muestra el cráter poligénico de Laguna Azul, actual Parque Geológico Provincial pudiéndose observar las coladas originadas por desborde del labio norte incipientemente cubierto por sedimentos eólicos.

3.1.4 Conos de Escoria y de Salpicadura

Los Conos de escoria son elevaciones con pendientes en general mayores a 10° . Se forman por acumulación de eyecciones basálticas (bombas, bloques, cenizas) con frecuencia fuertemente vesiculadas (escoria), como consecuencia de una actividad volcánica explosiva de tipo stromboliano.

La pendiente de las laderas depende de cuan ásperos o rugosos sean los fragmentos de lava (clastos), la altura de la erupción, la velocidad del viento y la geometría del conducto.

Los Conos de Salpicadura se generan por la aglutinación, aún en caliente, de jirones de lava que el escape violento de gases arroja a la atmósfera. Estos jirones caen en forma de bombas fusiformes o aplastadas y de lapilli se acumulan y se sueldan

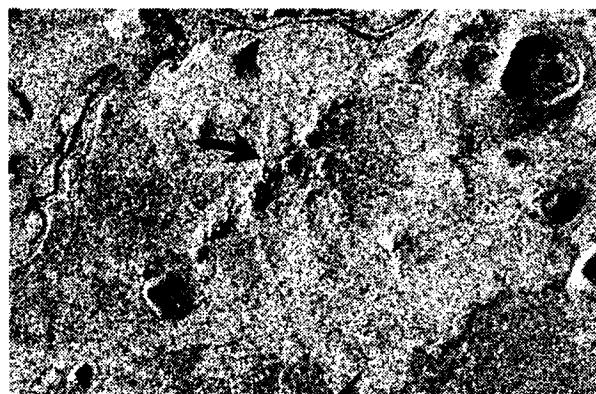


Figura 5: Volcán en escudo (modo ascendente)

parcialmente en torno al punto de emisión, edificando pendientes de ángulo pronunciado.

En las figuras 2 b y 5 se aprecia que mientras la imagen descendente muestra una buena representación morfológica de estos conos, la imagen ascendente los representa muy mediocremente. Sin embargo esta última realza notablemente los caracteres del borde mismo del cráter cuspidal.

3.1.5 Criptodomos

Estudios geofísicos mediante sísmica de reflexión han mostrado la existencia, por debajo de los edificios volcánicos superficiales, de cuerpos intrusivos hipabisales. Emplazados con frecuencia como filones-capas a 1000 m y 2000 m bajo la superficie, también han sido detectados como intrusivos de formas diversas a distintas profundidades. En la figura 6, imagen descendente se aprecia una elevación de perfil domico cuyo abovedamiento se supone fue motivado por un intrusivo magmático alojado subsuperficialmente. Contrastantemente en la imagen ascendente la elevación domica no es advertible.

3.1.6 Maares

Los Maares son volcanes de bajo perfil con cráteres de 500m a 2000 m de diámetro esculpidos por debajo del nivel de erupción. Resultan de múltiples explosiones debidas a la formación súbita de vapor por la puesta en contacto de lavas con aguas superficiales (actividad freatomagmática). Estas hidroexplosiones han labrado profundos cráteres cónicos (diatremas) depositando, mediante explosiones anulares rasantes de elevada velocidad (surgencias básales), un anillo superficial de sedimentos hialoclásticos que rodea a los cráteres. Así, los maares, debidos a la actividad freato-magmática, muestran una depresión circular rodeada por un anillo de sedimentos finamente estratificados, de baja altura y muy débil ángulo de buzamiento.

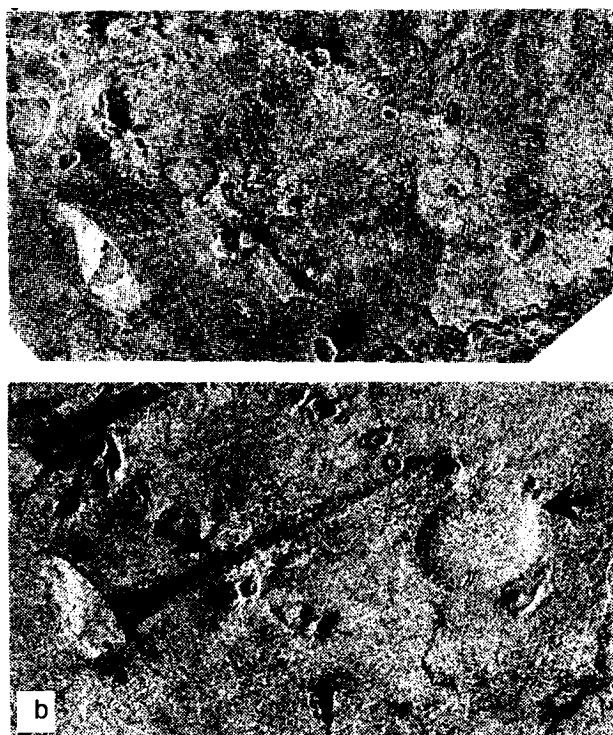


Figura 6: Criptodomos, (a: modo ascendente , :b modo descendente)

En la figura 7 observamos el maar Bismark, de 2000 m de diámetro, cuya diatrema está esculpida en una columna integrada por una colada basáltica, sedimentos fluvioglaciales y sedimentos terciarios.

3.1.7 Conos de sedimentos hialoclásticos vinculados a maares.

El anillo de sedimentos estratificados de 30-50 m de altura, dispuesto alrededor de los maares esta compuesto por materiales generados durante las erupciones (hialoclásticos, tobas, lapilli, y bombas basálticas), con el agregado de gravas glaciofluviales, arenas, limos y clastos de los sedimentos terciarios de las rocas existentes en el lugar ahora ocupado por la diatrema (cavidad cónica) excavada por debajo del actual fondo de los maares. Su sistemática deposición asimétrica, con mayor acumulación sobre la pendiente Este de los maares, puede estar relacionada con la predominancia Oeste de los vientos fuertes durante el período eruptivo.

En la figura 7, imagen ascendente, se observa por encima del nivel topográfico y en torno a la depresión maárica un anillo de sedimentos de hasta 50 m de altura. El mismo está finamente estratificado, compuesto por partículas muy finas de vidrio volcánico y por los materiales desplazados de la cavidad abierta por el maar. Se observa la deposición

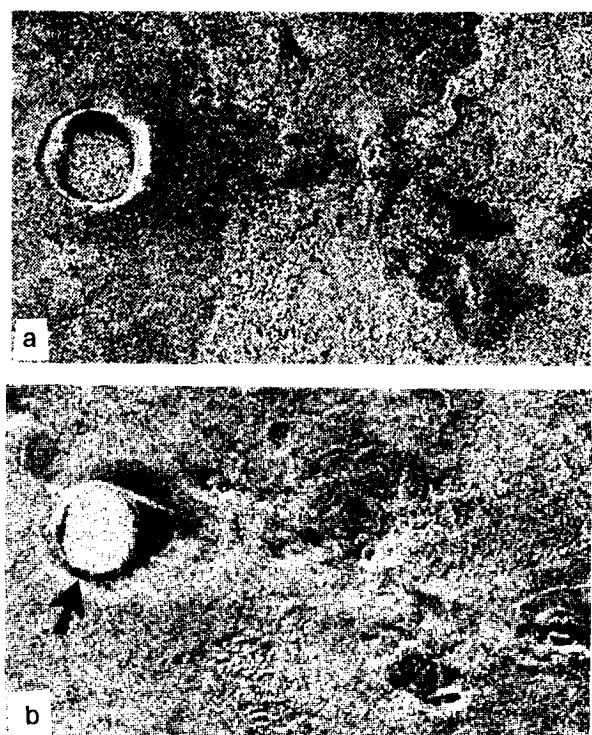


Figura 7: Maar Bismark, (a: modo ascendente , b: modo descendente)

asimétrica antes comentada, con una mayor aumulación hacia el flanco Este del maar atribuible a los fuertes vientos imperantes.

3.1.10 Maares en rosario y Erupciones postmaáricas

Frecuentemente alineadas a lo largo de fracturas, las depresiones maáricas coalescen dando lugar a un encadenamiento de depresiones en rosario.

En la figura 8 se observan múltiples maares, producidos por explosiones freato-magnáticas a lo largo de una fractura de 14 km de extensión. En el fondo de algunos de estos maares se observa el depósito posterior de sedimentos de origen paleolacustre.

La subsecuente actividad volcánica fue, algunas veces, la causa de modificaciones morfológicas. Así, dentro de las depresiones maáricas es frecuente observar múltiples conos de escoria anidados. Ellos son productos de actividad volcánica tardía bajo condiciones de menor disponibilidad de agua.

En la figura 8 se ejemplifica un caso en el cual dentro o en el borde de depresiones maáricas, una subsecuente actividad stromboliana edificó elevaciones compuestas principalmente por materiales escoriáceos. La depresión central también puede estar

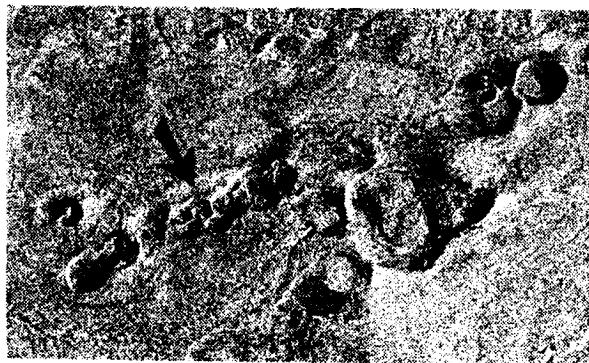


Figura 8: Maares en rosario

ocupada por los materiales derrumbados lateralmente, por intrusiones póstumas y también por sedimentos lacustres

3.2.1 Trazas y escarpas de falla.

Las fallas son planos de debilidad en las rocas, razón por la cual la erosión se concentra sobre la línea de intersección de esos planos con la superficie topográfica, formando valles de dimensiones variables. La traza de estos valles es generalmente recta a lo largo de considerables distancias.

Si la orientación del plano de falla y el movimiento entre ambos bloques poseen una componente vertical importante, la falla presentará un pronunciado quiebre de pendiente denominado "escarpa" de falla.

3.2.2 Alineamientos volcánicos y fracturas subyacentes

Como la mayor parte de las lavas de Pali-Aike accedieron a la superficie terrestre a través de fracturas, el casi perfecto alineamiento de los afloramientos volcánicos, permite interpretar la existencia de fallas por debajo de ellos. Dos direcciones principales fueron así reconocidas: NO y ENE.

Rasgos volcánicos relevantes, tales como volcanes en escudo, conos de escoria y salpicadura y maares, componen estos alineamientos. La figura 2 muestra la fisura efusiva por la que se derramaron las lavas que dieron lugar al campo lávico más joven del área, el cual cubrió 140 km². El alineamiento claramente visible en la imagen comprende un lago de lava varios conos de emisión y en particular el cono escorias denominado Volcán El Diablo Negro máxima elevación (282 m) desarrollada durante este pulso magmático. En la misma imagen, y subparalelamente al alineamiento anterior también se advierte una sucesión de depresiones maáricas alineadas a lo largo de una fractura.



Figura 9: Terrazas



Figura 10: Desplazamiento de ríos

3.3 GEOFORMAS DE ORIGEN FLUVIAL Y/O GLACIAL

Otros rasgos geológicos claramente observables sobre estas imágenes Radar lo constituyen la red de avenamiento fluvial, los distintos niveles de aterrazamiento fluvial o fluvio-glacial, las texturas topográficas debidas a depósitos morénicos, los valles desproporcionados, la irrupción de acumulaciones volcánicas en el desarrollo de cursos fluviales, lagunas, playas y voladeros.

3.3.1 Niveles de aterrazamiento

Los niveles de aterrazamiento fluvial y fluvio-glacial y sus respectivas diferencias de nivel son claramente detectables en estas imágenes. La figura 9 muestra la superficie aterrazada, producto del desglaciamento que cubre los relieves preexistentes y sobre los cuales se han asentado buena parte de las volcanitas observándose una notable regularidad en su superficie.

3.3.2 Valles desproporcionados

Se trata de valles fluviales, en los cuales su dimensión transversal no se compadece con la dimensión de los

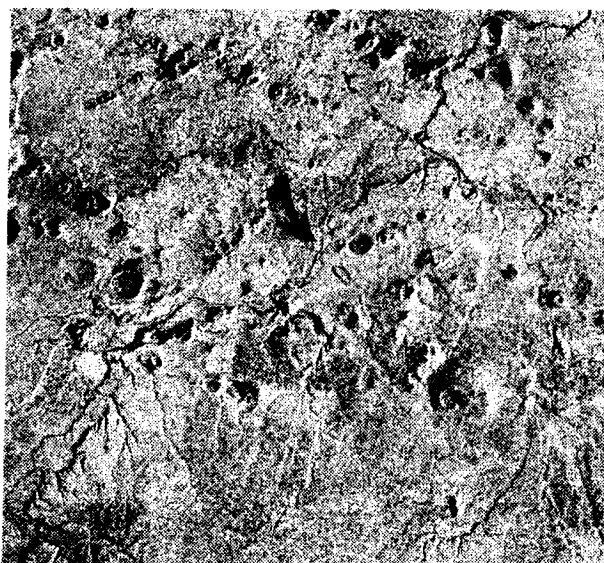


Figura 11: Recorrido del Río Chico

meandros ni con el escaso caudal del actual curso de agua. El labrado de estos amplios valles fue realizado durante períodos de desglazamiento durante el cual el régimen hídrico fue mucho más caudaloso. En la figura 10 se ilustra el valle fluvial del Río Gallegos. El ancho de su cauce no se correlaciona con la capacidad erosiva del actual curso de agua. El labrado de este valle fue provocado durante un período de fuerte disponibilidad de agua.

La figura 10 además muestra el amplio meandro y singular estrechamiento que manifiesta el Río Gallegos hacia los $70^{\circ}17'$ de longitud oeste debido a la acumulación de materiales volcánicos que fueron desplazando progresivamente hacia el NO el curso del río. La intervención del volcanismo, al menos en este caso, no interrumpió el ciclo fluvial.

La figura 11 muestra el recorrido del Río Chico. En ella se observa que la progresiva elevación del terreno dada por la acumulación de materiales volcánicos, dio lugar al rejuvenecimiento del perfil fluvial. El río, sin embargo, logró erodar y profundizar su cauce reduciendo significativamente su sección transversal lo que le permitió continuar drenando el curso en la primitiva dirección noreste.

3.3.4 Lagunas, Playas y Voladeros

Lagunas de escasa profundidad y sedimentos lacustres depositados en cuencas lagunares actualmente desecadas, son claramente percibibles en las imágenes.

En la figura 6 se observa el singular fenómeno de los localmente denominados "voladeros". Son provocados por la acción de los fuertes vientos provenientes



Figura: 12: Montículos y depresiones de depósitos morénicos.

del SO, los que transportando arcillas, limos y arenas de lagunas y playas, depositan franjas de sedimentos de suave relieve orientadas en igual dirección.

3.3.5 Sedimentos glaciares - Morenas

Extensas llanuras de muy suave pendiente regional con el conocido relieve de montículos y depresiones es clásico de los depósitos de till glaciar. Ellos están constituidos por acumulaciones de fuerte heterogeneidad litológica y granulométrica.

Abarcando buena parte de la sección occidental del área la figura 12 subraya el relieve rítmico en montículos y depresiones característico de los depósitos morénicos.

4. CONCLUSIONES

Diez imágenes radar obtenidas por el satélite ERS-1, sobre la misma área en terrenos de suave relieve, fueron procesadas, analizadas y comparadas con imágenes obtenidas por otros medios satelitales, fotografías aéreas y observaciones de campo.

De este análisis se desprende que este tipo de información, permite observar:

- a) la contrastante topografía de un campo eruptivo con sus volcanes en escudo, domos, campos y coladas de lava, conos de escoria y maares y hasta detalles menores, cuellos pequeños conos de salpicadura edificados en depresiones maáricas.

- b) el fracturamiento del área, claramente evidenciado como explícitas escarpas de fallas, valles fluviales constractamente rectilíneos o por la disposición lineal de múltiples bocas efusivas.
- c) antiguos aparatos volcánicos, en distintos estadios de desmantelamiento erosivo arrasados actualmente por la erosión y puestos de manifiesto por una distingüible red concéntrica y/o centrífuga de avenamiento.
- d) modificaciones y perturbaciones geomórficas introducidas en el ciclo fluvial por la intervención del volcanismo y las glaciaciones.
- d) edades relativas de los distintos afloramientos en base al brillo, acorde a la rugosidad y textura de su superficie, variables estas vinculadas a la intensidad y al tiempo durante el cual sufrieron fenómenos de meteorización y edafización.

Cabe destacar también las siguientes particularidades:

Un mismo fenómeno geológico puede ser representado de manera contrastantemente diferente de acuerdo a cada imagen. Según quede orientada la dirección de iluminación del haz de radar respecto al rasgo morfológico en cuestión, unas imágenes pueden realzar y magnificar ciertos rasgos, en tanto otras pueden apenas representarlo o no hacerlo en absoluto. En general cuanto mayor el ángulo, más acentuada es la representación gráfica.

Se ha observado que los relieves, en particular aquellos de carácter rectilíneo tales como escarpas de fallas, cursos de drenaje fluvial, bordes de terrazas, cuya orientación se alinea más o menos paralelamente a la dirección de iluminación son apenas o no representados.

Estructuras circulares en donde todos los ángulos respecto al haz de iluminación están presentes, tales como los maares con su forma circular y gran dimensión, si bien son fuertemente realzados no lo hacen siempre con igual intensidad. Los pequeños conos y cráteres adventicios (por ejemplo los del Campo Cráter) son objeto de una disímil representación según las imágenes, y de igual forma ocurre con el criptodomo próximo al río Chico, el que en algunos casos llega a ser totalmente obliterado.

Otros rasgos de carácter no lineal, tales como las superficies de coladas y jóvenes campos de lava con texturas de rugosidad muy acentuada o los voladeros con su suave superficie arenosa reciben una representación tan disímil que varía entre el contraste extremo a la no representación.

Generalizando puede señalarse que para el mismo rasgo morfológico las distintas imágenes presentan un disímil grado de realce. Dadas estas características, el empleo de imágenes de radar de una misma zona, obtenidas en distintos momentos y en vuelos ascendentes y descendentes pueden posibilitar una mejor detección e interpretación de rasgos topográficos generados por diferencias litológicas, modelamiento del relieve o accidentes estructurales y volcánicos.

5. BIBLIOGRAFIA

Altevogt, G. (1969): Der postglaziale Vulkanismus südlich von Río Gallegos, Provinz Santa Cruz, Sud-Argentinien. Munster Forch Geologie und Palaeontologie. 12:3-15

Corbella, H.; Pomposiello, M. C.; Malagnino, E.; Trinchero, E.; Alonso, M. S.; Chelotti, L. & Firpo, L. (1990): Volcanismo lavico y freatomagmático post-glacial asociado al campo de fracturación austral, Provincia de Santa Cruz, Argentina, Patagonia Extrandina. 10o Congreso Geológico Argentino, Actas I: 39-42, San Juan, Argentina

Corbella, H.; Pomposiello, M. C.; Chelotti, L.; Trinchero, E. & Alonso, M.S. (1991): Cuerpos hipoabisales asociados al volcanismo efusivo cuaternario de la Patagonia Exstrandina Austral, Santa Cruz, Argentina. 6o Congreso Geológico Chileno.

Chelotti, L. & Trinchero, E. (1990): Cuerpos intrusivos subvolcánicos en la Cuenca Austral. Boletín de Informaciones Petroleras 7(3)2-13.

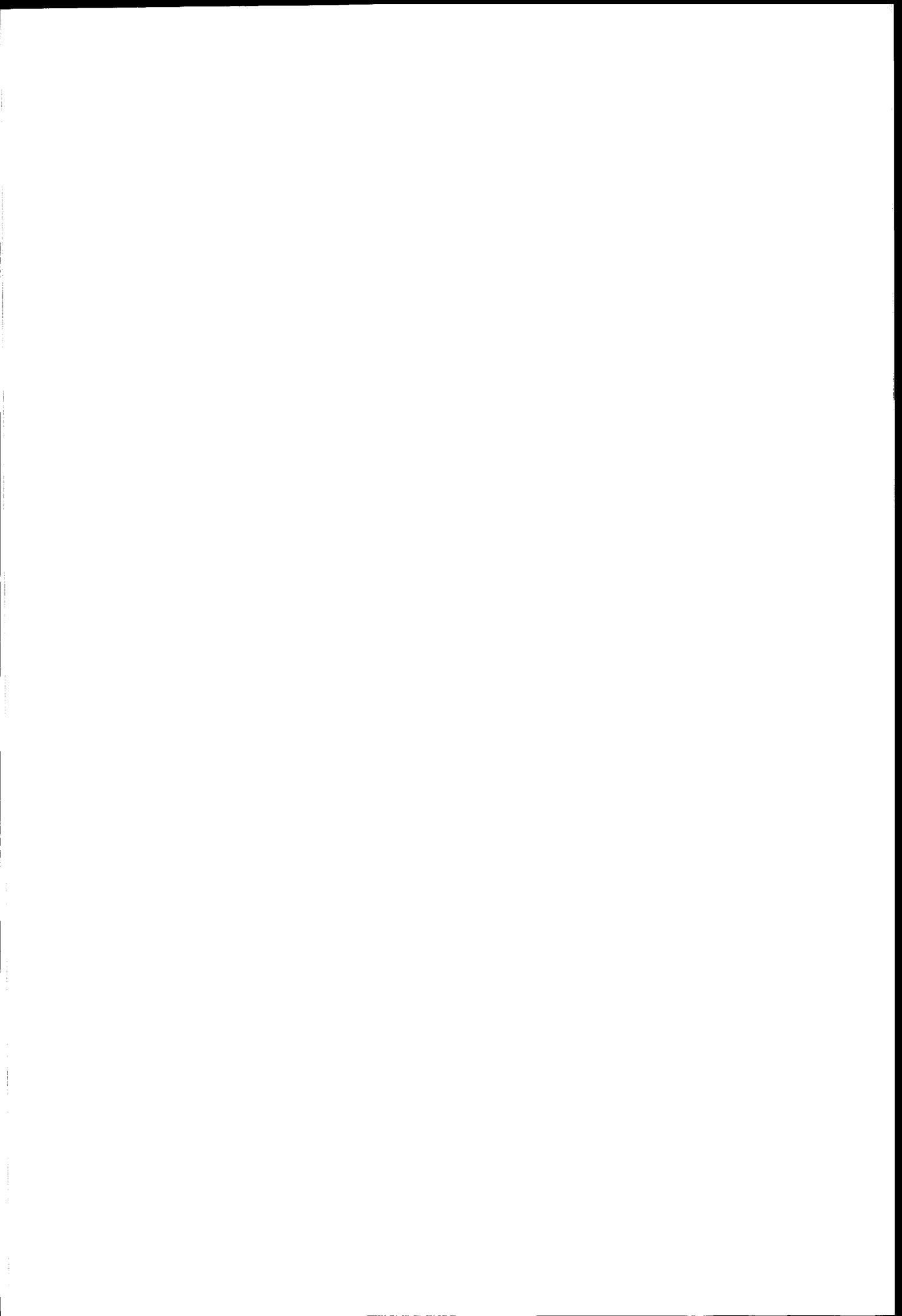
Pomposiello, M. C.; Corbella, H.; Alonso, M. S.; Diaz, M. T.; Trinchero, E. & Chelotti, L. (1990): Estudio gravimétrico del volcanismo basáltico posglacial de la Patagonia Exstrandina Austral, Provincia de Santa Cruz, Argentina. 16a Reunión Científica de Geofísica y Geodesia. Resúmenes 90. Bahía Blanca, Argentina.

Pomposiello, M. C.; Corbella, H.; Chelotti, L. & Alonso, M. S. (1995): Geophysical and Geological Study of the Austral Fracture Belt at the Atlantic Passive Margin, Southern Patagonia, Argentina. International Union of Geodesy and Geophysics. XXI General Assembly. Boulder, Colorado.

Skewes, M. A. (1978) Geología, petrología, químico y origen de los volcanes del área de Pali-Aike, Magallanes, Chile. Anales del Instituto de la Patagonia 9: 95-106. Punta Arenas, Chile.

OCEANOGRAPHY / OCEANOGRAFIA

Chairman/Presidente: Mike G. Wooding



STUDY OF MESOSCALE FEATURES AND SEASONAL VARIABILITY IN THE CANARY BASIN FROM GEOSAT, ERS-1 AND TOPEX/POSEIDON ALTIMETERS DATA

Tejera A., García L.

Dept. de Física, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Apdo.550, 35080 Las Palmas de G.C., Spain

Tlf.: 34-28-452833, Fax: 34-28-452922, E-mail: alicia.tejera@fisica.ulpgc.es

Cantón M.

Dept. de Lenguajes y Computación, Universidad de Almería

04120 La Cañada de San Urbano, Almería, Spain

Tlf.: +34-50-215482, Fax: +34-50-215129, E-mail: mcanton@ualm.es

SUMMARY

Three series of altimeter data of the GEOSAT (1987-1989), ERS-1(1992-1993) and TOPEX/Poseidon satellites are used to identify and analyze the main mesoscale oceanographic features that appears in the oriental edge of the Atlantic Ocean, 20° - 40° N, -19° - -9° W. The variability maps of the altitude of the sea surface and eddy kinetic energy have been computed by a process of objective analysis. Although the flow in this area is not so intensive as in the west frontier, like the Gulf Stream, it has been possible to compare the altimeter results with those from other remote sensing sensors and with in situ data. It has been estimated the correlation among the different types of data to detect eddies from the Mediterranean Sea and those generated in the south of Gran Canaria, as well as the identification of filaments from the NW African upwelling.

1. INTRODUCTION

The geographical situation of the area that we are studying, 20° - 40° N - -19° - -9° W, (fig. 1) situated between the continental platform and the open ocean has different nature that generate oceanographic features as: the presence of the Canary Current that flows to the Equator through the Canary Archipelago; the coastal upwelling of the northwest of Africa is intensified during the summer and the mesoscale eddies from the Mediterranean.

The Canary Islands work too as barriers to the continuous atmospheric and oceanic flows, modifying the velocity of the water mass and the wind field to leeward of the islands.

The main objective of this study is, first at all to see if it is possible to detect mesoscale ocean features in weak ocean currents by means of GEOSAT (1987-1988), ERS-1 (1992-1993) and TOPEX/Poseidon (1993) altimeters and secondly the achievement of the study of the seasonal, semiannual and annual variability of the sea surface altitude in the different periods. So we analyze the residual height and the geostrophic speed variance obtained from the altimeter data.

2. OCEANOGRAPHIC FEATURES OF CANARY BASIN

The general circulation in Canary Basin makes an anticyclonic gyre connected to the Gulf Stream through the Azores Current. This system is situated in the eastern edge of the subtropical north Atlantic and is defined by the Azores Current, the Canary Current and the North Equatorial Current (fig. 2). The Canary Current is a weak and cold stream that flows to the south going along the edge of the African Coast and through the Canary Archipelago.

By the way through this area generate to leeward of Gran Canaria Island some anticyclonic and cyclonic eddies with a great physical and biological interest (Aristegui et al., 1994).

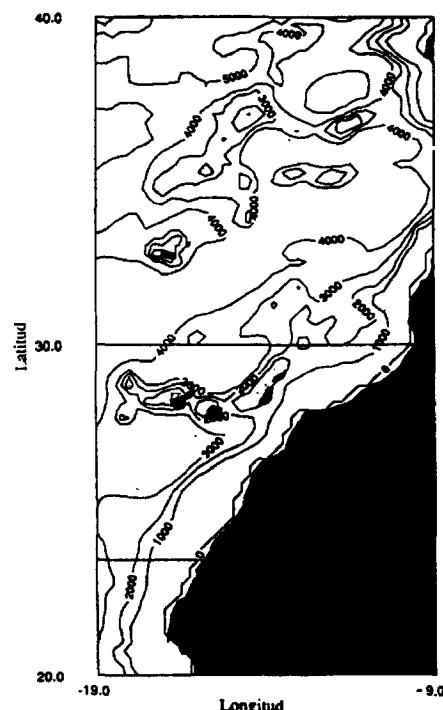


Figure 1. Study area.

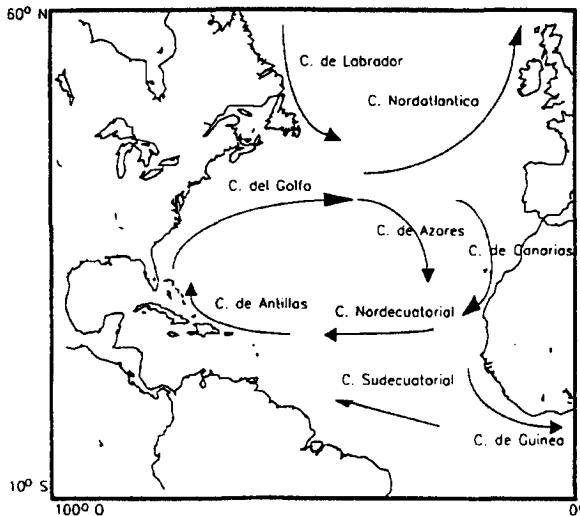


Figure 2. North Atlantic currents system.

Another features of the water that surrounds Canary Island are the wakes of warm waters that have been observed to leeward of islands of the archipelago with a high relief. That is just because of the obstacle that represents these natural elements to the field of the representative winds of this area (trade winds - NE direction). That produce a decrease of the intensity of themselves in the southeast of the Islands and a warming of the sea surface in these areas.

The wakes have been detected by means of sea surface temperature (SST) images of the sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) (Hernández Guerra, 1990) as well as with in situ measurements (Aristegui et al., 1994).

In other way one of the representative oceanographic appearance in the coastal eastern edge is the presence of upwelling areas of cold and deep water masses, rich in nutrient and near to the coast, that makes that these areas have a great biological productivity. This is the case of the NW upwelling of the African Coast. Some authors have analyzed the regional and seasonal variability in relation to the wind field variations and they have characterized the upwelling in different areas, paying special attention to the area between 20° and 30° N where the maximums are appeared during the spring, the summer and the autumn (Mittelstaedt, 1991).

Due to the proximity of the Canary Archipelago to the African Coast and thanks to the SST images of this area it can have been observed spreading of the upwelling noted as filaments advanced to the ocean around some kilometers, and sometimes they can reach the south of the more eastern islands of the archipelago.

3. DATA PROCESSING AND METHODOLOGY

In this study some data sets have been used from the altimeters installed in the satellites: GEOSAT, with a repetition period of 17 days (1987-1988), ERS-1 with a period of 35 days (May 1992-April 1993) and TOPEX/

Poseidon with 10 days of orbital repetition (1993).

Different corrections are applied to the data due to the errors originated by different sources, and they can be included in three groups:

Instrumental, atmospheric errors and the ones due to the interaction of the altimeter pulse with the air-sea interface. On the other hand, the first ones can be eliminated by the imposition of some requirements to the data during the analysis, that are specified in Table 1. In this case a data is refused when its value is out of the range previously specified.

Symbol	Name	Criterion
H	Sea level height	$H \geq 327.67 \text{ m}$
σ_h	Standard deviation of H	$\sigma_h \geq 0.12 \text{ m}$
σ^o	Backscattering coefficient	$\sigma^o \geq 20 \text{ db}$
σ_{AGC}	Antenna automatic control	$\sigma_{AGC} \geq 0.1 \text{ db}$

Table 1. Parameters definition and data analysis criterion.

With regard to the second and third ones are eliminated using the corrections included or derived in the Geophysical Data Records (GDR) specified in the table 2.

Satellite	Correction	Method
GEOSAT	Dry Troposphere	ECMWF - GDR
	Wet Troposphere	TOVS/SMMI - GDR
	Ionosphere	GDR
	Tides	Cartwright & Ray (1990)
	Em. Bias	2.5% H
	Inv. Barometer	GDR
ERS-1	Dry Troposphere	ECMWF - GDR
	Wet Troposphere	TOVS/SMMI - GDR
	Ionosphere	GDR
	Tides	Cartwright & Ray (1990)
	Em. Bias	2.5% H
	Inv. Barometer	GDR
TOPEX/POSEIDON	Dry Troposphere	ECMWF - GDR
	Wet Troposphere	TOVS/SMMI - GDR
	Ionosphere	GDR
	Tides	Cartwright & Ray (1990)
	Em. Bias	2.5% H
	Inv. Barometer	GDR

Table 2. Geophysical corrections applied to the sea surface height for different satellites.

The effects about the pulse of the altimeter that have the components of the dry and wet troposphere are calculated one by one. To the correction due to the first ones a model proposed by the European Center for Medium- range Weather Forecasting (ECMWF) is generally applied, but

to the second ones have been used the climatological values averaged monthly obtained by the sensor Scanner Multichannel Microwave Radiometer (SMMR) on board of Nimbus-7 satellite, or with the TOPEX Microwave Radiometer (TMR). The ionospheric correction, which tries to compensate the delay of the signal produced by the free electrons, is made using Klobuchar's model (1987) or the Dual-frequency Doppler tracking receiver system (DORIS).

To eliminate the effect of the tides in the signal it has been used Cartwright and Ray's model (1990) instead of Schwiderski's (1980) because it has been shown that it doesn't work properly in the areas of the continental platform (Thomas y Woodworth, 1990) and it is less precise too.

As a consequence of the interaction of the pulse with the sea surface it appears one extra mistake knowing as bias due to the sea state or electromagnetic bias. The waves in the ocean usually have narrow summits and wide valleys that make that the reflection of the altimeter pulses from the valleys are more intensive and dominant than those from the summits. So the theoretic measurement of the sea level will be little than the real one. Related to this phenomenon is the bias due to the assumption that the probability distribution of the scattering is symmetric, it means that we are considering the ocean processes as Gaussians. Even though this interaction is not well studied, it is suggested that this error is eliminated adding the 2,5% of the significant wave height to the height value (Cheney et al., 1991).

To conclude, Ray et al., (1991) have shown that including the effect of the inverse barometer it is reduced the variation of the global standard deviation of the residual height over the ocean although this phenomenon isn't well studied and some oceanographers prefer don't apply it.

In this way the height of the sea surface as result of the application of the different adjustments it would be the following one:

$$H(\text{corr}) = H - \text{tides} - \text{ionospheric correction} - \text{tropospheric correction} - \text{correction of inverse barometer} + 0,0025 * H_s$$

where H is the height of the sea surface measured by the altimeter.

Subsequently the data of the sea height are interpolated to a net of geographic points separated 7.4 Km (0.06° of latitude) approximately, along the trajectory.

Despite having removed the main error sources described before, there is still in the signal the influence due to the geoid and to the average sea surface, as well as the orbital error.

The first can be eliminated applying the method of the differences along the trajectory (Chelton et al., 1990),

(Tokmakian and Challenor, 1993), it is very effective also when there are gaps in the data. This method instead of working with the height of the sea surface works with the mean of the slopes of the sea surface along the trajectory.

With the purpose of eliminating the second one we apply the lineal method tilt / bias because it is just to the arcs sizes lower than 3.000 Km (our case) it has been demonstrated that this method is more effective than other ones that use more sophisticated fittings of higher polynomial degrees or sin/cos. Zlotnicki et al., (1989) and Tai (1991), among others, discuss the effects about the variability of the sea surface has the application of the different orbital error elimination techniques to the arcs of different longitude.

With the purpose of getting an estimation of the variability of the sea surface two oceanographic parameters are calculated starting from the residual height obtained from the previous steps: standard deviation of the height and the variance of the eddy speed (known as Eddy Kinetic Energy) (EKE) . The last one it is evaluated using Menard's technique (1983).

Finally it is applied the method of the successive corrections (MCS) to the data of eddy speed in order to present them in maps every 15 days and 0.5 degrees. In this way on the one hand it can be identified mesoscale features and in the other hand to estimate quantitative and qualitatively semiannual and annual seasonal variations of the sea surface relative topography and of EKE in the studied area.

4. RESULTS ANALYSIS

The study of the GEOSAT data, ERS-1 and TOPEX/Poseidon have been divided in two sections: the first one it is identified and examined the mesoscale features as upwelling's filaments in the northwest coast of Africa from the satellite GEOSAT data, eddies from the Mediterranean Sea and the generated in the south of Gran Canaria Island. In the second one it is established an analysis of the seasonal variability of the signal during 1987-1988, and 1993 with GEOSAT and ERS-1 satellites, respectively.

4.1. Detection of mesoscale features

In this section it is examined first at all, the mesoscale features in the study area, as for example filaments from the upwelling of the northwest of the African Coast, from GEOSAT Satellite data and cyclonic and anticyclonic eddies generated to leeward of Gran Canaria Island by the use of ERS-1 satellite.

In the second place it is analyzed the viability of the use the TOPEX/Poseidon altimeter to the study area due to the distance among the satellite trajectories in this area.

Some studies made in this area by SST images (García Weil et al., 1994) have shown sometimes filaments from the NW African upwelling (fig. 3).

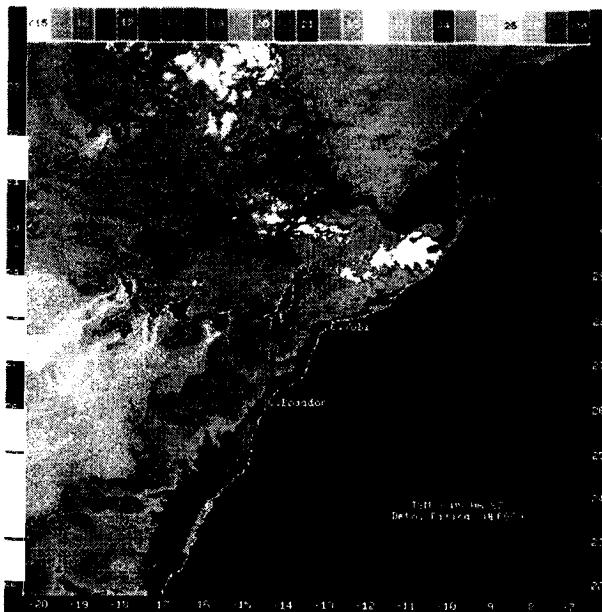


Figure 3. Sea surface temperature image in Spring 1987 (08/JUN/87)

The variability of the sea surface level observed during spring 1987 with GEOSAT data (fig. 4) in cape Ghir and in the south of capes Yubi and Bojador make the presence of two filaments flowing west to the open ocean, the one in Cape Ghir being stronger (0.040 m) than the other at Cape Bojador. These features can be identified too at the same time with sea surface temperature maps.

Through the oceanographic cruises made in the south of Canary Archipelago on different times and using different instruments to make in situ measurements (CTD, AXBT, fluorometer) (Aristegui et al., 1994) as well as chlorophyll images from Coastal Zone Color Scanner (CZCS) and

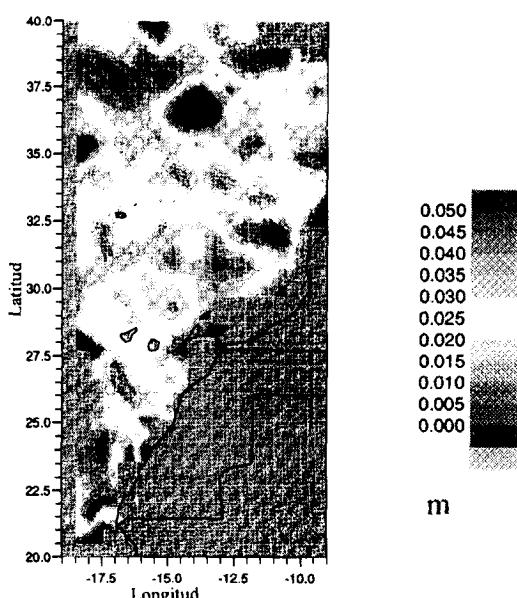


Figure 4. Variability sea surface height in Spring 1987 with GEOSAT data.

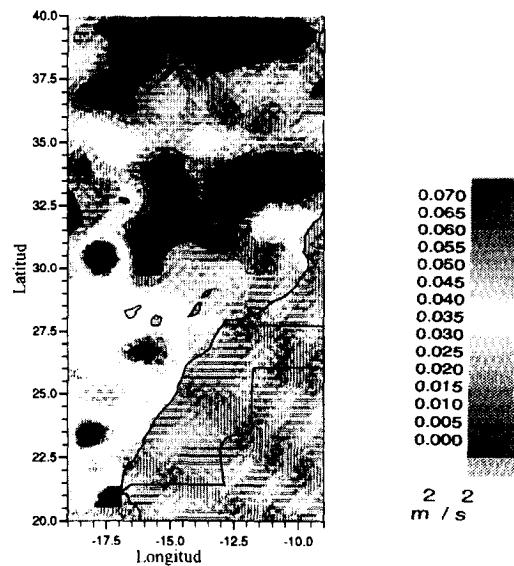


Figure 5. Eddy kinetic energy in Summer 1992 with ERS-1 data.

SST, it can be detected some eddies when the flow of the Canary Current is disrupted as it pass the channel between Gran Canaria and Tenerife Islands (Sangrá, P., 1995).

The EKE map of the summer 1992 (July) (fig. 5) shows a nucleus with energy value of $0.040\text{ m}^2\text{s}^{-2}$ in the southwest of Gran Canaria Island. At the same dates but through SST it is detected a cyclonic eddy in the same area of the altimeter signal that identified it. That is the reason why it could be associated with the oceanographic feature already mentioned.

As it happened in the summer 1992, the following summer a nucleus with maximum EKE appears again at the southwest of Tenerife island with values that exceed $0.050\text{ m}^2\text{s}^{-2}$ for the ERS-1 (fig. 6) and $0.040\text{ m}^2\text{s}^{-2}$ for TOPEX (fig. 7). In both cases it is estimated that the south area of Hierro, Tenerife and Gran Canaria Islands are the most energetics one.

In order to estimate the variations of EKE during the year 1993 there have been used data of the altimeters on board of ERS-1 and TOPEX/Poseidon Satellites. In general the results through the TOPEX show less energetic variability than the ones from ERS-1. It is due to the gap of the satellite trajectories in relation to the extension of the studied area, that is the reason why the final results appear more smoothed. Even so, the regions that present the maximum values of energies are exposed when we use both types of data, with higher esteem in the case of ERS-1, as it might be expected.

4.2. Sea surface variability study during 1987-1988 with GEOSAT satellite

Next the variability of the sea surface observed during 1987 and 1988 will be analyzed with the altimeter on board

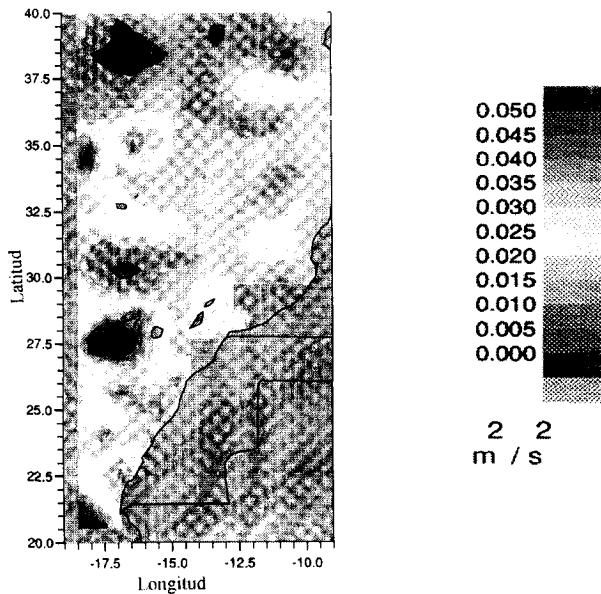


Figure 6. Eddy kinetic energy in Summer 1993 with ERS-1 data.

of GEOSAT satellite, paying special attention to the oceanographic features as eddies coming from the Mediterranean Sea and filaments developed from the NW African upwelling.

Winter

During the winter there are in the two years three nucleus of great variability situated in a stripe that goes from 33.0° - 37.0° N and -16.0° - 10.5° O of the studied area, being the ones from 1987 more intensive (0.040 m) than the ones from the following year. The results obtained in 1988 seem to be in concordance with the ones from Stammer et al., (1991). These ones made a study with hidrographic (March 1998) and altimeter data (GEOSAT 1987-1988) and they identified, through the anomaly maps of the sea surface, a serie of cyclonic and anticyclonic eddies from the Mediterranean Sea with both series of data, finding great correlation among the results obtained with the altimeter and with the hidrographic measurements.

On the other hand, around the Canary Archipelago are established differences referring to the locations in which are found the maximum variabilities. This way, at the northeast of the most oriental island of the Archipelago, Lanzarote, it is shown in 1987 a structure in a lenticular way that could proceed from the African Coast, while at the next year the values of variability of the sea surface relatively high are registered near the Islands of Tenerife and Gran Canaria. In the same way, it is evident that in the north area of the region the variability is maximum during the winter in 1987, and minimum around the Archipelago, while in 1988 happens the opposite.

Spring

Spring during two years is distinckted by the attendance again of nucleus situated in the north area, which appears

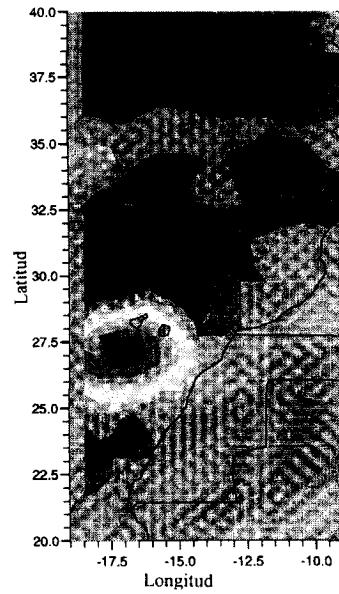


Figure 7. Eddy kinetic energy in Summer 1993 with TOPEX/POSEIDON data.

on winter time located eastwards that spread the maximum variability, going from 0.050 m in 1987 to 0.035 m in 1988. In the same way while during this last year it is shown at the south of the Tenerife Island the maximum value (0.050 m) in this period, in 1987 features near the African Coast are observed with values around 0.030 m. The ones situated at the height of Cape Ghir (30° N- 10.5° O) and the one situated among 23.5° and 27.0° N and -16.0° and 14° O are pointed out.

In this same area and at the same time with anomaly maps of the height of the sea surface obtained with the altimeter, analogous features to the observed ones in the temperature maps have been identified.

Summer

In the summer time of 1987 the nucleus of maximum variability of the sea surface topography observed in winter as well as in spring, it also appears at the north of this area and displaced towards the southwest and its presence the following year although being less intense, it is registered.

In the other hand, at the west of La Palma Island and at the south of Tenerife Island it is shown another extreme value in the topography variation of the sea surface (> 0.050 m) in 1987, meanwhile in 1988, and though being shown a decrease in energy around the Archipelago in relation to the previous year it is found certain variability (0.030 m) as features shapes which seems originated in Cape Yubi (27.0° N) and Cape Bojador (26.0° N) and again it could be associated to filaments from the upwelling which has been already mentioned.

Autumn

In this season there are pointed out in 1987 variabilities of the sea surface between Gran Canaria and Fuerteventura

Islands (superior to 0.050 m). In 1988 the maximum variability is observed at two consecutive nucleus at the north of the region and another one at the south of the Tenerife Island (0.045 m). As a difference with previous seasons, the filaments are not observed in this period.

5. CONCLUSIONS

In this study the variability of the height of the sea surface and the Eddy Kynetic Energy (EKE) in the region located between 20.0° - 40.0° N and -19.0° - 9.0° W has been studied, through the data of the altimeters on board GEOSAT, ERS-1 and TOPEX/Poseidon satellites. It has been demonstrated that the results obtained through this sensor can be useful for the detection and temporal analysis of the oceanographic features present in oceanic regions which variability is not very intense.

Filaments from the NW African upwelling and mesoscale eddies originated in the Mediterranean Sea and generated at the south of the Gran Canaria Island by the disruption of the Canary flow as its pass between Tenerife and Gran Canaria Island they can be identified. The same way the identification of these structures using other remote sensing techniques as SST and chlorophyll pigment concentration images and in situ data have been contrasted.

With GEOSAT satellite it has been observed that the filaments of upwelling are detected in the spring and summer seasons mainly, periods in which favorable conditions are given to the upwelling intensification and so the development of filaments of cold water directed towards the open ocean. It is also in this period in which the maximum values of variability of the sea surface at the south of the Tenerife and Gran Canaria Islands are found.

On the other hand, it has been seen that the variability of the signal in the north zone of the area it is presented in an annual way (GEOSAT 1987, 1988), so we could affirm that the Mediterranean eddies are features which are shown during the whole year, with a greater intensity in the spring and summer, besides being superior in 1987 than in 1988, and which displace to the southwest in the course of time.

To conclude for the same period of time there have been analyzed the values of eddy kinetic energy obtained by the ERS-1 and TOPEX/Poseidon (1993) altimeters disclosing that for the study of this area is more appropriate the use of ERS-1 data even though its precision is lower, its greater spatial coverage allows the detection of the mesoscale features present in the studied region.

6. REFERENCES

ARISTEGUI J., SANGRÀ P., HERNÁNDEZ-LEÓN S., CANTÓN M., HERNÁNDEZ-GUERRA A. and KERLING L., 1994, Islands-induced eddies in the Canary Islands, Deep Sea Res., 41, 1509-1525.

CARTWRIGHT D. E., and RAY R. D., 1990. Oceanic Tides From GEOSAT Altimetry. J. Geophys. Res. 95 (C3), 3069-3090.

CHELTON D. B., SCHLAX M. G., WITTER D. L. and RICHMAN, J. G., 1990, GEOSAT Altimeter Observations of the Surface Circulation of the Southern OCEAN, J. Geophys. Res., 95, (C10), 17, 877-17, 904.

CHENEY D. B., DOYLE N. S., DOUGLAS B. C., AGREEN R. W., MILLER L., TIMMERMAN E. L. and MCADOO D. C., 1990, The complete GEOSAT Altimeter GDR Handbook. NOAA Tech. Memo., NOS NGS7, National Ocean Service / NOAA, Rockville, Md..

GARCÍA WEIL L., NYKJAER L., TEJERA-CRUZ A., and CANTÓN M., 1995, Cálculo de velocidades oceánicas superficiales en el área del afloramiento del NW de África mediante imágenes del sensor AVHRR, Rev. Asoc. Española de Teledetección, Nº 3, 37-41, 1994.

HERNÁNDEZ-GUERRA A., 1990, Estructuras oceanográficas observadas en las aguas que rodean las islas Canarias mediante escenas de los sensores AVHRR y CZCS. Tesis Doctoral, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 198pp.

KLOBUCHAR J. A., 1987. Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency GPS users. IEEE Transns., Aerosp. Electron Syst., AES-23, 325-331.

LE TRAON P. Y., ROUQUET M. C. and BOISSIER C., 1990, Spatial scales of mesoscale variability in the North Atlantic as deduced from GEOSAT data, J. Geophys. Res., 95 (C11), 20267-20285.

MENARD Y., 1983, Observations of eddy field in the northwest Atlantic and northwest Pacific by SEASAT altimeter data, J. Geophys. Res., 88 (C3), 1853-1866.

MITTELSTAED E., 1991, The ocean boundary along the northwest African coast: Circulation and oceanographic properties at the sea surface, Progress in Oceanography, 26, 307-355.

RAY R. D., KOBLYNSKY C. J. and BECKLEY B. D., 1991, On the effectiveness of GEOSAT altimeter corrections. Intl. J. Rem. Sens., 12 (9), 1979-1984.

SANGRÀ P., 1995, Perturbación de un flujo geofísico por un obstáculo: Aplicación a la isla de Gran Canaria. Tesis Doctoral, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 200 pp.

SHWIDERSKI E. W., 1980, On charting global tides (1980). Rev. of Geophys. Space Phys., 18 (1), 243-268.

STAMMER D., HINRICHSEN H. H. and KÄSE R. H., 1991, Can Neddies Be Detected By Satellite Altimetry ?, J. Geophys. Res. 96 (C4), 7005-7014.

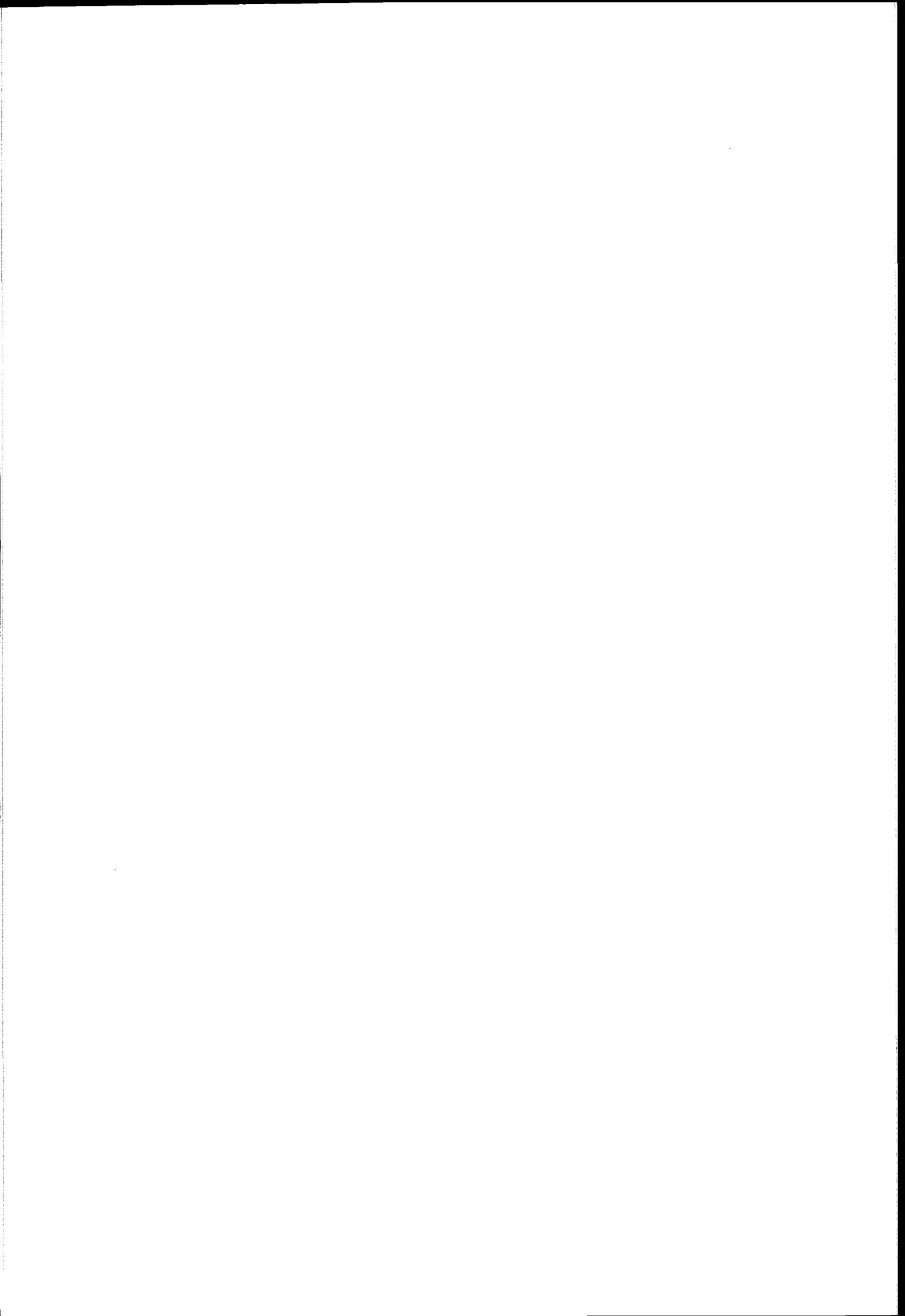
TAI C. K., 1991, How to observe the gyre to global-scale variability in satellite altimetry: signal attenuation by orbit error orbital, J. Atmos. Oceanic Technol., 8, 271-288, 1991.

THOMAS J. P., and WOODWORTH, 1990, The influence

of Ocean Tide Model Corrections on GEOSAT Mesoscale Variability Maps of the North East Atlantic. *Geophys. Res. Lett.*, 17 (13), 2389-2392.

TOKMAKIAN R. T. and CHALENOR P. G., 1993, Observations in the Canary Basin and the Azores Frontal Region Using GEOSAT Data , *J. Geophys. Res.* 98 (C3), 4761-4773.

ZLOTNICKI V., FU L. L. and PATZERT, 1989. Seasonal variability in global sea levelobserved with GEOSAT altimetry. *J. Geophys. Res.* 94 (C12), 17959-17969.



SINERGY OF ERS RADAR INFORMATION AND MODELLED DIRECTIONAL WAVE SPECTRUM TO
ESTIMATE COASTAL REGION WAVE CHARACTERISTICS IN THE GULF OF TEHUANTEPEC,
MÉXICO

Francisco J OCAMPO-TORRES

Departamento de Oceanografía Física,

C.I.C.E.S.E., Km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada,

Ensenada, B.C., México. Fax: 52 (61) 744848, E-mail ocampo@cicese.mx

Asdrúbal MARTÍNEZ DÍAZ DE LEÓN and Ian S ROBINSON

Department of Oceanography, University of Southampton,

Southampton, SO9 5NH, U. K.

ABSTRACT

Progress on wave modelling activities in Mexican waters is reported, and the use of ERS-1 data emphasized. A third generation wave model (WAM cycle 4) is used for wave hindcast in the Gulf of Tehuantepec, South East coast of Mexico.

Sinergy of synthetic aperture radar (SAR) image information and wave modelled spectrum in offshore waters renders the possibility of estimating wave spectral characteristics in the coastal region from another SAR precision image near the coast.

This idea leads to the possibility of estimating directional wave spectra in shallow water from subsampled SAR images with the use of a simple scaling procedure between offshore water simulated wave spectra from coarse and not expensive model runs and colocated image spectra. This simple procedure, although lacking analytical rigour, seems to be a reasonable tool for quick and operational estimates of spectral wave characteristics near the coast, reducing costs while avoiding high resolution model runs.

1. INTRODUCTION

The pacific coast of Mexico in particular, and of most Latin-America in general is practically quite open to waves generated by distant storms. Regional forecast or hindcast must necessarily be performed taking into account wave energy arriving from regions outside the area of particular interest. This is specially required when modelling waves in coastal waters.

During the Northern hemisphere summer, winter (southern hemisphere) storms generate waves in the Antarctic and the South Pacific oceans which may travel long distances eventually arriving at the our area of interest (mexican coasts). This swell component has been proven to be a significant contribution to the total wave energy and possibly influence specific processes while the sea spectrum develops (local wave field).

In order to include swell in a regional wave analysis, coastal waters wave hindcast for instance, oceanic grid model runs must be implemented, which obviously will be too coarse for the detail required near the coast. Finer nested grids might solve the resolution problem, however, at the expense of increasing computer power requirements.

Radar images on the other hand, may give detailed sea surface information in coastal waters. As snapshots they provide instantaneous characteristics of

surface-related phenomena as a function of space. Therefore, wave field description along the coast might be achieved from precision radar images. In the attempt of estimating the ocean wave problem, a not straightforward inversion has been used to infer wave spectrum from SAR image spectrum, since there is a modulation transfer function involved [1].

As an approximation, we oversimplify the problem and take into account the total wave energy provided by the model to scale the image spectrum at the edge of the SAR image. This implies of course to assume, as a first approximation, linear mapping between the SAR image and the wave spectra.

An aspect of the usefulness of ERS data is clearly demonstrated. The wave directional structure and its variation in the coastal region over distances of the order of tenths of kilometres, are key information to keep and exploit from the satellite provided data.

2. BACKGROUND

Measuring the spectrum of ocean waves from space was strongly questioned for some time. Nevertheless, synthetic aperture radars were considered useful in providing adequate information to observe ocean surface waves. Much effort was devoted in understanding the basic imaging mechanisms for the radars to detect waves. The theory was developed [2] to solve the direct problem (estimate image spectra from wave spectral information), such that it has been already successfully applied [3]. Furthermore, some analysis of the modulation transfer functions have been detailed [4, 5, 6, 7]. The inverse problem however, was still not possible to resolve under this approach.

Recently, a new method was achieved to solve the inverse problem through integral spectral transformation [8]. This method requires iterations between wave and image information, and a first guess ocean wave spectrum generally provided by a numerical wave prediction model. A relative simplification has been already obtained [9] which still requires a first guess wave spectrum and the procedure of minimizing a cost function.

We propose an oversimplified procedure, to estimate directional wave spectrum from SAR image spectrum through direct scaling. This technique might be useful for quick and operational purposes for estimating wave characteristics in coastal waters. A wave model is used to provide a scaling factor with

a radar image spectrum offshore, in order to further scale image spectra in the coastal region to infer wave characteristics near shore.

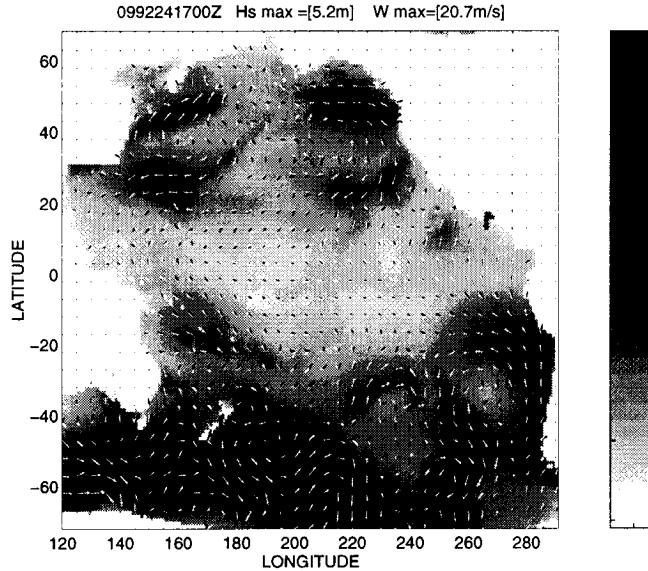


Figure 1: Map of significant wave height as example of model results where the model grid domain is also shown. Arrows indicate wave (black) and wind (white) direction for September 24, 1992 at 17:00 hrs. The resolution is 1° by 1° for this coarse grid. Some areas like the West of Japan, North of Australia, Gulf of Mexico and North East Atlantic are masked as land. Gray-tones bar indicates wave height in m.

2. THE WAVE MODEL AND ITS IMPLEMENTATION

The WAM model (*Cycle 4*) [10] is run in an HP 712 workstation. This model solves the wave transport equation explicitly without any *ad hoc* assumption on the shape of the spectrum. The spectral energy density F evolves as given by

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \mathbf{C}_g \cdot \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}} F = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} \quad (1)$$

where $F = F(\omega, \theta, \mathbf{x}, t)$ is a function of wave frequency (ω) and direction (θ), position(\mathbf{x}), and time (t), and its variation is balanced by the source functions S_{in} which is associated to the wind input, S_{nl} related to the energy transfer due to the non-linear wave-wave interaction, and S_{ds} describing the energy dissipation. The group velocity is denoted by \mathbf{C}_g . The model has been implemented to run on a coarse grid covering most of the Pacific Ocean. This oceanic grid is shown in figure 1, where some land masked regions can be observed, like the West of Japan, North of Australia, Gulf of Mexico, and the North East Atlantic. A resolution of 1° by 1° results in a 172 by 141 grid points mesh from 120° E to 69° W and 72° S to 68° N. The grid points where directional spectra information is written are shown as asterisks. Table I shows the most important parameters used for the model runs.

The model forcing field is hourly wind analysis provided by the United Kingdom Meteorological Office

(UKMO), with spatial resolution $\Delta_{lat} = 0.833^\circ$ and $\Delta_{lon} = 1.25^\circ$. Hindcast is performed for the time period 1 – 25 September 1992.

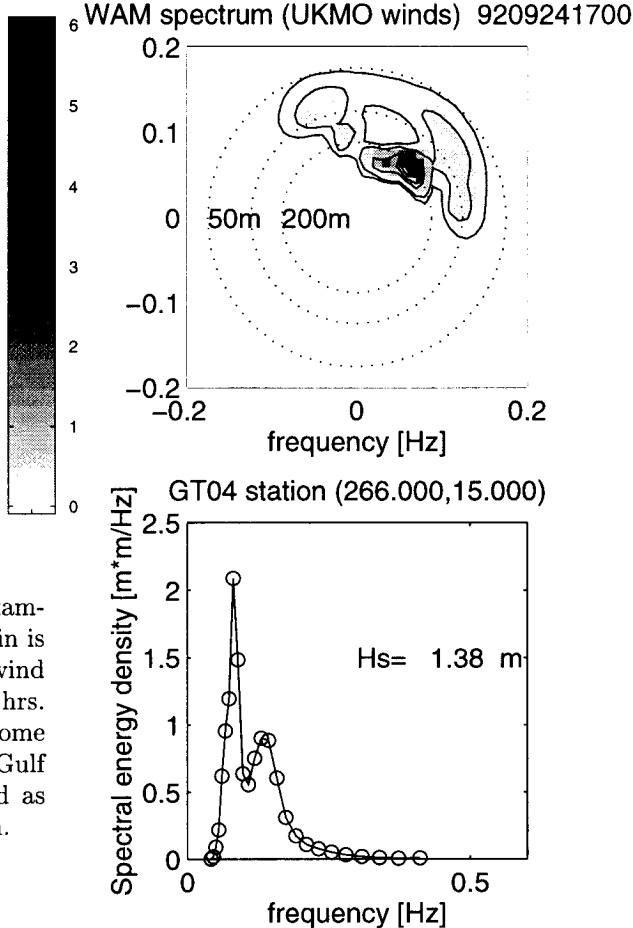


Figure 2: Wave spectra for the Gulf of Tehuantepec region modelled for September 24, 1992 at 17:00. Output is for station located at 94° W and 15° N. Top) Directional spectrum. Gray levels are spectral energy density in $m^2/Hz/deg$. Contours are for 0.01 and $0.1 m^2/Hz/deg$. Dotted circles represent the locus for wave components with 50, 100, and 200m wavelength. Bottom) Frequency spectrum. Significant wave height H_s is shown in the central right portion of graph.

3. RESULTS

An example of model results is shown in figure 1 for 17:00 hrs of September 24, 1992. Important wave generating areas can be depicted in the Antarctic Ocean and some others in the North Pacific. Spatial resolution is 1° by 1° , however, arrows to indicate wave and wind directions are plotted every 5 grid points for a clearer picture.

Wave directional spectrum is also shown as example of model results for an offshore station (94° W and 15° N). Figure 2 indicates a modelled wave field with a mean propagation direction to 30° (clockwise from North) and a significant wave height of slightly less than 1.4 m. The location is close to the centre of an

Table I. Grid characteristics and parameters used for WAM runs on the Pacific Ocean

Description	Values
Latitude limits	72°S 68°N
Longitude limits	120°E 69°W
Grid points	172 141
Spatial resolution	1° 1°
Number of frequency bands	25
Number of direction bands	30
Wind input time step	3600s
Propagation time step	1800s
Integration time step	3600s
Wind output time step	3600s

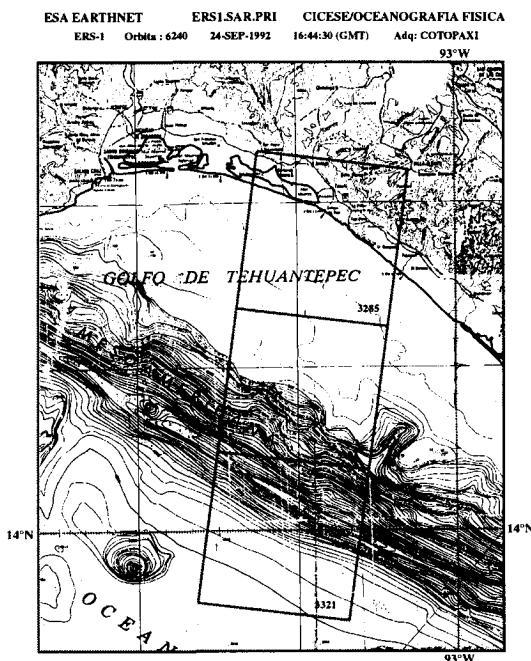


Figure 3: Location for frames of orbit 6242 of ERS-1 SAR in the Gulf of Tehuantepec, México.

ERS-1 SAR image acquired at 16:44 on the same day (see below), where the spectrum is to be estimated from.

Location of three frames of ERS-1 SAR orbit 6240 is shown in figure 3. Coastline and bathymetry for the Gulf of Tehuantepec are also shown.

Image spectrum is estimated from a set of 9 subimages centered at 94°W and 15°N of frame 3303. Trend removal, cosine window tapering, 2 by 2 pixel smoothing, 9 (512 by 512) subimage spectra averaging, and 4 adjacent bands average result in a 72 degrees of freedom spectral estimates. Energy spectrum as a function of wavenumber (K_x in range, and K_y in azimuth directions) is illustrated in figure 4. Spectral peak wave components have approximately 200 m wavelength propagating to about 30° (consider satellite path about 9° from North). A secondary wave field can be depicted with wavelength slightly shorter than 100 m propagating with 315° direction. This image spectrum can be scaled to represent a 1.38 m H_s wave field, while maintaining all directional structure information.

Spatial resolution to describe the wave field near the

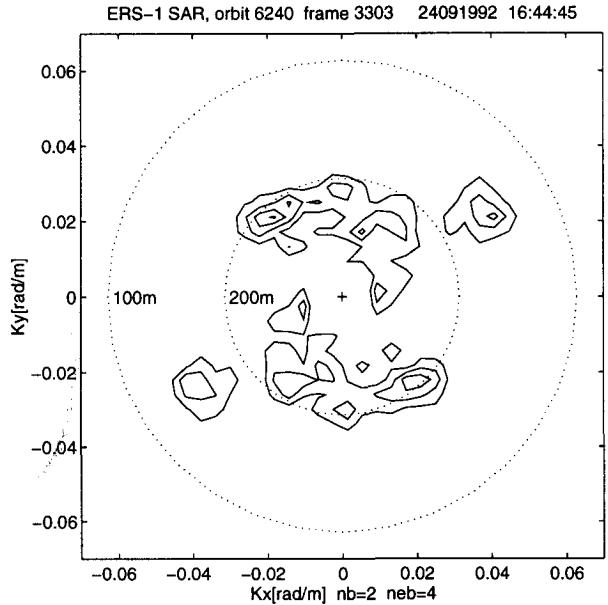


Figure 4: Normalized image spectrum from frame 3303, orbit 6240, of ERS-1 SAR acquired on September 24, 1992 at 16:44 (GMT) in the Gulf of Tehuantepec, México. Spectral estimate is actually from 9 subimages centered at 94°W and 15°N. Contours are from 0.2 in 0.1 increments.

coast might be adequate in some SAR images like the one shown in figure 5. Frame 3285 of orbit 6240 SAR image is used to estimate wave spectral characteristics near the coast in the Gulf of Tehuantepec, México. Some Chiapas mountains can be observed as well as coastal lagoons in this image. Along the coast, well within the 100 m depth contour, 15 subimages (512 by 512 pixels) were obtained. Spectral procedures and the scaling parameter are applied to each subimage in order to infer directional wave spectra in the coastal region.

Spectra have been obtained from subimages numbered from 1 to 15 in the image. Each subimage is 512 by 512 pixels, and 4 by 4 averaging of the resulting raw spectra provides final spectra with 32 degrees of freedom. An example is shown in figure 6, where the procedure can be illustrated. A 2 by 2 smoothing filter is applied to the original subimage a), after trend removal and Hanning window tapering subimage b) is obtained. FFT procedures are applied to estimate 4 by 4 average spectra.

Wave spectral information can then be estimated in the nearshore region along the coast. Spatial variations from these spectra can be observed. Key parameters like spectral peak wavelength and significant wave height can easily be obtained as a function of distance along the coast. In figure 7, these two parameters are plotted relative to the subimages. Spectral peak wavelength varied from 150 to 220 m approximately, while the significant wave height varied between 1.5 to 3 m.

It seems obvious that not all subimages were adequate for the FFT processing, therefore some wave parameters are missing. Specially those from subimages near the coastal lagoon opening in the centre of the image (subimages 9 and 10) where apparently distinct water from the inlet dominates the scene.

ESA EARTHNET

ERS1.SAR.PRI

CICESE/OCEANOGRAFIA FISICA

24-SEP-1992 16:44:30 (gmt) Arriaga, Mar Muerto, Oaxaca Golfo de Tehuantepec

Orbita: 6240 Cuadro: 3285 Tamaño de Pixel: RA:12.5m AZ:12.5m Adq:COTOPAXI

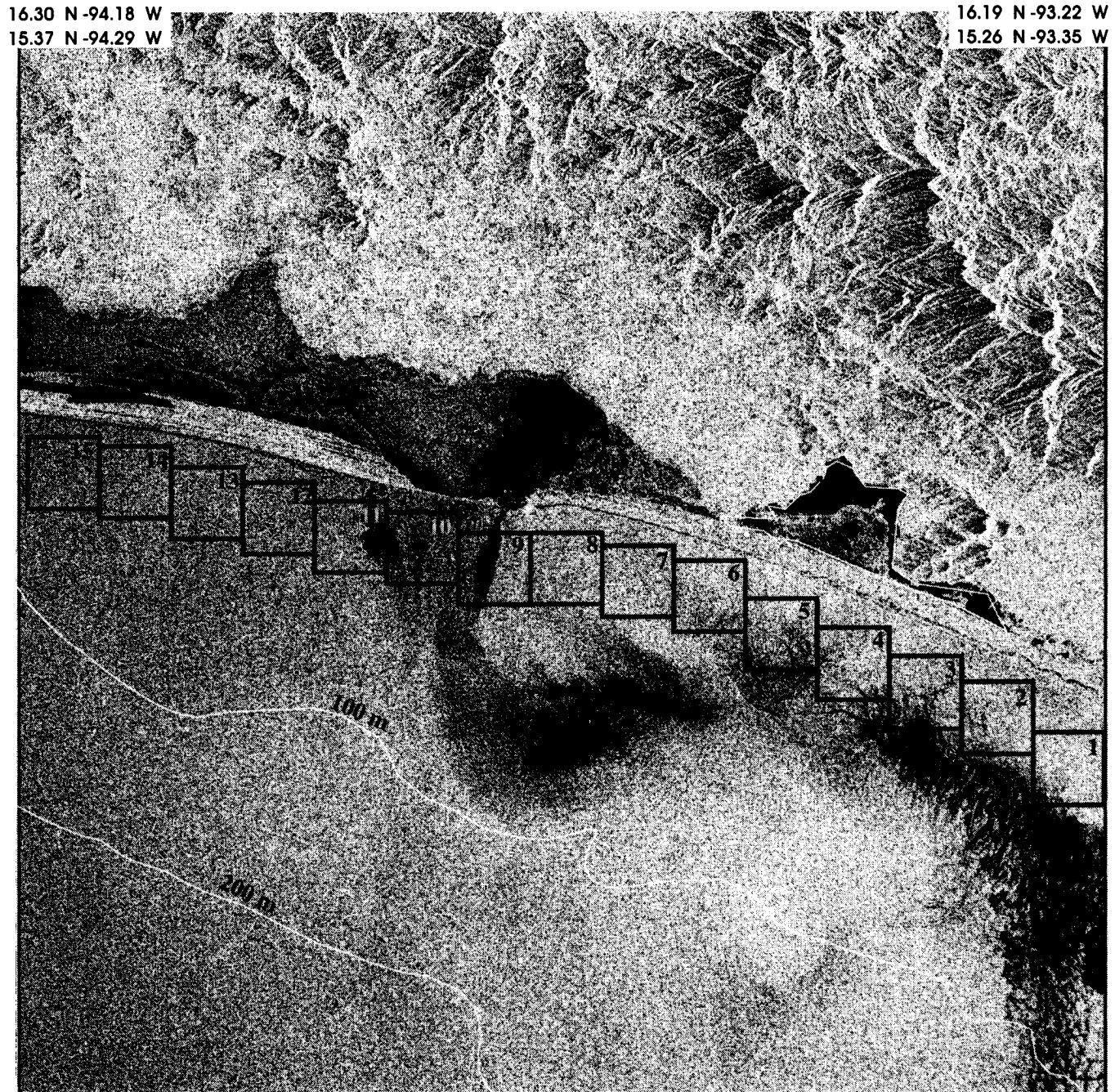


Figure 5: ERS-1 SAR image (orbit 6240, frame 3285) for the Gulf of Tehuantepec region acquired by Cotopaxi Station on September 24, 1992 at 16:44. The coastline is well depicted and the 15 subimages for spectral calculations are shown. Bathymetric contours for 100 and 200 m are included.

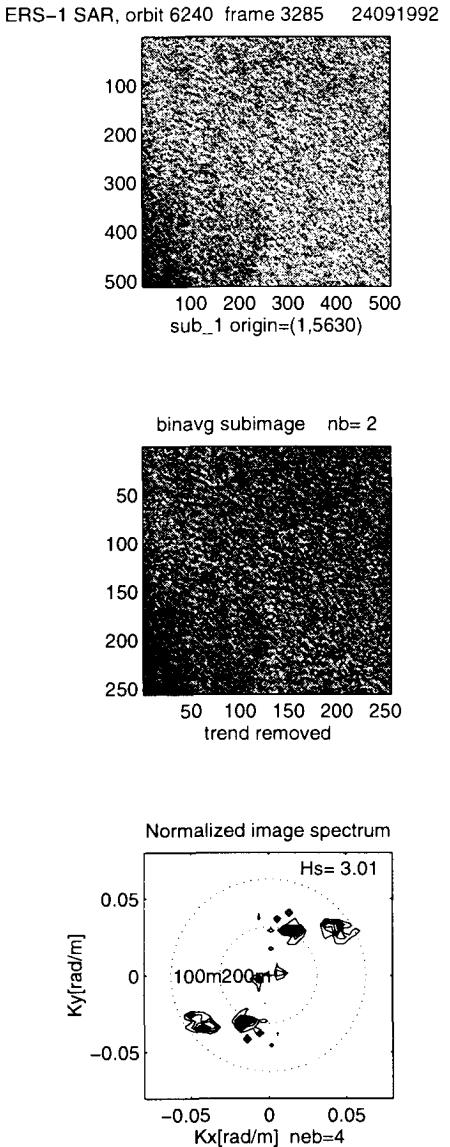


Figure 6: ERS-1 SAR subimage number 1 (a) from orbit 6240, frame 3285 for the Gulf of Tehuantepec. b) after 2 by 2 averaging and trend removed, and c) normalized spectrum (contours are from 0.2 in 0.1 intervals)

4. DISCUSSION AND PLANS FOR FURTHER WORK

Oversimplification of the transfer problem between wave and image information might be a shortcoming of the proposed procedure. However, it is a feasible way of providing quick and practical information in regions where there is none otherwise. In particular, the spatial resolution of SAR images is to be exploited. Spatial variation of the wave field is a commonly observed feature in SAR images of coastal regions, therefore is not difficult to believe that spectral analysis will also show detailed characteristics of the important wavenumber components of the wave field.

Wave refraction and shoaling processes are not yet properly included in common spectral models. This

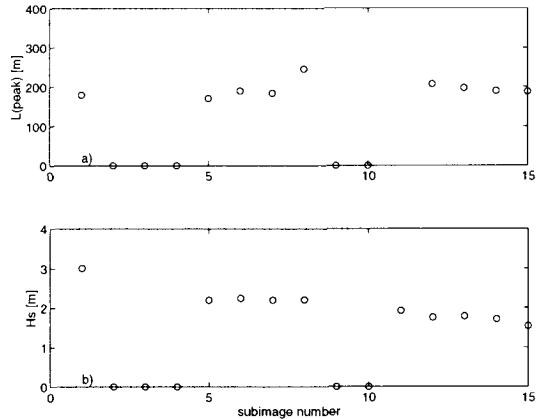


Figure 7: Results of wave characteristics obtained from subimages of a ERS-1 SAR scene in the Gulf of Tehuantepec (frame 3258, orbit 6240). a) Spectral peak wavelength and b) Significant wave height.

might be a fair reason to adopt the idea of exploiting the SAR imaging capabilities and wave models for deep to intermediate water, to jointly provide the required wave spectral information near the coast. The wave field directional structure from the model results is quite similar to the SAR inferred wave field, of course this is referred to in spectral terms. This is certainly true for the case of the subimage spectra at the open ocean edge of the SAR image. We plan to apply one of the available inversion methods to infer wave spectra, including the nonlinear features associated to the mapping schemes and the full transfer functions, in order to validate the results from our direct technique.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank Martin Holt (UKMO) for providing the wind fields, and Klaus and Susanne Hasselmann and the rest of the WAM group for making *Cycle 4* of the WAM model widely available. The assistance of S. Ramos in preparing some figures is gratefully acknowledged. ERS-1 data has been provided by ESA through Pilot Project PP2-JP2(MXOT1361). Support has been provided by the Commission of the European Communities (CI1* - CT93-0061) and CONACyT, México (3993-T9402).

References

- [1] C. Brüning, S. Hasselmann, K. Hasselmann, S. Lehner, and T. Gerling. A first evaluation of ers-1 synthetic aperture radar wave mode data. *The Global Atmosphere and Ocean System*, 2:61–98, 1994.
- [2] K. Hasselmann, R. K. Raney, and M. J. Tucker. Theory of synthetic aperture radar ocean imaging: A marsen view. *J. Geophys. Res.*, 90:4659–4686, 1985.
- [3] C. Brüning, W. Alpers, and K. Hasselmann. Monte-carlo simulation studies of the nonlinear imaging of a two dimensional surface wave field by a synthetic aperture radar. *Int. J. Remote Sens.*, 11:1695–1727, 1990.

- [4] W. Alpers and K. Hasselmann. The two-frequency microwave technique for measuring ocean-wave spectra from an airplane or satellite. *Boundary Layer Meteor.*, 13:215–230, 1978.
- [5] R. K. Raney. Wave orbital velocity, fade, and sar response to azimuth waves. *IEEE J. Oceanic Eng.*, OE-6:140–146, 1981.
- [6] F. J. Ocampo-Torres and I.S. Robinson. Wind wave directionality effects on the radar imaging of ocean swell. *J. Geophys. Res.*, 95:20347–20362, 1990.
- [7] R. Romeiser, A. Schmidt, and W. Alpers. A three-scale composite surface model for the ocean wave-radar modulation transfer function. *J. Geophys. Res.*, 99:9785–9801, 1994.
- [8] K. Hasselmann and S. Hasselmann. On the linear mapping of an ocean wave spectrum into a synthetic aperture radar image spectrum and its inversion. *J. Geophys. Res.*, 96:10,713–10,729, 1991.
- [9] H. K. Krogstad, O. Samset, and P. W. Vachon. Generalizations of the non-linear ocean-sar transform and a simplified sar inversion algorithm. *Atmosphere-Ocean*, 32(1):61–82, 1994.
- [10] G. J. Komen, L. Cavalieri, M. Donelan, K. Hasselmann, S. Hasselmann, and P. A. E. M. Janssen. *Dynamics and modelling of ocean waves*. Cambridge University Press, 1994.

OCEANOGRAPHIC FEATURES IDENTIFICATION IN THE ABROLHOS REGION, BRAZIL, THROUGH ERS-1 SAR IMAGES

Glauber Acunha Gonçalves
Carlos Alberto Eiras Garcia

Laboratório de Oceanografia Física
Departamento de Física
Universidade do Rio Grande
Av. Itália, km 8 s/n - CP 474 - CEP 96201.900
fone/fax +55 (532) 30 1194
e-mail glauber@calvin.ocfis.furg.br

ABSTRACT

A set of SAR images of the "Parque Nacional Marinho de Abrolhos" has been digitally processed in order to recognize ocean features such as waves, currents, eddies, bottom topography and ship trajectories. In this paper, we describe the result of a series of tests using different algorithms in order to enhance these oceanographic features in the region.

1. INTRODUCTION

The use of SAR images for the study of a great variety of oceanographic characteristics has been described for some years. It is known that theoretical models according to which bathymetry, surface currents, eddies, surface waves, internal waves and ship trajectories, among others, conform radar cross-section and, in many instances, such patterns can be seen clearly in such images. Also algorithms for digital processing of the images are largely prescribed. They consist of filters and operators applied for noise reduction as well as to enhance and detect features present in the image. Additionally, due to the complexity of coastal environment, coast vastness, little knowledge of coastal process and, finally, due to cloud covered, which is a limiting factor in several areas for the use of conventional sensors, the ocean area close to the Brazilian coast presents excellent conditions to be sampled by SAR. The above picture motivated the present work which aims (i) to develop a suitable image processing method, (ii) to evaluate a series of filters and processors, which are known and described in the related literature, (iii) and to apply this methodology to a Brazilian coastal area whose images were obtained by AMI sensor of ERS-1.

2. THE AREA OF STUDY

In order to carry out the analysis, two couple of images obtained by ERS-1 during successive passages in the winter of 1992 are available. The images were processed in Oberpfaffenhofen, Germany. The region covered by the SAR images is located at the Abrolhos complex. In this area, there are groups of reefs, a small archipelago of volcanic islands, as well as sand banks, surrounded by channels. These bathymetric features are placed in an enlarged region of the Brazilian continental shelf (16° - 19° S, 37° - 39° W), as shown in Fig. 1. In this region is located the Parque Nacional Marinho de Abrolhos, which is an area of ecological preservation (Leão, 1982).

3. METHODOLOGY

The methodology employed in the analysis can be summarized by the diagram of Fig. 2.

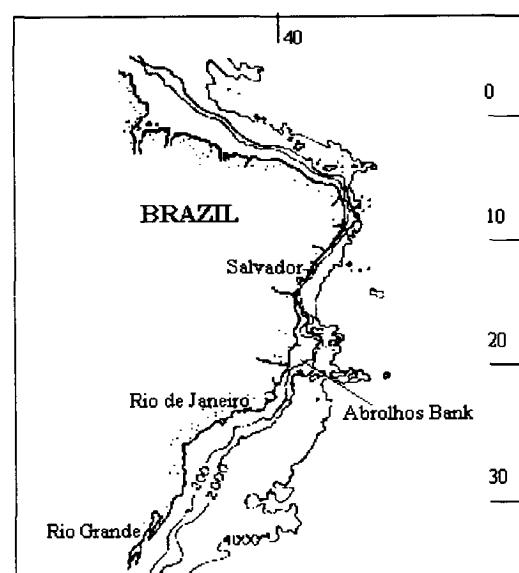


Figure 1 - Map of Abrolhos region

The images. The available images which are classified by ESA as PRI model (PRrecision Images) have been gone through some basic corrections, such as the projection plane due to the sensor side look, with pixel resolution of 12.5×12.5 m (ESA, 1992). Nevertheless, for the present work, the images were sampled by 2-pixel, resulting in mean a pixel of 25×25 m. The radiometric resolution was also degraded to 8 bits for image processing to be more effective in low cost computer platforms.

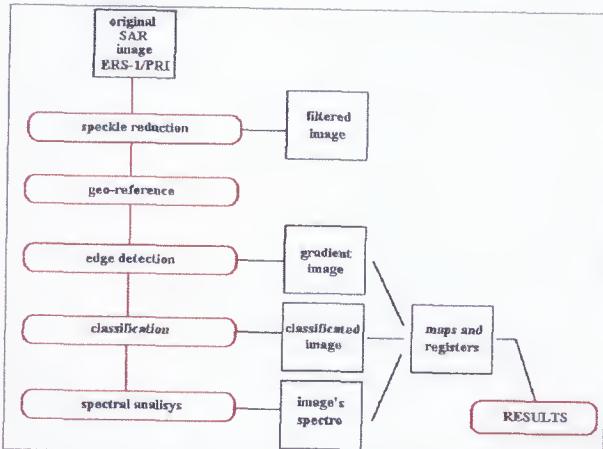


Figure 2 - Methodology of SAR image processing employed

Evaluation of the speckle filters. In the pilot image shown in Fig.3, which includes the five islands of Abrolhos Archipelago, the following filters were applied: mean, median, local region, Lee, Sigma, Crimmins, Wiener, Hommomorphic, Frost and MAP, (Jain, 1989; Press, 1988; Pratt, 1990 e Thompson e Shune 1995). In order to evaluate the filters performance, an adaptation of the methodology proposed by Sant'Ana and Mascarenhas (1995) was utilized by (i) using a measure that indicates the degradation of the resolution, and (ii) another that indicates noise-signal rate (as a function of the coefficient of variation of small homogeneous image areas) after the image had been filtered. The analysis indicated that MAP, mean, Sigma, Crimmins and Hommomorphic (in this order) are effective filters. An idea of the visual gain with the methodology applied can be seen by comparing Fig. 3 (original image test) and Fig.4 (image filtered by MAP).

Image geo-reference. After noise minimization, the image was geo-corrected so it can be easily comparable with nautical charts of the region. The cubic convolution sampling of the geographic projection of the latitude/longitude, based on the international reference spheroid, showed good agreement with the coordinates of the Archipelago of Abrolhos islands. The largest deviation was only 0.25 minutes, sufficiently precise for the analyzed region.

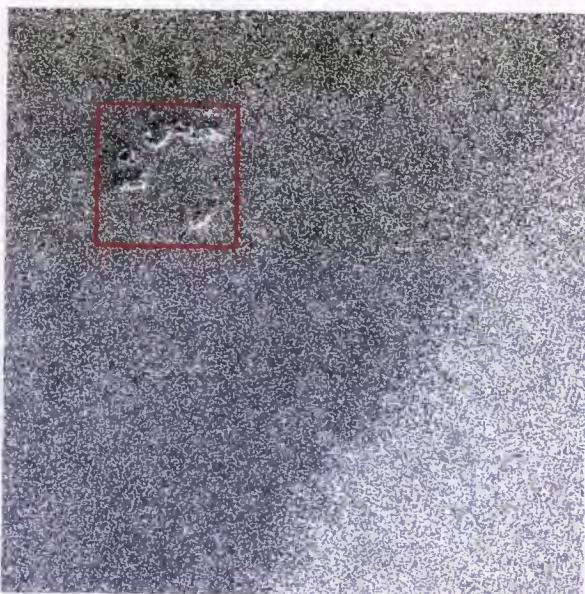


Figure 3 - Original SAR-ERS-1 image from Abrolhos region

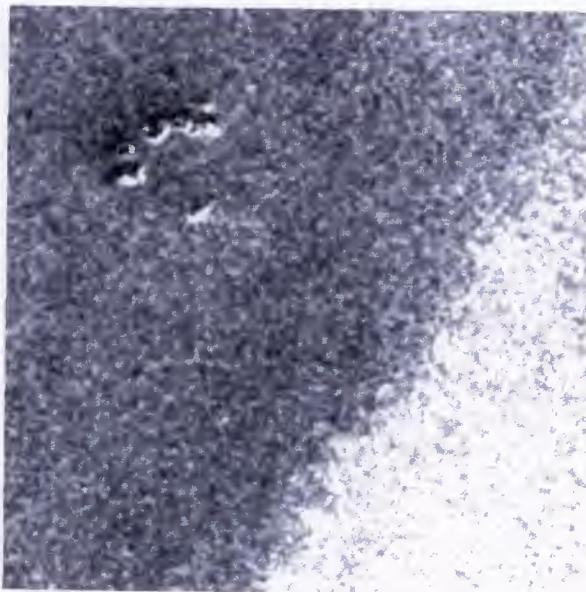


Figure 4 - Image of Figure 3 filtered by MAP algorithm

Evaluation of the border detector operators. On the same image test, now filtered by MAP for the reduction of speckle noise, the following border detector operators were employed: gradient operator (Robert, Prewitt, Sobel and Isotropic), directional operator, stochastic operator and first direction derivative operator to the symmetric exponential filter (cfe. Jain, 1989; Thompson e Shune 1995; Lichtenegger, 1988). In order to evaluate the performance of the above mentioned operators, a methodology analogous to the one which measured the resolution degradation by the speckle reductor has been used, and it involves the counting of

pixels that were correctly detected as a border or non-border of the image. The evaluation of the fitness is made by comparison with the ideal synthetic image, where only the islands were perfectly delimited. The results indicated the first direction derivative operator to the symmetric exponential filter as the most effective for the detection of the main gradients in the image (Fig.5), with good tolerance despite the presence of speckle noise on the image. The stochastic operator also presented a good performance, although slightly worse than the direction derivative one.

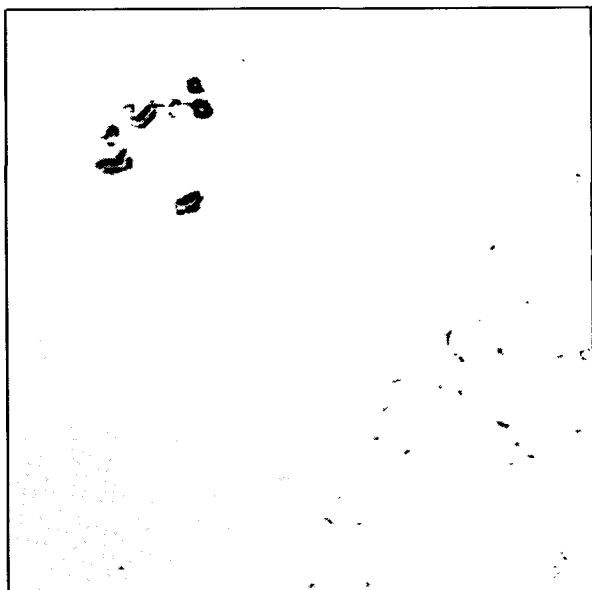


Figure 5 - Edges detected by first directional derivative operator to the symmetric exponential filter

Textural classifiers The visual determination of some features of the image that were not detected by the edge detectors induced us to perform a classification in the image with the objective of precisely delimiting these areas. Once the conventional supervised classifiers were not effective for this delimitation, textural operators were employed both using the variance operator and the auto-correlation function which presented very good results. The latter was considered as the most effective in such operation. Fig.6 shows the results of this test image classification.

Spectral analysis: With the use of the textural classifier it was possible to recognize an image area where a pattern similar to wave fronts was present. A small sample area of 6.5×6.5 km was extracted from this region for spectral processing. Figure 7 shows this sample and its spectrum, where one can observe a component of high spectral power in a direction close to 20 degrees northeast/southeast.

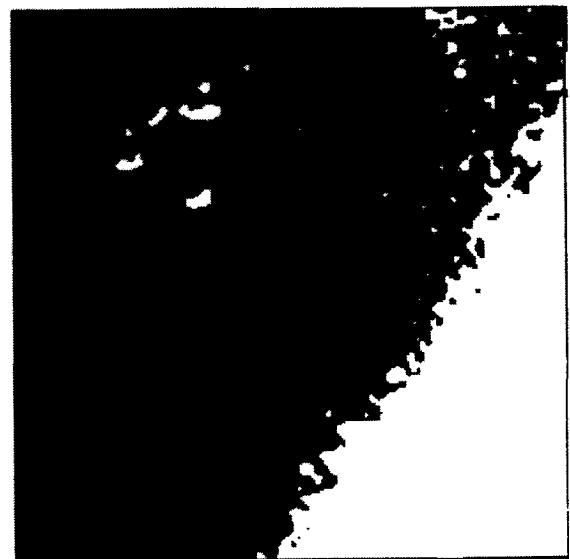


Figure 6 - Classification of test image by textural operator

Plane of crossing information for the interpretation of the detected figures: Once the best performance elements, among those presented above, were applied to the available sets of images, a group of images were obtained for comparisons with a nautical chart as well as registers of sources such as technical reports and other publications (Leão, 1982; IBAMA, 1995).

4. RESULTS

Identified figures by the border detector. From the results obtained by the edge detector operation as well as the morphologic processing of erosion and enlargement, we tried to eliminate patterns of very small amplitude as well as to agglutinate other ones that were spatially close. In this way, it was easy to identify the boundaries of Archipelago of Abrolhos islands, (Fig. 5), and also the trajectory of two ships in opposite directions (Fig. 8).

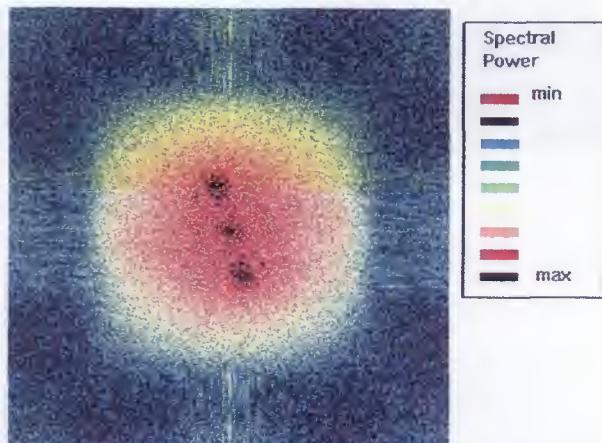
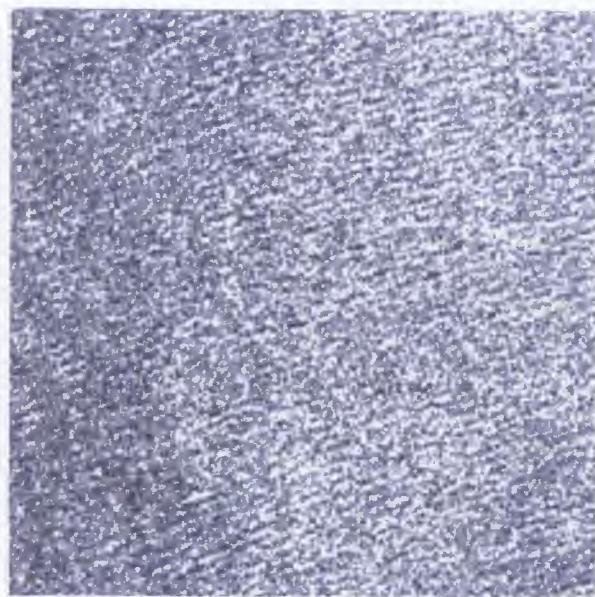


Figure 7 - Wave front present in a sample of the original image and its spectro.

Fig. 9 shows a qualitative comparison between an AVHRR/NOAA image of the same day (but two hours apart) and the SAR image. One can observe an intensive cloud coverage over the region, postulating rain, which alters the backscatter signal. The oblique lining present in the image, as shown in the Fig. 9, may be associated with the atmospheric front arrival.

Textural classifier results. The textural classifiers were not able to show up the presence of the Brazilian Current front, mainly because of the dense clouds covering the region during this day. Nevertheless, the presence of a sand bank in waters where the depth is less than 20 m can be easily identified.

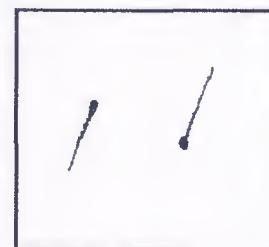
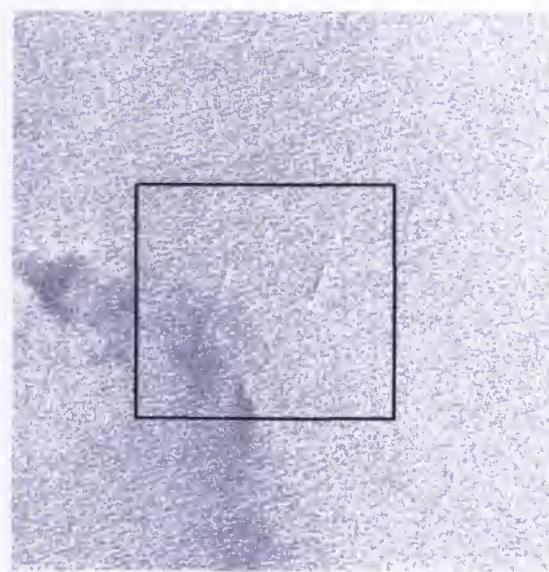


Figure 8 - Ship trajectories detected by edge detectors

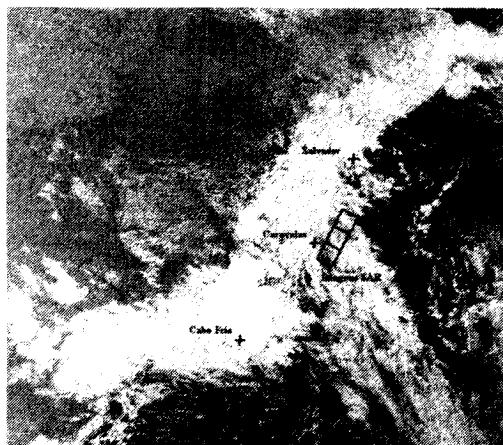
Spectral analysis of the image. As mentioned, in some parts of the image it was noticed the presence of a pattern analogous to wavefronts. Spectral analysis showed that the region of higher spectral power is present in the following frequencies: $3.125 \text{ E-}03 \text{ m}^{-1}$ and $7.969 \text{ E-}03 \text{ m}^{-1}$. This indicates the presence of gravity surface waves with wavelength close to 110-120 m in a 21° southeast/northeast direction.

5. CONCLUSION

Based on the present work, which is pioneer in the use of SAR/ERS-1 images for oceanographic applications in Brazil, it was possible to recognize several oceanographic features in the region analyzed. Consequently, one can certainly indicate the use of these images in the future in order to make a more precise evaluation of SAR image applications, specially in regions where atmospheric and oceanographic information from others sources are available.

6. REFERENCES

- ESA, 1992. ERS-1 Users handbook. ESA sp 1148.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente. 1993. O Parque Nacional Marinho de Abrolhos. Caravelas, Brazil.
- Jain, A. K., 1989. Fundamentals of digital image processing. Prentice Hall.
- Leão, Zenilda M.A.N., 1982. Morphology, Geology and Developmental History of the Southernmost Coral Reefs of Western Atlantic Abrolhos Bank, Brazil. PhD thesis of University of Miami, Coral Gables.
- Lichtenegger, J. e Dallemand J. F., 1988. Principles of RADAR imagery. *Lecture Notes*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Pratt, W. K., 1992. Digital image processing, John Wiley & Sons.
- Press, W. H., 1988. Numerical Recipes in C. Cambridge University.
- Sant'Anna, S. J. S. e Mascarenhas, N. D. A., 1996. Comparação do desempenho de filtros redutores de speckle. *VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto Procedings CD*.
- Thompson, C. M. e Shure, L., 1995. Image processing toolbox for use with Matlab, The Math Works Inc.



AVHRR NOAA 10 - band 2 - 07/21/92

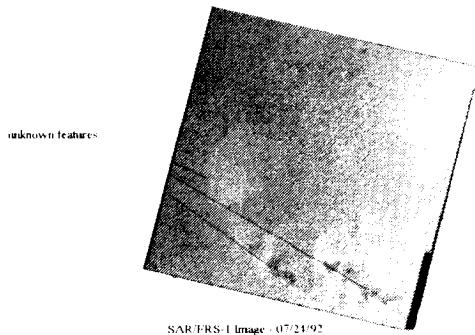


Figure 9 - Comparison between SAR/ERS-1 and NOAA/AVHRR images



ZONAS DE REPOBLAMIENTO DE RECURSOS BENTONICOS EN LA REGION DE VALPARAISO, CHILE, A TRAVES DE IMAGENES ERS-1 Y SPOT¹

María Angela Barbieri B.^{2,3} y Claudio Silva G.²

²Escuela Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso
Casilla 1020, Valparaíso, Chile
fono-fax: 280402, e-mail: eyanez@aix1.ucv.cl

³Instituto de Fomento Pesquero
Casilla 8-V, Valparaíso, Chile
fono: 212630, fax: 213178, e-mail: mabarbie@ifop.cl

ABSTRACT

ERS-1 and SPOT images of the coastal zone of the region of Valparaíso (33°S and $71^{\circ}30'\text{W}$), are digitally processed to identify oceanographic characteristics as exhibition and protection zones to the surf and wind, turbidity, in order for determine capable zones for repopulation of benthonics species. In this work, the obtained results from a series of test for the algorithms are described.

The ERS-1 images already digitally tried are classified in 10 categories to discriminate the protected zones of the exposed ones to the wind and surf. Starting from the transformation of the SPOT image a new image is obtained which classify the turbidity representing the marine zone under study. The transformation technics RGB-IHS is used, the turbidity image is transformed to Intensity, Hue and Saturation, the intensity component is replaced by the ERS-1 image, and this scene is transformed in reverse form. This technic entirely combine both types of data, the resulting image represent a classification of the protection and turbidity zones. The used image allows to determine to the surf exposed zones which in conjunction with the ground true data such as type of substrate capable and the bathimetric, allows to determine the capable zones for repopulation of locos, specie which lives in exposed zones.

I. INTRODUCCION

El uso de imágenes satelitales en estudios de planificación y gestión de actividades pesqueras se ha desarrollado desde hace algunos años. Existen modelos teóricos utilizados principalmente para: determinar zonas probables de pesca a partir de imágenes de temperatura superficial de mar obtenida de satélites NOAA (Barbieri *et al.*, 1989); selección de sitios aptos para el cultivo y repoblamiento de especies marinas, establecimiento de puertos y plantas de proceso trabajando con imágenes de alta resolución como es el caso de las obtenidas por el satélite SPOT. Por otra parte, es conocido el uso de imágenes SAR en el estudio de características oceanográficas como batimetría, corrientes superficiales, corrientes internas, eddies, ondas superficiales y ondas internas. De acuerdo con el marco de referencia del Proyecto Satal II, se trabaja con caletas de pescadores artesanales de la región de Valparaíso, Chile, con el objeto de determinar zonas aptas para el repoblamiento de especies bentónicas aplicando para ello la integración de imágenes SPOT - ERS-1. Para tal efecto se (i) analizan las características ambientales de la zona en estudio a través del procesamiento de imágenes satelitales y datos de campo obtenidos de muestreos *in situ*, (ii) localizar zonas aptas para el repoblamiento a través de la integración de imágenes ERS-1 y SPOT y datos de campo.

¹ Proyecto SATAL II, Grant UCV (Chile) - CIID (Canadá): Centre File 92-0610.

AREA GEOGRAFICA EN ESTUDIO

Para llevar a cabo el análisis, se empleó una imagen obtenida por ERS-1 en mayo de 1992 y una imagen SPOT de diciembre de 1986. El área cubierta por las imágenes se ubica en la zona costera de la región de Valparaíso, entre las latitudes $32^{\circ}40'$ y $33^{\circ}10'S$ y longitudes $71^{\circ}20'$ y $71^{\circ}55'W$. La región costera se caracteriza por la presencia de la desembocadura de un río, bahías, puntas y penínsulas, en donde se localizan caletas rurales. Se selecciona la zona en estudio debido a la disponibilidad de áreas de manejo de especies bentónicas, establecimientos acuícolas y datos de muestreos *in situ*.

2. METODOLOGIA

2.1 Información analizada

La información proviene de dos fuentes: (i) **imágenes satelitales**: la imagen ERS-1 disponible es clasificado por ESA como modelo PRI (PRrecision Images), las cuales presentan correcciones básicas, como la proyección plana debido a la vista lateral del sensor, con un tamaño de pixel de 12.5×12.5 m. La imagen multiespectral SPOT con una resolución espacial de 20 m, presenta un nivel de preprocesamiento de correcciones radiométricas y geométricas. (ii) **Datos de campo**: corresponden a las características bióticas y abióticas de la zona en estudio (batimetría, distribución espacial de especies, tipo de fondo, TSM, oxígeno disuelto, salinidad, transparencia y otros).

2.2 Tratamiento digital de imágenes

Se utilizan criterios visuales (tono, color, textura, situación espacial, formas) para interpretar las imágenes. Para hacer más interpretables las imágenes de radar ERS-1 se analizan los siguientes filtros para reducir el speckle: media, mediana, Lee-Sigma, región local, Lee, frost y Map, en ventanas de 3×3 calculando el coeficiente de variación del speckle. Este análisis conduce a la selección del filtro más efectivo para los objetivos propuestos. A la imagen SPOT se le aplicó el filtro convolution para realzar bordes. El set de datos raster obtenidos de los sensores remotos se introducen, visualizan, manipulan y analizan utilizando el software de tratamiento de imágenes ERDAS IMAGINE.

2.3 Georreferencia de las imágenes

A partir de las imágenes previamente tratadas, minimizadas de ruido y realzadas, se procede a las

correcciones geográficas de las imágenes, llevándolas a una proyección comparable con las cartas náuticas de Chile. A partir de los puntos orbitales de referencia (las cuatro esquinas y el punto central de la imagen) y de 15 puntos de control obtenidos del vector de línea de costa se rectificó la imagen SPOT. Luego se ejecutó un remuestreo (resampling) de convolución cúbica de la proyección geográfica de latitud/longitud, basada en el sistema internacional de referencia esferoide, obteniendo desviaciones entre 0.6 y 0.8 minutos, suficientemente preciso como para los objetivos propuestos. A partir de la imagen SPOT georreferenciada se logró georreferenciar la imagen ERS-1 para poder superponer e integrar ambas imágenes.

2.4 Transformaciones de la imagen

Se utilizan operaciones para crear bandas artificiales, a partir de combinaciones entre las originales, estas transformaciones están dirigidas hacia la clasificación temática visual o digital de la imagen multiespectral SPOT. Las relaciones utilizadas para la aplicación de la teledetección al manejo del medio ambiente costero, están dirigidas a la determinación de los siguientes objetos litorales: vegetación inmersa a través del índice de turbidez (Ben Moussa, 1987).

2.5 Clasificación digital

Se utiliza la técnica de entrenamiento no supervisado con 10 y 15 clases. En este método de agrupamiento espectral, se emplea la técnica de clasificación automática de datos ISODATA (Duda y Hart, 1974).

2.6 Determinación de zonas aptas para repoblamiento

Re poblamiento es la acción que tiene por objeto incrementar el tamaño o la distribución geográfica de la población de una especie hidrobiológica, por medios artificiales. Para la selección de zonas aptas para el repoblamiento de recursos bentónicos como el loco (*Concholepas concholepas*), erizo (*Loxechinus albus*), se deben determinar los criterios ambientales necesarios para llevar a cabo dicha actividad. Estos criterios se obtienen a partir del procesamiento de imágenes de satélites ERS-1, SPOT, NOAA y datos de campo de la zona en estudio.

La imagen ERS-1 ya tratada digitalmente se clasifica en 10 categorías para discriminar las zonas protegidas de las expuestas al viento y oleaje. A partir de la transformación de la imagen SPOT se obtiene una

imagen clasificada de la turbidez que presenta la zona marina en estudio. Se utiliza la técnica de transformación RGB-IHS, para ello la imagen de turbidez es transformada a Intensidad, matiz y saturación, la componente intensidad es reemplazada por la imagen ERS-1, y esta escena es transformada en forma reversa. Esta técnica combina integralmente los dos tipos de datos, la imagen resultante representa una clasificación de zonas de protección y turbidez.

3. RESULTADOS

3.1 Transformaciones de la imagen

La sub-imagen en gris mostrada en la Fig. 1B presenta los resultados obtenidos para el índice de turbidez, en donde es evidente la presencia de una zona de alta turbidez producida por la desembocadura del río Aconcagua. Esta imagen fue clasificada en 10 categorías.

3.2 Determinación de zonas de repoblamiento

La sub-imagen ERS-1 clasificada muestra zonas de exposición al viento y oleaje, presentando tonos más oscuros las zonas de mayor protección (Fig. 1A). La Fig.1C muestra el resultado de la integración de la imagen de turbidez obtenida de SPOT, con la imagen clasificada de ERS-1 mediante la transformación RGB-IHS, esta imagen tiene 10 clases de las cuales las primeras categorías representan áreas de baja turbidez y alta protección, mientras que las últimas clases representan las zonas de alta turbidez y exposición. Esta imagen integrada es de gran utilidad para determinar zonas de exposición al oleaje, las cuales unidas a la información de datos de campo como tipo de sustrato apto, batimetría y distribución espacial de especies, determinan zonas aptas al repoblamiento del recurso loco, especie que habita en zonas expuestas. Las zonas de protección mostradas en color rosado y azul (clase 1 y 2) en la Fig.1C son de utilidad para determinar zonas para el recurso erizo y el cultivo de moluscos bivalvos como ostión y ostra japonesa.

4. CONCLUSION

Basado en el presente trabajo, en donde se emplearon en forma integral imágenes SAR/ERS-1 y SPOT en aplicaciones de oceanografía pesquera, es posible identificar zonas aptas para el repoblamiento de especies bentónicas a partir de imágenes de protección y turbidez. Por lo anterior, se justifica con creces la inversión realizada en el procesamiento de las imágenes;

consecuentemente, se puede indicar, en forma segura, que la utilización de estas imágenes en un futuro cercano, especialmente en regiones donde existan datos disponibles, puede ser de gran ayuda para hacer una evaluación más precisa de los parámetros oceanográficos.

5. REFERENCIAS

Barbieri M.A., E. Yañez, M. Fariás y R. Aguilera, 1989. Determination of probable fishing areas for albacore (*Thunnus alalunga*) in Chile's central zone. IGARSS'89, Quantitative Remote Sensing: An Economic Tool for the Nineties, Vol. 4: 2447-2450.

Ben Mousa, H. 1987. Contribution de la télédétection satellitaire à la cartographie des végétaux marins: archipel de Molène (Bretagne/France). *Thèse Ecologie, Aix-Marseille II*, 118 p. + annexes.

Duda, R.O. & P.E. Hart. 1974. Pattern Classification and Scene Analysis. New York: John Wiley & Sons, Inc.

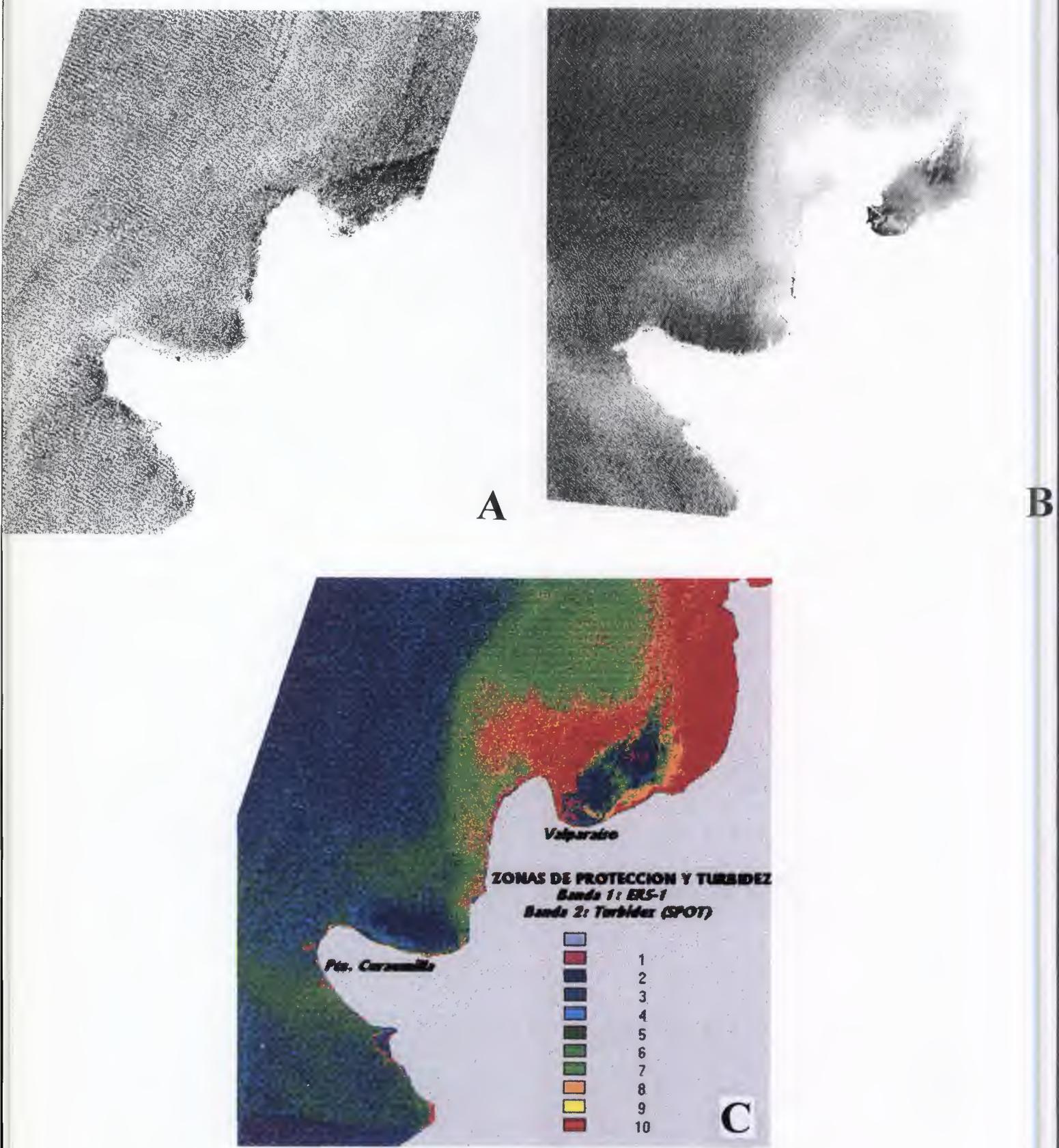


Fig. 1.Imagen clasificada de ERS-1 de la zona en estudio en la región de Valparaíso (A), imagen de turbidez obtenida de SPOT (B), e imagen integrada de ERS-1 y SPOT con la transformación RGB-IHS (C).

SATELLITE DERIVED SCATTEROMETER / ERS-1 SEA SURFACE WIND VORTICITY IN THE SOUTHWESTERN INDIAN OCEAN.

Ramos A. G.

Dept. de Biología, Universidad de Las Palmas

Aptdo. 550, 35080 Las Palmas, Spain

Tlf.: 34-28-452724, Fax: 34-28-452922, E-mail: antonio.ramos@biologia.ulpgc.es

Petit M., Bernardette X.

ORSTOM SEAS

BP 172, 97492 St. Clotilde, La Reunion, France (Dom)

Tlf: 262-295629, Fax: 262-284879, E-mail: mic@univ.reunion.fr, bernardette@univ.reunion.fr

Cantón M.

Dept. de Lenguajes y Computación, Universidad de Almería

04120 La Cañada de San Urbano, Almería, Spain

Tlf: +34-50-215482, Fax: +34-50-215129, E-mail: mcanton@ualm.es

ABSTRACT

During January-July 1993 an experiment was conducted in the Southwestern Indian Ocean with the aim to analyze the relationship between oceanographic events and weekly satellite derived Sea Surface Wind Vorticity (SSWV) fields computed following the Rossby equation from the scatterometer ERS-1 data sets, and compared with satellite derived Sea Surface Temperature (SST) from AVHRR/NOAA imagery. SST and SSWV imagery showed that variation in the ocean pattern occurs in apparent response to submesoscale oceanographic events such as fronts or eddies that varied on time scales of one week.

I. INTRODUCTION

Nothing has been done until now related to the application of microwave sensors on board of satellite to the optimization of derived Sea Surface Wind Vorticity (SSWV) from global measurements of the wind fields on the surface of the Indian Ocean provided by the scatterometer ERS-1 (Petit *et al.* 1994). The aim of this study is to provide the mesoscale and submesoscale zones of divergence and convergence on the sea surface to improve our understanding of the underlying factors affecting the onset and subsequent variation of the oceanic submesoscale events in this area.

2. METHODOLOGY

2.1. The model

Expressed simply, vorticity is a characteristic of the kinematic of fluids flow which expresses the tendency for portions of the fluid to rotate. In the cartesian (x,y,z) system we can define an ocean model which consists of two isopycnic layers 1 and 2 of density μ_1 (1024.8 kg/m³) and depth h with zonal, meridional and vertical velocity components $V_1 (u_1, v_1, w_1)$, and $V_2 (u_2, v_2, w_2)$ respectively. The equation of Rossby, assuming the Principle of Conservation of Absolute Vorticity for flows on the earth, can be expressed as:

$$(1) \quad \frac{\partial}{\partial t} (\$_1 + f) + (\$_1 + f) \operatorname{div} V_1 = (1/\mu_1 h) (\operatorname{rot} Fv)$$

$$(2) \quad \frac{\partial}{\partial t} (\$_2 + f) + (\$_2 + f) \operatorname{div} V_2 = 0$$

where $\$_1$ and $\$_2$ express the relative vorticity, f the planetary vorticity and Fv the wind speed on the surface of the ocean (Pond and Pickard 1983).

For current velocities lower than 50 cm/s, $\$_1$ and $\$_2$ are negligible when compared to f . Subtracting both equations (1) and (2) we get

$$(3) \quad f (\operatorname{div} V_1 - \operatorname{div} V_2) = (1/\mu_1 h) (\operatorname{rot} Fv)$$

Developing the equation (3) and integrating between 0 and h for the three axis we get

$$(4) \quad -fh (\partial u_1 / \partial x - \partial u_2 / \partial x) = \\ = (\partial Tz / \partial y - \partial Ty / \partial z) / \mu_1$$

$$(5) \quad -fh (\partial v_1 / \partial y - \partial v_2 / \partial y) = \\ = (\partial Tx / \partial z - \partial Tz / \partial x) / \mu_1$$

$$(6) \quad -fh (\partial w_1 / \partial z - \partial w_2 / \partial z) = \\ = (\partial Ty / \partial x - \partial Tx / \partial y) / \mu_1$$

where $Tw (Tx, Ty, Tz)$ is the tensor of the wind stress on the ocean surface.

From the equation (6), (fh) represents the vertical coefficient of eddy viscosity (Kv), and $(\partial w_1 / \partial z - \partial w_2 / \partial z)$ represents the flux of the vertical quantity of movement. The term

$(\partial Ty / \partial x - \partial Tx / \partial y) / \mu_1$ represents the wind stress projected over the axis south oriented by unit of sea density, and f the Coriolis parameter.

$$(7) \quad f = 2 w \sin \alpha_{i,j} \quad \text{or} \quad f = (0.00015) \sin \alpha_{i,j}$$

for α_{ij} = the latitude in the Northern Hemisphere and $w = 0.000073$. In the equator, $f = 0$ so the function will not exist. However if we are working on the Southern Hemisphere, then

$$(8) \quad f = -(0.00015) \sin \alpha_{i,j}$$

Using the equation (6), a novel technique based on weekly high spatial resolution - high density scatterometer ERS-1 wind was developed to calculate the ekman pump derived from the wind geostrophic vorticity field on the sea surface.

$$(9) \quad Tx_{i,j} = \mu_2 Cd_{i,j} V_{i,j} V_{i,j} \sin \theta_{i,j}$$

$$(10) \quad Ty_{i,j} = \mu_2 Cd_{i,j} V_{i,j} V_{i,j} \cos \theta_{i,j}$$

V and θ are the module and angle of the wind velocity respectively and μ_2 the air density (1.3 kg/m^3). From here and assuming a linear relationship (Smith 1980, Large and Pond 1981) of the drag coefficient Cd and V ,

$$(11) \quad Cd_{i,j} = a + b V_{i,j}$$

for $a = 0.0006$ and $b = 0.00006$ (Smith 1980). substituting both into the equations (9) and (10),

$$(12) \quad Tx_{i,j} = 1.3 (0.006 + 0.00006 V_{i,j}) V_{i,j} V_{i,j} \sin \theta_{i,j}$$

$$(13) \quad Ty_{i,j} = 1.3 (0.006 + 0.00006 V_{i,j}) V_{i,j} V_{i,j} \cos \theta_{i,j}$$

If we derive related to x and y ,

$$(14) \quad (\partial Tx / \partial y)_{i,j} = [1.3 * (0.006 + 0.00006 V_{i,j}) * V_{i,j} * (V_{i+1,j} \sin \theta_{i+1,j} - V_{i,j} \sin \theta_{i,j})]$$

$$(15) \quad (\partial Ty / \partial x)_{i,j} = [1.3 * (0.006 + 0.00006 V_{i,j}) * V_{i,j} * (V_{i,j+1} \sin \theta_{i,j+1} - V_{i,j} \sin \theta_{i,j})]$$

which result from deriving Tx related to y and Ty related to x , considering the sign of the projection (+ or -), between an space interval given by the resolution of the Scatterometer ERS-1 and equal to 25000 meters, and multiply by μ_2 (1.3 kg/m^3).

The sum between both will give us the SSWV

However we have to divide all the expression (15) by μ_1 (1024.8 kg/m^3)

$$(16) \quad [(\partial Ty / \partial x)_{i,j} + (\partial Tx / \partial y)_{i,j}] / \mu_1$$

So the final expression will be for the Northern Hemisphere

$$(17) \quad [h(0.00015) \sin \alpha_{i,j}] [\partial w_1 / \partial z - \partial w_2 / \partial z] = \\ = [(\partial Ty / \partial x)_{i,j} + (\partial Tx / \partial y)_{i,j}] / \mu_1$$

or

$$(18) \quad [Kv (\partial w_1 / \partial z - \partial w_2 / \partial z)] = \\ = -[(\partial Ty / \partial x)_{i,j} + (\partial Tx / \partial y)_{i,j}] / 2049.6$$

In the Southern Hemisphere however,

$$(19) \quad [h(0.00015) \sin \alpha_{i,j}] [\partial w_1 / \partial z - \partial w_2 / \partial z] = \\ = -[(\partial Ty / \partial x)_{i,j} + (\partial Tx / \partial y)_{i,j}] / \mu_1$$

or

$$(20) \quad [Kv (\partial w_1 / \partial z - \partial w_2 / \partial z)] = \\ = [(\partial Ty / \partial x)_{i,j} + (\partial Tx / \partial y)_{i,j}] / 2049.6$$

In the geographical equator the function does not exist because $f = 0$.

That means that the wind stress (*body force*) associated to the SSWV on the surface of the ocean will be equilibrated with the flux of quantity of vertical movement generated by the vertical eddy viscosity (Kv).

2.2. Satellite derived scatterometer ERS-1 windfields

The wind scatterometer ERS-1 uses three sideways looking antenna, continuously illuminating a swath of 500 km wide as the satellite advances along its orbit. Each antenna provides measurements of radar backscatter from the sea surface for overlapping 50 km spatial resolution cells using a 25 km grid spacing on the surface of the Sea. Weekly sea surface wind data base of the southwestern Indian Ocean were achieved by *Meteo-France* Reunion and processed at ORSTOM-SEAS.

The equations (18) and (20) were then solved by latitude and longitude (25 km) for both Tx and Ty and the SSWV fields were obtained. The area was also divided into a 520*520 grid and a medium value was calculated for the overlapped SSWV data calculated by the different orbits over the same window at different latitudes.

2.3. Satellite derived AVHRR/NOAA imagery

From the AVHRR sensor of NOAA satellites series, thermal infrared data values were converted to brightness temperature values using the inverse of Planck's radiation equation. A geometric correction derived from knowledge of the characteristics of the sensors was applied (Saunders 1988, Barton and Cechet 1989). Data were then re-sampled onto a chart projection with a fixed resolution of one nautical mile. The validation was done with the eXpendable Bathymeterogram (XBT), ARGOS buoys

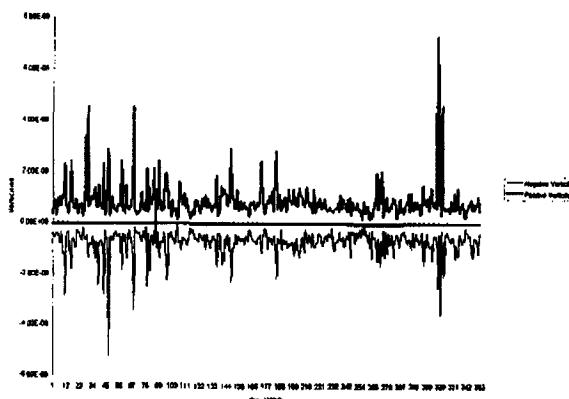


Figure 1. Range of maximum and minimum vorticity during 1994.

and fishing boats measures giving an standard error lower than 0.5° Celsius.

3. RESULTS

The major problem in developing remote sensing methods from model calculations is verification. A remote sensing method must be based on physical law (here the Rossby equation) which the model has to contain. Only in some cases is a direct verification possible. The capability of recognizing patterns with our eyes using artificial images from georeferenced digital records, helps with a subjective control of a filter depending on our purposes (purse seine

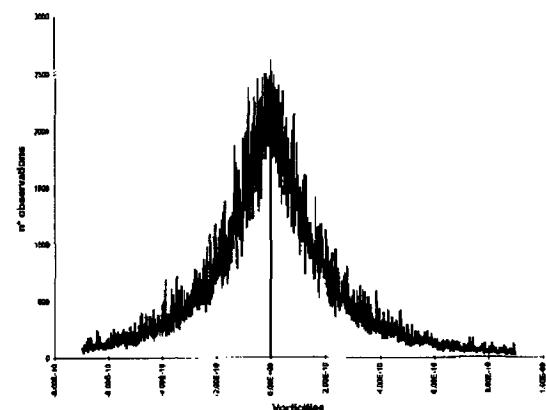


Figure 2. Asymmetry between positive and negative SSWV.

tuna fishing ground SSWV range location for example). Here, satellite data are superior to surface observations in density and space time consistency so ground oceanographic data bases are impracticable. For that and waiting for fishing data base further analysis implementation, SST images nowadays very well implemented at ORSTOM-SEAS, have been used to contrast the synoptic windows with positive and negative SSWV.

The *Figure 1* shows the range of the maximum and minimum vorticity records for the hole 1994. Despite of the strong seasonal variability observed especially between January - march (summer in the southern hemisphere and

	Max-Up	MedW-Up	MedE-Up	Min-Dwn	MedW-Dwn	MedE-Dwn	JetMedN-W	JetMedS-W	JetMedN-C	JetMedS-C	EddyNCold	EddyNCold	EddyN Warm	EddiesNWarm	MassEffect	Cyclons
09-jan-94																
18-jan-94					1111111				1111111							1111111
27-jan-94									1111111							
05-feb-94					1111111	1111111			1111111				1111111	1111111		
14-feb-94									1111111				1111111	1111111		
23-feb-94	1111111				1111111				1111111							1111111
04-mar-94	1111111				1111111				1111111				1111111	1111111		
13-mar-94					1111111	1111111			1111111				1111111	1111111		
22-mar-94	1111111				1111111				1111111				1111111	1111111		
31-mar-94	1111111								1111111				1111111	1111111		
09-apr-94	1111111								1111111				1111111	1111111		
18-apr-94					1111111		1111111	1111111							1111111	1111111
27-apr-94	1111111						1111111									1111111
06-may-94					1111111	1111111			1111111	1111111			1111111	1111111		
15-may-94					1111111	1111111			1111111	1111111						
24-may-94					1111111	1111111			1111111	1111111						
02-jun-94	1111111				1111111											
11-jun-94	1111111												1111111	1111111		
20-jun-94	1111111				1111111								1111111	1111111		
29-jun-94					1111111				1111111							
08-jul-94	1111111				1111111				1111111				1111111	1111111		
17-jul-94	1111111				1111111				1111111				1111111	1111111		
26-jul-94	1111111				1111111				1111111				1111111	1111111		
04-aug-94	1111111				1111111				1111111				1111111	1111111		
13-aug-94	1111111				1111111				1111111				1111111	1111111		
22-aug-94	1111111				1111111		1111111		1111111				1111111	1111111		
31-aug-94	1111111				1111111				1111111				1111111	1111111		
09-sep-94	1111111				1111111				1111111				1111111	1111111		
18-sep-94	1111111				1111111				1111111				1111111	1111111		
27-sep-94					1111111				1111111				1111111	1111111		
06-oct-94					1111111	1111111			1111111	1111111			1111111	1111111		
15-oct-94	1111111				1111111	1111111			1111111	1111111			1111111	1111111		
24-oct-94	1111111								1111111	1111111			1111111	1111111		
03-nov-94					1111111				1111111				1111111	1111111		
12-nov-94	1111111				1111111				1111111				1111111	1111111		
21-nov-94					1111111				1111111				1111111	1111111		
30-nov-94	1111111				1111111				1111111				1111111	1111111		
09-dic-94	1111111				1111111				1111111				1111111	1111111		
18-dic-94	1111111								1111111				1111111	1111111		
27-dic-94	1111111								1111111				1111111	1111111		
03-jan-95	1111111								1111111				1111111	1111111		

Tabla I. Oceanographic events observed with SSWV and contrasted with SST maps.

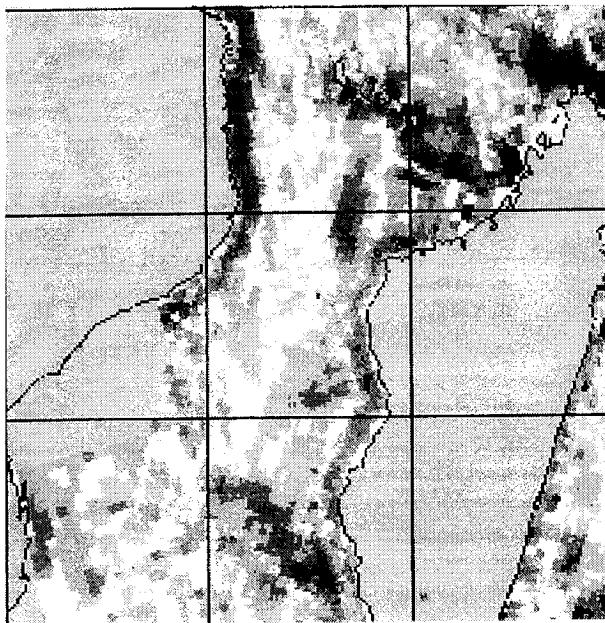


Figure 3. Coastal upwelling along the Somalian and Mozambique coast.

the period of strong wind), a logic asymmetry between both, positive and negative SSWV can be observed. From that, a scale including the range of maximum variability has been used to plot the digital records, in spite of the asymmetry between the positive and negative SSWV (*Figure 2*) over 2.400.000 records.

After that an animation in time was developed in order to see the seasonal dynamic of the SSWV.

Different oceanographic events were observed and contrasted on satellite derived SST imagery (Table I):

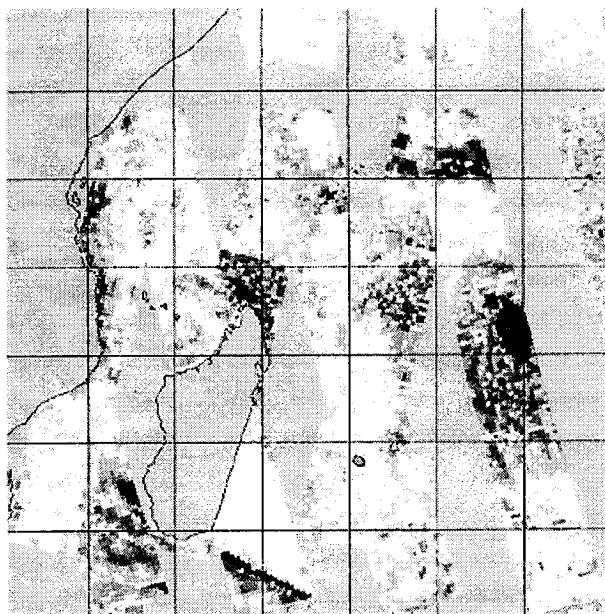


Figure 4. The Odile cyclon during April 1994.

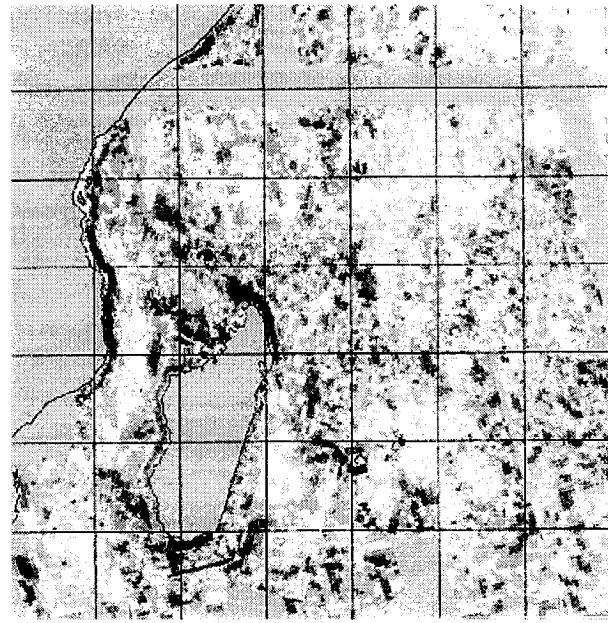


Figure 5. The Mass Effect observed at the north and south of Madagascar.

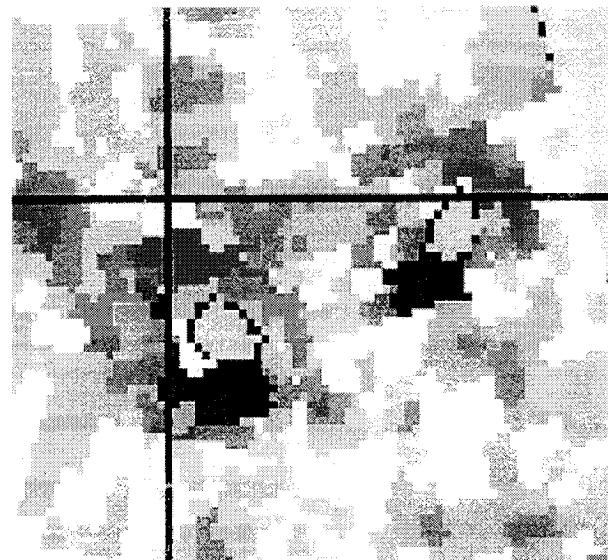


Figure 6. Eddies observed at the north and south of Reunion Island.

a.-The coastal upwelling along the Somalian and Mozambique coast marked as a zone of strong positive vorticity (*Figure 3*).

b.-The Odile Cyclone observed during april 1994 marked with an strong positive vorticity signal over the eye (*Figure 4*).

c.-The synoptic Mass effect of Island observed at the north (warm) and south (cold) Madagascar (*Figure 5*), and the submesoscale eddy system observed at the north (warm) and south (cyclonic) Reunion Island (*Figure 6*).

4. REFERENCES

- BARTON, I.J., and CECHE, R.P., 1989, Comparison and optimization of AVHRR sea surface temperature algorithms. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 6, 1083-1089.
- LARGE, W.G., and POND, S., 1981, Open ocean momentum flux measurements in moderate to strong winds. *Journal of Physical Oceanography*, 11, 324-336.
- PETIT, M., DAGORN, L., LENA, P., SLEPOUKHA, M., RAMOS, A. and STRETTA, J.M., 1994, Oceanic and scape concept and operational fisheries oceanography, in *Les nouvelles frontières de la télédétection océanique*, edited by F. Doumenge (Monaco: Mémoires de l'Institut Océanographique de Monaco), pp. 85-97.
- POND, S., and PICKARD, L., 1983, *Introductory dynamical oceanography*, (Great Britain: Pergamon Press).
- SAUNDERS, R. W., 1988, An improved method for detecting clear sky and cloudy radiances from AVHRR data, *International Journal of Remote Sensing*, 9 (1), 123-150.
- SMITH, S.D., 1980, Wind stress and heat flux over the ocean in gale-force winds. *Journal of Physical Oceanography*, 10, 709-726.



MESOSCALE STRUCTURES DETECTED WITH ERS-1 SAR IMAGES IN THE ALBORAN SEA VERIFIED BY ATSR ERS-1 AND ON SITE MEASUREMENTS.

B. Shirasago

Centro Interdisciplinario en Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN)
Instituto Politécnico Nacional S/N, La Paz 23000, Baja California Sur, México.
Phone (112) 2-53-44 and 66 Fax (112) 2-53-22
e-mail: shirasag@vmredipn.ipn.mx

J. Font

Instituto de Ciencias del Mar (CSIC)
Paseo Juan de Borbón S/N, Barcelona 08039, España
Phone (34-3) 2-21-64-50 and 16 Fax (34-3) 2-21-73-40
e-mail: jfont@icm.csic.es

ABSTRACT

A study was done during September-October, 1992 in the Alboran Sea comparing ship data with SAR.FDC images for detecting mesoscale features. The results have shown good correlation between *in situ* data mainly from ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) and the obscure lines (low backscatter intensity) and other means of recognition of items in the SAR images. The two big western and eastern anticyclonic gyres, some eddies attached to both gyres, the jet associated with the wave-like front coupled to both gyres, and the beginning of the Algerian Current were identified in both satellite and ship data sets.

Wind conditions played an important role in detecting the marine mesoscale features.

1. INTRODUCTION

The Alboran Sea is the first Mediterranean basin encountered by Atlantic Waters (AW) entering through the Strait of Gibraltar. The characteristics of these waters are changed in this basin, resulting in the Modified Atlantic Waters (MAW) that exit this sea near the African coast of Algeria [Ref. 1]. International experiments have demonstrated that the circulation of the MAW varies greatly in space and over time [Ref. 2 and 3].

Mesoscale phenomena are very important in this sea. A quasi-permanent western anticyclonic gyre is one of its most important feature. This gyre has been studied using satellite-infrared and ship data [Ref. 4 and 5], but cloud cover has been an important limitation for such studies. In the Eastern Alboran Sea, a second anticyclonic gyre or an eastward current along the African coast can be present [Ref. 6 and 7]. The typical diameters of both gyres are 100 km.

A wave-like front is coupled to both big gyres as a result of the incoming AW. This front separates old dense MAW (cold and saline) in the north from the recent MAW (warmer and less saline) in the south. This front extends from the Strait of Gibraltar to the easternmost part of the sea. The front has associated with it a strong jet which is responsible for transport of approximately 1 Sv (1 million cubic meters) into the Mediterranean Sea [Ref. 8].

2. DATA AND METHODOLOGY

The study was done with 45 SAR images, but only 9 were presented in this paper. The radar images were obtained from the ESA (European Space Agency) under the project "Evaluation of ERS-1 microwave sensors capability in the study of oceanic fronts". They correspond to dates between 15 September and 10 October 1992. One ATSR-SST image (28 September, 1992) was included for this study. SAR images were reduced from their original 16 bit 5000x6300 pixel size to 8 bit 512x512 pixel size. All images were geocoded and vector overlaid with the image processing system GEOJARS.

Ship data were acquired aboard the Spanish research vessel "Garcia del Cid" during Cruise FE92 from 22 September to 7 October 1992, and included 134 oceanographic stations. CTD casts were done at each station and ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) measurements were taken during all the cruise path. These two marine sounders are very useful in the investigation of the ocean structure and the detection of mesoscale features.

3. RESULTS

After processing both satellite and ship data, we detected the main features occurring during this period. Figure 1 shows the temperature distribution at 50 m

depth and figure 2 the geostrophic velocities both obtained from the CTD data. One can detect in both figures the presence of the two warm anticyclonic gyres with temperatures reaching 28.6 °C and tangential velocities of 60 cm/s. The wave-like front is also seen in both figures separating the northern waters from the southern ones. The jet associated with this front is easily detected mainly in the geostrophic representation, with speeds up to 80 cm/s (these speeds are lower than those measured with the ADCP).

The ATSR.SST (figure 3) corroborates the presence of both gyres and the front separating warm and cold waters. This image was the only one free of clouds from a set of 18 used for this survey and this situation reinforced the use of a microwave sensor for this kind of studies.

The first set of three SAR images corresponds to an ascending pass of September 15, 1992, and covers the western anticyclonic gyre zone (figure 4). The warm gyre is noticed because of the high values of backscatter recorded in its interior as well as the lines of low values bordering it to the north and east. The high intensities of the backscatter can be related to the differences between water and air temperature. These differences modify the stability of the atmosphere boundary layer and therefore the wind drag coefficient and the generation of capillary waves on the sea. The orientation of zones of low backscatter along the southern coast confirms the presence of this gyre, and the ADCP vectors overlaid on these images corroborate the clockwise rotation of this structure. Additionally, a dipole of cyclonic and anticyclonic eddies are detected in the northern part of the big gyre, partially detected by the CTD measurements as a core of warm water (the anticyclonic one)

The second set of SAR images covers the eastern anticyclonic gyre (figure 5). This is a strip of 3 SAR scenes acquired on 28 September 1992 plus ADCP vectors overlaid on the images. Low backscatter intensities are noticed in a broad zone of the strip. In spite of this, the wave-like frontal jet is identified by the dark lines in the upper scene. These lines are oriented in the same direction as the ADCP vectors. The lower backscatter recorded on the set must be related to the wind gradient.

The third set of SAR images corresponds to the westernmost Alboran Sea (October 2) where the frontal jet ends and the Algerian Current begins (figure 6). This strip of 3 SAR images shows, in the lower image, narrow structures perfectly aligned with the ADCP vectors in the zone where the jet reaches the coastal zone of Africa. One can see small instabilities developed along the jet as well as an important

signature of a strong wind gradient in the upper scene as a consequence of a zone of wind convergence observed in the meteorological data.

4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The ERS-1 SAR sensor has been capable of detecting the main features of the Alboran Sea during the study period. Structures like the big anticyclonic gyres, the frontal jet, and the beginning of the Algerian Current were detected during cloudy days and show a high correlation with in site measurements, especially with ADCP vectors.

At the end of the project and after the analysis of several SAR images we concluded the wind conditions are very important in ocean applications, and are crucial in the detection of ocean features. Sometimes under low wind conditions (2 m/s), it was possible to detect important structures mixed with broad zones of low backscatter intensities. Under very high winds, the signal returned to the radar was very strong, saturating the corresponding scene.

We can conclude the ERS-1 SAR represents a powerful sensor for the detection of surface and subsurface structures related to ocean circulation and other processes occurring in the sea. In many cases, this detection is possible because of the presence of dark lines present in the SAR images associated with the currents, eddies and filaments.

This study is part of the ESA AO project E1 "Evaluation of ERS-1 microwave sensors capability in the study of oceanic fronts" and EUROMODEL MAST Project No. MAS2-CT93-0066. Our knowledge to Dr. Ellis Glazer for the edition of the English Language text.

5. REFERENCES

- Gazcard J. -C. y C. Richez 1985. Water masses and circulation in the western Alboran Sea and in the Strait of Gibraltar, *Progr. Oceanogr.*, 15: 157-216.
- Donde Va? Group, Donde Va? 1984. An oceanographic experiment in the Alboran Sea, *The oceanographic report*. Eos Trans. AGU. 65(36): 682-683.
- La Violette. P. E. 1990. The Western Mediterranean Circulation Experiment (WMCE) : Introduction. *J. Geophys. Res.* 95 (C2) 1511-1514.
- La Violette P. E., 1986. Short term measurements of surface currents associated with the Alboran Sea during *Donde Va?*. *J. Phys. Oceanogr.* 16: 262-279.

Viúdez A. y J. Tintoré, 1994. Time and space variability in the Eastern Alboran Sea from March to May 1990. *J. Geophys. Res.* (aceptado).

Cheney R. E. y R. A. Doblár, 1982. Structure and variability of the Alboran Sea frontal system. *J. Geophys. Res.* 87: 585-594.

Heburn G. W. y P. E. La Violette, 1990. Variations in the structure of the anticyclonic gyres found in the Alboran Sea. *J. Geophys. Res.* 90(C2): 1599-1613.

Viúdez A., J. Tintoré y R. L. Haney, 1995. Three-dimensional structure of the two anticyclonic gyres in the Alboran Sea. *J. Geophys. Res.* (accepted).

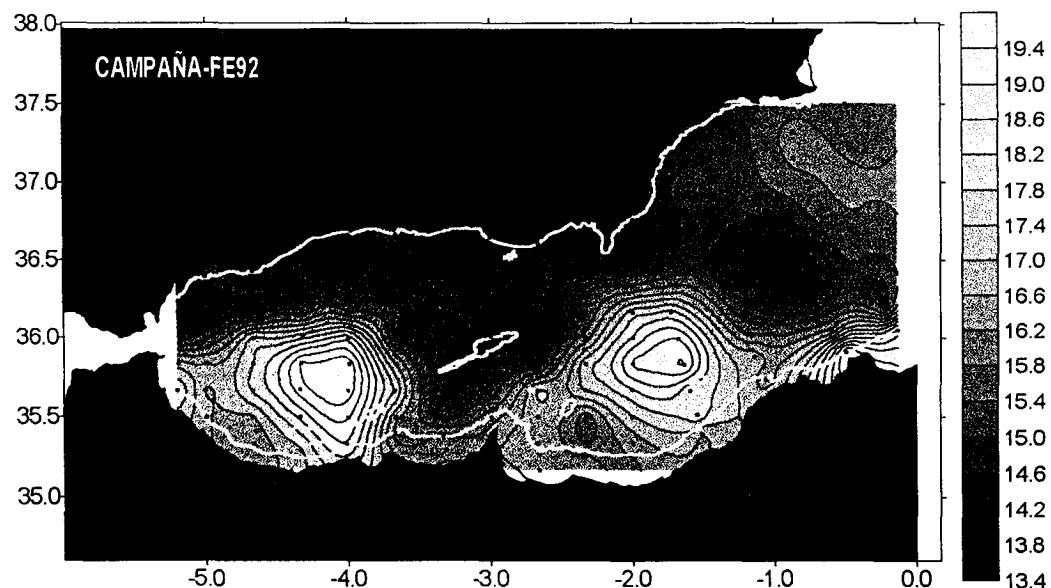


Figure 1. Temperature distribution (50 m depth) obtained from CTD data.

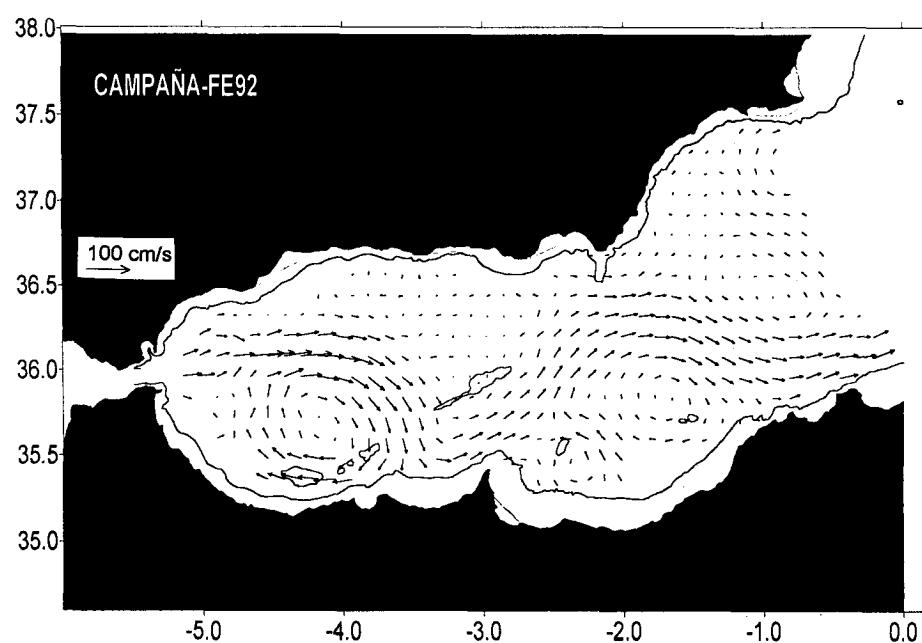


Figure 2. Geostrophic velocities (10 m) calculated from CTD data with a reference level of 200 m.

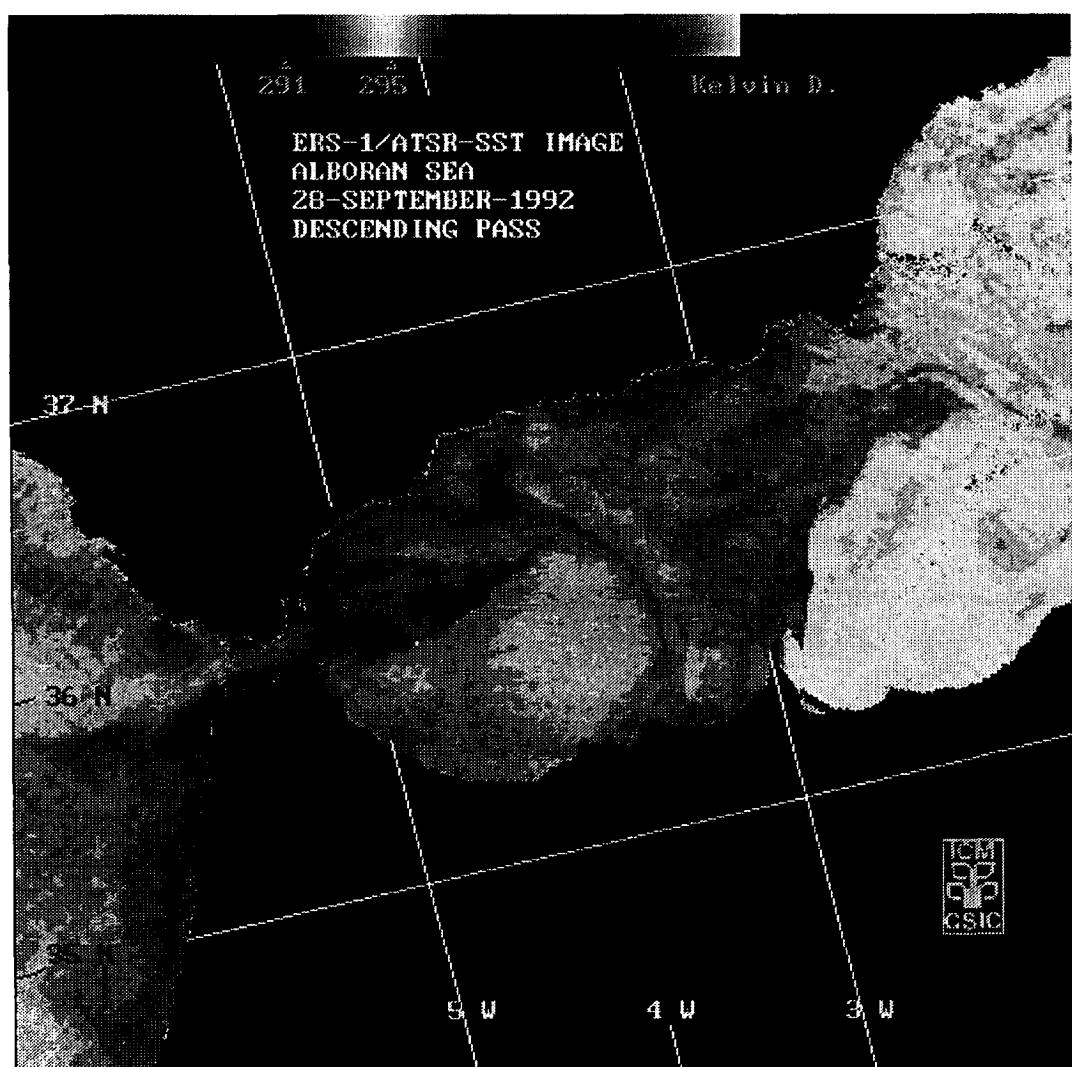


Figure 3. ATSR.SST image of ERS-1. The two anticyclonic gyres and the wave-like frontal jet are seen.

Figure 5. Set of three SAR images from the Eastern Anticyclonic Gyre.



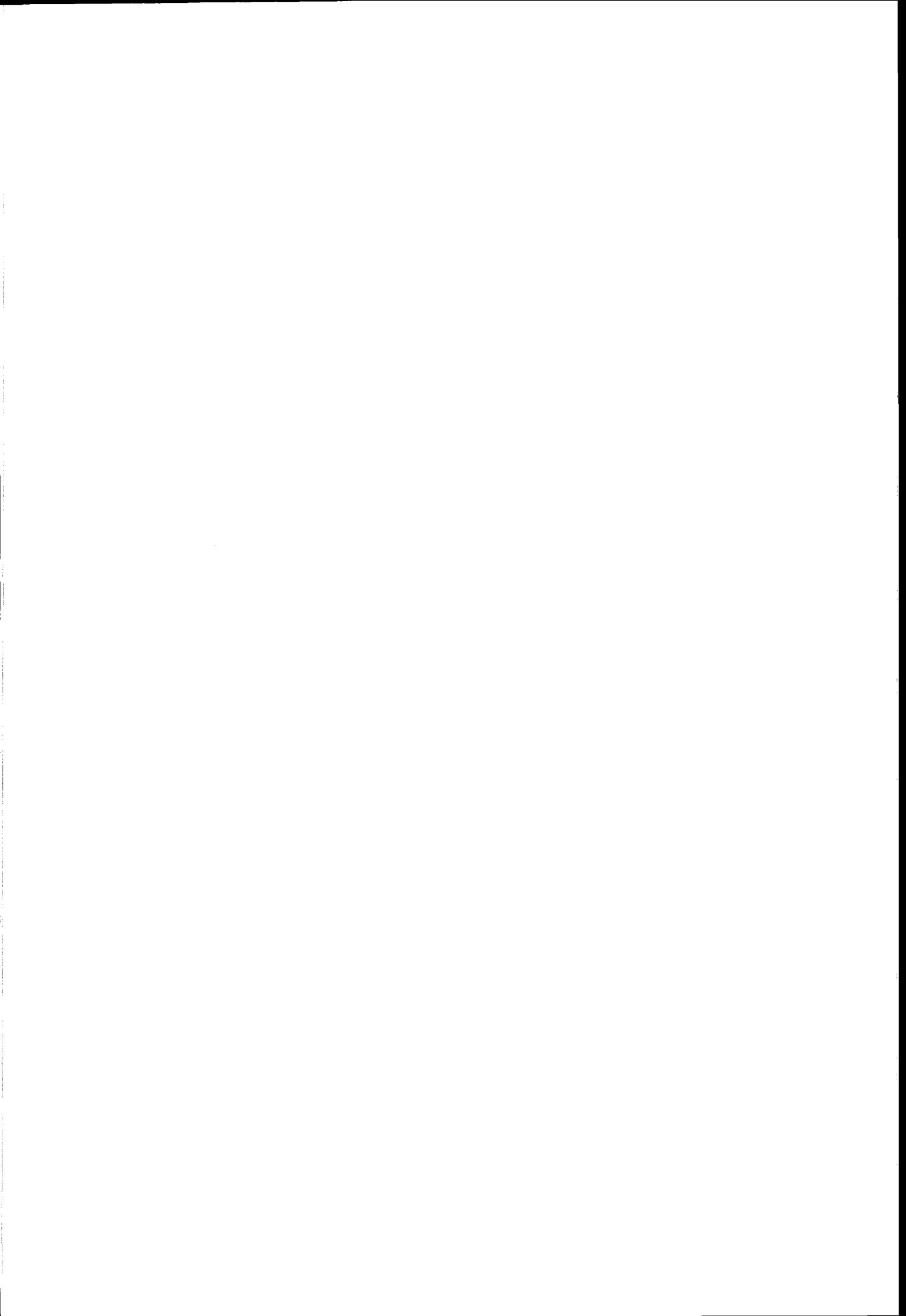
Figure 4. Set of three SAR scenes from the Western Anticyclonic Gyre.



Figure 6. Set of three SAR images from the en of the wave-like frontal jet and the beginning of the Algerian Current.

GLACIOLOGY / GLACIOLOGIA

Chairman/Presidente: Manuel Cantón



STUDY OF KING GEORGE ISLAND ICE CAP, SOUTH SHETLAND ISLANDS, ANTARCTICA USING RADIO-ECHO SOUNDING AND SPOT, ERS-1 SAR SATELLITE IMAGES

Yu. Ya. Macheret, M. Yu. Moskalevsky

Institute of Geography, Russian Academy of Science, Staromonetny per., 29, 109017
Moscow, Russia

phone: + 7 095 238 86 10, fax: + 7 095 230 20 90, e-mail: polar@mikun.msk.su

J. C. Simoes

Department of Geography, Federal University of Rio Grande do Sul, Av. Bento Goncalves 9500, 91501-970
Porto Alegre, Brazil
phone: 55 51 336 50 11, fax: 55 51 336 17 62, e-mail: jcs5@ifi.if.ufrgs.br

L. Ladouch

University of Magallanes, Casilla 113-D, Punta Arenas, Chile
phone: 56 61 242 344, fax: e-mail: lladouch@ona.fi.umag.cl

Abstract

Results of ground-based radar studies performed in December 1995 along the main ice divide of King George Island ice cap using a monopulse radar with a central frequency of 40 MHz are presented and discussed. The studies were carried out by Russian, Brazilian and Chilean scientists within the frames of the seasonal detachment of the 41 Russian Antarctic Expedition and International Glaciological Expedition organized by Federal University of Rio-Grande do Sul, Brazil and were performed as a part of SCAR supported International Program "Glaciology of South Shetlands" (GLASS) aimed at the investigation of contemporary state and evolution of subpolar ice masses in south polar region, and at estimation of their response to short-term climate change and contribution to current sea level rise. One of the basic tasks of the field works was to obtain the data on ice thickness along the main ice divide of the ice cap in order to choose a suitable site of deep bore-hole for ice core probing and further studying of glacier structure and glacioclimatic conditions in the past to estimate the influence of outlet glaciers on ice mass distribution within the ice cap, its total ice volume as input data for numerical modelling.

The clear identified bedrock reflections from the depths up to 327 m were recorded on the profile of 55 km long. Near the top of the largest ice domes B and C - the most suitable sites for deep drilling - the ice thicknesses measured reach 317 and 327 m, respectively. Three local internal reflecting horizons were also defined in area between ice domes A and B in depth interval from 50 to 265 m.

Analysis of data available on maximal and average ice thickness and area of island ice caps of Eurasian Arctic (Nordaustlandet, Franz Josef Land, Severnaya Zemlya) and Subantarctica (South Shetland Islands) and their Landsat TM, SPOT, ERS-1 SAR, KFA-1000 and

KATE-200 satellite images shows the close, but variable correlations of these characteristics for ice caps without and with well-expressed net of outlet tidewater glaciers. King George ice cap belongs to the latter group and its average ice thickness is 180-230 m (total ice volume 236-302 km³) that is 55-70 m less than that for ice caps of the first group. It can be explained as a result of stretching out of additional ice masses to the sea through draining basins of outlet glaciers. That's why the further studies of outlet glaciers are very important to understand the general response of King George Island ice cap on climate changes and their influence would be taken into account in numerical modelling of dynamics and evolution of the ice cap.

Introduction

King-George Island - the largest (1313 km²) of the South Shetland Islands (Fig. 1) is suitable for these investigations considering its location on the way of the main moisture-laden cyclones feeding the glaciers in the western section of the Antarctica. This ice cap consists of a few ice domes up to 700 m in elevation, that are drained by a series of relatively fast-moved tidewater outlet glaciers (Fig. 2) which are well identified in SPOT and ERS-1 SAR images [Simoes and Bremer, 1995], and has temperate thermal regime [Orheim and Govorukha, 1982]. The outlet glaciers are the main source of ice discharge due to summer melting and ice calving which is filling up by intensive winter and summer solid and liquid precipitations. Therefore, a more detailed study of ice thickness of the ice cap and its dynamically active parts - outlet glaciers - can be considered a key for understanding present state, regime, dynamics and response of ice masses to short-term climate variations and their contribution to current sea level rise.

To study the evolution of this ice cap it is important to know the temporal changes in area and volume, mass

balance, equilibrium line altitude (ELA), ice formation zones and the structure of snow-firn sequences. For forecasting of these changes, by means of numerical modelling, it is needed to know the distribution of contemporary mass balance on the glacier surface, its long-term variations, thermal regime, glacier surface elevation, ice thickness and subglacial relief. Important information on these characteristics of the ice cap can be inferred from data of deep ice core drilling and radio-echo sounding as well as from analysis of satellite images.

Previous data on ice thickness of King George Island ice cap were collected from ground-based and airborne radio-echo sounding carried out by Soviet Antarctic Expedition in 1970 [Govorukha and others, 1974] and by British Antarctic Survey in 1975 (flight 38) [Simoes and Bremer, 1995] (Fig. 2). The ground-based RES was conducted in 18 km long section in western part of the ice cap. Maximum ice thickness of 326 m was measured in western slope of ice dome B; near the top of the ice dome it decreases steeply to 80-100 m. According to airborne RES data, the thickest ice (357 m) was found in about 4 km from the top of ice dome B, however, bedrock reflections were recorded only at separated points of the profile (Fig. 2) because of strong scattering of VHF radio waves due to englacial inhomogeneities such as water inclusions, ice layers and lenses with different density and structure.

Taking into account the previous data obtained, the basic aim of the field work was to obtain data on ice thickness and subglacial relief along the main ice divide of King George Island ice cap in order to choose a suitable site for deep ice core drilling for studying the glacier structure and obtaining information about past glacioclimatic conditions.

It was also supposed to carry out a more detailed radio echo sounding survey in the less crevassed upper part of the drainage basin of the outlet Lange Glacier (27.6 km²), including the area near the main ice divide where in December 1996 a 50 m deep borehole was drilled by a group of Argentinian, French, Brazilian and Chilean scientists. In this drainage basin it was also supposed to prepare a net of stakes for further mass balance and ice velocity measurements. However, only the first part of radio echo sounding program, i. e. the measurements along the main ice divide on King George Island, was performed because of bad weather conditions.

Radar equipment and measurements

A monopulse radar with a central frequency of 40 MHz was used in our studies. It had the following main parameters: transmitted pulse duration of 0.25 μ s, transmitted output power of 2.5 kW, bandwidth of receiver of 40 MHz. Identical 1700-ohms resistively loaded dipoles of 5.8 m long with -10 dB gain were

used as transmitting and receiving antennas. A portable oscilloscope and a portable magnetic tape-recorder for registration of received signals were used. Synchronising of transmitter and receiver was provided by signals from transmitting antenna. The distance between antenna centres was 12 m. Transmitting and receiving units, with separate supply sources (12 V batteries), were mounted on two Nansen sledges transported over the glacier "in line" by a snow-mobile (Fig. 3).

A mosaic imagery of the ice cap constructed from three SPOT images (29 February 1988, 31 March 1991 and 29 March 1995) was used to identify the main ice divide, to choose the RES profile along it and to determine the coordinates of the main reference points. A GPS was used for positioning of the radar measurement points with an accuracy about ± 200 m. Glacier surface elevation at radar points were measured using a barometer with an accuracy about ± 10 m.

Measurements of the ice caps were conducted from 8 to 20 December 1995. During 6 days with relatively good weather the radar measurements were carried out at 109 points situated at the distance of about 0.5 km over a 55 km long profile along the main ice divide on King George Island and crossing some outlet glaciers in their upper parts (Fig. 2).

Results of radar measurements

Three groups of signals were distinguished on oscillograms and magnetic records: transmitted pulses of constant form as two half-period (as result of double differentiation of transmitted signal by receiving and transmitting antennas); bedrock reflections and internal reflections. An example of an oscillogram with bedrock reflection collected in the western part of King George Island ice cap, at point 6, is shown in Fig. 4. As a rule, bedrock reflections had a form close to transmitted signals or differed from them by a number of half-periods and the ratio of their amplitudes due to spatial variations in total electromagnetic energy losses and in the character of bedrock, mainly its macroroughness. This criterion, together with small changes in delay time while replacing along the radar profile from point to point, served as the main one for distinguishing the bedrock reflections.

At 78 measurement points (72 % of the total) bedrock reflections up to depths of 250-300 m exceed noise and interference level are distinguished on enlarged oscillograms and look like as in Fig. 4; at nine points (eastward of Collins ice dome) internal reflections were also recorded. In the rest of the points the amplitude of bedrock reflections have confused with the noise of receiver and could be distinguished only on the initial oscillograms (films).

Taking into account the small distance between antennas, the ice thickness was calculated as $h = V\tau/2$ where V is an average radio wave velocity in glacier ice; τ is delay time of reflected signals from the bedrock measured by oscilloscopes. According to the data of radio wave velocity measurements in temperate glaciers [Macheret and others, 1993], value of V is taken equal to 161 m/ μ s.

The results of radar and barometric measurements on King George Island ice cap are presented in Fig. 5. Near the main ice divide the largest ice thicknesses are measured close to the top of ice domes B and C (Fig. 2) where they reach 317 and 327 m (points 34 and 78) being much larger than at points 5 and 6 (99 m and 82 m), at the top of ice dome A. In the upper parts of outlet glaciers between ice domes A and B (points 7-11), the ice thickness is 82-150 m and bedrock lowering is distinctly noticeable. In this area, between points 8 and 20, three internal reflection horizons at the depths intervals of 50-100, 95-265 and 130-135 m were found. In the upper part of outlet Lange Glacier, at the drill camp (point 32), near the top of ice dome B, the ice thickness is approximately 267 to 317 m. Between ice domes B and C (points 55-75) ice thickness varies from 140 to 300 m and at the final eastward point of profile located in the upper part of outlet glacier that flows northward to Drake strait, the ice thickness is about 190 m.

In general, subglacial relief repeats the glacier surface topography and is characterized by comparatively large bedrock irregularities with elevation changes of up to 50-100 m (Fig. 5). The similar subglacial relief is characteristic for many ice caps of Eurasian Arctic, in particular, for Svalbard [Macheret and Zhuravlev, 1985; Macheret and others, 1992] and Franz Josef Land [Dowdeswell and others, 1996].

Comparison of data obtained (Fig. 5) with previous data of Govorukha and others (1974) and BAS [Simoens and Bremer, 1995] (Fig. 2) taking into account possible differences in positioning of these radar profiles shows satisfactory coincidence for ice dome A (between points 1 and 8) and on the western slope of ice dome B (between points 20 and 50), excluding large differences with data by Govorukha and others (1974) between points 8-15 and 32-36. It can be supposed that the differences between points 8-15 result from either incoincidence of both radar profiles in position or from misinterpretation of internal reflections by Govorukha and others (1974): internal reflections recorded by us were taken for bedrock reflections. For two other areas on the western slope and near the top of ice dome B, the large differences can be related to incoincidence of radar profiles. The nature of those recorded internal

reflections is not clear and further investigations are needed for their interpretation.

Discussion and conclusions

The main results of ground-based radio echo-sounding carried out in December 1995 are a successful application of a portable monopulse radar with a central frequency of 40 MHz for sounding the temperate ice cap of King George Island and obtaining new data on its ice thickness and internal structure along the main ice divide which make more precise the previous ideas on its subglacial relief. These data show ice thicknesses (up to 327 m) near the top of the largest ice domes B and C (Figs. 2 and 5), the absence of abrupt bedrock rises in their top part as it followed from measurements of Govorukha and others (1974) and the important influence of outlet glaciers on subglacial bedrock topography.

Fig. 6 illustrates the contribution of outlet glaciers in the distribution of ice thicknesses on polar island ice caps. It indicates a close link between the area (F , km^2) and radar-measured maximum ice thickness (H_{\max} , m) of two basic groups of ice caps in Eurasian Arctic (Nordaustlandet, Franz Josef Land, Severnaya Zemlya) and Subantartica (South Shetland Islands) which were distinguished from analysis of Landsat TM, ERS-1 SAR, KFA-1000 and KATE-200 satellite images [Dowdeswell and others, 1994, 1995, 1996b]: (1) without well-expressed net of outlet glaciers and (2) with wide-spread net of them. For these groups the coefficients of approximating functions in form $F = a H_{\max}^b$ are different:

$$H_{\max 1} = 61.861 F^{0.279} \quad (1)$$

(correlation coefficient $r = 0.913$),

$$H_{\max 2} = 64.218 F^{0.239} \quad (r = 0.992). \quad (2)$$

(the subscripts denote ice caps of groups 1 and 2); variations between them defines the difference in maximum ice thickness of such ice caps.

According to data available [Macheret and Zhuravlev, 1985] the relationships between average (H_{av}) and maximal (H_{\max}) ice thicknesses of Svalbard glaciers with (I) negative (e.g. valley glaciers) and (II) positive (e.g. ice caps) subglacial relief are following:

$$H_{\text{av} I}/H_{\max I} = 0.50 \pm 0.11 \quad (3)$$

$$H_{\text{av} II}/H_{\max II} = 0.64 \pm 0.13; \quad (4)$$

Taking into account the relationships between area and maximum ice thickness of ice caps given in Fig. 6 and by equations 1 and 2 as well as the equations (3) and (4), an estimated average ice thickness of King George

Island ice cap is about 180-230 m (total ice volume is about 236-302 km³) that is 55-70 m less than the average ice thickness of ice caps of the same area without outlet glaciers, result of the stretching out of ice masses to the sea through draining basins. Therefore, further studies of outlet glacier basins are very important to understand the general response of King George Island ice cap to climatic changes, and their influence should be taken into account in numerical models of the dynamics and evolution of the ice cap.

The studies performed allow us to choose the most appropriate sites for the deep ice core drilling on King George Island ice cap, namely, near the top of the largest ice domes B and C where ice thicknesses are over 300 m (Fig. 5).

Further comprehensive glaciological study is planned for draining basin of the outlet Lange Glacier, including mass balance observations, ice velocity and ice thickness measurements, investigation of bedrock morphology and bottom conditions, providing data for testing mathematical models which describe the regime, dynamics and evolution of outlet glaciers. These studies would allow us to come closer to a quantitative estimation of response of subpolar ice caps to short-term environment changes in the south subpolar region. It would be also important to solve analogous theoretical problems for Eurasian Arctic conditions, in particular, for Svalbard glaciers.

Analysis of SPOT and ERS SAR satellite images will provide further information about area and volume changes of King George Island ice cap, about mass balance characteristics and main ice formation zones.

Acknowledgements

The authors are grateful to V.V. Lukin, head of Russian Antarctic Expedition, the administration of the Institute of Geography, Russian Academy of Sciences and Instituto Antartico Chileno for the helping in arrangement and carrying out of these investigations. We are thankful to S.S. Potapov, head of Bellinshausen Station, and the station staff for the help in performing the field work. We are thanking Ye.V. Vasilenko for designing and producing of monopulse radar. The authors also thank the Brazilian Antarctic Programme for supporting the "International Glaciological Expedition" to King George Island in the austral summer of 1995/96.

Reference

Bogorodsky, V.V., L. S. Govorukha and B.A. Fedorov (1970). Nekotorye resultaty radiolokatsionnoro zondirovaniya arkticheskikh lednikov [Some results of radio echo-sounding of Arctic glaciers]. *Trudy Arktycheskogo i Antarktycheskogo nauchnoissledovatel'skogo instituta* [Proceedings of Arctic and Antarctic Research Institute], **294**: 87-93

Boyarsky, V.I., L.S. Govorukha and B.A. Fedorov (1981). Nekotorye resultaty radioglyatsiologicheskikh issledovanii na Severnoy Semie [Some results of radioglaciological investigations on Severnaya Zemlya]. *Trudy Arktycheskogo i Antarktycheskogo nauchnoissledovatel'skogo instituta* [Proceedings of Arctic and Antarctic Research Institute], **367**: 58-63.

Dowdeswell, J.A., M.R. Gorman, A.F. Glazovsky and Y.Y. Macheret (1994). Evidence for floating ice shelves on Franz Josef Land, Russian High Arctic. *Arctic and Alpine Research*, **26** (1): 86-92.

Dowdeswell, J.A., A.F. Glazovsky and Y.Y. Macheret (1995). Ice divides and drainage basins on the ice caps of Franz Josef Land, Russian High Arctic, defined from Landsat, KFA-1000 and ERS-1 SAR satellite imagery. *Arctic and Alpine Research*, **27** (3): 264-270.

Dowdeswell, J.A., M.R. Gorman, A.F. Glazovsky and Yu. Ya. Macheret (1996a). Airborne radio-echo sounding of the ice caps on Franz Josef Land in 1994. *Materialy Glyatsiologicheskikh Isslidovanii* [Data of Glaciological Studies], **81**: 248-255.

Dowdeswell, J.A., M.R. Gorman, A.F. Glazovsky, Yu. Ya. Macheret and M.Y. Moskalevsky (1996b). High resolution imagery from Russian KATE-200 satellite camera: morphology and dynamics of ice masses in the European High Arctic. *International Journal of Remote Sensing*.

Govorukha, L.S., V.I. Chudakov and A.M. Shalygin (1974). Radiolokatsionnoe zondirovaniye lednikovogo pokrova o. King-Dzhordzh (Waterloo) [Radio echo-sounding of the ice sheet on King-George (Waterloo) Island]. *Informatsionnyy byulleten Sovetskoy Antarkticheskoy Ekspeditsii* [Information Bulletin of Soviet Antarctic Expedition], **89**: 15-18.

Macheret, Yu.Ya., A. F. Glazovsky and M.Yu. Moskalevsky and 5 others (1992). Stroyenie, gidrotermicheskoye sostoyanie i rezhim subpolarnykh lednikov [Structure, hydrothermal state and regime of subpolar glaciers]. In: V. M. Kotlyakov, ed. *Rezhim i evoiyutsya poliaromykh lednikovym pokrovov* [Regime and evolution of polar ice sheets]. St-Petersburg, Gidrometeoizdat: 48-115.

Macheret, Yu. Ya., M.Yu. Moskalevsky and Ye.V. Vasilenko (1993). Velocity of radio waves in glaciers as an indicator of their hydrothermal state, structure, and regime. *Journal of Glaciology*, **39** (132): 373-384.

Macheret, Yu. Ya., S. A. Sin'kevich, L. I. Bobrova and L. V. Sankina (1993). Tolstchina i gidrotermicheskoye sostoyanie lednikovogo kupoia Lunnyy na Zemle Frantsa Iosifa po dannym radiozondirovaniya [Ice thickness and hydrothermal state of Looney ice cap on Franz Josef Land from radio echo-sounding data]. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovanii*, [Data of Glaciological Studies], 77: 97-104.

Macheret, Yu.Ya. and A.B. Zhuravlev (1985). Tolstchina, ob'zem i strukturnye lednikov [Ice thickness, volume and structure of glaciers]. In: V.M. Kotiyakov, ed. *Glyatsiologiya Shpitsbergena* [Glaciology of Spitsbergen], Moscow, Nauka: 7-35.

Orheim, O. and L.S.Govorukha (1982). Present-day glaciation in the South Shetland Islands. *Annals of Glaciology*, 3: 233-238.

Ren Jiawen, Qin Dahe, Petit J.R., Jouzei J., Wang Wenti, Liu Chen, Wang Xiaojun, Qian Songlin and Wang Xiaoxiang (1995). Glaciological studies in Nelson Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Journal of Glaciology*, 41 (138): 408-412.

Semenov, I.V. (1981). Morfologiya lednikov Severnoy Zemli [Morphology of glaciers on Severnaya Zemlya]. *Trudy Arkhicheskogo i Antarcticeskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta* [Proceedings of Arctic and Antarctic Research Institute], 367: 9-20.

Simoes, J.C. and U.F. Bremer (1995). Investigation of King George Island ice cover using ERS-1 SAR and SPOT imagery. *SELPER, Special publication - Symposium "La Antarctica: un continente relevado"*, Ushuaia, 1995. *Revista SELPER*, 11 (1-2): 56-60.

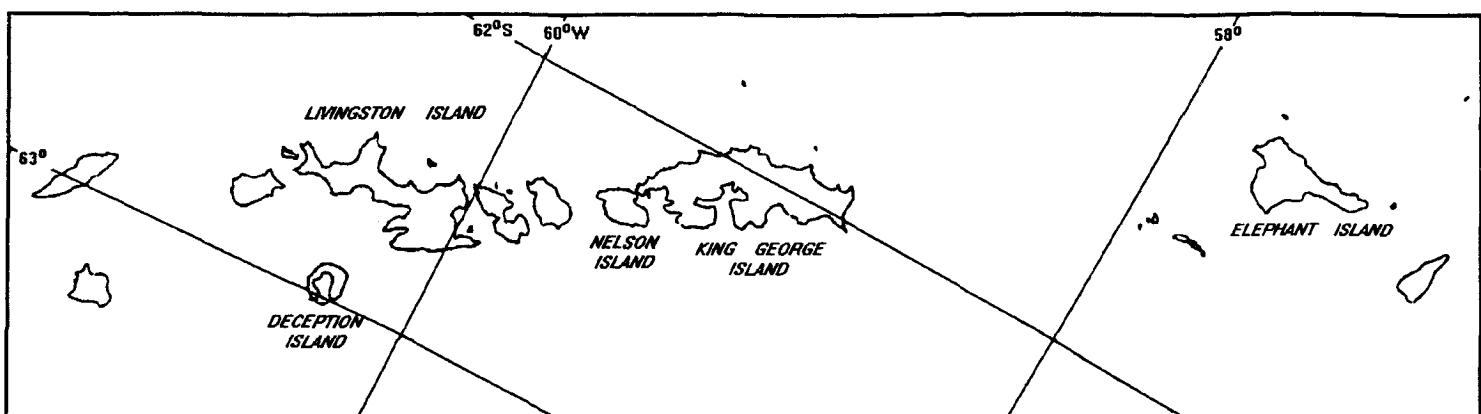


Fig. 1. Index map of South Shetland Islands.

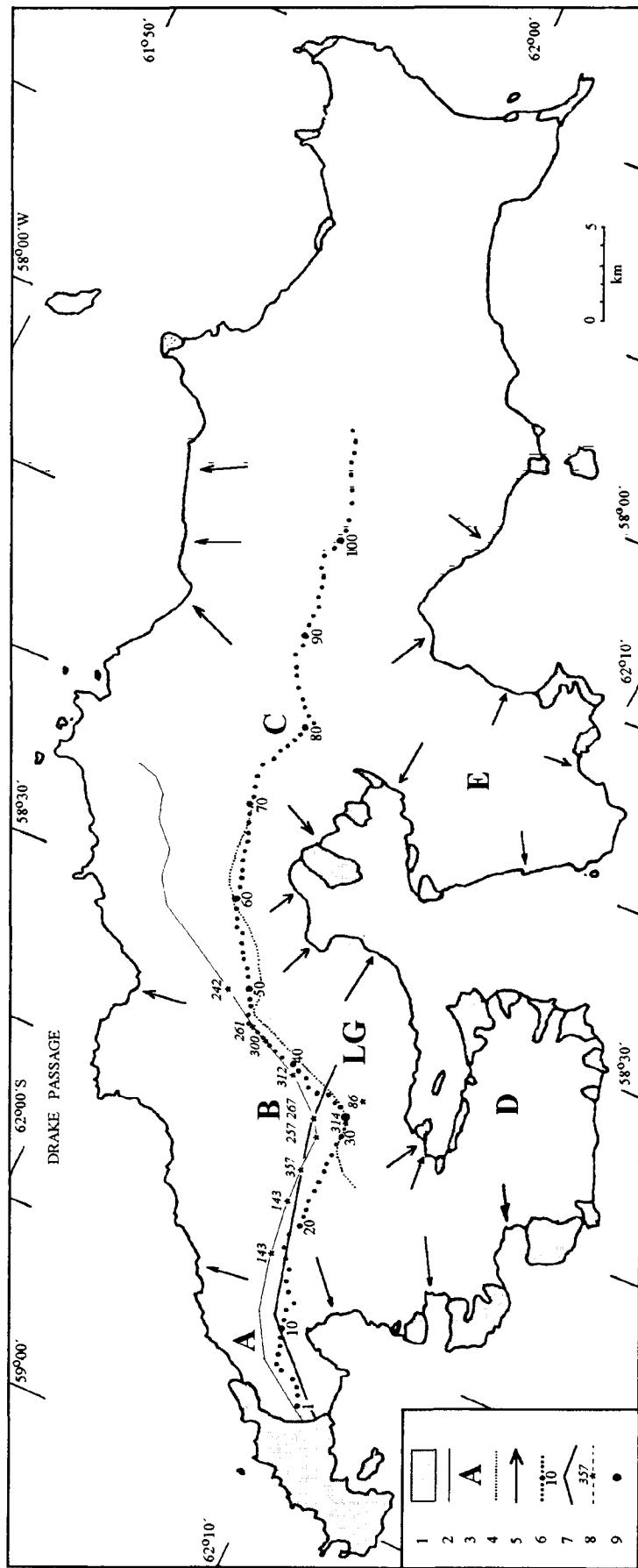
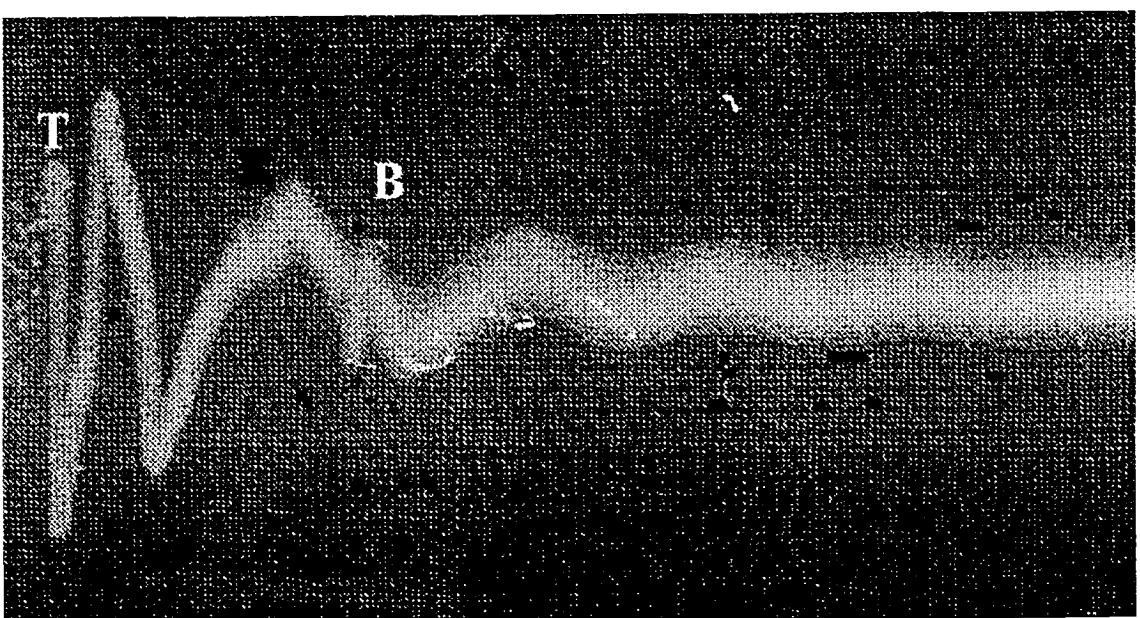


Fig. 2. Radio-echo sounding (RES) of King George Island ice cap. 1 is ice free land, 2 are ice margins, 3 are main ice domes, 4 is ice divide near ice dome B, 5 are outlet glaciers, 6 are ground-based RES measurement points in December 1995 and their numbers, 7 is ground-based RES measurement profile of Soviet Antarctic Expedition in 1970 [Govorukha and others, 1974], 8 is airborne RES flight by British Antarctic Survey in 1975 with ice thicknesses measured (in metres) [Simoes and Bremer, 1995], 9 is drilling camp in December 1995. LG is Lange Glacier.



Fig. 3. Ground-based radio echo-sounding measurements on King George Island ice cap with a mono-pulse radar in December 1995.

Fig. 4. Example of radar records (oscillograms) with bedrock reflection collected with a monopulse radar in December 1995 at site 6. T is transmitted pulse, B is bottom reflection.



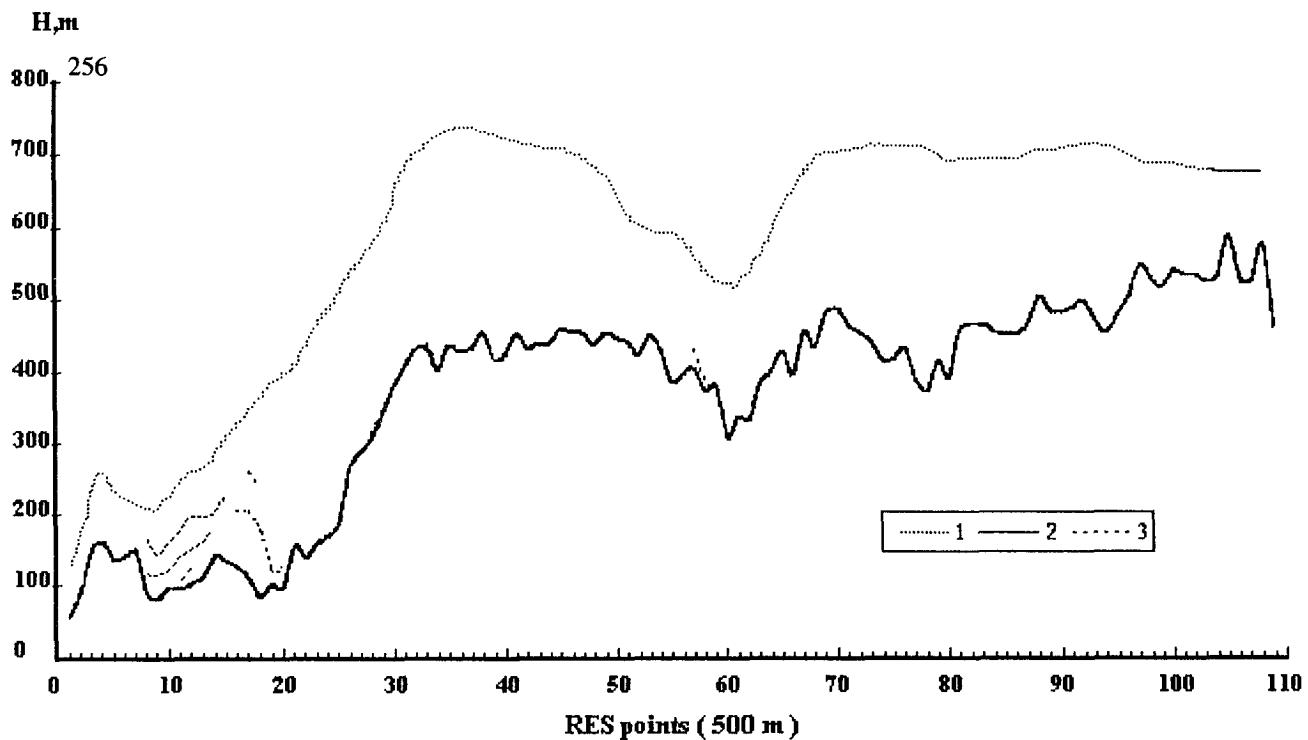


Fig. 5. Results of ground-based radio echo-sounding along the main ice divide of King George Island ice cap collected with a monopulse radar in December 1995. 1 is glacier surface; 2 is glacier bottom, 3 are internal reflection horizons. Glacier surface elevations are measured by a portable barometer at points 1 to 32 and are taken from British map at scale of 1:200.000 at points 33 to 109.

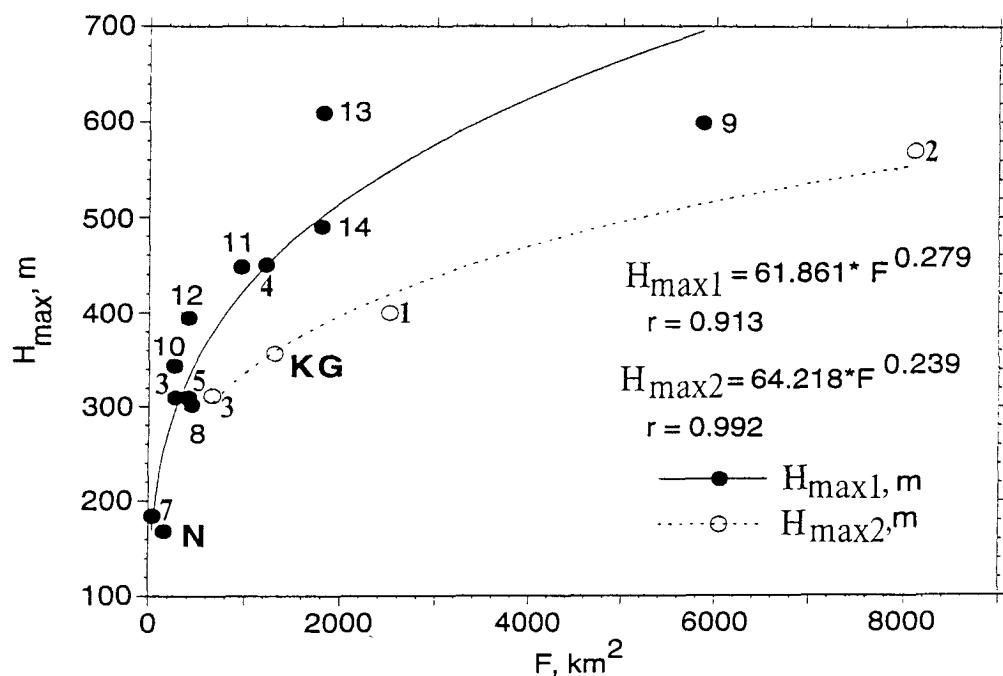


Fig. 6. Relationships between glacier area (F, km^2) and radar-measured maximum ice thickness (h_{max}, m) of island ice caps in Eurasian Arctic and South Shetland Islands. Svalbard, Nordaustlandet: 1 - Vestfonna, 2 - Austfonna-Sorfonna [Macheret and Zhuravlev, 1985; Macheret and others, 1992]; Franz Josef Land: 3 - Loonney (Alexandra Land) [Macheret and others, 1993], 4 - Graham Bell, 5 - La-Ronciere, 6 - Eva Liv, 7 - Freden [Dowdeswell and others, 1996]; Severnaya Zemlya: 8 - Shmidta (Shmidta Island), 9 - Academii Nauk (Komsomoletz Island), 10 - Pioneer (Pioneer Island), 11 - Rusanova, 12 - Albanova, 13 - Vavilova, 14 - Universitetsky (Oktyabr'skoy Revolyutziy Island) [Bogorodsky and others, 1970; Boyarsky and others, 1981; Semyenov, 1981]; South Shetland Islands: KG - King George [authors data], N - Nelson [Ren and others, 1995].

DETECCION DE HIELOS FLOTANTES EN LA ANTARTIDA

H.Salgado y M.Picasso

Servicio Meteorológico de la Armada Argentina (SMARA)
Comodoro Py 2055 - Piso 15 (1104) Capital Federal. Argentina
TE/FAX: 0054 1 317-2309
E-mail : salgado@smara.mil.ar

ABSTRACT

The recognition of floating ice edges, concentration, extension and drifting is fundamental for the navigation safety.

On other hand, the ice pack contribute to the atmosphere-ocean system equilibrium, being a basic factor in global climate change.

The microwave satellite sensors have shown their ability to penetrate the cloud cover and discriminate between marine ice floes, snow and water, in any solar illumination condition.

Since the launching of the ERS-1, it was shown the potential of the Synthetic Aperture Radar (SAR) to detect floating ice and their features.

The Naval Hydrographic Service (Armada Argentina) started to explore this technology. The results were the identification of first year ice, brash, ice edge, ice concentration, melt processes, and open water in different roughness conditions.

The interpretation was possible with help of meteorological, glaciological and nautical data, obtained by the Antarctic Stations and the Icebreaker ARA Alte. Irizar (Arg.).

The SAR images have shown synergism with the other satellite sources, whose limitations are solved by the all-weather SAR operation and its high geometric resolution.

RESUMEN

El reconocimiento de los hielos flotantes, su extensión, concentración, etapas de desarrollo y movimiento es fundamental para la seguridad de la navegación antártica, y para el conocimiento y monitoreo del sistema climático global. En este último sentido, la cobertura de hielos antárticos cumple un rol decisivo en el mantenimiento y equilibrio de los intercambios de calor hemisféricos meridionales, en el equilibrio del sistema acoplado atmósfera-oceano y es testigo importante de variaciones o cambios climáticos.

Los hielos actúan como una barrera aislante natural, que regula y modera el intercambio de calor (energía) entre océano y atmósfera. El monitoreo y mapeo de las variaciones estacionales y anuales del límite de hielos marinos constituye un paso crítico para la comprensión del cambio climático global y, en ello,

es también importante el estudio de fluctuaciones glaciológicas más detalladas como procesos de deformación, etapas de desarrollo, aberturas, etc.

Con el advenimiento de los primeros satélites meteorológicos, que fueron gran ayuda para vencer el impedimento de la vastedad antártica, se inició una etapa de mediciones más precisas y globales de tales cambios. No obstante, las imágenes infrarrojas y visibles se ven limitadas severamente por la nubosidad y, mientras que estas últimas también sufren el efecto de la escasa luz invernal propia de las regiones antárticas.

Desde mediados de la década del 70 los sensores de microondas orbitales demostraron su capacidad para penetrar la nubosidad. Luego se alcanzaron diseños perfeccionados que permitieron distinguir entre bandejas de hielo marino, nieve y agua, en cualquier condición de luminosidad e inclusive, nubosidad.

A partir del lanzamiento en 1991 del Satélite Europeo de Percepción Remota (ERS-1), numerosos estudios han mostrado la utilidad de su Radar de Abertura Sintética (SAR) para detectar hielos flotantes y determinar sus características.

Con el apoyo de información complementaria, proveniente de observaciones climatológicas y glaciológicas realizadas en las Estaciones Antárticas y a bordo del Rompehielos ARA "ALMIRANTE IRIZAR" (Arg.), y de imágenes satelitarias visibles e infrarrojas, se probó en el Servicio de Hidrografía Naval (SHN) de la Armada Argentina la identificación de distintos tipos de hielos marinos a la deriva, HIELO fijo y aguas libres de hielo. También se reconocieron procesos de fusión, etapas de desarrollo y grados de concentración.

La aplicación de las imágenes SAR ERS muestra sinergismo con información originada en otras fuentes terrestres y satelitarias, a las cuales adiciona sus cualidades de funcionamiento en cualquier condición del tiempo (all-weather) y alta resolución geométrica.

INTRODUCCION

El monitoreo e identificación de los distintos tipos de hielo flotante representan una gran ayuda a la navegación antártica, reduciendo riesgos y demoras en selección de rutas de acceso a las estaciones en tierra. Pero también esas áreas cubiertas de hielo juegan un rol

importante en el sistema climático global porque interactúan directamente con dos componentes climáticas claves: las circulaciones atmosféricas y oceánicas

Las imágenes ERS-1 SAR son una herramienta muy útil para estos fines, dado que permiten registrar datos bajo cualquier condición lumínica y con cobertura nubosa o precipitación, elementos generalmente importantes y críticos en la Antártida.

La interpretación de tales imágenes es totalmente diferente a la de las meteorológicas tradicionales, correspondientes a sensores que operan en las bandas del espectro visible e infrarrojo. Las imágenes SAR requieren de entrenamiento especial y desarrollo de métodos de evaluación y análisis específicos (Gossmann, 1994).

En efecto, el radar es un sistema activo que emite un haz de microondas hacia un blanco, y recibe la energía que retorna al sensor. Por lo tanto, la imagen radar es función de la energía que ingresa de vuelta desde el blanco; es registrada y procesada por el sistema. Esa imagen, a su vez, depende de la geometría, textura (rugosidad) y características fisico-químicas del hielo (Ice Center, 1994).

También es necesario calibrar las imágenes con pruebas de campo, tomando "in-situ" información meteorológica, glaciológica, cartográfica y oceanográfica mediante buques o desde estaciones Antárticas.

En este trabajo se presentan algunos resultados complementarios a los primeros obtenidos (Salgado, Picasso et al., 1995), mediante interpretación visual y proceso digital realizado con el programa IDRISI, a partir de imágenes captadas durante las Campañas Antárticas 92 y 93.

MATERIAL UTILIZADO

Se seleccionaron 2 zonas ubicadas en el Mar de Weddell y el Mar de Bellingshausen, al E y W de la Península Antártica respectivamente (Fig. 1). Corresponden a rutas de navegación para aproximación a las Estaciones Argentinas en la Antártida, y por lo tanto son de sumo interés para el conocimiento de los navegantes y científicos que cursan por ellas.

Se utilizaron 2 imágenes SAR.PRI de ERS-1, que fueron cedidas por la Agencia Espacial Europea (ESA) (Tabla I).

Zona	Orbita/Frame	Fecha	Coordenadas	
	Number		Latitud	Longitud
A	02624/5535	16/1/92	76°,896 S	38°,899 W
B	08170/4941	6/2/93	64°,705 S	63°,715 W

Tabla I: imágenes ERS-1/SAR empleadas.

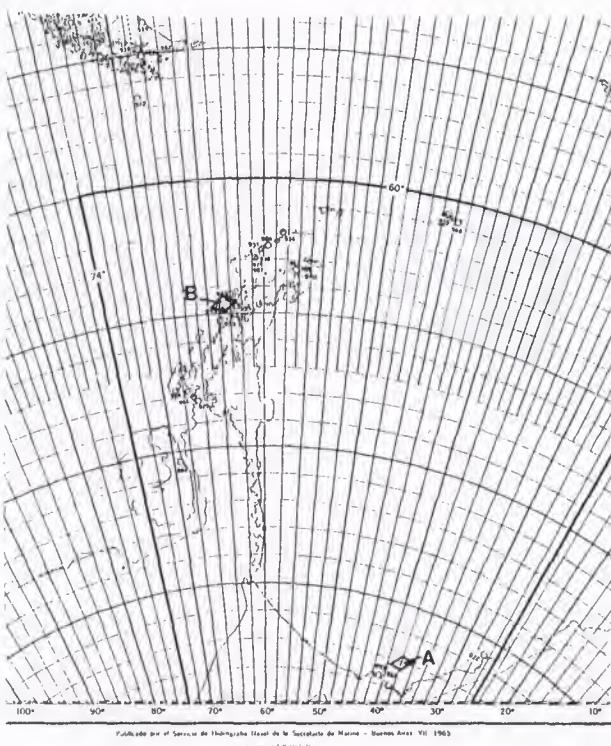


Fig.1: Posición de las imágenes correspondientes al S del Mar de Weddell (A) y Mar de Bellingshausen (B)

Se registraron simultáneamente los parámetros meteorológicos, oceanográficos y glaciológicos en el Rompehielos ARA ALMIRANTE IRIZAR" (RHAI) (Fig.2) y en las Bases Belgrano II(Arg.) y Palmer(USA).



Fig.2: Rompehielos RHAII (Arg.) navegando al S del Mar de Weddell durante la Campaña Antártica de Verano 92. Se observan bandejones de hielo del 1º año (P), charcos de fusión (F) y escombros (E)..

Se utilizó cartografía náutica complementaria producida por el Servicio de Hidrografía Naval (SHN), cartas y mosaicos de imágenes LANDSAT de diversas fuentes, y análisis glaciológico confeccionado por el actual National Ice Center (entonces US NAVY-NOAA Joint Ice Center), Suitland, Maryland, USA.

METODO

Las imágenes SAR fueron preprocesadas en equipos de computación de otras instituciones, dado que el SHN no cuenta todavía con las facilidades para la lectura y reducción del ruido (speckle), propio de las imágenes SAR. Esta etapa fue cumplida en el Centro Argentino de Estudios de Radiocomunicaciones y Compatibilidad Electromagnética (CAERCEM-CONICET), Argentina, y en el Grupo de Trabajo de Teledetección (AGF) del Instituto de Geología General y Aplicada de la Universidad de Munich, Alemania.

Una vez transformadas a formato gráfico estándar del tipo TIFF (Tagged Information File Format), las imágenes se procesaron en el SMARA con el programa IDRISI (producido por Univ. de Clark, USA), con el cual se realizaron tratamientos geométricos, radiométricos y de clasificación.

La interpretación visual se realizó con apoyo de las observaciones registradas en buques y estaciones, con las cuales se validaron los resultados.

RESULTADOS

Entre los más importantes parámetros de hielos flotantes para fines operativos del navegante se encuentran la CONCENTRACIÓN DE HIELO y la posición del BORDE DE HIELO (Ramsay et al., 1995).

En efecto, muchos barcos no tienen cascos preparados para navegar en campos de hielo a la deriva (pack ice), y por lo tanto evitan acercarse a su borde.

Estimar la concentración requiere discriminar entre aguas libres de hielo (open water) e hielo. Esta separación es notoria cuando el agua está en calma, ya que aquí la firma radar es casi nula y aparece oscura en la imagen. Cuando hay viento en superficie, la textura de la superficie del agua se torna rugosa, y la separación ya no es tan clara. Esto es evidente, cuando por influencia de los vientos de barrera, valle etc. en la orilla de valles o cañadones, la turbulencia aparece gris claro o blanco (Fig. 3).



Fig.3: Costa W de I. Ambergues, B. Hamburg con tono gris oscuro por cobertura de nieve húmeda. En la costa se ve agua turbulenta (A). Mar adentro se ve oleaje (B).

Alejándose de la costa, bajo la influencia del viento predominante, el patrón de oleaje se muestra nítidamente en las imágenes SAR, principalmente cuanto más perpendicular sea la dirección del tren de olas con respecto al haz del radar. Un ejemplo se ve en la Fig. 3, correspondiente a la Bahía Hamburgo, Isla Ambergues, donde se registraron vientos N-NW, con azimut de 350° e intensidad de 10 nudos. En este caso se trata de una órbita descendente del satélite ERS-1, y el haz de microondas forma un ángulo de 70° aproximadamente con respecto de las olas.

Otro factor importante en la tipificación del HIELO es la EDAD o ETAPA DE DESARROLLO, debido al peligro que puede implicar para la estructura de los buques no preparados para navegar en zonas de hielo marino, o la dificultad del avance de rompehielos y buques polares. El tipo de hielo se basa en su edad y en los procesos que haya sufrido, lo cual está correlacionado con su espesor, dureza y textura.

Diferenciar HIELO DEL PRIMER AÑO del HIELO VIEJO DE VARIOS AÑOS es significativo, dado que este último trata de evitarse por motivos económicos y de seguridad (Ramsay et al., 1995).

Con apoyo de observaciones glaciológicas y meteorológicas realizadas en la Base Belgrano II (Arg.) y el RHAII (Tabla II), se clasificó una subimagen que abarca un sector del S del Mar de Weddell cercano a dicha base (Fig. 4). Como resultado se observan 3 clases: aguas libres de hielo (con tonalidad oscura), escombro (gris claro-blancos) e hielo del primer año (gris).

Fecha	10	11	12	13	14	15	16
Enero 1992							
Temp.(°C)	1.0	1.0	2.5	-1.0	-2.5	-1.5	-2.0
Direcc. Viento	W	--	SW	NW	ENE	SSW	NNE
Intens. (km/h)	5	--	4	8	4	5	5

Tabla II : Obs. Meteorológicas en Base Belgrano II
(Lat. 77°52'S Long 34°37'W)

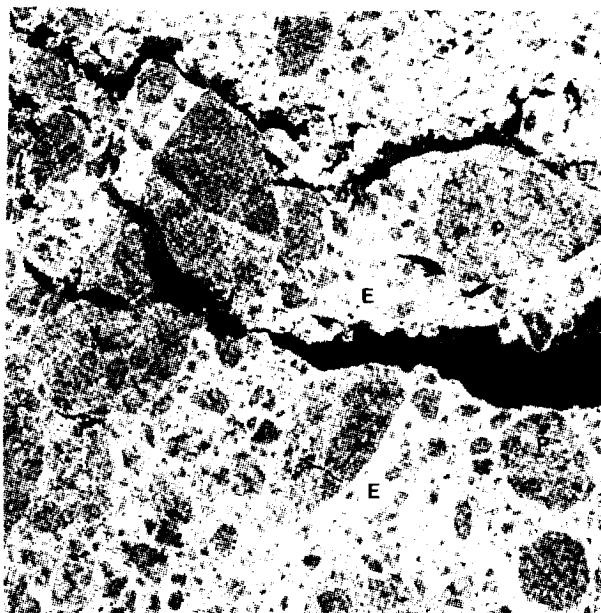


Fig.4: S del Mar de Weddell, cerca de la Base Belgrano II (Arg.). Se observa escombro (E), bandejas de hielo del 1º año (P) y aberturas (negro).

El color claro del escombro se debe a que prevalece la rugosidad de su superficie irregular, lo cual produce una alta retrodispersión.

El hielo del primer año puede presentar tonos oscuros a claros, dependiendo de su textura, espesor y las condiciones ambientales previas a la toma. En este caso, las características climáticas benignas de los días previos (ver Tabla II) originaron fusión, y charcos de agua sobre los bandejas, oscureciendo sus tonos.

Posición Geográfica Concentración Edad/Desarrollo

77°40'S 34°46'W 9/10 Del 1º año, delgado
(30-70 cm. de espesor)

Tabla III: Obs. glaciológicas realkizadas en el RHAI

Midiendo la superficie cubierta por agua, con respecto a la cubierta por hielo (del primer año y escombro), se cuantificó un porcentaje menor al 10%, lo cual coincide con las observaciones realizadas por el RHAI (Tabla III) y lo indicado en el mapa zonal general elaborado por el National Ice Center (Fig.5).

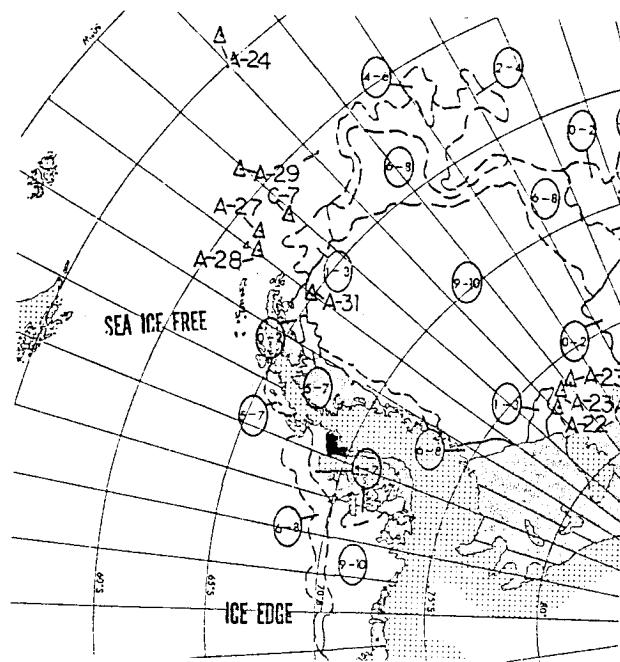


Fig.5: Mapeo de Hielo Marino , mostrando concentración de 9-10 décimas para la mayor parte del Mar de Weddell

Otra manifestación del proceso de fusión, típico de mediados del verano, es la pérdida de espesor de los bandeones y la aparición de grietas y canales, que conforman un sistema de aberturas, como el que se ve sobre el hielo del 1º año en el Estrecho de Gerlache (Fig.6).

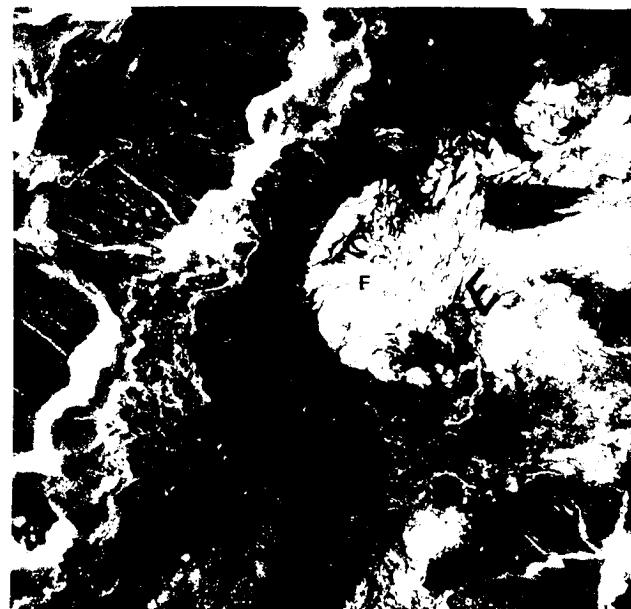


Fig.6: Sector del Estrecho de Gerlache, con hielo del 1º año, con marcado proceso de fusión (F)

Como resultado final, puede señalarse que las imágenes SAR han posibilitado la diferenciación de tipos de hielos marinos, aguas libres, concentración, bordes del campo de hielo, y procesos de fusión, presentándose como una colaboración óptima para la navegación y estudios del medio ambiente antártico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores ponen énfasis en el reconocimiento a quienes permitieron este trabajo, con los que están de deuda de gratitud. En especial, a la Agencia Espacial Europea que proveyó gratuitamente las imágenes, con las cuales se realizó este trabajo.. Al Dr.A. Gagliardini y a la Dra.L.Frulla del Centro Argentino de Estudios de Radiocomunicaciones y Compatibilidad Electromagnética (CAERCEM-CONICET) y al Dr. H. Mehl del Grupo de Trabajo de Teledetección (AGF). Instituto de Geología General y Aplicada de la Universidad de Munich, Alemania, todos los cuales colaboraron en el proceso inicial de las imágenes con desinterés y permanente apoyo.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - Gossmann H., 1994 "Monitoring Dynamic Processes in Antarctic Geosystems". ERS-Proposal.
- 2 - Ice Center, 1994 "Analysis and Forecasting SAR Ice Interpretation Guide". Environment Canada. Atmospheric Environment Service.
- 3 - Ramsay B., et al., 1993 "Potential of Radarsat for Sea Ice Applications", Canadian Journal of Remote Sensing. Vol.19, N°4. nov-dic 93. 352-262.
- 4 - Salgado H., Picasso M., Frulla L. y Gagliardini A., 1995 "Uso de Imágenes ERS-1/SAR para la Caracterización de Hielos Flotantes". Revista SELPER, Vol.11, N°1-2, mar-jun 1993, 93-98.
- 5 - World Meteorological Organization (WMO), 1970 "WMO Sea Ice Nomenclature", WMO N°259, TP 145, Ginebra, Suiza.



MONITORING OF SUBGLACIAL VOLCANIC ERUPTION AND GLACIAL FLOOD IN SOUTHERN ICELAND USING ERS-1/2 SAR DATA

Bettina Müschen, Christoph Böhm, Achim Roth, Marcus Schwäbisch, Andrea Holz

German Aerospace Research Establishment (DLR)

German Remote Sensing Data Center (DFD)

D-82234 Oberpfaffenhofen, Germany

phone: + 49 8153 282706, fax: + 49 8153 281445

e-mail: Bettina.Mueschen@dlr.de, Christoph.Boehm@dlr.de,

Achim.Roth@dlr.de, Marcus.Schwaeisch@dlr.de, Andrea.Holz@dlr.de

ABSTRACT

Monitoring of volcanic eruptions by weather and sunlight independent spaceborne data could be an important tool to provide warnings and minimize danger for men and infrastructure. Therefore ERS-1 and ERS-2 data were used to monitor a subglacial eruption under Vatnajökull glacier and a following glacial flood in South Iceland. With a set of 9 ERS pathes covering the eruption area during a period from Oct. 3 to Nov. 9, the eruption could be observed and qualitatively and quantitatively analysed. Further effects could be predicted and quantized. It could be approved that monitoring of volcanic eruptions in a very short time schedule due to the dynamic character of the event is possible and leads to important results which can be used by the authorities in charge for the catastrophe management.

1. INTRODUCTION

Volcanic eruptions and its consequences such as magma flows, lahars, ash fall, glacial floods (jökulhlaup) etc. are a permanent threat to many regions of the Earth. Due to the growth of mankind and extension of populated areas a rising toll of people being killed and economic consequences have been accounted caused by volcanic eruptions even during the last century. Within the last twenty years several major eruptions took place, for example: Mt. St. Helens 1980 (USA) killing 57 people and causing a damage of at least 1.1 billion US\$; Nevado del Ruiz 1985 (Colombia) killing 23,000 people by a mudflow (lahar); Mt. Pinatubo 1991 killing 847 people by lahars, more than 1 million were displaced and hundreds of millions of Dollars damage in private properties and infrastructure was caused.

Therefore it is essential to observe volcanic eruptions and its consequences, even in inaccessible regions independent of daylight, weather conditions etc., to make sure that warnings can be given and precautions taken to minimize danger for men and infrastructure.

The first tool which could provide this information under any circumstances is spaceborne radar. By the launch of the ERS-1 satellite 1991, the radar system has proved as an excellent instrument for the observation of dynamic processes.

This paper will present a successfull prove that ERS-1/2 SAR data can be applied as an operational tool for the monitoring of volcanic eruptions and the prevention of di-

sasters. In the case of the volcanic eruption under Vatnajökull glacier in South Iceland it was for the first time possible to observe a volcanic eruption and a following glacial flood by ERS-1/2 SAR data. One aim of this work was to deliver within a very short time span image products and interpreted satellite images via ftp to the Icelandic authorities. By doing this, Icelandic institutions could be supported in their attempts to minimize the impact of the eruption and its consequences.

It was only possible to perform that work due to the fact that DFD has a very fast and flexible chain from data acquisition to processing, geocoding, image product generation and interpretation including manpower and know how.

Most image products and interpretations were made accessible via internet (<http://www.dfd.dlr.de/HOT-TOPICS/volcano>).

2. ERS-1/2 SAR DATA ACQUISITION AND SAR IMAGE PROCESSING

The eruption could be observed the first time by ERS-2 on Oct. 3, 1996. Visibility was again possible on Oct. 6 and 8, due to the ERS orbit configuration. Fortunately the event took place when ESA intended to perform check-outs of the ERS-1 satellite. This gave the unique possibility to observe this eruption with ERS tandem data to enable interferometric processing. Both satellites passed the area again on Oct. 21, 22, 23 and 24. After the flood ERS-2 data are available from Nov. 7 and 9. The data of all overflights, except Oct. 3, were acquired by the DFD receiving station Neustrelitz (Figure 1).

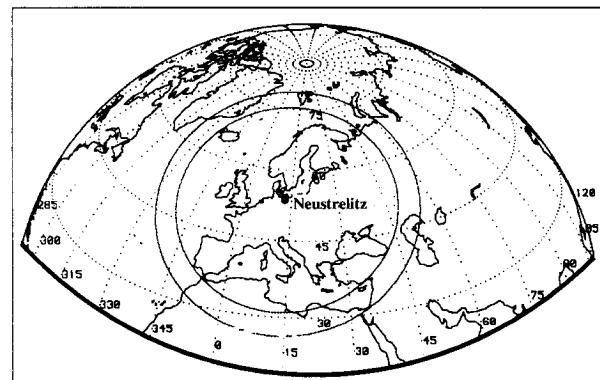


Figure 1: Visibility of the Neustrelitz ground station.

Immediately after the acquisition, the data were transferred to the DFD processing and archiving centre in Oberpfaffenhofen (Figure 2). With an average delay of 2 days the raw data were processed employing the MSAR processor to Single Look Complex (SLC) and Precision Image (PRI) products. To further improve the aimed interpretation results, the PRI products were precisely orthorectified and geocoded by GEOS system to the Geocoded Terrain Corrected (GTC) product (Figure 2). The location accuracy of this product is better than 25 m enabling quantitative measurements even in highly distorted areas.

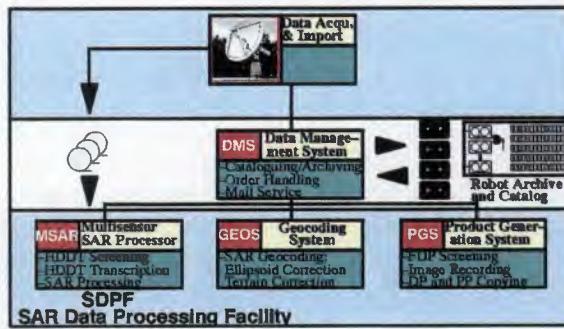


Figure 2: Data stream within DFD's ground segment.

3. METHODOLOGY

Due to the applied character of our study we like to give just a short overview of the techniques used in digital image processing and image analysis. To derive qualitative and quantitative results from the geocoded SAR data (GTC) a wide variety of data processing techniques and enhancements was tested. In most cases at first speckle filtering was applied to the datasets. In this case 3×3 Lee filter was found to be the best technique to perform speckle filtering.

Each dataset on its own is a valuable source of geoscientific information concerning the eruption. Therefore a first step was to analyse every single dataset for certain features as pyroclast layers, crevasses and fissures, depressions in the ice etc. for qualitative interpretation, to gain information about the ongoing eruption as fast as possible. A second step was to measure as exactly as possible the size of the erupting fissure, of the ice depression as well as the size of Grímsvötn subglacial lake to gain quantitative information concerning the melted water volume gathering in Grímsvötn caldera.

In a next step it was attempted to create complementary multitemporal products to enhance specific dynamic processes or morphologic features. For that purpose colour composites, principal component analyses etc. were performed.

In a further step coherence analyses and interferograms of the SAR data sets were produced, to show shorttime movements and make quantitative analyses of ice movement and mass movements possible.

4. REGIONAL SETTING

Iceland is the biggest solely volcanic formed island on Earth, having a total surface of $103,000 \text{ km}^2$ and 260,000

inhabitants. It is located slightly south of the arctic circle on top of the midatlantic ridge, the border between the European and the North American continental plates. Roughly 11% of the island is covered with glaciers. The Vatnajökull glacier is Europe's largest, with an area of 8300 km^2 and an ice sheet up to 1000 m thick. Iceland has many periodically active volcanoes, most of which are covered by glaciers (Figures 3, 4).



Figure 3: Cloudfree NOAA-AVHRR mosaic of Europe, showing Iceland.

Most eruptions and largest volumes of lava are erupted by volcanic fissures roughly crossing the country SW to NE. Sometimes these fissures are associated to a central volcano. Those central volcanoes have fairly stable phases of activity and rest. After a period of accumulation of magma in shallow magma chambers, which can often be detected at the surface by considerable uplift, the magma migrates episodically into the dikes of the fissure swarm, opened by extensional tectonics [Ref. 1, 2].

Most dangerous in Iceland is the huge amount of pyroclasts caused by magmatophreatic activity during subaerial fissure eruptions and the meltwater produced during subglacial eruptions causing disastrous jökulhlaups.

About every two to three years a volcano eruption is registered, which means a permanent threat to settled areas, transportation, infrastructures, power supplies, aviation, etc..

The latest eruption in Iceland is located in the neovolcanic zone at a N-S oriented mountain ridge under the Vatnajökull ice sheet. It is surrounded by the Bárðarbunga, Hamarinn and Grímsvötn volcanoes. Easily the SW-NE running fissure systems can be recognized created by mostly subglacial eruptions which produced long palagonitic mountain ridges (Figure 4).



Figure 4: Geocoded terrain corrected mosaic of ERS-2 data (desc.), acquired on Oct. 6, 1996.

5. MONITORING OF THE SUBGLACIAL ERUPTION

The following informations on the chronological course of the eruptions are derived from Einarsson et al. [Ref. 3], informations on lake level and ice thickness are derived from Oddur Sigurðsson, (pers. comm. of Nov. 8, 1996).

In the late evening of Sept. 30, an eruption started under the ice of Vatnajökull. It was preceded by an earthquake at the northern rim of Bárðarbunga caldera on Sept. 29. The seismic swarm continued throughout Sept. 29 and 30.

At that time air traffic was warned of a possible imminent volcanic eruption.

In the morning of Oct. 1 good weather conditions allowed aerial observation of a big depression in the ice which steadily deepened. During the day a 5 to 6 km long row of elongated depressions formed, each about 2 km wide and 100 m deep.

In the early morning of Oct. 2, the eruption forced its way through the 450–600 m thick ice in this area. An eruption cloud of pyroclasts (volcanic ash and tephra), volcanic gases and steam rose.

In the thermal channel 4 of the NOAA-AVHRR data acquired on Oct. 12, the eruption cloud can easily be distinguished from fog patches and the ice surface by the differ-

ence in temperature (Figure 5). The eruption cloud is much colder because of the altitude of 7000–8000 m. This cloud transported a considerable amount of pyroclasts, which dropped onto the north and west of Iceland. Domestic air traffic was heavily affected and many flights were cancelled.

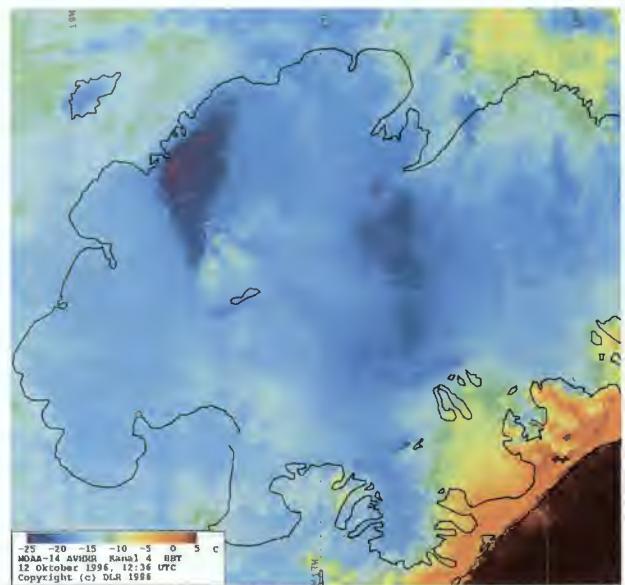


Figure 5: NOAA-AVHRR thermal channel 4, showing the area of Vatnajökull on Oct. 12, 1996.

Dense cloud coverage, the eruption cloud itself, and the inaccessibility of the region made observation of the eruption nearly impossible. Statements about its evolution, the volume of ice melted and the length and width of the active fissure in the glacier are in most cases estimates based on the experience of Icelandic scientists.

In the area west of the current eruption site two depressions in the ice have formed by repeatedly local subglacial volcanic activity which drained smaller jökulhlaups into Skaftá and Hverfisfljót river systems in the last years (Figure 6). However, the site of the new eruption itself gave no indication of volcanic activity until it was noted on the latest ERS-2 dataset acquired before the eruption on Sept. 17.

During the early stadium of the eruption between Oct. 1 and 3, a large amount of ice was melted when magma of a temperature of approx. 1200°C and volcanic gases forced their way through the ice. The meltwater of an estimated volume of 2–3 km³ sought its way to Grímsvötn caldera, filling a lake covered by a approx. 50–250 m thick ice sheet.

Figure 6 shows the area of eruption in the ERS-2 scene acquired on Oct. 6, 1996. The dark stripes originating at the eruption sites are layers of dry pyroclasts of small grain size. The lighter areas north of the eruption fissure are caused by moisture from the eruption cloud condensing on the surface of fresh snow.

A strong southern wind caused the eruption cloud to drift to the north.



Figure 6: Geocoded terrain corrected ERS-2 data (desc.), acquired on Oct. 6, 1996, showing the area of eruption.

Figure 7 shows an interpreted SAR image product of the eruption fissure, the view extends about 12 km N/S and 6 km E/W. The very bright regions on the western flank of the fissure are caused by the viewing geometry of the sensor which looks at the Earth from the east at a steep angle of 67° . This causes areas oriented towards the sensor to be imaged brighter, slopes bending away darker.

The total visible length of the fissure which was active during the eruption was 6 km on Oct. 8. Only in the southern part was it possible for the eruption to break through the ice at two spots. These two openings are separated by a 400 m wide ice bridge. At the northern end of the eruption site, a 3500 m long and 2100 m wide depression was formed.

Between the active fissure and the Grímsvötn caldera a shallow slightly curved subsidence extends from the eruption site to the subglacial Grímsvötn lake. It was formed by meltwater flowing through a subglacial canyon into the caldera. The waterlevel rose so much that the danger of a big glacial flood was present since it rose to more than 1450 m prior to Oct. 10.

Basically, the meltwater produced by the eruption could drain off either to the south to Grímsvötn caldera or to the north, to the Jökulsá á Fjöllum river system. The reason is that the eruption fissure is close to the watershed of the subglacial topography. Evaluation of the radar data confirmed the impression, that the drainage is to the south. That meant, a large amount of meltwater has accumulated in the subglacial lake of Grímsvötn (Figure 8).

Judging by the size of the depression and the fissure in the ice observed in the radar data, the amount of meltwater has been calculated at about 2.4 km^3 at this time.

Drainage of the meltwater accumulated in Grímsvötn caldera is possible in three directions. It will most probably drain to the south under the outlet glacier of

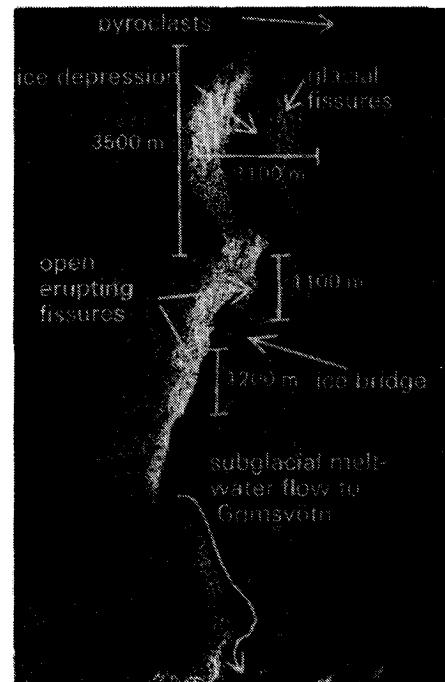


Figure 7: Geocoded terrain corrected ERS-2 data (desc.), acquired on Oct. 6, 1996; interpretation.

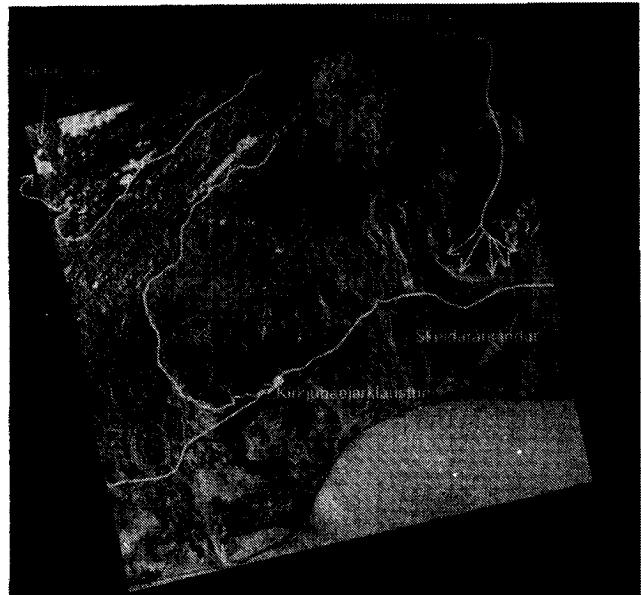


Figure 8: Geocoded terrain corrected ERS-2 data (desc.), acquired on Oct. 8, 1996.

Skeiðarárjökull, down to Skeiðarársandur (Figure 8). This endangers the ring road which connects all inhabited areas around Iceland. The destruction of the bridges which span the glacial rivers would mean a detour of 800 km for the road supply of southeast Iceland. All aspects of daily living would be affected (food, fuel, medical care etc.).

On the other hand, drainage of a certain amount of water to the west, to the Tungnaá river system could endanger the dams and hydroelectrical power plants which are indispensable for the Icelandic economy, as well as the in-

habited areas at the lower courses of the rivers (Figure 8).

Drainage of water into the Skaftá river is also possible, which would endanger the village Kirkjubæjarklaustur and the ring road (Figure 8).

Since the acquisition of the radar scene of Oct. 8 no data-take was possible for 12 days, because of the 35 day repetition orbit of ERS-2.

Figure 9 shows that in the latest stage of the eruption and after its end on Oct. 13, the horizontal dimensions of the depression were greatly enlarged. One reason could be that the fissure was much wider at its base than on the surface and the neighbouring ice is now breaking down into that space. Another reason is that the 400 m to 600 m high ice walls bordering the fissure were pressed into the fissure from both sides by the ice mass behind. Therefore, the fissure will be closed by the ice very soon.

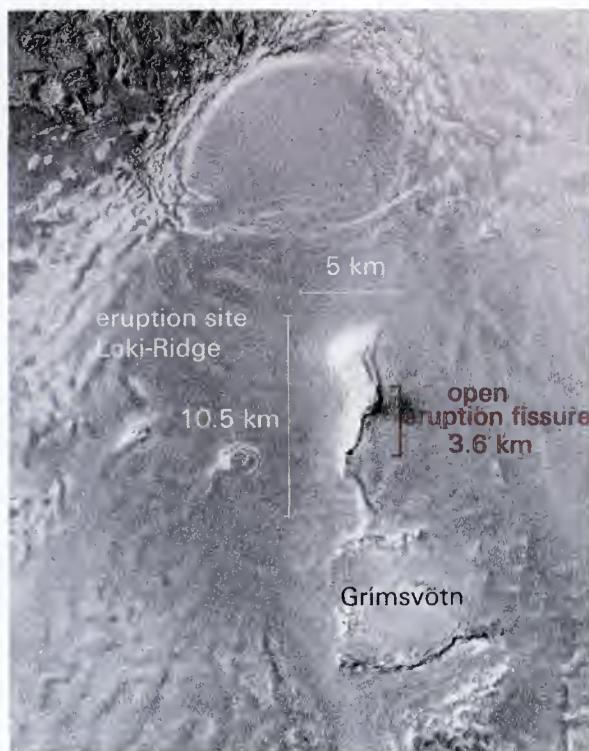


Figure 9: Geocoded terrain corrected ERS-2 data (desc.), acquired on Oct. 21, 1996; size of subset: 30 km × 30 km.

At the northern end of the eruption site, the depression which is traversed by numerous crevasses, had widened from 2.1 km on Oct. 8 to 5 km on Oct. 21. The width and the length of the fissure itself was nearly unchanged (Figure 9).

On Oct. 12, it was for the first time possible to fly over the glacier after a long period of bad weather. It was observed that a volcanic ridge had appeared in the fissure with a little crater at its northern end. That crater seems to be the top of the 7 to 8 km long active ridge that has reached a height of 1560 m, 350 to 400 meters higher than the for-

mer highest point of Loki ridge. This crater could also be detected in the SAR dataset of the Oct. 21 and 22 (Figure 10). In the middle of the open fissure the formerly mentioned SW-NE stretched ridge with a length of approx. 300 m is to be seen. At the northwest end of this ridge a crater filled with water can be recognized. Its diameter, which could be calculated from the radar scene is 140 m.

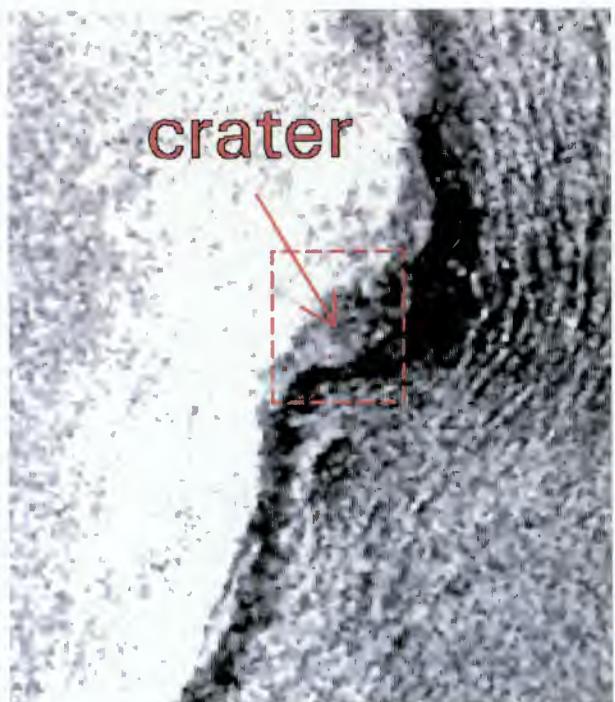


Figure 10: Geocoded terrain corrected ERS-2 scene (desc.), acquired on Oct. 21, 1996, showing the Loki crater section.

After the end of the eruption an enormous amount of water poured still into the subglacial lake of Grímsvötn caldera. Its water level had been at 1400 m before the eruption took place (Oddur Sigurðsson pers. comm. from Nov. 8, 1996). On Oct. 10 for the first time the water level in the caldera could be measured after the beginning of the eruption at 1485 ± 10 m. Icelandic scientists were able to place a GPS instrument on the ice on top of the caldera lake on Oct. 12, which did enable continuous and exact measurements. On Oct. 13 a lake level of 1500 m was measured, on Oct. 16 1504 m, on Oct. 17 1505 m. The water level finally reached a height of 1510 m (Figure 11).

All glacial floods since the start of regular measurements (1954) began at a water level of 1430 – 1450 m and the water found its way slowly through the ice. The maximum amount of drained water was 3.5 km^3 at maximum drainage rate of $10,000 \text{ m}^3/\text{s}$ [Ref. 4].

The increase of the water level above 1430 m accounted to 80 m. That meant an increase in volume of at least 2.5 km^3 . This calculation was based on the radar data and was supported by a 3-D model of Grímsvötn caldera which enabled simulations of the water volume (Figure 12). Additional information concerning the subglacial relief,



Figure 11: Geocoded terrain corrected ERS-2 scene (desc.), acquired on Oct. 21, 1996, showing the Grímsvötn caldera section.

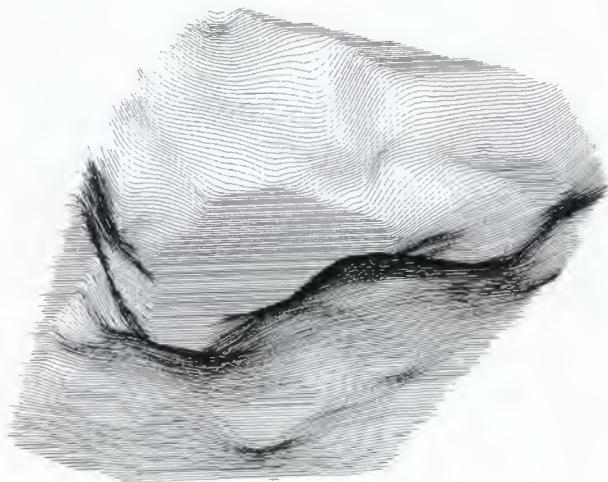


Figure 12: 3-D model of the Grímsvötn caldera, look direction WSW (240°).

the ice thickness and the ratio of ice overburden pressure to subglacial water pressure were derived from Björnsson 1988 [Ref. 4].

The drainage of the water was expected latest when the 1505 – 1510 m level was reached. At this water level, water pressure should lift the glacier ice off the ground in the southwest part of the caldera. That would cause the sudden runoff of the water under the glacier down to Skeiðarársandur.

With the margin of 1510 m exceeded and the water level still rising approx. 25 cm per day, the glacial flood was expected at any time.

All together a water level decrease of maximal 180 m was expected, corresponding to a calculated amount of water of at least 6 km^3 . That meant that the flood could be expected to match in size the glacial flood, which followed

the eruption 1938. At that time the total runoff volume was estimated at $6\text{--}7 \text{ km}^3$ at a maximum discharge rate of approx. $38,000 \text{ m}^3/\text{s}$ [Ref. 4].

6. RADAR INTERFEROMETRY

A novel way of SAR data post-processing is radar interferometry. Two datasets of the same area are used to form an interference pattern, the so-called interferogram, by exploiting the phase information of the coherent SAR signals. The resulting interferogram phase is correlated to the topography of the illuminated area as well as to small terrain displacements which may have taken place between the two acquisition dates. Figure 13 shows the interferogram of the eruption area generated with the ERS-1/2 datasets of Oct. 21 and 22, 1996, which were acquired with an effective baseline of 130 m. The interferometric phase is colour-coded, each phase cycle corresponds to an altitude difference of about 73 m when interpreted as terrain-correlated and a displacement of 2.8 cm when interpreted as surface movement.

Altitude and displacement can be separated by using either an existing DEM or another interferometric (coherent) dataset without displacement components. An ERS tandem data pair of Dec. 30/31, 1995 provided a reasonable height reference in the eruption area (Figure 14). The practicability of interferometric measurements is strongly limited by the degree of data coherence, which in turn is influenced mainly by the following effects:

- physical changes of the ground scatterers (e.g. changes in snow moisture, precipitation either snow or rain, glacier melting effects between the acquisition dates) (Figure 13);
- steep terrain slopes ($> 15^\circ$) facing the sensor look direction;
- large terrain movement gradients (Figure 13).

Such loss of data coherence, which becomes apparent in low fringe visibility, impedes an accurate measurement of height/displacement.

The altitude can not be read directly from that picture because the fringes show the phase difference of the radar waves. Same colours mean same phase state. Further processing enables the dataset to be converted to a digital terrain model.

In this case the interferogram itself makes useful interpretation possible.

In the section shown of a size of $19 \text{ km} \times 29 \text{ km}$ three main phenomena can easily be recognized in comparation of the interferograms of Figure 13 and Figure 14:

1. In the center a pear-shaped depression is visible with the volcanically active area in the middle. The total area is still affected by strong movements caused by subsiding and horizontal movements of the ice during the 24 hours acquisition period. That is why no fringes are recognizable in the depression neighbouring the water-filled eruption fissure.

The depression has a size of 46 km^2 with a length of 9.6 km and a maximal width of 6 km in its northern part. During the time period of Oct. 8 to Oct. 21, especially the northern part has enlarged strongly by 2 km to the east and

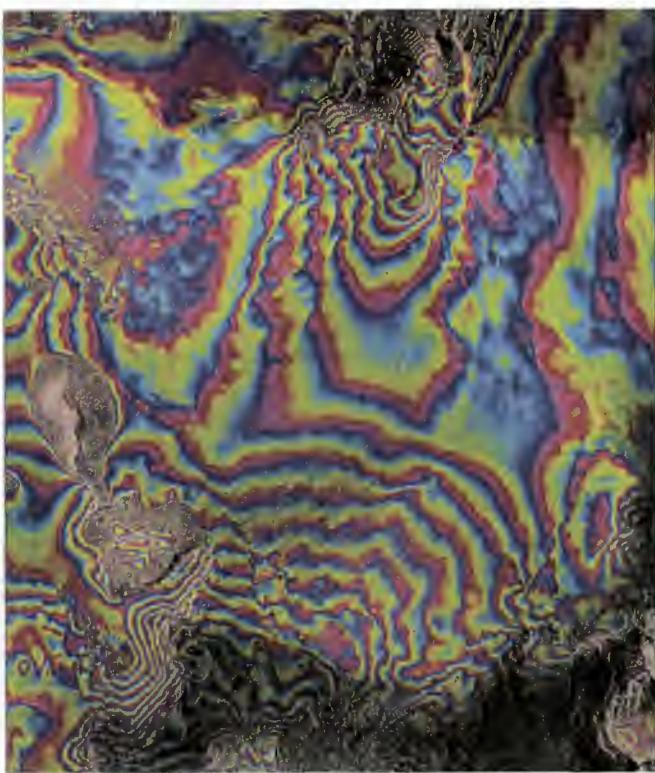


Figure 13: Interferogram of ERS-1 and ERS-2 scenes (desc.) of Oct. 21 and 22, 1996; the area of eruption is marked.

to the west, and approx. 800 m to the north. The narrow groove in the south, with a length of 2 km and a width of 800 m, is just a depression on the roof of the drainage tunnel into the caldera.

2. To the south of that area the Grímsvötn caldera is located, in which the collected meltwater has lifted the ice sheet. The appearance of Grímsvötn caldera shows two effects. On one hand, the lifting of the ice sheet by the rising water level which causes an updoming of the ice. At the contact planes to the surrounding rigid ice regions, fractures, compressions and crevasses are quickly formed within 24 hours. This results in a disturbance to the fringe lines and no coherence can be found in those areas.

On the other hand, the central area of the ice sheet is lifted up and tilted. Moreover the contour line of the subglacial lake under the ice sheet of Grímsvötn caldera – which reaches a thickness of 400 m at the rim of the subglacial lake – can easily be recognized. Calculation of the size gives a result of 47 km^2 , which differs just slightly from 45 km^2 calculated on the basis of the scene of Oct. 21.

3. Following the line Grímsvötn caldera / Loki ridge, a depression not yet reported in the literature is visible at the southwest rim of the subglacial Bárðarbunga central volcano. This E-W elongated depression has a length of 2.6 km and a width of 1 km. The depression is situated at a position where the thickness of the ice sheet decreases to 200 m. In such areas subglacial volcanic activity can be recognized sooner at the glacier's surface. Therefore, it seems that a small eruption took place at that location. The de-

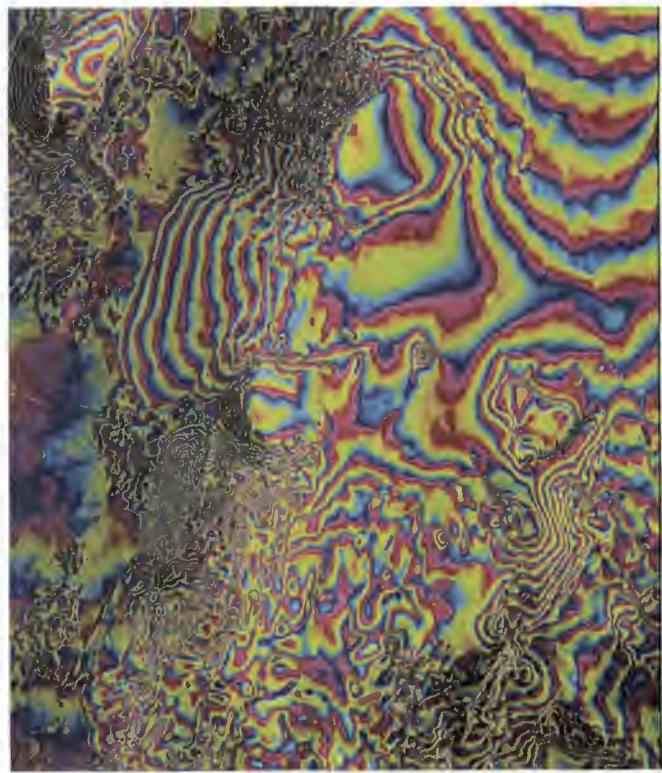


Figure 14: Interferogram of ERS-1 and ERS-2 scenes (desc.) of Dec. 30 and 31, 1995; the area of eruption is marked.

pression is situated in the watershed of Jökulsá á Fjöllum which is draining Vatnajökull to the north. The low ice thickness and a strong slope enable faster meltwater drainage compared to the Grímsvötn area in the south.

Between these two depressions is situated a 5.2 km long ice area which shows no changes on its surface up to now. In that area the subglacial relief subsides to a level of 900 m from 1100–1200 m in the area of Loki ridge. The ice thickness increases up to 800 m. These observations lead to the conclusion, that it could be possible, that the active fissure reaches underneath that area from the caldera rim of Bárðarbunga to the caldera rim of Grímsvötn for a total length of 15 km.

This means that the eruption could be much bigger than previously estimated. That no subsidence can be observed in that section can be explained as follows:

After the eruption had forced its way through the ice at the location of its strongest activity and comparably low ice thickness the volcanic gases and the steam could escape. The heat of the eruption alone did not suffice to weaken the stability of the ice sheet enough for it to subside. The high water level (at least 1510 m) causes high water pressure, which stabilizes the subglacial excavation. It can be presumed, that subsidence in that area will occur very slowly or as a result of a glacial flood which lowers the water level in Grímsvötn caldera.

The lowering of the water level by a jökulhlaup and the resulting reduced pressure on the ground can trigger off a new eruption in the Loki Grímsvötn area.

7. MONITORING OF THE JÖKULHLAUP

At 9:30 pm of Nov. 4, the expected jökulhlaup of Grímsvötn started. A continuous high frequency tremor was registered at a nearby seismic station caused by the lifting and breaking of the ice. At about 8:30 am on Nov. 5, water reached the glacier's rim and the rivers in Skeiðarársandur started to rise from 50 m³/s to a flow rate of 600 m³/s at 10:00 am. Three hours later the water had flooded the sandur on its entire width of 35 km and length of 20 km and had already destroyed a 380 m long bridge across Gigjukvísl, had cut the main powerline along the coast and the optical telecommunication cable which had been buried deep in the sediments of the sandur plain.

At 3 pm the amount of water was estimated at 25,000 m³/s; at 11 pm the jökulhlaup culminated. At that time an estimated amount of at least 45,000 m³/s flowed along a 50 km long subglacial path beneath the outlet glacier Skeiðarárjökull down to the alluvial plane of Skeiðarársandur, transporting ice blocks of more than 1000 tons which damaged the foundations of the bridges severely.

The figure of 45,000 m³/s has to be understood as a rough estimation because of severe changes in the drainage pattern of the glacial rivers and nighttime (sunrise 9:23 am, sunset 4:56 pm).

All the day of Nov. 6 the water continued flowing to the sea on a continuously lowering level. In the afternoon of Nov. 6, a cloud of steam rose to 5,000 m altitude for about 20 min caused by a small eruption in the eruption fissure which was possibly triggered by the lowering of water pressure.

On Nov. 7 around noon the amount of water in the glacial streams diminished to a normal level and the jökulhlaup had ended.

All the areas which were flooded remained covered by ice blocks of all sizes.

Two bridges and a 10 km long section of the ringroad were totally destroyed during the flood and another three bridges and 10 km of the road were severely damaged. The periglacial runoff system had been changed severely and millions of tons of sediments had been eroded and transported. For example, the former 300 m wide riverbed, where the totally destroyed 380 m long Gigjukvísl bridge was situated, has now widened to 2 km.

The ERS-2 subscene of Nov. 7 shows the area affected by the jökulhlaup (Figure 15). The flooded areas can easily be recognised in comparison to Figure 8, mainly due to high reflectancy caused by the iceblocks which are spread all over the flooded sandur plain.

The amount of meltwater flowing to the sea can also be distinguished in the NOAA-AVHRR data by either the different reflection of the sediment loaden water (channel 2) and the lower temperature of the meltwater (channel 4) which reaches the sea with a temperature close to 0°C and mixes very slowly with the seawater with a temperature of approx. 10°C (Figure 16).

It can be observed that the water is carried westward along the coast by a stream coming from the east (Figure 16).

The jökulhlaup has transported more than 100 million tons of sediments directly to the sea.

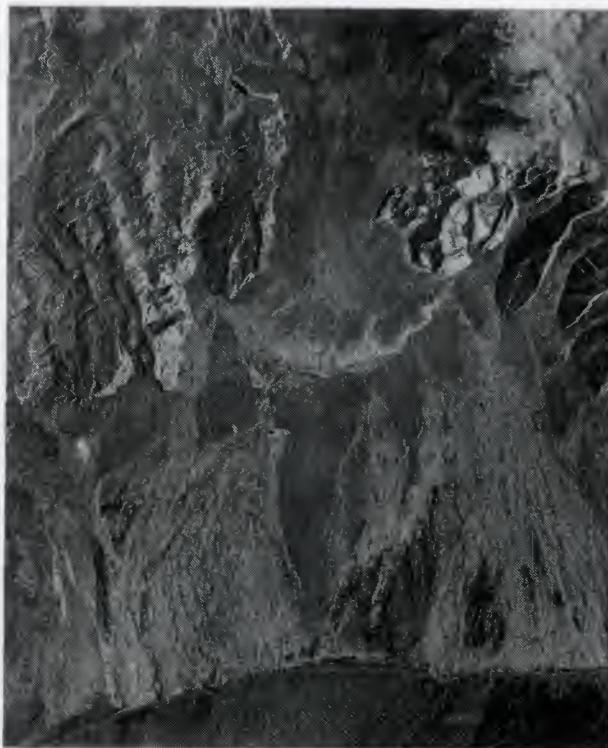


Figure 15: Geocoded terrain corrected ERS-2 mosaic (desc.), acquired on Nov. 7, 1996.

The multitemporal colour composite of ERS-1 and ERS-2 data shows the whole area which was affected by the eruption and the following jökulhlaup (Figure 17). In the area of the erupting fissure the ice movements caused by the lowering water level can be recognized. In the Grímsvötn caldera the ice movements during the jökulhlaup can be observed which lowered the icelevel to 1350 m. Which means a subsidence of the waterlevel of approx. 180 m.

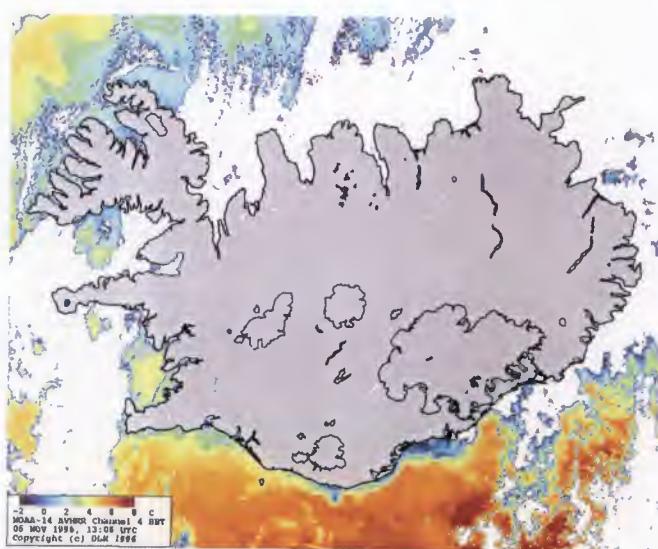


Figure 16: NOAA-AVHRR thermal channel 4, acquired on Nov. 6, 1996.

Clearly an approx. 500 m wide and 200 m deep subsidence in the south of the caldera can be recognized. That is caused by the breaking, of the roof of the subglacial channel which was created by the water forcing its way from the subglacial reservoir under the glacier over a distance of 50 km with a difference in altitude of about 1400 m down to Skeiðarársandur alluvial plain.



Figure 17: Geocoded terrain corrected multitemporal ERS-1/2 mosaic (desc.), acquired on Oct. 21, Oct. 22 and Nov. 7, 1996 (BGR).

All together the amount of damage is estimated now at 31 Mio. US \$ which means approx. 120 US \$ for every inhabitant. It will need at least two years to rebuild the ringroad completely.

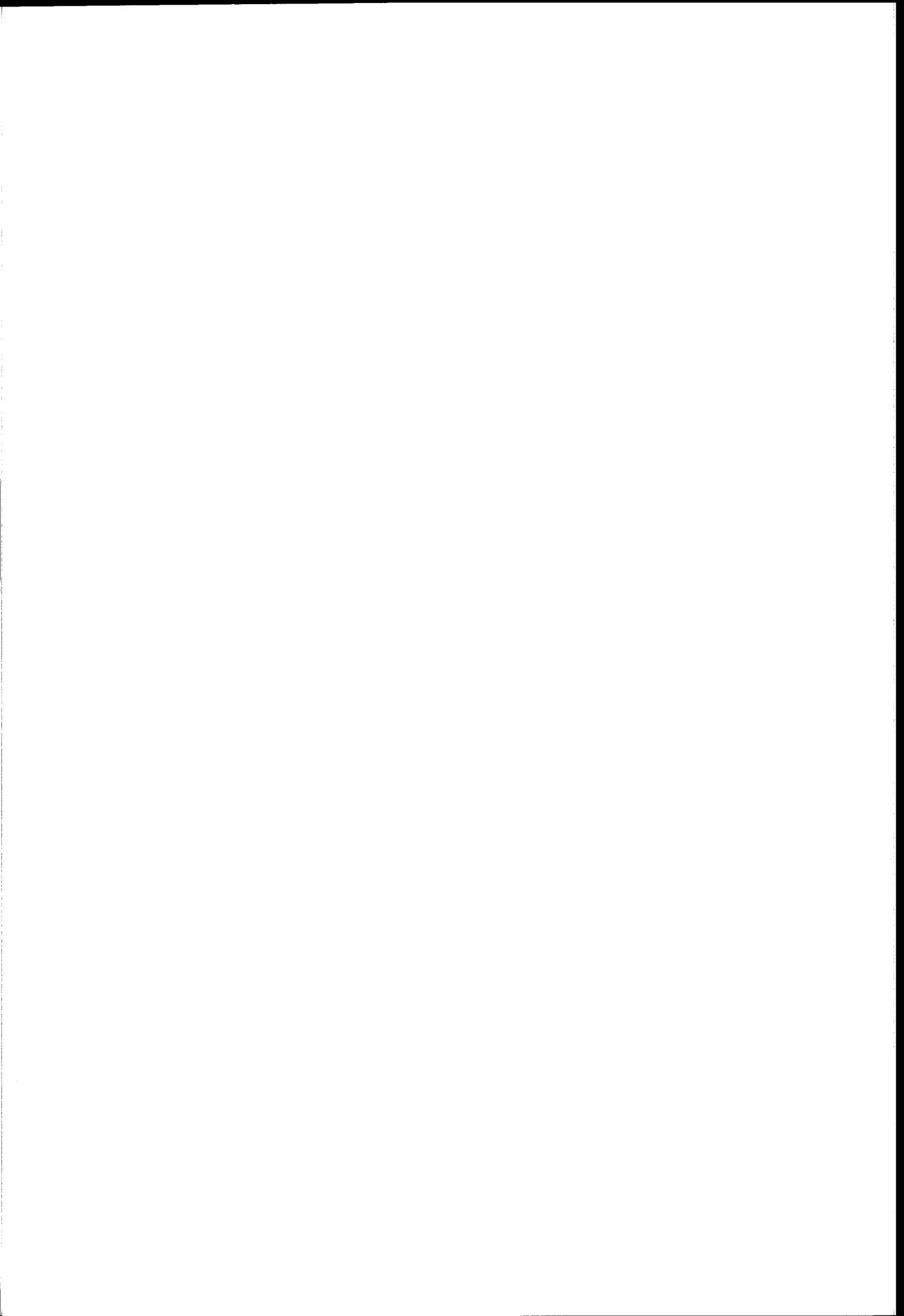
At any time another subaerial or subglacial volcano can erupt in Iceland.

8. CONCLUSION

In the case of the Vatnajökull eruption in South Iceland it could be approved that ERS-1/2 SAR data can be applied as an operational tool for the monitoring of volcanic eruptions and their adverse effects. Even in a very short time schedule due to the dynamic nature of the event results of great value could be achieved.

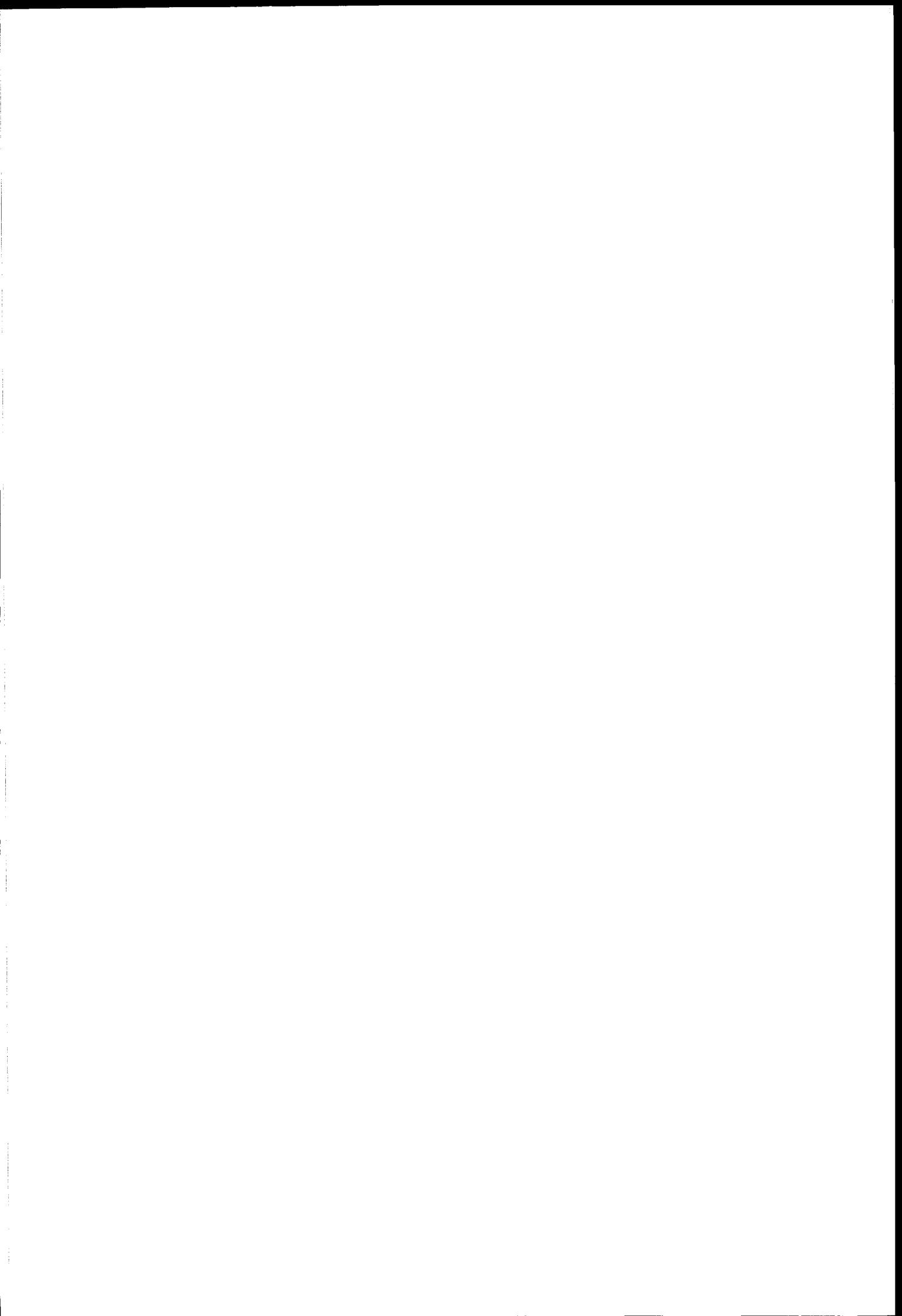
9. REFERENCES

- [1] Einarsson, P., 1991, Earthquakes and present day Tectonics in Iceland. *Tectonophysics*, Amsterdam (Elsevier): 1891–1929
- [2] Ryan, M. P., 1990, The physical nature of the Icelandic magma transport system. – *Magma Transport and Storage*, New-York (Wiley & Sons): S. 175–224
- [3] Einarsson, P. & Brandsdóttir, B. & Guðmundsson, M. T. & Björnsson H., 1996: A chronological account of the October eruption of Vatnajökull Ice cap, Internet document: http://www.rhi.hi.is/_mmh/gos/chrono2.html
- [4] Björnsson, H., 1988, Hydrology of Ice Caps in Volcanic Regions. *Vísindafélag Íslendinga, Societas Scientiarum Islandica, Rit. XLV*, Reykjavík, 133 pp.
- [5] Brandsdóttir, B. & Björnsson, H. & Guðmundsson, M. T., Einarsson, H. P. & Pállson, F., 1996, Jökulhlaup Update. Internet document: http://www.rhi.hi.is/_mmh/gos/vat-update.html
- [6] Vedurstofna Íslands, 1996, Preliminary interpretation based on monitoring by the SIL seismological network, Internet document: <http://www.vedur.is/je/loki/eruption.html>



TECHNOLOGY / TECNOLOGIA

Chairman/Presidente: **Héctor Salgado**



EL ENTORNO DE PROCESO DE DATOS SAR EPSIE

Antonio Martínez y Victoriano Moreno
 INDRA ESPACIO
 C/ Mar Egeo s/n. 28830 S.Fernando de Henares, Madrid
 Tlf.+34-1-3963935 Fax +34-1-3963912
 e-mail: amar@mdr.inisel-espacio.es

ABSTRACT

Since the launch of ERS-1 satellite, Synthetic Aperture Radar, SAR, is one of the most widely used remote sensors. SAR images are a good complement to optical data; in addition, they present a number of advantages, like the day-night, all weather imaging capability.

Nevertheless, the characteristics of SAR data makes interesting the availability of software tools to cope with the different specific processes of SAR data.

In this paper, a SAR processing environment, EPSIE, is presented. The functionalities implemented in EPSIE are the following:

- Calculation of processing parameters for SAR raw data
- Precision SAR Processor, based on the Chirp Scaling Algorithm, for the generation of single look complex and multilook detected images
- Quicklook SAR processor
- SAR Interferometry module, for the generation of interferograms, coherence images and Digital Elevation Models, DEM
- Basic functions for handling SAR images
- Speckle filters
- SAR image quality analysis tools
- Image display

On going activities for the upgrade of EPSIE include:

- Parallelisation of the CSA SAR processor. The objective is to perform the processing using several workstations simultaneously, in order to reduce the processing time.
- Upgrade of SAR Interferometry tools, towards the automatization of the process.
- Geocoding of SAR images using DEM.

1. INTRODUCCIÓN

La Teledetección o Percepción Remota es la disciplina científica que se encarga de la observación de la superficie terrestre desde sensores remotos. La desclasificación de estas tecnologías y la disponibilidad de un mayor número de sensores embarcados en satélites ha producido un aumento muy considerable en sus aplicaciones civiles, que explotan el carácter global de las observaciones así como la posibilidad de un seguimiento temporal de los fenómenos

estudiados.

El radar de apertura sintética, SAR, ocupa un puesto destacado entre los sensores remotos. En analogía con los sensores ópticos (visible e infrarrojo), el SAR produce imágenes de alta resolución de la superficie terrestre. Sin embargo, el SAR presenta algunas características distintivas:

- El SAR trabaja en el intervalo de las microondas. Esto da lugar a la observación de diferentes propiedades de la superficie, que son complementarias a las observadas con sensores ópticos.
- El SAR es un instrumento activo, por lo que no depende de la iluminación solar; además, las microondas se ven muy poco afectadas por la presencia de nubes, por lo que el SAR puede tomar datos en todo momento, con independencia de las condiciones meteorológicas.
- El datos SAR contienen información no sólo de intensidad sino también de fase. Esto abre nuevas técnicas y aplicaciones sin paralelo en el campo óptico (Interferometría SAR).

Con la puesta en órbita en 1991 del satélite ERS-1, de la Agencia Espacial Europea, el número de aplicaciones de las imágenes SAR ha aumentado espectacularmente. No obstante, los datos SAR presentan una serie de particularidades con respecto a los datos ópticos que dificultan su utilización. En este marco, para facilitar el manejo y proceso de los datos SAR, se presenta el entorno de proceso de datos SAR EPSIE.

Las principales funcionalidades de EPSIE se describen en el presente trabajo, y son básicamente las siguientes:

- Cálculo de parámetros de proceso de datos brutos SAR
- Procesador de precisión CSA SLC y PRI
- Procesador SAR Quicklook
- Módulo de Interferometría SAR para la generación de DEM
- Funciones de manejo básico de imágenes SAR
- Filtros de speckle
- Herramientas de análisis de calidad de imágenes SAR
- Visualización de imágenes

El entorno de trabajo EPSIE ha sido desarrollado sobre una

estación de trabajo UNIX, y está programado en ANSI C y OSF Motif 1.2.

2. GENERACIÓN DE IMÁGENES SAR DE PRECISIÓN

Los datos brutos del SAR están constituidos por la sucesión de pulsos recibidos por la antena; a diferencia de los sensores ópticos, estos datos no forman una imagen. El enfoque de los datos brutos SAR es un problema bidimensional consistente en la correlación de las señales retrodispersadas con una función de referencia: la función de respuesta a impulso del sistema SAR. La manera más directa de realizar la compresión es directamente en el dominio temporal. Sin embargo, la gran carga computacional de este método lo hacen inapropiado; otros métodos que trabajan en el dominio de frecuencias han sido investigados en el pasado, destacando los algoritmos Range-Doppler y w-K [1], [2].

El propósito de estos métodos es calcular la correlación bidimensional como dos correlaciones monodimensionales. El proceso en la dirección de profundidad (perpendicular al movimiento de la antena) no supone un gran problema, al ser la función de referencia la misma para todos los datos brutos. La compresión en acimut (dirección de vuelo) conlleva más problemas, ya que la función de referencia para la correlación es dependiente de las coordenadas de profundidad y acimut (efecto de migración en profundidad, o range migration), por lo que el proceso en acimut es, en realidad, bidimensional.

La corrección de la migración en profundidad es llevada a cabo en los procesadores SAR clásicos por medio de una interpolación de los datos brutos. Este paso presenta algunos inconvenientes, como son el aumento de la complejidad del procesador y de la carga computacional y la posible inducción de artefactos (blancos fantasmas y anomalías de fase) en el producto final.

2.1 El Procesador CSA.

Recientemente ha sido propuesto un nuevo algoritmo de proceso SAR que no requiere de interpolaciones: el Chirp Scaling Algorithm (CSA) [3], [4]. La idea clave del método CSA es ecualizar las trayectorias de migración de profundidad de todo el conjunto de datos brutos de forma que sólo dependan de un valor particular de la profundidad. El efecto de esta modificación de los datos brutos es que el efecto de migración puede ser compensado exactamente para toda la imagen, al depender únicamente de un valor de la profundidad.

La ecualización de los datos se realiza a partir del teorema de escalado de funciones de fase cuadráticas (Chirp Scaling Theorem). Este teorema establece un método para escalar una señal temporal mediante una cadena de convoluciones

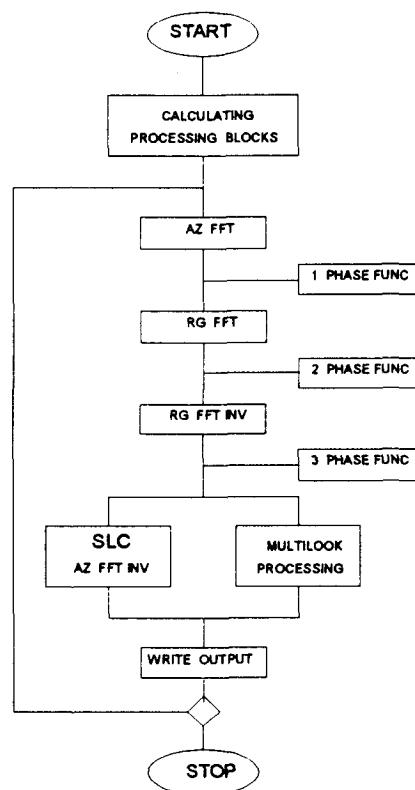


Figura 1. Diagrama de flujo del procesador CSA y multiplicaciones por funciones de fase <5>.

Una vez efectuada la ecualización (primera función de fase en el diagrama de la figura 1), la migración de profundidad de todo el conjunto de datos brutos puede ser corregida. Esta corrección se efectúa al mismo tiempo que la compresión en profundidad, con el consiguiente ahorro de dos operaciones de transformada de Fourier (FFT) respecto a los procesadores clásicos (segunda función de fase). Recordemos que el cálculo de las FFT es la principal tarea consumidora de tiempo. Despues de esta etapa queda por realizar la compresión en acimut y la compensación de la fase por efecto de la ecualización (tercera función de fase). El diagrama de flujo del proceso se muestra en la figura 1.

Las principales características del procesador CSA en comparación con otros procesadores clásicos son las siguientes:

- El algoritmo CSA produce imágenes SAR de alta calidad, que pueden ser utilizadas para todo tipo de aplicaciones.
- No existe necesidad de interpolar los datos SAR antes de ser comprimidos; este hecho facilita enormemente el diseño del procesador, y evita la posible aparición de artefactos en la imagen.

- La compresión en profundidad se realiza al mismo tiempo que la compresión acimutal, con la consiguiente eficiencia computacional, al requerir tan sólo 4 FFT's.

- El algoritmo CSA es apropiado para el procesado de datos SAR tomados en geometrías complejas.

2.2 Prestaciones y análisis de calidad de las imágenes generadas con CSA.

El procesador CSA ha sido sometido a un riguroso plan de pruebas, del que aquí presentamos tan sólo los resultados más relevantes (ver la tabla 1). Los datos analizados corresponden al producto SLC (Single Look Complex), imagen compleja de un sólo look, que es el producto SAR básico. También se incluyen en esta tabla las especificaciones de la ESA para la validación de procesadores SAR [6]. Todos los parámetros de calidad se encuentran dentro de las especificaciones de la ESA.

PARÁMETRO	CSA	Espec. ESA
Resolución Espacial, acimut	5.5 m	< 10. m
Resolución espacial, profundidad	9.5 m	< 10. m
PSLR, acimut	-25.8 dB	< -18. dB
PSLR, range	-18.2 dB	< -18. dB
2-D ISLR	-14.4 dB	< -8. dB
Ambigüedad, acimut	-26.8 dB	< -25. dB
Resolución Radiométrica	3.04 dB	3.03 dB
Diferencia de fase CEOS	0.002 deg	< 0.1 deg
Desviación diferencia de fases	2.0 deg	< 5.5 deg

Tabla 1. Parámetros de calidad de las imágenes CSA SLC.

Respecto a las prestaciones computacionales, en la tabla 2 se indican los tiempos de proceso de una imagen SLC correspondiente a una escena completa (100 km x 100 km) para cuatro estaciones de trabajo UNIX.

COMPUTADOR	TIEMPO DE PROCESO
Sun Sparc 10/40 40 Mhz, 128 MB RAM	260 min
Sun Sparc 20/70 75 Mhz, 128 MB RAM	192 min
HP 9000/735 99 Mhz, 96 MB RAM	150 min
Sun Ultra 1/170 167 Mhz, 128 MB RAM	100 min

Tabla 2. Tiempo de proceso de una imagen SLC de 100 km x 100 km.

3. PROCESADOR QUICKLOOK

El objetivo del procesador SAR Quicklook es el de poder generar imágenes de baja resolución espacial con gran rapidez. Esto es de gran utilidad para diversos usos:

- Generación de catálogo de imágenes
- Análisis rápido de las imágenes
- Cuando se desea analizar los datos brutos para localizar la zona de interés a procesar a toda precisión.

El algoritmo implementado en EPSIE consta de los siguientes pasos:

- Filtro de compresión en acimut en el dominio temporal, que realiza una decimación de los datos por un factor en torno a 40.
- Compresión en profundidad en el dominio frecuencial, con realización de multilook.
- Proyección sobre el terreno de la imagen resultante.

El tiempo de proceso de una imagen de 100 km x 100 km es de 140 s (Sun Ultra 1, 167 MHz).

4. CÁLCULO DE PARÁMETROS DE PROCESO

El propósito de las funciones de preprocesado SAR es el obtener automáticamente todos los parámetros requeridos para la entrada de los procesadores SAR (CSA y Quicklook). La mayoría de estos parámetros son extraídos de los ficheros auxiliares de los datos brutos SAR; por otra parte, los parámetros Doppler (centroide Doppler, variación FM y su variación con la profundidad) necesitan ser calculados aparte [7]. Las funciones incluidas en EPSIE son las siguientes:

- Extracción de parámetros de los ficheros auxiliares
- Cálculo de los parámetros Doppler a partir de los vectores

orbitales

- Estimación del centroide Doppler con el método de análisis espectral
- Estimación del centroide Doppler por correlación temporal
- Estimación de la variación FM con el método de correlación de looks
- Generación automática de ficheros de parámetros de proceso para los procesadores CSA y Quicklook.

5. MÓDULO DE INTERFEROMETRÍA

La Interferometría SAR engloba las diferentes técnicas para la utilización de la información de fase contenida en las imágenes SAR. Entre las aplicaciones más conocidas de la Interferometría SAR destacan la generación de modelos de elevación del terreno, DEM, la detección de pequeños movimientos de la superficie terrestre (Interferometría diferencial) y la clasificación de imágenes SAR utilizando información sobre la correlación en intensidades y fases entre imágenes tomadas en diferentes fechas (coherencia).

El módulo de Interferometría SAR integrado en EPSIE consta de las siguientes funcionalidades:

- Alineado de dos imágenes SAR SLC a nivel subpixel
- Filtrado del espectro común de las imágenes
- Generación del ionterferograma (diferencia de fases)
- Generación de imágenes de coherencia
- Corrección del interferograma por la geometría de adquisición de los datos
- Filtrado del ruido del interferograma
- Desenrollado de la fase por el método LMS (Least Minimum Squares)
- Cálculo de alturas y proyección sobre el terreno

6. OTRAS FUNCIONALIDADES

6.1 Manejo de imágenes SAR

Este módulo contiene varias funciones usadas para convertir las imágenes complejas producidas en imágenes detectadas y procesos geométricos sencillos de las mismas.

- Función de detección de amplitud o intensidad
- Corrección por la geometría de adquisición
- Rotación de imágenes
- Submuestreado de imágenes
- Proyección de la imagen sobre el terreno

6.2 Filtros de reducción de ruido

EPSIE contiene los siguientes filtros para la reducción del ruido de speckle, característico de las imágenes SAR: filtro promediador, filtro de la mediana, filtro Sigma, filtro estadístico de Lee y filtro geométrico.

6.3 Herramientas de análisis de calidad de imágenes SAR

Varias funciones utilizadas para el análisis de calidad de las imágenes SAR están implementadas en EPSIE [8], [9].

- Función de análisis de blancos puntuales El análisis de calidad de blancos puntuales se realiza a través de la medida de los siguientes parámetros: resolución espacial (anchura a -3 dB), anchura a -10 dB, PSLR e ISLR.

- Función de análisis de blancos extensos El análisis de blancos extensos, o análisis radiométrico, consiste en la medida de las estadísticas en una región homogénea de la imagen. Las salidas del análisis son: intensidad media en la zona y desviación estándar, índice de speckle y la resolución radiométrica.

6.4 Visualización de imágenes

La herramienta de representación de imágenes es compatible con las directivas CID de la ESA (Common Image Descriptor). Además de la representación de imágenes reales, la herramienta dispone de una interfase con las funciones de análisis de calidad SAR que facilita enormemente su manejo.

7. CONCLUSIONES Y PROYECTOS FUTUROS

El entorno de proceso de datos SAR EPSIE constituye una útil herramienta para los usuarios de datos SAR, al permitir una gran flexibilidad en el esquema de proceso de los datos.

Las funcionalidades implementadas en EPSIE se inician con funciones de análisis de los datos brutos y generación de diferentes tipos de imágenes SAR, que el usuario puede adaptar a sus necesidades particulares. EPSIE también da soporte a funciones de post-proceso de las imágenes, como correcciones geométricas, filtros de speckle y generación de interferogramas, facilitando la realización de aplicaciones prácticas de los datos SAR.

Entre las actividades de mejora de EPSIE, actualmente en marcha, destacan las siguientes:

- Paralelización del procesador CSA. El objetivo es reducir el tiempo de proceso del procesador de precisión mediante la utilización simultánea de varias estaciones de trabajo UNIX conectadas por red.
- Mejora y perfeccionamiento de los algoritmos de Interferometría SAR, para tratar de automatizar al máximo el proceso de generación de DEM.
- Geo-referenciación de imágenes SAR utilizando DEM.

8. BIBLIOGRAFÍA

[1] Bennett J.R., Cumming I.G. and Deane R.A., "The digital processing of SEASAT SAR data", IEEE Int. Radar Conf. Record (1980) pp.168-175.

[2] Cafforio C., Prati C. and Rocca C., "SAR data focusing using seismic migration techniques", IEEE Trans. Geoscience & Remote Sensing GE-27 (1991) pp.194-207.

[3] Runge H. and Bamler R., "A Novel High Precision SAR Focusing Algorithm Based on Chirp Scaling", Proc. IGARSS'92 (1992) pp.372-375.

[4] Cumming I., Wong F. and Raney K., "A SAR Processing Algorithm with no Interpolation", Proc. IGARSS'92 (1992) pp.376-379.

[5] Papoulis A., "Signal Analysis", McGraw Hill Co., New York 1977.

[6] Sánchez J.I. and Laur H. "ERS-1 SAR Product Validation", Proc. CEOS SAR Calibration Workshop, ESA WPP-048, (1993) pp.295-305.

[7] Li F.K., Held D.N., Curlander J.C. and Wu C., "Doppler Parameter Estimation for Spaceborne Synthetic Aperture Radars", IEEE Trans. Geoscience & Remote Sensing GE-23 (1985) pp.47-56.

[8] Martínez A. and Marchand J.L."SAR image quality assessment", Rev. Teledetección 2 (1993) pp.12-18.

[9] Martínez A. and Marchand J.L."Implementation and Quality Analysis of a CSA SAR Processor", Proc. IGARSS'93 (1993) pp.1179-1181.



TRATAMIENTOS DE IMAGENES ERS-1 PARA OPTIMIZAR SU APLICACION.

Torrusio Sandra, Bozzarello Enrique.

Dirección de Aplicación de Imágenes Satelitarias-MOSP. Proyecto PNUD Arg. 91/017.
 Av. 7 N° 1267, 2º piso, La Plata (1900), Buenos Aires, Argentina.
 Tel:(54 21) 294951. Fax: (54-21) 294952.
 Email: capdis@isis.unlp.edu.ar

ABSTRACT

The use of SAR images, proceeding of ERS-1 and 2, has an important diffusion in those areas where either by cloud cover or short sunlight hours, as tropical or polar zones, isn't possible to obtain optical data. Also in those regions with optical images, SAR data are an useful complement and in certain studies are being used alone (e.g. flooding).

We began to work with ERS-1/SAR images of Argentine (Buenos Aires Province) in ERDAS Imagine 8.2, to optimize different treatments and to obtain more information from original data. The advantages and inconvenients of ERS-1 image are presented in this work.

These images were combined with Landsat TM data (synergism) and vectorial maps (realized with ARC/INFO), conforming the aims of this study.

RESUMEN

El empleo de las imágenes obtenidas a partir del radar de apertura sintética (SAR), portado por satélites como RADARSAT, ERS-1 y 2, está cobrando difusión sobre todo en aquellas áreas en que la cobertura nubosa o las escasas horas de luz, como ocurre en zonas tropicales o polares respectivamente, no permiten la obtención de datos satelitarios provenientes de sistemas ópticos.

Se comenzó a trabajar con imágenes ERS-1 de la República Argentina (Prov. de Buenos Aires) en ERDAS Imagine 8.2 y optimizar diversos tratamientos para extraer más información a partir de los datos originales, combinándolos, además, con imágenes ópticas Landsat TM y mapas vectoriales obtenidos con ARC/INFO, conformando así los objetivos de este estudio.

1. INTRODUCCION

El manejo de las imágenes originadas a partir del radar de apertura sintética, portado por satélites como ERS-1 y 2, RADARSAT, etc., es de suma importancia. En aquellas áreas en que la cobertura nubosa o las escasas horas de luz, (zonas tropicales o polares), no permiten la obtención de datos satelitarios provenientes de sistemas ópticos, la imagen radar es la única posibilidad de poder contar con datos periódicos de

sensores remotos. Así mismo, en aquellas regiones en que es posible contar con datos ópticos la imagen radar constituye un complemento importante y aún para determinados estudios es una herramienta de suma utilidad en sí misma (ej: inundaciones).

Estas razones motivaron que se comenzara a trabajar con imágenes ERS-1 de la Prov. de Buenos Aires, Argentina, optimizando diversos tratamientos para extraer más información a partir de los datos originales, conformando los objetivos del trabajo.

La imagen SAR fue combinada con imágenes ópticas enriqueciendo así la calidad de los datos (Lichtenegger et al, 1991) aportados por ambos sistemas. Además se realizó la actualización de vías de acceso y límites de cuerpos de agua a partir de la superposición de rasgos cartográficos existentes y actualizados de la zona (en formato vectorial).

2. UBICACION DEL AREA

El área de estudio (Gráfico 1) se halla en el partido de Pehuajó, ubicado en el noroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, entre las coordenadas: S -35° 40' - 35° 52' y W 61° 50' - 62° 15'.

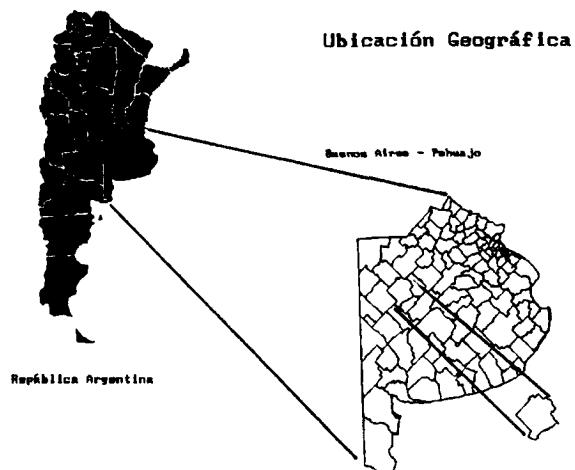


Gráfico 1: Ubicación del área.

Es una zona sometida a ciclos prolongados de inundación y sequía. Posee un relieve plano alternado

con formaciones longitudinales de dunas. Entre éstas se intercalan cuerpos de agua, quedando establecido el desarrollo de actividades agropecuarias extensivas a las zonas más elevadas.

3. MATERIALES Y METODOS:

Se emplearon las siguientes imágenes:

- Imagen ERS-1/ SAR.PRI del 30 de noviembre de 1993 centrada en las coordenadas S -35.687 y W 62.563.
- Imagen LANDSAT TM Bandas 3,4,5 del 23 de diciembre de 1993, Path-Row 227-85.
- Cartas topográficas de IGM (Instituto Geográfico Militar) a escala 1:50.000 del área en estudio.

El procesamiento fue realizado en ERDAS Imagine 8.2 y ARC INFO PC.

La imagen original de 16 bit, se hallaba en exabyte, se pasó a un tape de backup y finalmente se restauró al disco rígido de la PC. Los datos originales presentaban inversión de bytes y mediante el empleo de un programa desarrollado por el Ing. J.J. Verges, se pudo recomponer finalmente la imagen. La información obtenida mostraba el área de estudio en forma especular, es decir los rasgos se encontraban ubicados simétricamente respecto de un eje vertical.

El ERDAS Imagine 8.2 permitió la rotación para poder visualizarla pero no almacenarla como un nuevo archivo. Se resolvió entonces proceder a comparar diferentes filtros presentados en la bibliografía (Dallemand et al, 1992.) y disponibles en el módulo Radar del Software, con diferentes ventanas (por ej. de 3x3, 5x5) aplicando el coeficiente de variación, tanto calculado (0,25), como el suministrado de por el sistema en forma automática (0,20).

Se realizó primero el filtrado y luego la georreferenciación pues Dallemand y Lichtenegger sostienen que el valor de RMS es menor que si se realiza primero la georreferenciación y luego el filtrado. Estos procesos también se realizaron sobre la misma imagen pero de 8 bit. Para observar si existían diferencias, ya que muchos procesadores de imágenes, que están en el mercado, asociados a sistemas de información geográfica, tienen esta limitación para generarlas (Ilwisi, Idrisi, etc.).

La georreferenciación se realizó a partir del ajuste de la imagen radar con la imagen Landsat TM (Fig.1) habiendo sido ésta previamente georreferenciada con cartografía del IGM y posteriormente remuestreada a 15 metros para realizar luego la superposición de ambas.

Las bandas se combinaron de la siguiente manera: banda 4 TM en el plano rojo, banda 3 TM en el verde y la banda C (Radar) en el azul.

Procediéndose al análisis del color para interpretar las coberturas y los aportes de cada uno de los sistemas involucrados. Por medio del módulo Viewer del

ERDAS Imagine 8.2 con sus aplicaciones Blend y Swipe, se logra mezclar ambas informaciones que favorecen el análisis de las distintas coberturas, su ajuste y los cambios en el tiempo

Finalmente fueron generadas, sobre un sector del área de estudio, coberturas ARC-INFO (caminos, rutas, ferrocarriles, curvas de nivel, cuerpos de agua) digitalizadas desde la cartografía IGM del año 1956. Superponiéndose, luego, sobre la imagen radar, permitiendo de esta manera la digitalización de pantalla de los nuevos rasgos que en las cartas utilizadas no figuraban, permitiendo su actualización.

4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se obtuvo una imagen radar final filtrada y georreferenciada con un RMS de 1,9 pixels (Fig.2). La comparación entre los distintos filtros empleados, se resume en la Tabla I donde puede observarse tanto estadísticamente como visualmente, observando la imagen, que el mejor resultado fue el obtenido mediante el filtro de Frost pues mantiene la mayor cantidad de datos originales, y la media y el desvío no distan tanto de los demás filtros que tienen una fuerte pérdida radiométrica; factor a tener en cuenta cuando se emplea el análisis digital de la imagen, como por ejemplo una clasificación automática.

	Min.	Max.	Media	σ
Imagen original	9	8446	275,051	112,268
Filtro de Media	36	6155	275,051	85,451
Filtro de Frost	10	8317	272,914	97,165
Filtro de Lee	0	7710	271,446	89,789
Filtro MAP	35	6230	273,547	85,124

TABLA I: Cuadro comparativo entre distintos filtros.

El sinergismo (Lichtenegger, 1993) entre las imágenes radar y Landsat TM se presenta en la Fig.3, cuyo análisis detallado quedará para otro trabajo pues no constituye el principal objetivo de éste.

Sí fue posible analizar el buen ajuste entre ambas fuentes de información y la utilidad de las aplicaciones Blend-Swipe del software para distintos estudios temáticos.

La superposición del mapa vectorial (ARC-INFO) con la imagen radar (Fig.4) se realizó sin complicaciones.

El reconocimiento, por ejemplo de nuevas rutas y caminos, en la imagen, resultó más sencillo después del filtrado, que disminuyó el efecto del speckle, y una vez que el ojo del intérprete comenzó a cobrar mayor entrenamiento (FAO/ESA, 1993).

Para concluir es necesario recalcar que no ha sido sencillo obtener una imagen final apta para poder iniciar cualquier trabajo temático ya sea por no disponer en algunas ocasiones, de los medios más adecuados y por las dificultades intrínsecas que presentan los datos originales.

Por otro lado, fue valioso el aprendizaje y entrenamiento con el módulo de Radar disponible en ERDAS Imagine 8.2, pudiéndose aún mejorar mucho más los productos obtenidos.

5. REFERENCIAS

Dallemand, J & al. 1992. Combined analysis of ERS-1 SAR and visible/infrared remote sensing data for land cover/land use mapping in a tropical zone: a case study in Guinea. *Proceeding of the First ERS-1 Symposium - Space at the Service of our Environment*. Cannes, Francia. ESA SP-359, Vol II, pp 555-561.

FAO/ESA (1993). Radar imagery: theory and interpretation. *Remote Sensing Series N°67*, pp 103.

Lichtenegger, J. et al (1991). Cartographie de l'utilisation des sols en Tunisie. Combinaison de différentes données. *Observation de la terre, ESA Publications*, N° 33, pp 1-6.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la valiosa colaboración de cada uno de los profesionales de la Dirección de Aplicaciones de Imágenes Satelitarias (DAIS) que resultó importantísima para la realización de este trabajo. Agradecen muy especialmente la colaboración, el tiempo y los conocimientos aportados por el Ing. J. Jacobo Verges de la Universidad de Buenos Aires indispensables para este estudio.

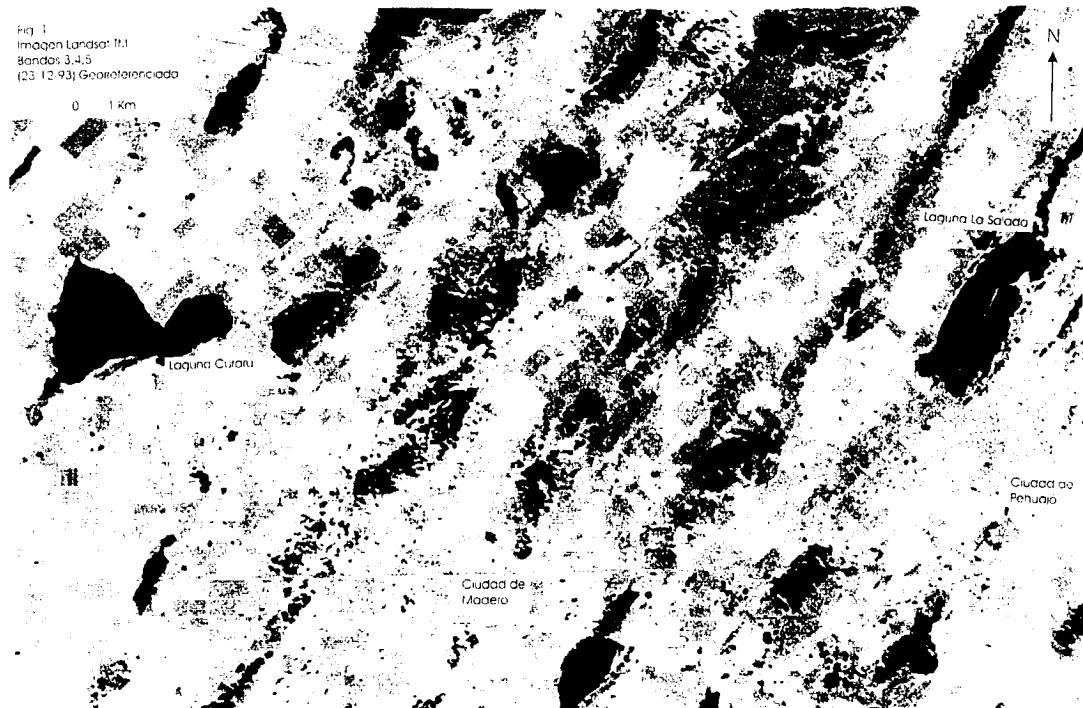


Figura 1: Imagen Landsat TM, bandas 3,4,5.



Figura 2: Imagen ERS-1 SAR. Filtrada y georreferenciada



Figura 3: Sinergismo. Imagen TM + ERS-1 SAR

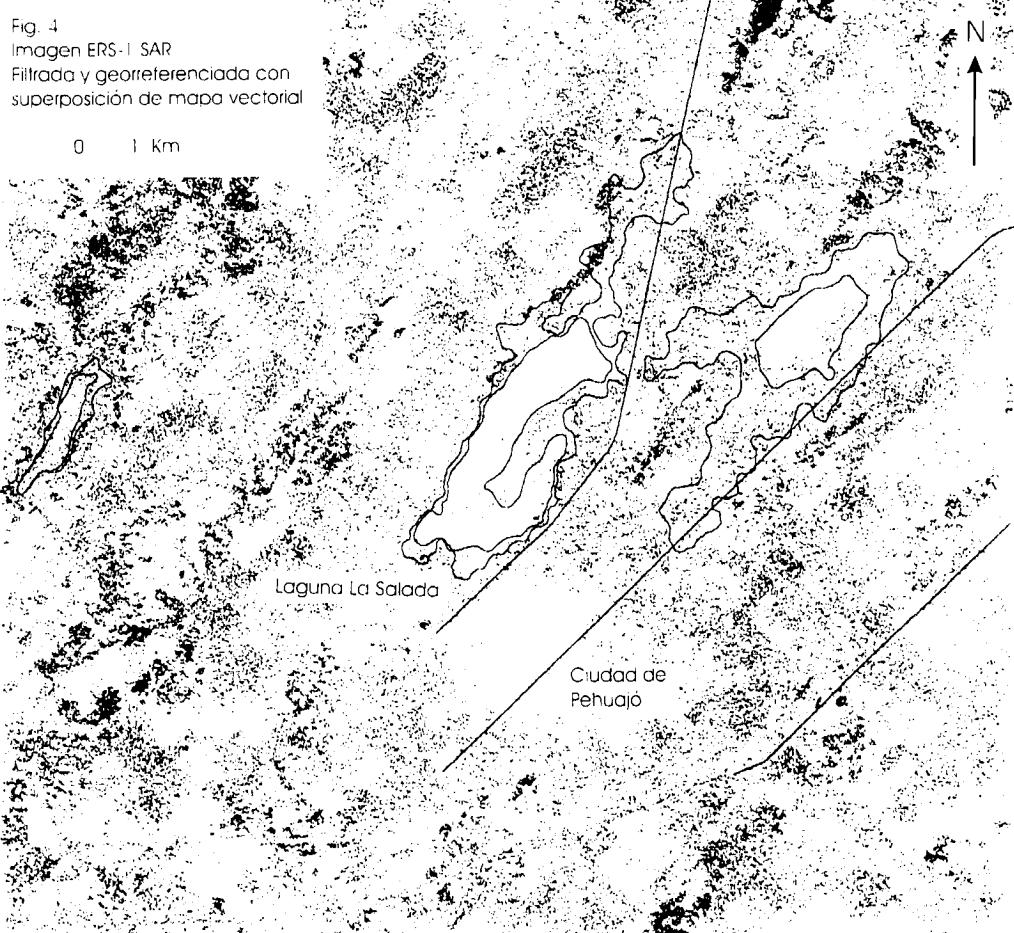


Figura 4: Imagen ERS-1 SAR Filtrada y georreferenciada con superposición de mapa vectorial.



METODOS DE CLASIFICACION SUPERVISADA Y NO SUPERVISADA DE IMAGENES SAR ERS 1 / 2

**MIRTA A. RAED (1), JORGE M. GARI (2), JULIO JACOBO BERLLES (3), ALICIA SEDEÑO(4),
PAULO PORTA (5), LUCIANO DELISE (6), EDUARDO VICINI (6), LUIS SANCHEZ (6),
JOHN IRIONDO (5), JAVIER YEBRIN (5).**

**(1) Centro Sensores Remotos F.A.A./ Universidad Nacional de Luján,Dpto de Cs. Básicas
(PRODITEL)**

Dorrego 4010 Buenos Aires, Argentina / FAX 54 - 01 771 - 5810

(2) Centro Sensores Remotos F.A.A./ Dpto de Aeronáutica, Univ. Tecnológica Nacional

(3) Dpto de Computación, Univ. Nacional de Buenos Aires

(4) Centro Sensores Remotos F.A.A./ Dpto de Ciencias Básicas, Univ. Nacional de Buenos Aires

(5) Dpto de Aeronáutica, Univ. Tecnológica Nacional

(6) Centro Sensores Remotos F.A.A.

ABSTRACT

It is necessary to take into account satellite digital data ERS 1/2, that operate in microwave spectral range to research natural search features that characterize South Argentine area, such as SANTA CRUZ and TIERRA del FUEGO.

It is important to carry out supervised and non-supervised classification on different ground conditions, such as roughness, ice frost, snow, slopes, shadow effect, vegetative canopy, etc.

These systems are very important for people, states, and countries, because they are very useful to preserve present and future environment conditions.

It is also very important to introduce software changes on digital data, specially on ERS data, because these changes will help to differentiate spectrally natural resources that are necessary to preserve such as vegetative canopy, animal and mineral species.

ABSTRACT

Mediante la utilización de datos satelitarios ERS-1/-2, que operan en el rango de las microondas, se desea investigar las características de los recursos naturales de los distintos elementos presentes en la zona patagónica de la Prov. de SANTA CRUZ y TIERRA del FUEGO de la República Argentina.

También se hace la interpretación sobre clasificación supervisada y no-supervisada en distintas condiciones existentes en el terreno, tales como rugosidad, presencia de cuerpos de hielo, pendientes en el terreno, efectos de sombra, canopia vegetativa, etc.

Estos sistemas tienen una gran importancia para la comunidad toda, de la región y del país, ya que es un elemento fundamental en la *preservación del medio ambiente y en las variaciones climáticas presentes y futuras*.

Merece una mención especial las mejoras, en software, que van a ser introducidas en los datos satelitarios, en general, y en los datos ERS-1, en especial, ya que dichas mejoras son necesarias para poder diferenciar, espectral como visualmente, elementos de recursos naturales presentes, que son de vital importancia para la conservación de las especies vegetales, animales y minerales.

Es necesario que las conclusiones de este proyecto sean de aplicación en la explotación de los recursos a nivel municipal, provincial y nacional, en resguardo de la conservación ecológica y ambiental.

Asimismo sería de interés brindar esta metodología a diversos organismos para ser aplicada en otras regiones del país y de países vecinos con los mismos resultados.

1.OBJETIVOS

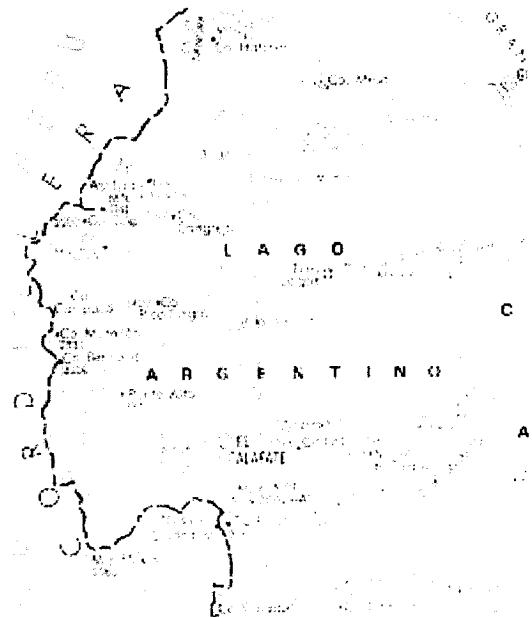
Interpretación sobre clasificación supervisada y no supervisada utilizando imágenes MULTITEMPORALES para la evaluación de distintas condiciones existentes sobre el terreno tales como rugosidad del suelo, presencia de cuerpos de hielo, pendientes, contenido de humedad, canopia vegetativa, etc.

Se desea obtener una buena clasificación diferenciando clases tales como distintos tipos de cobertura vegetal, áreas boscosas, rugosidad y humedad del suelo,

cuerpos de hielo y / o nieve , pudiéndose mejorar la misma, posteriormente con la integración de datos de radar y ópticos.

2.DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

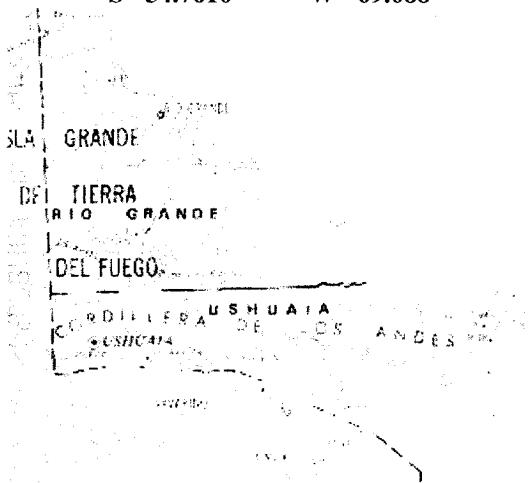
SANTA CRUZ:
CENTRO de IMAGEN
S - 50.27 - W 72.55



FECHA DE RECEPCIÓN :
1993-08-26

TIERRA DEL FUEGO:

CENTRO DE IMAGEN
S - 54.7610 - W - 69.088



FECHA DE RECEPCIÓN :
1995-11-01

Los datos SAR han sido gentilmente cedidos por la Agencia Espacial Europea en

la Estación Receptora ERS de Alemania, situada cerca de la Base Antártica Chilena O'Higgin's .

En la región patagónica se distinguen estructuralmente restos del Escudo Patagónico que se encuentran al Sur del Río Colorado, es decir un basamento cristalino formado por granitos, gneis, esquisitos, etc.

La subregión andina es un encadenamiento montañoso del Cenozoico, donde se destacan el campo de hielo patagónico y la gran cuenca lacustre, que incluye al Lago Argentino, sus respectivos brazos y al Lago Fagnano.

Esta área se caracteriza por tener clima frío y húmedo, con vientos Anticiclón del Pacífico, que son fríos y húmedos. Como los Andes Patagónicos Fueguinos no son tan elevados, además de la presencia de valles transversales , permiten que dichos vientos puedan atravesar la cadena montañosa descargando la humedad en la cuenca lacustre, así provocando un desarrollo de vegetación boscosa.

3.MATERIALES Y METODOS

Inicialmente se reduce el efecto speckle mediante filtrados adecuados de las imágenes originales, se generan nuevas bandas aplicando el concepto de textura, para generar nueva información espectral y facilitar el método de clasificación no - supervisada y supervisada.

Se clasifican las imágenes, de ambas áreas, primero, mediante método de clasificación no supervisada, estableciendo el número de clases a diferenciarse sobre el terreno, y a partir de esta información, se realizan clasificaciones supervisadas con el método de MÁXIMA VERO SIMILITUD, que da la mejor correlación entre datos sobre el terreno y digitales.

También se pueden utilizar otros métodos estadísticos tales como relaciones entre bandas, diferencias entre diferentes fechas, análisis de texturas que ayuden a diferenciar áreas homogéneas sobre el terreno.

Respecto a la imagen de TIERRA del FUEGO la información es recibida en EXABYTES, se decodifica y se lleva a imagen cruda de 16 bits.

Se seleccionan cinco subimágenes de la escena original, aleatoriamente, cada una de 2000 columnas por 2000 líneas, invirtiendo

los bytes y convirtiendo la imagen de salida a 1 byte por pixel.

Cada subImagen corresponde a las siguientes coordenadas, columnas y líneas, respecto a la imagen original que es de 8000 columnas y 8340 líneas.

TIE 1 1 - 2000 columnas
1 - 2000 líneas

TIE 2 1000 - 3000 columnas
4000 - 6000 líneas

TIE 3 1 - 2000 columnas
2000 - 4000 líneas

TIE 4 4000 - 6000 columnas
4000 - 6000 líneas

TIE 5 5500 - 7500 columnas
4500 - 6500 líneas

Todas las áreas elegidas incluyen laderas de montaña iluminadas y con distinto grado de luminosidad, que indican efecto de deshielo, mezcla de nieve y bosque, roca con nieve, cuerpos de agua con distinto grado de oleaje, dependiendo de la dirección del viento y la protección que tengan los sectores del cuerpo de agua, por la altura de las montañas, al efecto de los vientos.

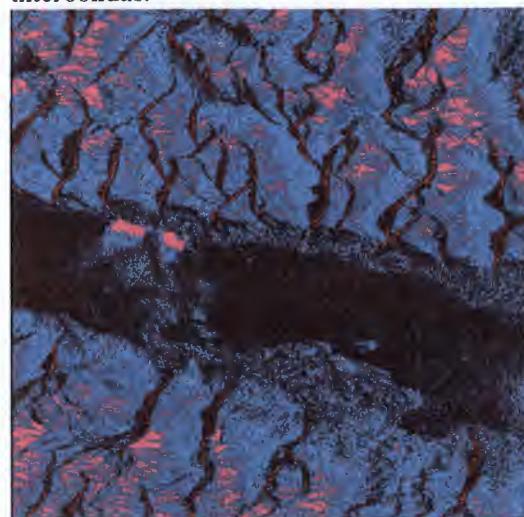
Como, al querer clasificar una subImagen con las características espectrales de otra subImagen, el sistema de procesamiento utilizado, ERDAS IMAGINE, no lo permite, y ésto es muy útil para relacionar las áreas homogéneas de distintas subImágenes, se seleccionan 32 muestras, tomadas aleatoriamente de las subImágenes siguientes: 13 clases en TIE 2, 10 clases de TIE3, 6 clases en TIE 4, 4 clases de TIE 5, y se busca una relaciónpectral entre las características de las distintas subImágenes, que permite establecer el grado de heterogeneidad de toda el área en consideración.

Cada subImagen es filtrada, partiendo del registro original y utilizando el filtro de "σ" Lee, de manera de reducir el speckle sin quitar valiosa información radiométrica como textural. Este filtro se elige debido a su capacidad de preservar los bordes.

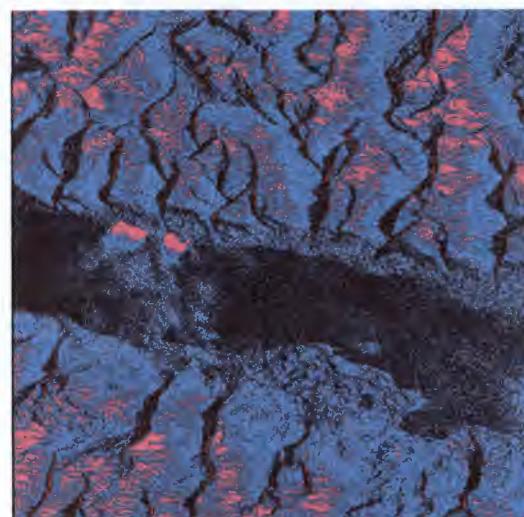
Para aplicar correctamente el filtro de "σ" Lee se estima un tamaño de ventana de 3X3 para cada subárea seleccionada, teniendo en cuenta la respectiva variancia de ruido por su homogeneidad.

Se observa que las subImágenes filtradas resaltan con mayor nitidez las características de cada subárea.

Con respecto a la imagen TIE 1 la clasificación no supervisada, con 10 clases, respecto de la imagen original ya filtrada, y a la cual se le superponen 2 bandas de textura, presenta mayor detalle sobre el cuerpo agua, así como mejor delineamiento en los límites agua, suelo-roca, tomando en cuenta que es época de deshielo, que la respectiva imagen original de una sola banda, también clasificada no-supervisada con las mismas 10 clases. Esto muestra la influencia de la rugosidad en la zona espectral de las microondas.



Clasificación No _ Supervisada a partir de
TIE 1 Banda 1



Clasificación No Sup. de Tie 1 B1,B2,B3

Análogamente en el caso de la subImagen TIE 3 se observa que la clasificación supervisada, a partir de 3 bandas, que incluye análisis de textura, permite una clasificación más detallada que en el caso de

la clasificación supervisada incluyendo sólo la banda original.



Clasificación Supervisada Tie 3 B1



Clasificación supervisada Tie 3 B1, B2, B3

Al analizar la imagen clasificada supervisada TIE 3 se observa que el agua calma se confunde con rocas nevadas. Mientras que agua con turbulencia se confunde con valle nevado. Además las clases rocas nevadas se confunden entre sí.

Referente a la imagen TIE 4 se clasifica no-supervisada y supervisadamente con 10 clases, diferenciando agua calma, en movimiento, costa, ladera, ladera muy iluminada por la orientación del sensor, roca, nieve. Nuevamente se confunde laderas de montaña, en época de deshielo, con agua.

Esta evidencia es coherente, si se toma en cuenta que esta imagen de TIERRA de FUEGO corresponde a principios de Noviembre - época de deshielo, es decir, las laderas de montaña escurren su nieve y esa

respuesta espectral se confunde con el cuerpo de agua.

Con respecto a la imagen de SANTA CRUZ es recibida como positivo, se hizo un barrido y se convirtió en una imagen de 8 bits. Igualmente se observa sobre esta imagen una gran variedad de paisajes sobre cada subescena de 4000 columnas por 4000 líneas.

Para ambas áreas se logra obtener una imagen de tres bandas superponiendo a la imagen original, 2 bandas generadas por textura, una por variancia y la otra por distancia euclídea media. Se superponen las tres bandas y se logra una imagen color, donde predomina la respuesta de la banda original.

Con respecto a la imagen de Santa Cruz, al superponer las tres bandas se observa mayor diferenciación en los límites entre cuerpo de agua y zona rocosa, especialmente en el área de los brazos del Lago Argentino.

Esta es una nueva comprobación de que la zona espectral de las microondas es muy sensible a la rugosidad sobre el terreno.

Se hace una clasificación no supervisada de la imagen total con las tres bandas (B1:original, B2 :textura por variancia, B3: textura por distancia euclídea media), incluyendo 10 clases, skipfactor 1, threshold 95, 20 iteraciones, de las cuales se necesitan sólo 7 iteraciones para llegar a un 95% de área igualmente clasificada en 2 iteraciones sucesivas.

Posteriormente se toma una subimagen que incluye la zona geográfica del Lago Argentino y región circundante, y se hace una clasificación supervisada, tomando las 10 clases exclusivamente sobre el cuerpo de agua.

A pesar de que todas las muestras fueron tomadas sólo en agua, se clasifica la zona circundante al lago (zona rocosa) con las mismas clases tomadas sobre el cuerpo de agua

Se intenta encontrar alguna explicación a tal clasificación, entre las cuales se puede mencionar:

a) preponderancia de la rugosidad sobre el terreno por encima de la composición bioquímica de los elementos presentes, en este rango espectral de las microondas,

b) como la imagen es del mes de agosto las laderas de la montaña están cubiertas de nieve, de ahí la confusión al clasificar zona rocosa con cuerpo de agua.

Otra zona geográfica de la misma área, cuya clasificación no se correlaciona con las clasificaciones hechas en otras subimágenes, es la que corresponde a las zonas iluminadas de las laderas de la montaña, que siempre se diferencian del entorno en las demás clasificaciones. Se debe investigar si el problema radica, especialmente, sobre el diseño del software utilizado, comparándolo con otro, ya que en este caso el sistema ERDAS IMAGINE clasifica toda el área requerida con alguna de las clases sugeridas, o el área es tan heterogénea que puede incluirse en alguna de las clases presentes.

Con respecto al cuerpo de agua, las zonas del mismo que presentan un tono claro son debidas a la alta retrodispersión por su textura rugosa, y por consiguiente presentan mayor heterogeneidad en la imagen clasificada, es decir a mayor oleaje, mayor respuesta espectral reflectiva y por consiguiente mayor heterogeneidad presente en la imagen, debido especialmente a que la información digital es captada lateralmente.

El agua calma presenta un tono oscuro, homogéneo, bien diferenciado, debido a su baja retrodispersión causada por la reflectancia especular en el rango espectral de las microondas.

La segunda subimagen seleccionada corresponde a la zona del Glaciar Perito Moreno, donde se vuelve a hacer una clasificación supervisada con 10 clases tomadas aleatoriamente sobre toda la subimagen.

En esta segunda subimagen las zonas más iluminadas sobre la imagen original (laderas de la montaña), siempre tiene respuesta espectral diferente a las zonas circundantes, debido a la orientación del sensor de visión lateral, que en este caso es descendente de noreste a sudoeste.

Al comparar la clasificación supervisada, con la respectiva ventana de la clasificación no supervisada, se observa mayor heterogeneidad sobre la supervisada, es decir presenta más detalle que se corresponde con la realidad del terreno, pero con la salvedad que no existe distorsión entre ambas clasificaciones.

Al analizar el Glaciar Perito Moreno, se observa gran heterogeneidad sobre su superficie, y además se observa como geográficamente el glaciar penetra en el Canal de los Témpanos.

Agrupando ambas subimágenes existen respuestas similares entre el Lago Argentino y el Glaciar Perito Moreno, es

dicho con la metodología hasta aquí utilizada, se confunde nieve con hielo.

Con respecto a las subimágenes de Tierra de Fuego se observan características comunes a las respectivas áreas de Santa Cruz, ya que la clase "cumbre" siempre da una respuesta espectral muy alta y diferenciable de las otras clases presentes, con alta dispersión. Esto indica que la respuesta alta, como ya se señaló, es debida a la orientación angular con que incide el sensor y no a la estructura química y/o geomorfológica del blanco en consideración.

4.CONCLUSIONES

Es digno de destacar que en todas las subimágenes analizadas se observa que ERS delimita correctamente el relieve sobre el terreno, especialmente en roca y/o suelo desnudo, observando los distintos niveles del terreno, es decir, a suelo desnudo ERS diferencia bien la superficie del terreno.

Para mejorar una clasificación es conveniente la interpretación multitemporal a partir de imágenes de invierno y de verano, ascendentes y descendentes. Esto ayuda a reducir la posibilidad de confusión entre distintos elementos que pueden producir idénticos patrones, debido al mismo estado de rugosidad, o entre iguales elementos que se presentan con distinta retrodispersión, por ejemplo laderas cubiertas con nieve, en estado de deshielo, o sin nieve.

Al comparar la clasificación de una subimagen original de una sola banda con la misma subimagen a la cual se le han agregado 2 bandas de textura (variancia, y distancia euclídea media) se observa que la clasificación con textura diferencia con criterio más preciso, cuerpo de agua de presencia de nieve, cuerpos de agua de suelo desnudo y/o con vegetación.

Si bien éste es un trabajo preliminar que ha permitido tomar contacto con datos satelitarios RADAR, se puede concluir, en primera aproximación, tomando en cuenta que el camino a andar es largo y en el cual se va a desarrollar y mejorar una metodología que ayude fehacientemente a la interpretación de datos radar, que las mediciones de textura requeridas brindan características de textura en sí mismas, ya que cada medición capta una relación particular importante entre un dado pixel y sus vecinos. La interpretación de texturas es importante en los problemas de clasificación,

donde cada muestra seleccionada sobre la imagen debe estar asociada a una dada clase sobre el terreno.

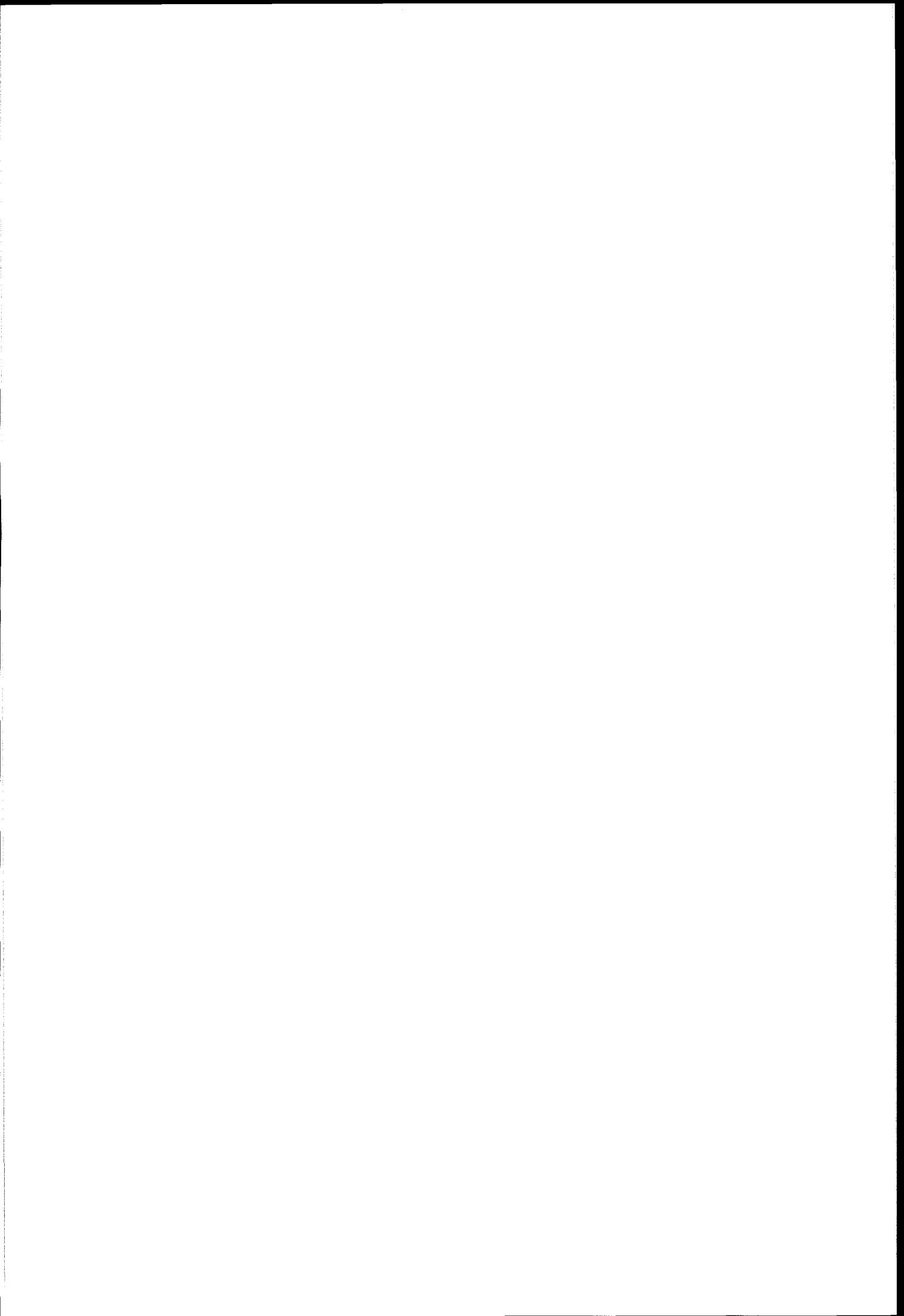
5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su profundo agradecimiento al Doctor Mauricio Fea en especial y a la Agencia Espacial Europea por brindar tanta ayuda en la obtención de las imágenes que tan gentilmente han cedido, a la Ing Cristina Serafini en especial y al Grupo Proditel que facilitaron el equipo ERDAS IMAGINE que es de gran utilidad, así como a la Lic. Mercedes Acosta que también brindó su equipamiento digital así como sus importantes conceptos y a la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Haedo, así como al Centro de Sensores Remotos F.A.A. que financian este proyecto.

6. REFERENCIA

M.Raed, L.A.Frulla,D.A.Gagliardini, 1995 : Detección de Cambios en la Isla Marambio mediante Imágenes SAR/ ERS-1 Revista Selper, Vol 11, N°1-2, 1995.

PARTICIPANTS



List of Participants

José L. Aiello

Meteorólogo
CONAE
Paseo Colon 751
Buenos Aires
Argentina

Rodolfo Allesch L.

Geógrafo
Universidad Católica de Valparaíso
Av. Brazil 1822
Valparaíso
Chile

Miriam Esther Antes

Ingeniera Agrónoma
Universidad Nacional de Luján
Centro Sensores Remotas
Rutas 5 y 7
(6700) Luján Bs. As.
Argentina

María Angela Barbieri

Ingenuero Pesquero
Universidad Católica de Valparaíso
Av. Altamirano 1480
Valparaíso
Chile

Karl Bergquist

International Affairs
European Space Agency
8-10, rue Mario-Nikis
75738 Paris Cedex 15
France

Pedro Alberto Bignelli

Geólogo
Fundacao Ciencias Tecnologías Espaciáis
Av. Brig. Faria Lima 3305
Sao Jose dos Campos - S.P.
Brazil

Wietske Bijkér

Scientist
ITC
P.O. BOX 6
7500 AA Enschede
The Netherlands

Christoph Böhm

Mineralogist
DLR-DFD
82230 Oberpfaffenhofen
Germany

Enrique Bozzarello

DAIS - MOSP
Av. 7 No 1267 2 piso
1900 La Plata
Argentina

Robert Brown

Remote Sensing Applications Consultants
4 Mansfield Park
Medstead
Alton
Hants GU34 5PZ
UK

Manuel Cantón

Profesor
Universidad de Almería
Dept. de Lenguajes y Computación
04120 Almería
Spain

María Ilia Cárdenas Gazmuri

Geógrafo
CIREN
Manuel Montt 1164
Providencia
Santiago
Chile

Griselda Carñel
 Ingeniera Agrónoma
 Univ. Nac. De Entre Ríos
 Rutes 11 km 10
 Oro Verde Entre Ríos
 3100 Paraná
 Argentina

Roberto Castro Ríos
 Dr. Cartografía, Teledetección y SIG
 P. Univ. Católica de Chile
 Avda Vic. Mackena 4860
 Santiago
 Chile

Carlos Cotlier
 Arquitecto
 Universidad Nacional de Rosario
 Entre Ríos 10/9
 9 Piso "A"
 2000 Rosario
 Argentina

Héctor F. del Valle
 Dr. en Agronomía
 CONICET
 P. Sta. Teresa 54
 9120 Puerto Madryn
 Chubut
 Argentina

Maurizio Fea
 Earth Observation Promotion
 ESRIN
 Via Galileo Galilei
 Casella Postale 64
 00044 Frascati
 Italy

Eduardo Fiol Mujica
 Ingeniero Informático
 Univ. Tecn. Santa María
 Casilla 920
 Viña del Mar
 Chile

Domingo Gagliardini
 Dr. en Físico
 CONICET
 Julián Alvarez 1218
 1414 Buenos Aires
 Argentina

Glauber Acunha Gonçalves
 Profesor
 Universidade de Rio Grande
 Av. Cidade de Renotas, 194/209
 CEP 96211-000 Rio Grande - RS
 Brazil

Francisca C. González
 Prof.. Adj. Geomorfología
 Universidad Nacional del Sur
 Depto. de Geología,
 Lab de Fotointerpretación
 San Andrés 800
 8000 Bahía Blanca
 Argentina

Richard Guillande
 Geólogo
 GEOSCIENCE Consultants
 157 Rue des Blains
 92220 Bagneux
 France

H.T. Duc Guyenne
 ESA Editor
 ESA/ESTEC
 Keplerlaan 1
 2201 AZ Noordwijk ZH
 The Netherlands

Tracy Harris
 International Affairs
 European Space Agency
 8-10, rue Mario-Nikis
 75738 Paris Cedex 15
 France

Valerie Hood

International Affairs
 European Space Agency
 8-10, rue Mario-Nikis
 75738 Paris Cedex 15
 France

Sandra Hucita

Geonet S.A.
 Portugal 120/56
 Santiago
 Chile

Edgar Imaña M.

Hidro meteorólogo
 Servicio Nacional de Meteorología e
 Hidrología
 Reyes Ortiz # 41
 La Paz
 Bolivia

Ricardo Jaña

Ingeniero
 Instituto Antártico Chileno
 Luis Thayer Ojeda 814
 Providencia
 Santiago
 Chile

Haydee Karszewbaum

Física
 CONICET
 Julián Alvarez 1218
 1414 Buenos Aires
 Argentina

Hermann Kux

Geógrafo
 INPE
 Caixa Postal 515
 12.227-010 Sao Jose dos Campos - SP
 Brazil

Henri Laur

Earth Observation Department
 ESRIN
 Via Galileo Galilei
 Casella Postale 64
 00044 Frascati
 Italy

Juan E. Lira V.

La Reina,
 Santiago
 Chile

Yury Macheret

Glaciologist
 Institute of Geography
 Russian Academy of Sciences
 Staromonetny per 29,
 109017 Moscow
 Russia

Francisco D. Maldonado

Biólogo
 Univ. Nacional de San Juan
 Av. San Martín 1096 (o)
 Capital - San Juan
 Argentina

Daniela Marchionni

Geóloga
 Universidad Nacional La Plata
 Calle 47 N° 522
 La Plata (1900) B.A.
 Argentina

Natalia Marlenko

Dra en Geografía
 Universidad de Buenos Aires
 Larrea 1050
 Buenos Aires
 Argentina

Antonio Martinez

Físico
 INDRA Espacio
 C/Mar Egeo s/n
 S. Fernando de Menares
 28850 Madrid
 Spain

Acosta Mercedes Z.

Investigador
 Universidad del Salvador
 Rodríguez Peña
 670 5 Piso Cap. Fed.
 Argentina

Pablo Alberto Mercuri

Ingeniero Agrónomo
 I.N.T.A.
 Las Cabañas y Los Reseros
 C.P. 1712 - Castelar
 Pcia. Buenos Aires
 Argentina

Victor Mimica Paredes

Universidad Católica de Valparaíso
 Av. Altamirano 1480
 Valparaíso
 Chile

Ricardo Morales Álvarez

Ingeniero
 CLIRSEN
 Sinierges s/n y Gral
 Paxmiño (Edificio I.G.M. 4o Piso)
 Quito
 Ecuador

Victoriano Moreno

Físico
 INDRA Espacio
 C/Mar Egeo s/n
 S. Fernando de Menares
 28850 Madrid
 Spain

Maxim Moskalevsky

Institute of Geography
 Russian Academy of Sciences
 Staromonetny 29
 109017 Moscow
 Russia

Claudio Muñoz Darlia

Geólogo
 Sernageomin
 Av. Santa María 0104
 Chile

Pablo Muñoz Salazar

Profesor
 Universidad de Valparaíso
 Casilla 13-D
 Viña del Mar
 Chile

Bettina Müschen

Geographer
 DLR-DFD
 82230 Oberpfaffenhofen
 Germany

Francisco J. Ocampo Torres

Oceanógrafo
 CICESE
 Km 107 Carr. Tijuana-Ensenada
 Ensenada B.C.
 México

Regulo Osorio

Geólogo
 Instituto de Ingeniería
 Urb. Monte Elena II
 Sartenejas Baruta
 Apartado Postal 40200
 1040-A Caracas
 Venezuela

Carlos Pattillo

Ing. Civil
 Pontificia Universidad Católica de Chile
 Vicuna Mackenna 4860
 Casilla 306-22
 Santiago
 Chile

Olvaldo Peinado

Ingeniero
 CONAE/AGF - University of Munich
 LuisenstraBe 37
 80333 Munich
 Germany

Federico Pekholtz

Analista de Sistemas
 Ministerio de Agricultura y Ganadería
 Avda. Ciencias Veterinarias Esq.
 Atahualpa Yudanqui
 San Lorenzo
 Paraguay

Jaime Perez Gomez

Ing. Forestal
 Departamento Administrativo Nacional
 de Estadística (DANE)
 A.A. 32624
 Santafé de Bogotá
 Colombia

María Elena Pezoa Solis

Pontificia Universidad Católica de Chile
 Vicuna Mackenna 4860
 Casilla 306-22
 Santiago
 Chile

Mirta Raed

Investigadora
 Universidad Nacional de Luján
 Centro Sensores Remotas
 Rutas 5 y 7
 (6700) Luján Bs. As.
 Argentina

Klaus Reiniger

DLR
 82230 Oberpfaffenhafen
 Germany

Fabio Rocca

Professor
 Dipartimento di Elettronica ed
 Informazione
 Politecnico di Milano
 Piazza L. da Vinci. 32
 20133 Milano
 Italy

Alvaro Rodríguez Otero

Biólogo
 Servicio Nacional de Pesca
 Yungay 1731 4 Piso
 Vina del Mar
 Chile

R. Salazar M

Ing.. Geógrafo
 CLIRSEN
 Sinierges s/n y Gral
 Paxmiño (Edificio I.G.M. 4o Piso)
 Quito
 Ecuador

Héctor Salgado

Ingeniero Agrónomo
 Servicio Hidrografía Naval
 Cdo Py 2055 Piso 15
 Buenos Aires
 Argentina

Nelida Graciela Salinas

Geóloga
 Universidad Nacional de San Juan
 Salvedra 125 (N)
 Rivadavia
 San Juan
 Argentina

Dominic R. Scales

Physicist
DLR
Munchnerstr 20
82230 Wessling
Germany

German Vargas Coervo

Geólogo
Ingeominas
Diagonal 53 No 34-53
Bogotá
Colombia

Michael Schmidt

Geographer
DLR
Munchnerstr 20
82230 Wessling
Germany

Patricia Vicuña

Geógrafo
INACH
Luis Thayer Ojeda 814
Providencia
Santiago
Chile

María Cristina Serafini

Ing. Agrónoma
Universidad Nacional de Luján
Rutas 5 y 7
(6700) Luján Bs. As.
Argentina

Mike Wooding

Remote Sensing Applications Consultants
4 Mansfield Park
Medstead
Alton
Hants GU34 5PZ
UK

Bernardo Shirasago

Investigador
CICIMAR-IPN
Av. Instituto Politecnico
Nacional s/n C.P. 23000
La Paz, Baja California Sur
México

Claudio Silva Gallinato

Universidad Católica de Valparaíso
Av. Altamirano 1480
Valparaíso
Chile

Ana Urdiroz

Resp. Commercial
SPOT IMAGE
5 Rue des Satellites
31030 Toulouse Cedex 4
France



European Space Agency
Agence spatiale européenne

Contact: *ESA Publications Division*
C/o ESTEC, PO Box 299, 2200 AG Noordwijk, The Netherlands
Tel (31) 71 565 3400 - Fax (31) 71 565 5433