

VOL. 36, Nº 2

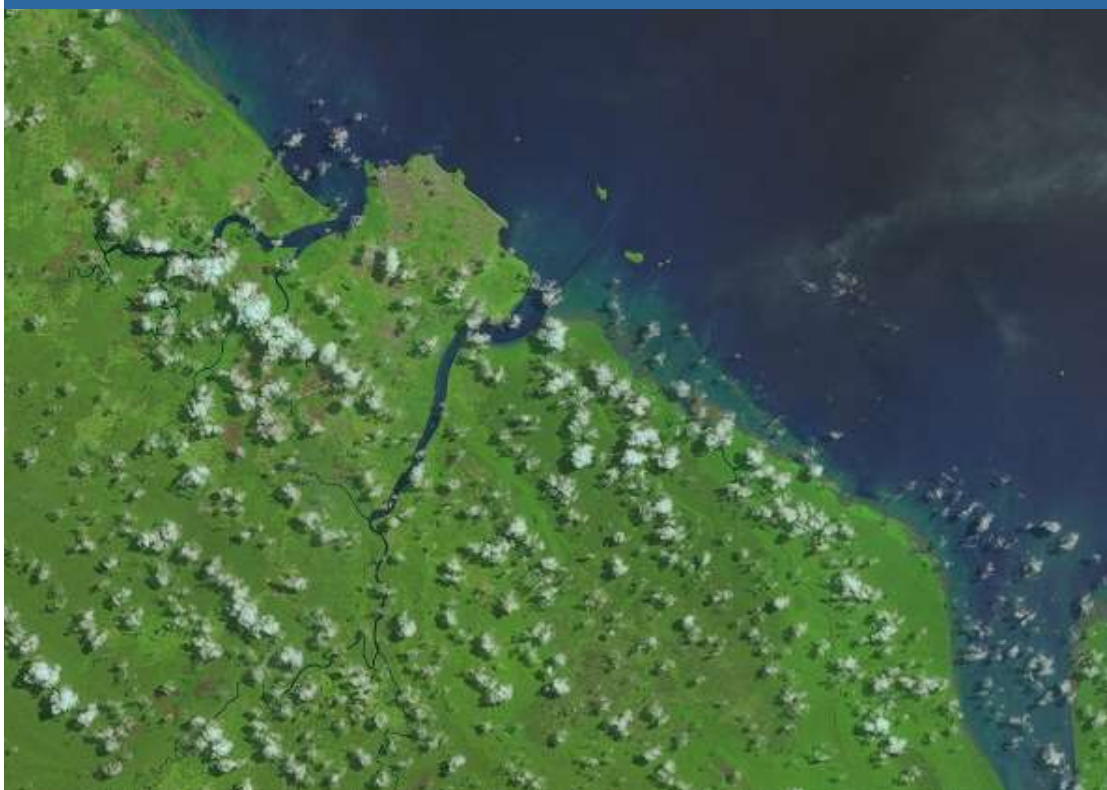
DICIEMBRE 2013

ISSN 0717-2915



**Revista  
Journal**

**SELPER**



**Cayena**  
*Imagen de satélite LandSat 8 OLI*



FOTO PORTADA

## **Cayena**

*Imagen de satélite Landsat8 OLI, resolución espacial 30 metros, en composición 4,3,2 - RGB, de la ciudad de Cayena tomada el 26 de julio de 2014. Los sectores que se destacan son: Matoury, Remire Montjoly y Roura.*



## DIRECTORIO SELPER, SEDE Francia 2012-2014

Institut de recherche pour le développement Le Sextant  
44, bd de Dunkerque, CS 90009 - 13572 Marseille cedex 02  
Tél. 33 (0)4 91 99 92 00 - Fax 33 (0)4 91 99 92 22  
selper.internacional@gmail.com

## PRESIDENTE

Laurent Durieux

Francia

## VICE-PRESIDENTE

Silvia Casas

México

## VICE-PRESIDENTE

Luz Ángela Rocha

Colombia

## RESPONSABLE DE DIVULGACIÓN ELECTRÓNICA

Fabián Lozano García

México

COMITÉ DE RELACIONES  
INTERNACIONALES

Luz Ángela Salamanca (Colombia)

Presidente interina

Laurent Durieux - Francia

Pedro Luis García Pérez - Cuba

Pedro Martínez Fernández - Cuba

Olga Piedad Ruelas - Colombia

Anyul del Pilar Mora - Colombia

Luis Geraldo Ferreira - Brasil

Washintong Franca Rocha - Brasil

Victor Barrena - Perú

## COMITÉ EDITORIAL

María Cristina Serafini (Argentina)

Presidente

Miriam Esther Antes - Argentina

Fabián Lozano - México

Leda María Fonseca - Brasil

Jorge Martín Chirales - Cuba

Francisca Gela González - Argentina

Freddy Flores - Venezuela

## COMITÉ DE EDUCACIÓN

María Antonia García Cisneros (Cuba)

Presidente

Luz Ángela Rocha Salamanca - Colombia

Laura Delgado - Venezuela

Ethel Rubín de Celis Llanos - Perú

Josefa Ma. Chávez - Brasil

## COMITÉ DE PROYECTOS INTERNACIONALES

Paulo Roberto Martins (Brasil)

Presidente

Christopher Charron - Francia

Alfredo Cuello - Argentina

Miembro del ISPRS

## CAPÍTULOS CONSTITUIDOS

## ARGENTINA

Miriam Esther Antes

Universidad Nacional de Luján (PRODTB)

Fuera de Ruta Argentina (CSF)

Cruce Ruta 5 y E7, 7 (6700)

Luján, Buenos Aires, Argentina

Tel: 54 - 2323 - 420380 - int. 248

Fax: 54 - 2323 - 425795

E-mail: selperargentina@gmail.com

## BOLIVIA

José Luis Liscia

Carrera de Topografía y Geodesia

Facultad Técnica

Universidad Mayor de San Andrés

Av. Arce 2299 1° Piso

La Paz, Bolivia

Tel: 591-2-2441401

E-mail: jliscia@hotmail.com

## BRASIL

Lárcio Messuri Namiakava

INPE

Av. Dos Anomauas 1758, São José dos Campos

San Pablo, Brasil

Tel: 55 - 12-39456000

E-mail: larcio@lpi.inpe.br

## CHILE

Héctor Gutiérrez Méndez

Centro Nacional de Información Aeroespacial

Antonio Varas 175

Oficina 310, Providencia

Tel: 562 - 2362714

E-mail: hector.gutierrez@cmi.acil

## COLOMBIA

Luz Ángela Rocha Salamanca

Carrera 30 No. 48-51 Edificio IGAC-CAJ OF 212

Bogotá D.C., Colombia

Tel: 57-1-369-4096

Fax: 57-1-369-4096

E-mail: lrocha@selper.org

## CUBA

Pedro Luis García Pérez

Sede UNACC, Humboldt No. 104,

Esquina a Infanta, Vedado, La Habana, Cuba

Tel: (5 37) 8363447

E-mail: lgercia@kh.unacc.cu

## ECUADOR

Cor. Ricardo Urbina

CURSEN

Edif. Instituto Geográfico Militar, Piso 4

Senienguen s/n y Páez y Mito

Apartado Postal 17-08-8216

## GUATEMALA

Carlos Alberto Duarte

Ingeniería Virtual

Ruta 4, 6-49 Zona 4, Oficina 14

Ciudad de Guatemala (01004), Guatemala

Tel: 502 - 334-1039/4038

Fax: 502 - 331-9390

E-mail: chduarte@hotmail.com

## GUYANAFRANCA

Laurent Poldorol

Directeur de Recherche RDJ/USPACE 140

Institut de Recherche pour le Développement (ex-ORSTOM)

Route de Montabo - BP 165 - 97323 Cayenne cedex

Tel: (+594) 594 29 92 81

Fax: (+594) 594 31 98 55

E-mail: poldorol@cayenne.rd.fr

## MÉXICO

Juan Francisco Mas

UNAM Campus Morelia

Morelia, Michoacán, México

E-mail: jfmasc@iguanamx

## FRANCIA

Marie José Lefevre Fonallosa

CNRS

18 avenue Edouard Belin, 31401 Toulouse Cedex 9

Tel: 3305 61 27 483

Fax: 3305 61 27 4842

E-mail: marie-jose.lefevre@cnrs.fr

## URUGUAY

Antonio Alarcón

Servicio de Sensores Remotos Aeroespaciales Fuerza Aérea

Uruguay

Ruta 101 s/n Km. 19500

Carrasco, Canelones, Uruguay

Tel: 598 - 2 601 4083

Fax: 598 - 2 601 4090

E-mail: alarcon@hotmail.com

## VENEZUELA

Ramiro Salcedo

Centro de Procesamiento Digital del Instituto de Ingeniería en

Caracas

Apdo. Postal 40200 / Caracas, Venezuela

Tel: fax: 58 - 212 - 903 - 4682

E-mail: ramiro.salcedo@ing.ve

## PERÚ

Victor Barrena Arango

Universidad Nacional Agraria La Molina

Av. La Universidad s/n

La Molina, Lima, Perú

Tel / Fax: 51-1-349-5647 anexo 232/349-2041

## CAPÍTULOS EN FORMACIÓN

## PARAGUAY

Sergio M. Burgos Sosa

BPPA

Dr. César Sánchez 431

San Lorenzo, Paraguay

Tel/Fax: 595- 21-574909

Email: smburgos@highway.com.py

## CAPÍTULOS ESPECIALES

## ALEMANIA

Klaus Reiniger

DLR

D-8031 Oberpfaffenhofen

Alemania

Tel: 49- 8153- 281.189

Fax: 49- 8153- 281.443

## CANADÁ

Frère P. DuBois

25 Nidland

Crs Nepean Ontario Kh2-8n2

Ontario, Canadá

Tel: 613- 596-4164

Fax: 613- 723-9626

## ESPAÑA

José L. Labrandero

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

Pinar 25- Madrid 28006, España

Tel: 34- 411.10.98

Fax: 34- 562.55.67

## HOLANDA

Carlos Valenzuela

ITC

350 Boulevard 1945, P.O.X. 6. 7500 AA

Enschede, Holanda

Tel: 31 53 874-444

Fax: 31 53 874-400

## ITALIA

Francesco Sarri

ISA/ISPRN

Via Galileo Galilei, s/n

I-00044 Frascati, Italia

Tel: 39 - 694180409

Fax: 39 - 694180602

E-mail: Francesco.Sarri@issat

## MAURICIO

via Alessandro Poverio, 49

00152 Roma

tel/fax: +39065880581

móvil: +393281771383

E-mail: mauricio@gmail.com

## USA

Patricia M. Raede

SPOT

Estados Unidos

Tel: 1-800-ask-spotext.137

Fax: 703-648.1813

E-mail: raede@spotcom

**COMITÉ EDITORIAL**

**María Cristina Serafin** (Argentina)  
PRODITEL  
Universidad Nacional de Luján  
Cruce rutas 5 y ex 7  
(6700) Luján, Buenos Aires, Argentina  
Tel: 54-2323-423171 int 248  
Fax: 54-2323-425795  
E-mail: proditel@mail.unlu.edu.ar

**Miriam Esther Antes** (Argentina)  
PRODITEL  
Universidad Nacional de Luján  
Cruce rutas 5 y ex 7  
Luján, Buenos Aires, Argentina  
Tel: 54-2323-423171 int 248  
Fax: 54-2323-425795  
E-mail: selperargentina@gmail.com

**Leila María Fonseca** (Brasil)  
INPE  
Av. Dos Astronautas 1758, Sao José dos  
Campos, Sao Paulo, Brasil  
Tel: 55 - 12-39456000  
E-mail: leila@dpi.inpe.br

**Fabián Lozano** (Mexico)  
Instituto Tecnológico y de Estudios  
Superiores de Monterrey  
Av. Eugenio Garza Sada # 2501 sur,  
Col. Tecnológico, Monterrey, Nuevo  
León, México  
Tel: 52 - 81 - 8358 - 1400 ext 5275  
Fax: 52 - 81 - 8358 - 6280  
E-mail: dflozano@itesm.mx

**Jorge Martín Chiroles** (Cuba)  
E-mail: ciencia@geocuba.com.cu

**Francisca Celia González** (Argentina)  
Universidad Nacional del Sur  
Departamento de Geología  
San Juan 670 (8000)  
Bahía Blanca, Argentina  
Tel: 54 - 291 - 459 5102 - int. 4360  
Fax: 54 - 291 - 459 5127  
E-mail: ghgonzal@criba.edu.ar

**Freddy Flores** (Venezuela)  
Fundación Instituto de Ingeniería  
Carretera Vieja de Baruta, Sector  
Sartenejas, Urb. Monte Elena II  
Caracas, Venezuela  
Tel: 58 2-903 4661-4610  
Fax: 582- 903 4780  
E-mail: freddyf@fii.org

**COMITÉ DE EVALUADORES**

**Maurizio Fea**  
(ASI - Italia)  
**Francisca Gonzalez**  
(UNS - Argentina)  
**Walter Sione**  
(UNLu - Argentina)  
**Francisco Redondo**  
(UNLu / CSR - Argentina)

● **SPAD calibration in trees of Valencia city (Spain) and chlorophyll map of urban vegetation from hyperspectral index NAOC**

Jesús Delegido

Violeta Ortiz

Jochem Verrelst

Shari Van Wittenberghe

Juan Pablo Rivera

José Moreno

5

● **Use of remotely sensed environmental and meteorological data for mapping malaria and dengue entomological risk**

Vanessa Machault

Cécile Vignolles

André Yébakima

Christophe Rogier

Jean-Pierre Lacaux

12

● **Uso de datos de alta resolución para la evaluación de los recursos naturales en Municipios Mexicanos**

Fabiola D. Yépez Rincón

Fabián Lozano García

Patricia Vela Coiffier

Silvia L. Casas González

18

● **Mapeo de ambientes en el Parque Nacional Los Glaciares Provincia de**

● **Santa Cruz - Argentina (Glaciar Upsala y perito Moreno) mediante datos ópticos y radar e integración en un SIG**

Alfredo Cuello

Miriam Antes

Mirta Raed

Alicia Sedeño

Luciano Delise

Jorge Gari

Leonardo Di Franco

25



## PLAN EDITORIAL SELPER 2012 - 2014



### PLAN EDITORIAL SELPER

A partir de las decisiones adoptadas en el marco del XIII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, llevado a cabo en La Habana, Cuba, en setiembre de 2008, la edición de la Revista SELPER está disponible en la página de nuestra Sociedad: <http://www.selper.info>.

En esta oportunidad hacemos llegar la publicación del volumen 36 Número 2., donde se incluyen trabajos que han sido presentados en el XIV Simposio Latinoamericano de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial (SELPER), desarrollado en Cayena, Guyana Francesa, en noviembre de 2012.

### NORMAS PARA LOS AUTORES

Los artículos recibidos serán enviados a tres (3) expertos en la temática para su revisión. Los trabajos aprobados serán publicados en estricto orden, de acuerdo a las fechas de llegada de las contribuciones.

Los idiomas oficiales SELPER son: Español, Portugués e Inglés.

Los trabajos deberán estructurarse contemplando las siguientes secciones:

a) Título del trabajo. Nombre de los autores y direcciones completas

b) Resumen (no más de 150 palabras) indicando al final las palabras claves. Deberá incluirse en Español o Portugués, además de Inglés

c) Introducción

d) Objetivos

e) Metodología empleada y materiales

f) Resultados obtenidos

g) Conclusiones

h) Bibliografía: sólo se incluirá la citada en el texto. Se indicarán los autores, por orden alfabético, año, título, revista o medio donde fue publicado, incluyendo volumen y páginas, cuando corresponda.

Los títulos y subtítulos de cada sección deberán estar claramente indicados (ya sea con numeración o tamaño de letras). Las tablas, fotos y figuras deberán ser suficientemente nítidas, llevar un título y estar numeradas en forma consecutiva.

Se deberá enviar una copia del trabajo en formato Word y una copia papel. La extensión total del trabajo no deberá superar las 12 páginas, (DIN-A4).

Los trabajos se enviarán a: [editorial@selper.org](mailto:editorial@selper.org)

## SPAD calibration in trees of Valencia city (Spain) and chlorophyll map of urban vegetation from hyperspectral index NAOC

Jesús Delegido 1, Violeta Ortiz 1; Jochem Verrelst 1; Shari Van Wittenberghe 2;  
Juan Pablo Rivera 1 and José Moreno<sup>1</sup>

1 Department of Earth Physics and Thermodynamics. Image Processing Laboratory,  
Universidad de Valencia

C/ Catedrático José Beltrán, 2. 46980 Paterna (Valencia), SPAIN.

2. University of Antwerp (UA). Dept. Bioscience Engineering.

Plant Production and Stress Tolerance Research

Jesus.Delegido@uv.es

### ABSTRACT

The study of chlorophyll content in urban vegetation leaves provides important information about the plants health and ability for CO<sub>2</sub> absorption. Recent advances in optical remote sensing led to the development of improved methodologies for remote estimation of chlorophyll content. For instance, the hyperspectral index NAOC (Normalized Area Over reflectance Curve), proved to be a promising indicator.

In this work we studied tree chlorophyll content in the city of Valencia (Spain) based on measurement of chlorophyll taken from four representative tree species: plane tree (*Platanus x. acerifolia*), canarian palm (*Phoenix canariensis*), hackberry (*Celtis australis*) and mulberry (*Morus alba*). Measurements were made during summer 2011 within the European project BIOHYPE (BIOMonitoring of urban habitat quality with airborne HYPerspectral observation). For 320 leaf samples, chlorophyll content were measured both in the laboratory and by using a SPAD-502 chlorophyll meter. These data were correlated leading to a best fit with power type functions, with coefficients of determination R<sup>2</sup> above 0.86. During the field campaign an aircraft flew over the city with onboard a hyperspectral sensor CASI (Compact Airborne Spectral Imager) and obtained several images with a resolution of 1 m. From the CASI data we first calculated the NAOC index and secondly related it to the laboratory chlorophyll content measures. However, in order to adapt the index to remotely estimated chlorophyll content over all urban vegetation, extra data of low growing vegetation coming from earlier campaigns was added. It led to a high resolution chlorophyll content map over the study area of Valencia.

Keywords: Urban trees, chlorophyll, NAOC, SPAD

### 1. INTRODUCTION

Chlorophyll is a natural pigment found in green plants, and its content is an important variable in assessing the plants physiological state and photosynthetic performance, the basic process for the vegetation life (Wang and Li, 2012; le Maire et al., 2008). Vegetation in urban areas, particularly trees, provides immense benefits to urban environment such as the main absorbers of CO<sub>2</sub>. The quantification of Chl from urban vegetation allows us not only to gain insight in the plants' health status but also in their ability to regenerate the urban environment (McPherson et al., 2011).

However, traditionally the measurement of Chl is a laborious and destructive process that requires sampling and chlorophyll extraction in a particular area of the leaf by dissolving chemicals in the laboratory. Moreover, Chl concentration is known to be heterogeneously distributed across different leaves of the same plant, depending on sunlight exposure and the size and age of the leaves. And even within a single leaf the Chl concentration is not uniformly distributed. Therefore, in order to infer Chl in a particular tree or a large area of vegetation it requires the collection of large number of measurements, which cannot be performed in the laboratory for practical reasons. Alternatively, to overcome this limitation, instruments have been designed that are capable non-destructive and fast estimating of Chl, directly by measuring the leaf light absorption at certain wavelengths. These instruments, called chlorophyll meters, provide a numerical value which is related to the actual Chl through a calibration process that may depend on the vegetation type and its phenology. One of the widely used chlorophyll meters is the SPAD-502 and is used in this study.

However the study of Chl over large areas such as over a city can be quite challenging. Here, an attractive alternative is to make use of optical remotely sensed images (Gamon & Qiu, 1999). During the last decades various techniques have been developed that estimate Chl from images acquired from sensors mounted on an air- or spacecrafts (Wang & Li, 2012). These techniques are usually based on the characteristic chlorophyll spectrum with two peaks in the blue and red visible part. However, also other plants pigments absorb light in the blue region. This is why other optical Chl estimation techniques prefer to make use of bands located between 600 and 700 nm, which is the spectral region where chlorophyll is the main absorber. Thanks to the development of hyperspectral sensors, which can obtain a continuous spectrum in this region, or new superspectral sensors such as ESA's forthcoming Sentinel-2 mission, which also incorporates multiple bands in this region (Delegido et al., 2011b), new and more powerful Chl detection methods are being developed. One such example is the NAOC (Normalized Area Over reflectance Curve) index, a spectral index that was initially developed for Chl mapping over heterogeneous crops areas (Delegido et al., 2010).

This brings us to the aim of this study, which is to recalibrate the NAOC index so that it enables Chl estimation over urban trees. To do so, four most representative trees species in the Valencia city (Spain) were first sampled by using SPAD-502 measurements and through destructive Chl extraction used for calibration. The Chl estimates were subsequently linked to NAOC and then applied to an airborne image for upscaling Chl mapping over Valencia city.

## 2. MATERIAL AND METHODS

### 2.1. Test site

The data used in this study were obtained within the BIOHYPE project (BIOMonitoring of urban habitat quality with airborne HYPErspectral observation) which has the objective of developing, testing and validating a passive biomonitoring methodology based on hyperspectral observations from an aircraft level and with an experimental field approach. Within the BIOHYPE project there have been different field campaigns organized in order to

obtain a series of measures of different biophysical parameters, in addition to their radiometric and hyperspectral imaging obtained by a sensor airborne. One of these campaigns took place in Valencia from May to October 2011. This work was carried out with data obtained during the Valencia campaign.

Valencia (39°28' N, 0°22' W, 15 m a.s.l.) is the third largest city by population in Spain, with 798,033 inhabitants (INE, 2012), and an area of 134.65 km<sup>2</sup>. It is located on the Mediterranean coast of the Iberian Peninsula, on the banks of the Turia River. The climate is typical Mediterranean with mild, wet winters and hot dry summers, and a yearly-average temperature around 18 °C. Seasonal rainfall is minimal in summer and maximal in autumn and spring. The city is divided by a large park called Gardens of Turia which are built in the old Turia riverbed. Another large park, Viveros, is closely situated near the Gardens of Turia (Figure 1). For the whole city of Valencia 116,745 trees are counted in May 2010. Tree selection was made based on the species distribution maps provided by the City Garden Council Service, taking into account the distribution and occurrence of different species and leaf characteristics. Four dominant tree species were selected: London plane (*Platanus x. acerifolia* (Aiton) Willd), the Canary Island date palm (*Phoenix canariensis Chabaud*), European nettle tree (*Celtis australis* L.), and White mulberry (*Morus alba* L.). The city counts respectively 8.922, 3.513, 2.935 and 2.193 trees of *P. x acerifolia*, *M. alba*, *C. australis* and *P. canariensis*, presenting in total more than 15% of all city trees.

In order to sample trees growing, ten city locations were chosen with different environmental conditions. In total 40 trees were sampled, ten for every species. Twelve trees at three of those ten locations were selected in order to take full crown measurements by crane at the low, middle and top layer of the crown. These three sites (Turia, Viveros and Glorieta) are three parks located relatively close to each other (Figure 1), but differ in area and traffic intensity surrounding them. The trees at Glorieta are surrounded by high buildings, Viveros, on the other hand, is one of the largest city parks where trees are somehow more isolated from traffic, and Turia park is the old riverbed of the river Turia and now planted with trees, forming an important recreation zone of the city.



Figure 1. Test site location. 1. Península Ibérica; 2. Valencia (with flight line); 3. a. Viveros; b. Turia; c. Glorieta

## 2.2 Chlorophyll extraction

From each of the twelve trees a branch was cut at each of the three canopy levels (bottom, middle, top). These branches were immediately transferred to the laboratory in buckets filled with water. In the laboratory 5 leaves of each branch were chosen. Relative chlorophyll measurements were made with SPAD-502 (Konica Minolta Optics Inc., Japan) before samples were cut with a metal cylinder and stored in a freezer at  $-80^{\circ}\text{C}$ . The samples were cut into the center of the distance between the stem and the apex of the leaf, and between the edge of the blade and median nerve. Upon chlorophyll extraction, samples were drawn from the freezer to measure the chlorophyll content by spectrophotometry in the laboratory. Each sample was ground in a porcelain mortar with 5 ml acetone and kept cold in an ice bin. After the sample was centrifuged for 5 minutes at 10000 rpm and then measurements were made with a spectrophotometer. The absorbances were measured according to Lichtenthaler and Buschmann (2001). Later, after an initial inspection of results it appeared that SPAD values were generally above 30 or 40  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ , new measures were taking from 140 leaves (35 of each tree species) to complete the solid curve for SPAD-Chl calibration. In total 320 samples were measured and used for calibration.

## 2.3. SPAD calibration

The SPAD instrument provides a relative value for chlorophyll content. The objective was to calibrate the SPAD with measurements from chlorophyll extraction in the laboratory. Several authors have addressed this problem and a wide variety of calibrations of SPAD for different plant species can be found in literature. Most of them provide calibrated linear, exponential or polynomial equations. Often, a linear equation was encountered especially when chlorophyll concentration ranges are narrow (Richardson et al., 2002). However, when Chl ranges are broader, the trend can be better described by an exponential or polynomial relationship. Overall, Chl values for tree species can vary between 0 and  $150\ \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  (Marenco et al., 2009), while Chl values for crop species vary between 0 and 70 (Uddling et al., 2007; Delegido et al., 2011a).

## 2.4. Remote sensing data

On 7 September 2011, a flight campaign was made by INTA (National Institute of Aerospace Technology) with the CASI sensors on board. 1500i CASI (Compact Airborne Spectral Imager) is a hyperspectral sensor in the range of 350-1200 nm that can work in several acquisition modes.

CASI images were obtained during 4 flightlines over different parts of Valencia covering the 10 sample sites. For this work we used the CASI flightline that covered the three sites where measurements were conducted at three crown levels in the trees, configured with 144 spectral bands with 2.4 nm and a pixel size of 1.6 m along the flight track and 1.0 m across. This is the best configuration for the NAOC calculation because providing a high bands number in the region of interest that allows calculating the reflectance integral and also provides high spatial resolution which enables distinguish individual trees. The image was atmospherically corrected by the method of Guanter et al. (2007) and georeferenced.

During image acquisition, two ground teams conducted spectral measurements and measured various biophysical parameters. A team with a mobile crane sampled Glorieta and Viveros, while another was stationed in Turia.

### 2.5. Chl remote sensing estimation from NAOC

The aim of this study was to extend the application range of the hyperspectral index NAOC (Normalized Area Over reflectance Curve) for trees with high chlorophyll content. This index was initially developed for remotely detecting Chl over crop types and here it is evaluated whether this index enables remote estimation chlorophyll content over urban trees.

The NAOC index is calculated by the formula (Delegido et al., 2010):

$$\text{NAOC} = 1 - \frac{\int_a^b \rho \, d\lambda}{\rho_{\max} (b - a)} \quad (1)$$

Where  $\rho$  is the reflectance,  $\lambda$  the wavelength,  $\rho_{\max}$  is the maximum far-red reflectance, corresponding to reflectance at the wavelength “b”, and “a” and “b” are the integration limits surrounding the Chl well centered at ~670 nm. In a previous work (Delegido et al., 2010), we obtained that this index reaches a maximum linear correlation with the chlorophyll content of leaves in a wide variety of crops, when the selected bands (a and b) are 643 and 795 nm. The method has been successfully validated against Chl data coming from a wide variety of crop types (Delegido et al., 2011a). The NAOC index tends to be more sensitive to changes in Chl than other remote sensing indices, because of the relationship is more linear than other indices that have the saturation problem at high values.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1. SPAD calibration

The 320 chlorophyll values measured in the laboratory according to the method Lichtenthaler and Buschmann (2001) were plotted against the

SPAD-502 recordings for all measurements in the four tree species in Figure 2. It led to a maximum correlation when using an exponential function according to:

$$\text{Chl} = 0.021752 \text{ SPAD}^{2.1129} \quad R^2 = 0.8921 \quad (2)$$

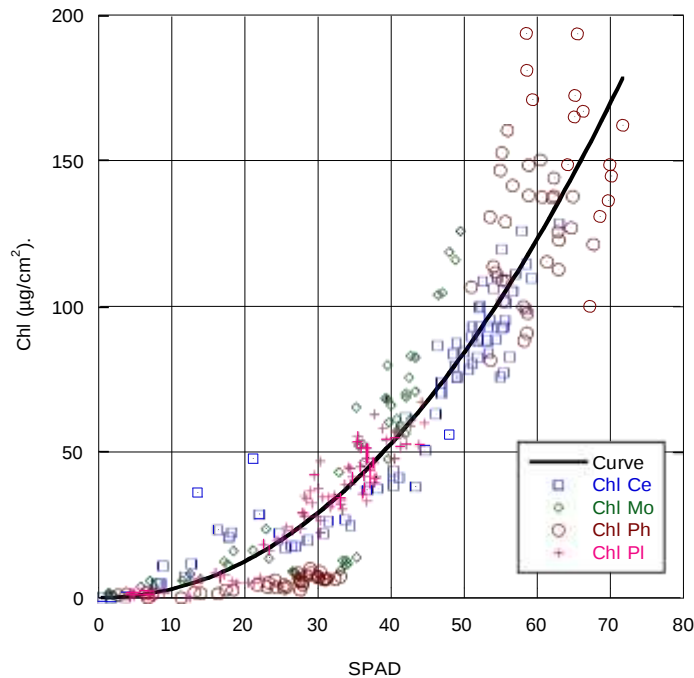


Figure 2. Total chlorophyll measured in the laboratory as function of SPAD measurements of the four species selected with the fitted curve using equation 2

When looking closer to Figure 2, it can be observed that the curve is marked by high Chl values exclusively coming from Phoenix (*P. canariensis*) leaves. It should be noted that Phoenix species are characterized by a specific physiology with a pronounced hardness and thickness of the leaf width. Hence, because of this distinct leaf physiology, a more correct approach would be to seek for correlations for each tree species independently. It was further noted that in each of these graphs the lowest Chl values, e.g. up to 35 SPAD adjusts well to a linear relationship, which may explain why many authors have proposed a linear fit especially for narrower ranges of Chl. It can be observed that both Celtis and Morus span a similar Chl range, from 0 to 130  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ , while Platanus measurements never exceeded 70  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Remarkably, Phoenix Chl distribution appeared to be clustered towards two cloud points, with a first cloud for Chl <15  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ , and then a second cloud spanning values of 80  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  to higher up until 200  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ . The Palm species behaved differently than the other species

because of being an evergreen tree with steady chlorophyll content throughout the seasons. Here, low Chl values came rather from leaves that are approaching the end of its vegetative period and start to senescent.

### 3.2. Chlorophyll content mapping over Valencia

A following step was to calculate the NAOC index from airborne spectral data and relating it to Chl in-situ measurements for Chl mapping of over the city of Valencia. Prior to be able retrieving actual chlorophyll content the NAOC index must be calibrated. To do so, we used with the reflectance spectra of the atmospherically corrected CASI image, from which we calculated NAOC. These values were correlated with corresponding chlorophyll content measured in-situ at the 12 trees during the flight campaign (Figure 3a). For the measurement of chlorophyll from each tree, we took the arithmetic mean of all chlorophyll measures in the different sheets and calculated the standard deviation of each mean.

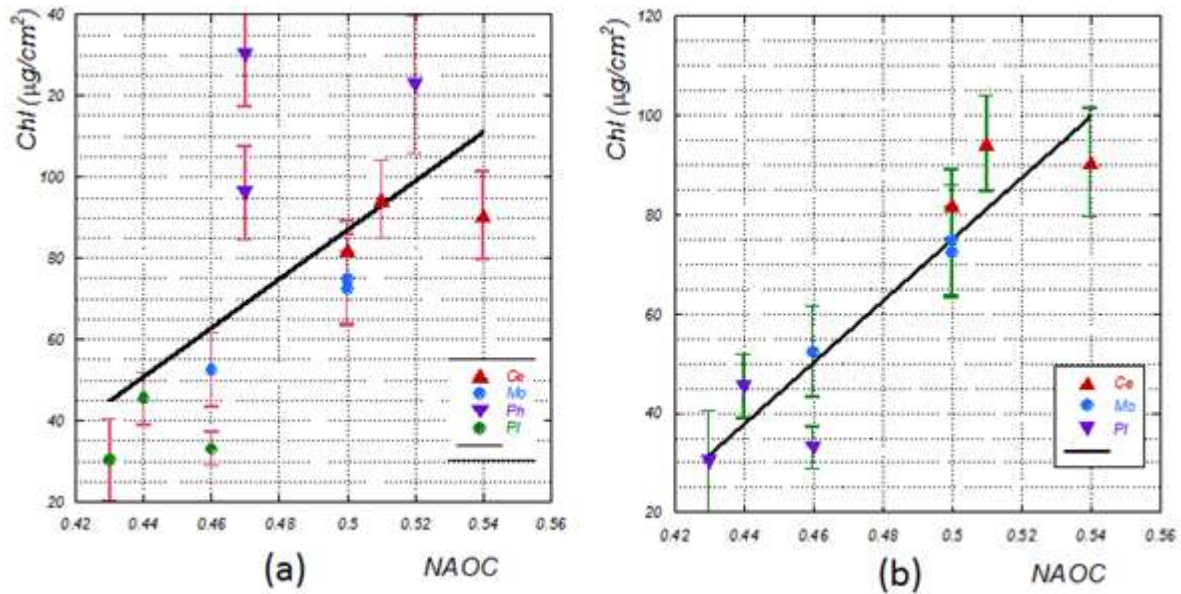


Figure 3. Chlorophyll content according NAOC. The bars indicate the standard deviation of the Chl measures. (a) All species of trees (b) Without Phoenix

It appeared that the three canopy class values of Phoenix species deviated from the general trend. This might be due to the fact that Phoenix leaves are very narrow and sparsely organized on top of the trunk, so the fractional cover is very low for the majority of the crown area as seen from above. From a pixel point of view, this results into a mixture of tree crown and background for the pixels covering

Palm trees. In addition, Phoenix leaves are much thicker than other tree leaves so underestimates the reflectance and chlorophyll content is difficult for a single spectral index present similar behavior in palm and other trees. For these reasons we have eliminated the three mean values of Palm in further processing (Fig. 3 b). The Fig. 3b data shows a linear trend that can be fitted to the following equation:

$$\text{Chl } (\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}) = -234.76 + 619.32 \cdot \text{NAOC} \quad (R^2 = 0.857) \quad (3)$$

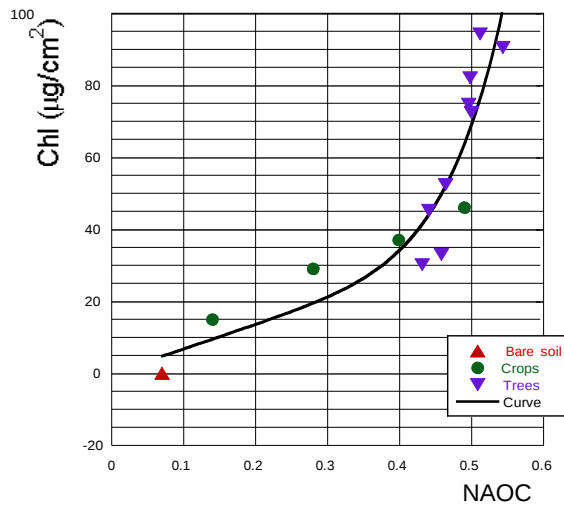
Equation 3 would estimate the chlorophyll content for the great majority of trees in the Valencia city. However, this fit did neither include low vegetation (e.g., grass, herbs, bushes...) nor non-green targets (e.g., roads, buildings), so it would inevitably wrongly estimate chlorophyll content on those targets, e.g. when mapping Chl over a city. In order to resolve this situation, we have incorporated a calibration from previous ESA's campaigns (SPARC, CEFLES2 and Sen3Exp, see details in Delegido et

al., 2011a) over agricultural targets that show similar chlorophyll levels that those. It was found possible to find a single function relating the Chl and the NAOC will both low plant and trees, however the equation was no longer linear. Figure 4a shows the values of NAOC for all targets: trees, grass and low vegetation (similar to crops) and a non-vegetated surface (with Chl = 0). These values can be fitted according to an exponential equation:

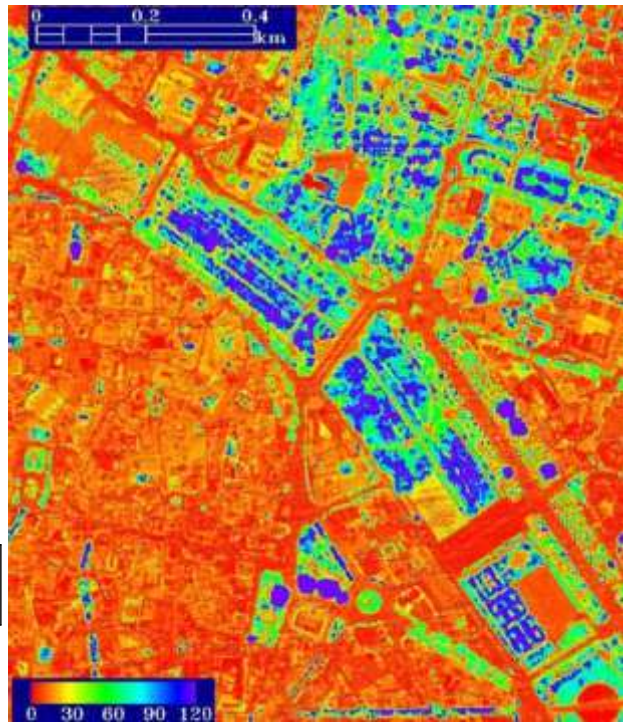
$$\text{Chl } (\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}) = 67.74\cdot\text{NAOC} + 5071.3\cdot\text{NAOC}^{7.169} \quad (R^2 = 0.854) \quad (4)$$

To end with, by applying Eq. 4 on the CASI image a chlorophyll content map has been generated (Figure 4b). In the map, trees with high chlorophyll content such as *Celtis* (about  $100 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  in purple) can be clearly distinguished from the lowest content

trees (*Morus* and *Platanus* in green and blue, over  $60 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ). Light green and yellow areas represent low vegetation and orange-red correspond to non-vegetation surfaces.



(a)



(b)

Figure 4. (a) Chlorophyll content according NAOC from crops and low vegetation, trees and bare soil. (b) Chlorophyll content map (in  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}$ ) of test site

#### 4. CONCLUSION

The measurements with the SPAD-502 meter over different tree species show a strong correlation with Chl obtained in the laboratory. Equation 2 provides the calibrated empirical relationship as obtained by four representative species trees of in the Valencia city and many other Mediterranean climate cities.

The best performing correlation was obtained by an exponential-type function, but for lower values also a linear calibration would be acceptable.

Due to distinct physiological characteristics between *Phoenix canariensis* and other species (*Platanus hispanica*, *Celtis australis* and *Morus alba*), there were however clear differences observed in Chl.

The leaf chlorophyll content of the palm tree was mostly sampled between  $100$  and  $200 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  while Chl did not exceed  $140 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  in the other species. The pronounced thickness of the palm leaves leads that both the SPAD measurements as the reflectance NAOC underestimated Chl. This requires a more in-depth study on these kinds of thick leaves, such as analysis on both the reflectance as well transmissivity.

As a next step, the hyperspectral NAOC index was calculated from the CASI sensor and successfully validated against the in situ measured Chl. Again there appeared to a pronounced different behavior between the palm and other species due to its aforementioned characteristic physiology. Besides, in contrast to the other 3 tree species, the specific shape, size and distribution of palm leaves causes that the fractional cover of the palm tree is low, which implies a relatively greater influence of soil background contamination. For this reason, the palm data have been removed from the fit between Chl and NAOC data. Alternatively, by incorporating averaged data from various agricultural sites originating from earlier campaigns, a robust empirical relationship between Chl and NAOC estimates was obtained. This relationship can serve Chl mapping over low vegetation types (e.g., grass, shrubs.), bare soil as well trees. Finally, the developed method allowed us generating a Chl map over the Valencia city.

## ACKNOWLEDGMENTS

The research presented in this paper is funded by the Belgian Science Policy Office in the frame of the STEREO II programme-project BIOHYPE (SR/00/131). We thank the Servicio de Jardinería del Ayuntamiento de Valencia (City Garden Council Service) for their help and collaboration.

## REFERENCES

- Delegido, J.; Alonso, L.; González, G.; Moreno, J. Estimating chlorophyll content of crops from hyperspectral data using a normalized area over reflectance curve (NAOC). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, n. 12, p. 165-174, 2010.
- Delegido, J.; Vergara, C.; Verrelst, J.; Gandía, S.; Moreno, J. Remote Estimation of Crop Chlorophyll Content by Means of High-Spectral-Resolution Reflectance Techniques. *Agronomy Journal*, v. 103, n. 6, p. 1834-1842, 2011a.
- Delegido, J.; Verrelst, J.; Alonso, L.; Moreno, J. Evaluation of Sentinel-2 Red-Edge Bands for Empirical Estimation of Green LAI and Chlorophyll Content. *Sensors*, n. 11, p. 7063-7081, 2011b.
- Gamon, J. A.; Qiu, H. Ecological applications of remote sensing at multiple scales. In: F. I. Pugnaire, & F. Valladares (Eds.). *Handbook of functional plant ecology*. New York: Marcel Dekker, 1999. p. 805–846.
- Guanter, L.; Estellés, V.; Moreno, J. Spectral calibration and atmospheric correction of ultra-fine spectral and spatial resolution remote sensing data. Application to CASI-1500 data. *Remote Sensing of Environment*, n. 109, p. 54-65, 2007.
- INE Instituto Nacional de Estadística. Anuario Estadístico de España 2012. Available in: [http://www.ine.es/prodyser/pubweb/anuarios\\_mnu.htm](http://www.ine.es/prodyser/pubweb/anuarios_mnu.htm). Access in June 2012.
- Le Maire, G.; François, C.; Soudani, K.; Berveiller, D.; Pontailier, S.; Bréda, N.; Genet, H.; Davi, H.; Dufrêne, E. Calibration and validation of hyperspectral indices for the estimation of broadleaved forest leaf chlorophyll content, leaf mass per area, leaf area index and leaf canopy biomass. *Remote Sensing of Environment*, n. 112, p. 3846-3864, 2008.
- Lichtenthaler H.K.; Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids - Measurement and characterisation by UV-VIS. In: *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. Madison: John Wiley&Sons, 2001, n. 107, p. F4.3.1-F4.3.8.
- Marenco, R.A.; Antezana-Vera, S.A.; Nascimento, H.C.S. Relationship between specific leaf area, leaf thickness, leaf water content and SPAD-502 readings in six Amazonian tree species. *Photosynthetica*, v. 47, n. 2, p. 184–190, 2009.
- McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Xiao, Q.; Wu, C. Million trees Los Angeles canopy cover and benefit assessment. *Landscape and Urban Planning*, n. 99, p. 40-50, 2011.
- Richardson, A.D.; Duigan, S.P.; Berlyn, G.P. An evaluation of non-invasive methods to estimate foliar chlorophyll content. *New Phytologist*, v. 153, n. 1, p. 185-194, 2002.
- Uddling, J.; Gelang-Alfredsson, J.; Piikki, K.; Pleijel, H. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynthesis Research*, n 91, p. 37-46, 2007.
- Wang, Q.; Li, P. Hyperspectral indices for estimating leaf biochemical properties in temperate deciduous forests: Comparison of simulated and measured reflectance data sets. *Ecological Indicators*, n. 14, p. 56-65, 2012.

## Use of remotely sensed environmental and meteorological data for mapping malaria and dengue entomological risk

Vanessa Machault 1; Cécile Vignolles 2; André Yébakima 3; Christophe Rogier 4 and Jean-Pierre Lacaux 1

1. Laboratoire d'Aérodologie, Observatoire Midi-Pyrénées (OMP)  
Université Paul Sabatier, 14 avenue Edouard Belin  
31400 Toulouse – France

2. Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) - Direction de la Stratégie et des Programmes / Terre-Environnement-Climat,

3. Service de Démoustication / Lutte Anti-Vectorielle

4. Institut Pasteur de Madagascar  
vanessamachault@yahoo.com.br

### ABSTRACT

Environment, climate and human activities play an important role in determining vector distribution and vector-borne diseases epidemiology. A better understanding of the contribution of those ecological factors on the spatio-temporal dynamics of mosquitoes may lead to improvement of controlling measures. In the present study, it is thought that the conceptual approach (CA) of Tele-epidemiology developed by the French Spatial Agency and its partners could be applied to spatio-temporal mapping of entomological malaria risk in urban settings and entomological dengue risk. In Dakar, Senegal, a large amount of entomological data was collected (2007 - 2010). Appropriate satellite environmental and meteorological data were acquired in order to model the presence of water bodies, the presence of *Anopheles gambiae* s.l. larvae in those water bodies and the *An. gambiae* s.l. Human Biting Rates. In Tartane, Martinique, entomological field data consisted in the routine surveillance data collection. Very high spatial resolution data were used to map the environmental elements that may be associated with the presence and type of *Aedes aegypti* breeding sites in houses. In Dakar, the first mapping level predicted the potential *An. gambiae* s.l. larval habitats (depending upon the predicted presence of water, the environmental and meteorological conditions). The second level was a map of the *An. gambiae* s.l. HBR (driven by surfaces and potential productivity of larval habitats, urbanization levels and rainfall amount).

In Martinique, the basic information has been prepared in order to further apply the Tele-epidemiology CA to the mapping of dengue vectors.

Keywords: Remote Sensing, malaria, dengue, entomology, risk maps

### 1. INTRODUCTION

Malaria is caused by a *Plasmodium* parasite transmitted among humans by the female mosquitoes/vectors of the *Anopheles* genus. Dengue is an infectious disease caused by one of the four serotypes (DEN-1 to DEN-4) of a dengue virus, transmitted to humans by the bites of infected female mosquitoes of the genus *Aedes*. The location of the vectors larval habitats and their dynamics are the primary determinants of the spatial and temporal distribution of malaria transmission. Transmission units are defined as the systems where the larval habitats are the sources for the pathogen transmission [Carter et al. (2000)]. Indeed, mosquitoes emerging from larval habitats have a somewhat limited flying range which depends on environmental conditions. Malaria and dengue risk is thus heterogeneous in space and time, as it is driven by the proximity and dynamics of the larval habitats. Risk is further weighted by the dispersion and survival rates of adult mosquitoes, the availability of reservoir and the human vulnerability (which depends on availability of protection and preventive devices as well as acquired individual immunity).

It is known that environment, climate (mainly rainfall amount and distribution, and temperature) and human activities play an important role in determining the vector distribution and vector-borne diseases epidemiology. A better understanding of the contribution of those ecological factors on the spatio-temporal dynamics of mosquitoes associated with malaria and dengue may lead to improvement of controlling measures. Indeed limited resources imply to focus the actions in places and time where they are the most useful. It has been argued that remote sensing technology has become a pre-requisite tool to assess the malaria burden, to model its spatio-temporal distribution, and plan effectively malaria control. The latter are key elements to implement within an operational system and thus to facilitate overall real-time monitoring of human health [Machault et al. (2011)].

Along the history of tropical medicine, maps had held different roles that depended on the era and the technical possibilities. Their objectives may be: communication, illustration, medical research or tool for public health policies. From the 90's, disease mapping strongly evolved with the introduction of the Geographic Information Systems (GIS) [Birchenall (2010)] that allow the collection, storage, integration, analysis, and display of spatially referenced data. Risk maps have been defined in [Kitron (2000)] as "outcomes of models of disease transmission based on spatial and temporal data", incorporating "to varying degrees, epidemiological, entomological, climatic and environmental information", and they have been applied to numerous diseases for mapping a current situation or even anticipating outbreaks with Early Warning Systems [Bergquist (2001)]. Numerous reviews have been published in the last years, attempting to describe spatial and/or temporal mapping and modeling of vector diseases using GIS and Remote Sensing (RS) information [Beck et al. (2000); Bergquist (2001); Hay et al. (2000); Machault et al. (2011)] with some inputs on the operational orientation of disease mapping.

In the present study, it is thought that the conceptual approach (CA) of Tele-epidemiology [Marechal et al. (2008)] could be applied to spatio-temporal mapping of entomological malaria risk in urban settings and to dengue risk. This CA has been developed and patented by the French Spatial Agency (*Centre National d'Etudes Spatiales - CNES*) and its partners, and consists in monitoring and studying human and animal disease dynamics which are closely related to climate and environment variability: i) choice of appropriate satellite data and dynamical models are evaluated, ii) all results are assessed and double-checked with extensive in-situ measurements

allowing for identification of key biological processes. The objective concerning malaria was to develop a robust operational methodology to produce entomological malaria predictive risk maps. The whole methodology relied on predicted vector risk areas (obtained from Human Biting Rate, or HBR) which were centred in the vicinity of predicted *Anopheles gambiae* s.l. larval habitats. The objective concerning dengue was to start to investigate how the CA could provide information on the distribution and type of *Aedes aegypti* breeding sites in a dengue epidemic area.

## 2. METHODOLOGY

### 2.1 Malaria

The city of Dakar is the capital of Senegal and is located in the Cap-Vert Peninsula. The sahelian climate is modified by the proximity of the Atlantic Ocean, and the summer rainy season lasts from June to November, with average temperatures between 24°C and 30°C and average rainfalls of about 400 mm, while the cool and drier season lasts from December to May with average temperatures between 19°C and 25°C.

Entomological field studies have been undertaken during September-October of 2007 and during July 2008 to June 2010 and are detailed in [Gadiaga et al. (2011); Machault et al. (2009)]. Briefly, the monitoring study was conducted in Dakar, Pikine, Thiaroye and Guediawaye, in a total of 45 zones each covering a 200 x 200 m approximate area. Adult mosquitoes sampling was carried-out approximately in the centre of the 200 x 200 m zones, once every two weeks in each studied zone through human landing catch, for a grand total of 3,096 person-nights of capture, allowing to calculate the Human Biting Rate (HBR, number of *Anopheles* bites per person per night). Exhaustive search of all type of water bodies was undertaken every 10 days and for each zone. The latter were mapped using a Global Positioning System (GPS) device (5 m minimum precision) while physical, chemical and biological parameters (size, shade, floating and surrounding vegetation, water temperature, persistence along weeks) were recorded, including *Anopheles* larvae density.

SPOT-5 (Satellite Pour l'Observation de la Terre) images were programmed in order to be contemporary to the field work and were acquired during the three summer rainy seasons for the following dates: September 26, 2007, September 24, 2008, September 28, 2009, as well as during one dry season (May 11, 2009). A Digital Elevation Model (DEM) at 90 m spatial resolution was available from the Shuttle Radar Topography

Mission (SRTM versión 4.1). Decadal Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS-Terra) images were available at 1 km spatial resolution for the full duration of the field work. Ground measurements of daily rainfall event were available from the Senegalese weather agency for years 2007, 2008 and 2009.

A GIS was built in ArcGIS 9.2 (Environmental Research Systems Institute, Redlands, CA, USA) and statistical analyses were performed using Stata 11 (Stata Corporation, College Station, Texas). All ground information (water bodies and larval habitats, HBR, rainfall) was included in the GIS whilst processed images (indicators, LULC, LST, altitude) were added as georeferenced layers. Regressions between environmental and meteorological variables and presence of water or not (Step 1, logistic regression), presence of *Anopheles gambiae* s.l. larvae or not (Step 2, logistic regression) and *An. gambiae* s.l. HBR (Step 3, negative binomial regression), were fitted using all environmental and meteorological indicators as explanatory variables.

## 2.2 Dengue

The studied area for dengue work has been chosen in Tartane, a location of the Caravelle peninsula, in the North East of Martinique. The centre of the village is located by the seacoast but some houses have been built in the hills. Dengue epidemics that occurred in 2001 and 2010 have started in this area of the island. Dry season occurs from February to March while rainy season lasts from July to October. The study period was chosen from June 2009 to August 2011, as an extended period of the 2010 epidemics.

Entomological field data consisted in the routine surveillance data collection undertaken by the “Centre de Démoustication/Lutte Anti-Vectorielle” of Fort de France. Briefly, field workers repeatedly visited houses of the studied area and recorded the presence/absence of potential breeding sites that were filled with water, the number of water bodies that were positives with *Aedes* larvae and the type of water bodies.

Regarding the known ecology of *Aedes aegypti* which is the dengue vector in Martinique and that is mainly defined by small breeding sites and low dispersal, the experimental study unit has been chosen as: the house and its close environment (garden, yard, neighbors). Indeed, even the highest spatial resolution image could not allow to directly map the *Aedes* larval habitats. In consequence, remotely-sensed data has been acquired and treated in order to characterize this study unit and further investigate the environmental and meteorological determinants of the presence of breeding sites. The exact size of this

study unit will further be refined using the results of the statistical analysis and several scales are expected to play a role in the presence of the vector (e.g. fine scale = type of house, trees in the garden, and large scale = density of houses in the neighborhood, presence of nearby vegetation).

As the size of the experimental study unit was small, a very high resolution image was chosen. A Goe-Eye-1 image at 0.5 m spatial resolution has been acquired from archive images for 13/03/2011. It has been orthorectified using the 50 m Digital Elevation Model of IGN (*Institut National de l'Information Géographique et Forestière*). Pixel-based and object based classification were undertaken, as well as calculation of several environmental (vegetation, humidity, soil) indices.

Meteorological data were available from two ground stations located nearby the studies zone. They provided daily precipitation and temperature data. In addition, radar data was available at 1km spatial resolution and hourly rainfall information. The latter is of particular interest as it allows taking into account the spatial heterogeneity of rainfall.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1 Malaria

First step was for detection of water bodies in Dakar. Each observation included in the logistic regression (n=48,858) corresponded to the presence/absence of water, based on the maximum water area recorded on the ground in the 45 studied zones during the 3 studied years, at 10 m resolution. In the global univariate and multivariate analysis, the SPOT-5 Modified Normalized Difference Water Index (NDWI) of the rainy season and the SPOT-5 NDVI of the dry season were positively associated with the presence of water while the SPOT-5 built-up area and the altitude from DEM were negatively associated. The inversion and extrapolation of the model allowed drawing one map for the water bodies for each year, at 10 m spatial resolution.

Step 2 highlighted the environmental and meteorological determinants of the presence of *An. gambiae* s.l. larvae or not, recorded during the field work. In the global univariate and multivariate analysis, the SPOT-5 NDWI Mc Feeters and the SPOT-5 Soil Brightness Index (BI) of the dry season, as well as the current night MODIS LST and the total ground rainfall in the preceding 30 days were positively associated with the presence of *Anopheles* larvae in the water bodies. The NDWI Mc Feeters and the Soil BI, as both environmental explanatory variables for the presence of larvae, were computed, using GIS, in

and around each water body predicted during the first step. For every single day of the full duration of the study, including daily LST and rainfalls, the inversion of the multivariate global model allowed drawing daily maps of the probabilities of presence of *An.gambiae s.l.* larvae in water bodies. Figure 1

provides zoom images of the predicted probability of presence of *An. gambiae s.l.* in three districts of Dakar, calculated at the level of the water bodies predicted at step 1.

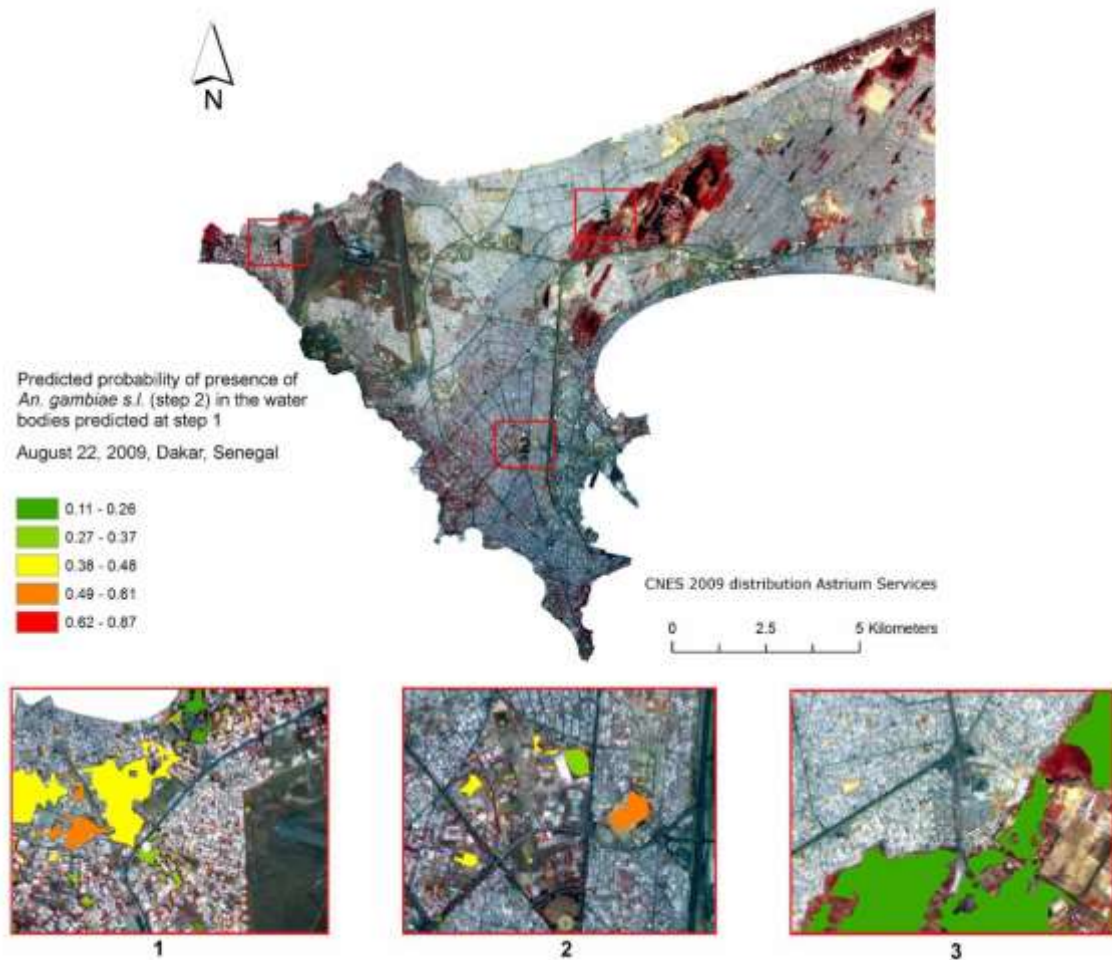


Figure 1. Predicted probability of presence of *An. gambiae s.l.* larvae (step 2) for August 22, 2009 in the water bodies predicted at step 1

Step 3 allowed defining the relationship between the predicted larval productivity surrogate and the field measured HBR, in order to generate *An.gambiae s.l.* HBR maps. In the global univariate and multivariate analysis, the *Anopheles* larval productivity surrogate (sum of the probability of presence of larvae calculated at step 2 from 30 to 1 days before the actual adult catching night, since the daily vector survival rate is estimated at 82% in the Dakar peninsula

[Vercruysse (1985)], summed-up in 200 m buffers and rings going from 300 m to 1,000 m of the catching points, the weight decreasing with distance) and the ground rainfall in the preceding 7 days were positively associated with the HRB whereas the SPOT-5 built-up and asphalt surface were a protective factor. The inversion of the global model allowed the daily prediction of the *An.gambiae s.l.* HBR at any location in Dakar with 10 m spatial resolution (Figure 2).

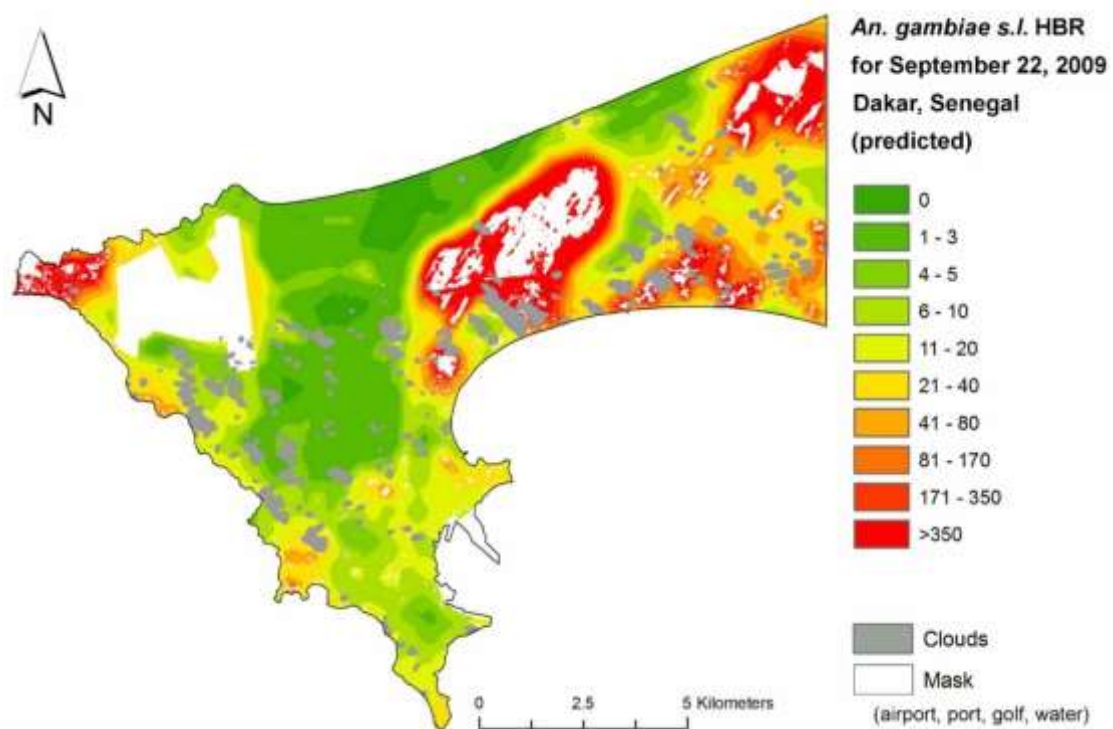


Figure 2. Predicted *An.gambiae s.l.* HBR (step 3, number of bites per person per night) for September 22, 2009

Modelling malaria risk requires as a first step, to model the entomological risk. In the present study, a step-by-step mapping approach has been followed in order to closely relate modelling and the biological and physical mechanisms of the presence of water bodies, the larval development and of the adult survival and dispersion. The temporal resolution of larvae and adult *Anopheles* mapping was daily, allowing weekly, monthly and/or yearly maps production that could help in mosquitoes control within Dakar.

### 3.2 Dengue

Photo-interpretation of the results of pixel-based and object-based classifications and calculation of kappa coefficients allowed identifying the strengths and weaknesses of both techniques, in the context of the present study. Indeed, some elements of the land cover had to be particularly well classified in the aim of characterizing the experimental study units (*e.g.* building, gardens, and trees). The buildings were better mapped using the object-based method while the accuracy of the classification of the vegetation, trees, and bare soils was higher using the pixel-based method. The creation of a composite classification image allowed improving the global accuracy of the land cover classification. This

layer has been added in a GIS containing the entomological data in order to further apply the Tele-epidemiology CA.

## 4. CONCLUSION

The Tele-epidemiology CA has been successfully applied for mapping entomological malaria risk in sub-Saharan urban setting. Remotely-sensed environmental and meteorological data, associated with a large amount of ground entomological data collected specifically, allowed setting-up a robust operational methodology to draw different levels of malaria entomological dynamic risk maps that could be of interest for planning and targeting malaria control in urban settings. The first mapping level predicted the potential *An. gambiae s.l.* larval habitats in Dakar (depending upon the predicted presence of water, as well as environmental and meteorological conditions) that could guide local larval management. The second level was a map of the *An. gambiae s.l.* HBR (driven by surfaces and potential productivity of larval habitats as well as urbanization levels and rainfall amount) which could guide adult mosquitoes control activities and could help

concentrating and reinforcing awareness and information messages to local inhabitants. The results of the present study could be seen as providing the basic elements for real-time monitoring of human health.

Basic information has been prepared in order to apply the Tele-epidemiology CA to the mapping of dengue vectors. The expected results should allow to better understand the impact of environmental and meteorological determinants on the spatial and temporal distribution of *Aedes*.

## 5. ACKNOWLEDGMENT

We acknowledge Philippe Palany from METEO-France Fort de France for providing all data and scientific inputs concerning meteorological data in the dengue project. We thank IRD Dakar (Jean-François Trappe, Cheikh Sokhna, Libasse Gadiaga and Adboulaye Gaye) for having hosted all the entomological malaria data collection. We thank Antonio Güell, head of the Application and Valorisation department at CNES and Murielle Lafaye, head of Tele-epidemiology applications, for supporting this study, as well as Yves Tourre (METEO-France, Direction de la Climatologie, and LDEO of Columbia University) for meteorological inputs and general scientific support. We acknowledge the CNES ISIS program, which provided access to high spatial resolution SPOT5 images. We thank SIRS (Villeneuve d'Ascq, France; Jean-Paul Gachelin, Christophe Sannier, Adrien Corvisy) and SERTIT (Illkirch, France; Hervé Yésou, Claire Hubert, Carlos Uribe) for their inputs via the EEOS- Malaria (Epidemiology Earth Observation Services - Malaria) project co-funded by CNES.

## 6. REFERENCES

Beck L. R.; Lobitz B. M., Wood B. L. Remote sensing and human health: New sensors and new opportunities. *Emerg Infect Dis*.6:217-226. 2000  
Bergquist N. R. Vector-borne parasitic diseases: New trends in data collection and risk assessment. *Acta Trop*.79:13-20. 2001

Birchenall C. Le rôle de la carte en médecine tropicale. De l'illustration à la recherche et retour. . *CFC Bull*.2010

Carter R.; Mendis K. N., Roberts D. Spatial targeting of interventions against malaria. *Bull World Health Organ*.78:1401-1411.2000

Gadiaga L.; Machault V.; Pages F.; Gaye A.; Jarjaval F.; Godefroy L.; Cisse B.; Lacaux J. P.; Sokhna C.; Trape J. F., Rogier C. Conditions of malaria transmission in dakar from 2007 to 2010. *Malar J*.10:312. 2011

Hay S. I.; Rogers D. J.; Toomer J. F., Snow R. W. Annual plasmodium falciparum entomological inoculation rates (eir) across africa: Literature survey, internet access and review. *Trans R Soc Trop Med Hyg*.94:113-127.2000

Kitron U. Risks maps: Transmission and burden of vector-borne diseases. *Parasitol Today*.16:324-325. 2000

Machault V.; Gadiaga L.; Vignolles C.; Jarjaval F.; Bouzid S.; Sokhna C.; Lacaux J. P.; Trape J. F.; Rogier C., Pages F. Highly focused anopheline breeding sites and malaria transmission in dakar. *Malar J*.8:138. 2009

Machault V.; Vignolles C.; Borchhi F.; Vounatsou P.; Pages F.; Briolant S.; Lacaux J. P., Rogier C. The use of remotely sensed environmental data in the study of malaria. *Geospat Health*.5:151-168. 2011

Marechal F.; Ribeiro N.; Lafaye M., Guell A. Satellite imaging and vector-borne diseases: The approach of the french national space agency (cnes). *Geospat Health*.3:1-5. 2008

Vercruysse J. Estimation of the survival rate of *anopheles arabiensis* in an urban area (pikine-senegal). *J Animal Ecol*.54:343-350 198

## Uso de datos de alta resolución para la evaluación de los recursos naturales en Municipios Mexicanos

**Fabiola D. Yépez Rincón 1; Fabián Lozano García 1; Patricia Vela Coiffier 1  
y Silvia L. Casas González 2**

1. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey -ITESM/CCA  
2. Universidad Autónoma de Tamaulipas – UAT/FIC  
fabiola.yeppez@gmail.com

### RESUMEN

Hoy en día más del 75% de la población vive en las ciudades, razón por la cual las áreas urbanas son sistemas en constante cambio que requieren actualizaciones periódicas sobre los nuevos desarrollos y el cambio de uso de suelo entre otras problemáticas de los recursos naturales urbanos, que ayuden a generar las bases para las políticas públicas relacionadas con el desarrollo urbano sostenible. El objetivo principal de este trabajo fue desarrollar un procedimiento metodológico basado en el uso de sistemas de información geográfica y percepción remota que ayudarán a demostrar la utilidad de dos sensores de alta resolución (LIDAR y World View 2) en la cuantificación de los recursos naturales y urbanos en el Noreste de México. Los resultados forman parte preliminar de un esfuerzo que se desarrolla en el Laboratorio de Sistemas de Información Georreferenciada del ITESM, en el desarrollo de nuevos métodos que establezcan mejoras en el proceso de actualización de información urbana y periurbana. Se eligieron 2 áreas de estudio de 6.25km<sup>2</sup> en 2 Municipios pertenecientes al Área Metropolitana de Monterrey, San Pedro Garza García y Monterrey. La información LIDAR, consistente en una nube de puntos con resolución horizontal de 0.70 m y precisión vertical de 0.10 m de Diciembre de 2010, primero, se clasificó la información LIDAR y con ella se generó información en 3D de la superficie terrestre que fue clasificada. A la par se llevó a cabo una clasificación no supervisada de una imagen de satélite World View 2 coincidente con las fechas de los datos LIDAR.

Ambos resultados fueron validados y comparados a través de una matriz de error en la que el porcentaje de exactitud alcanzando una exactitud del 89%.

Palabras clave: Datos de alta resolución, LIDAR, Evaluación de recursos naturales y urbanos

### ABSTRACT

Nowadays over 75% of the population lives in the cities, reason why urban areas are constantly changing systems requiring regular updates on new developments and changes in land use and other issues of urban natural resources that help create the basis for public policies related to sustainable urban development. The main objective of this paper was to develop a methodological approach based on the use of GIS and remote sensing that help demonstrate the utility of two high resolution sensors (LIDAR and World View 2) for quantifying natural and urban resources in the Northeastern Mexico. The preliminary results are part of an effort that develops the Georeferenced Information Systems Laboratory ITESM, on developing new methods to establish improvements in the process of updating information urban and periurban. We chose two study areas 6.25 km<sup>2</sup> in 2 Municipalities belonging to the Metropolitan Area of Monterrey, San Pedro Garza Garcia and Monterrey. LIDAR information, consisting of a cloud of points with horizontal resolution of 0.70 m and 0.10 m vertical accuracy of December 2010, the first, was classified information with her LIDAR and 3D

information is generated from the earth's surface that was classified. The pair conducted an unsupervised classification of a satellite image World View 2 dates coinciding with LIDAR data. Both results were validated and compared through an error matrix wherein the percentage of accuracy reaching an accuracy of 89%.

Keywords: High Resolution Data; LIDAR; Urban and Natural Resources Survey

## 1. INTRODUCCIÓN

Se requiere de un estudio completo sobre las problemáticas urbanas para afrontar los retos futuros tanto ambientales, económicos y sociales. A nivel mundial, América Latina reporta cerca del 3% en crecimiento urbano (Benítez-Senteno, 1992). El crecimiento de una ciudad se traduce a cambios en la superficie del terreno, por lo que seguramente cada mes o incluso cada semana existirán cambios que reportar por modificaciones de los elementos en el mapa de una ciudad; elementos tales como edificios, puentes, tipo de suelo, área pavimentada, árboles, etc.. Sin embargo, dicha información no es evaluada ni monitoreada periódicamente, complicando la actualización de los datos.

El ambiente urbano sin duda es uno de los más cambiantes, lo cual aumenta la complejidad de clasificar y mapear las ciudades con métodos tradicionales (Williamson & Fourie, 1998). Oficialmente el uso de suelo que se reporta para en las ciudades para edificios por ejemplo, consiste en una combinación que varía de áreas habitacionales (residenciales), comerciales o las exclusivas del sector industrial. La clasificación de las áreas que corresponden a cada tipo de uso de suelo depende de datos generados a escalas 1:50,000 ó 1:20,000 que no son tan actuales y que en algunas ocasiones no se encuentran en formatos digitales, para las ciudades algunas capas alcanzan 1:5,000 pero son escasas. Desafortunadamente, algunos de estos datos además presentan deficiencias en la información o tienen campos o formatos distintos que no permiten su comparación, imposibilitando en algunos casos la continuidad del monitoreo, un problema común cuando se requiere hacer análisis históricos.

La ventaja de tener resultados de análisis geoespaciales de la superficie, es su utilidad para la planeación estratégica de la ciudad (Chen et. al. 2008). En la mayoría de las ciudades latinoamericanas existen problemas

importantes de planeación urbana, desorden de crecimiento, falta de regulación en los asentamientos, sus características de construcción y la rapidez con la que se modifica la cobertura del (CEPAL, 2001; PNUMA, 2003; UNCHS, 1996). Las consecuencias de la falta de información y de instrumentos legales que regulen el desarrollo urbano inadecuado son la pérdida de suelo, disminución de vegetación, disminución de la infiltración natural, exceso en los materiales de arrastre, cambios en el clima local, problemas de inundación, aumento de contaminación atmosférica (WHO, 2005), entre otros; todo debido a la ausencia de orden en el desarrollo de las metrópolis.

Además, el análisis espacial permite evaluar periódicamente las bases de datos sobre el cambio de uso de suelo de las áreas urbanas, al poner en números y en planos la geoinformación tal como reacomodo catastral, áreas verdes urbanas, asentamientos irregulares u obstrucción a cauces, entre otras problemáticas de los recursos urbanos que permitirán guiar a los tomadores de decisiones con las bases necesarias para reajustar políticas urbanas.

Es por lo anterior que la metodología para el análisis de la superficie (uso de suelo) en las ciudades es trascendental y requiere de un sistema de inteligencia que integre las variables de infraestructura urbana y recursos naturales en una base georreferenciada que permita monitorear dichos cambios de una manera eficiente y en un costo razonable. Los sistemas inteligentes ayudan a conocer con datos más precisos el comportamiento de la estructura de ciudad y su proceso paralelo de transformación del hábitat (Kaiser et. al., 1995; World Bank, 1995), pues permiten el análisis cuantitativo de los elementos de la superficie.

Existen métodos para el mapeo de las ciudades tanto con las técnicas convencionales, como con percepción remota como lo son las estaciones totales, pictometría o fotografía oblicua, interpretación y clasificación de imágenes satelitales o más recientemente el análisis de datos LIDAR (Ackermann, 1999; Flood, 2001). LIDAR es una herramienta tecnológica para la creación de información 3D que está revolucionando desde hace una década a distintas disciplinas, demostrando utilidad y eficacia para resolver los problemas de precisión de datos y para el inventario de recursos múltiples de la ciudad (Reutebuch et.al., 2001; Satale & Kulkarni, 2006). El sistema LIDAR funciona en muchas formas de manera más eficiente para obtener cartografía

que la fotogrametría convencional (Baltasvias, 1999) y los datos (nubes de puntos en formatos xyz) se pueden combinar con la información de otro tipo de sensores. Las fusiones de la datos LIDAR con otros datos multiespectrales pueden ser aplicables a una amplia gama disciplinas como ingeniería civil, planificación urbana, manejo forestal, hidrología e hidráulica, etc (Filin et.al., 2005; Lefsky et. al., 2002).

El objetivo principal de este estudio fue utilizar ambas tecnologías (datos LIDAR e imágenes multiespectrales de alta resolución) y comparar los resultados de la clasificación para mejorar el

procedimiento de obtención de información de la superficie de las ciudades en México.

## 2. AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en la ciudad de Monterrey, Nuevo León, México. En este estudio se seleccionaron 2 de los 10 sitios que serán estudiados utilizando datos de alta resolución, LIDAR y ópticos. En la Figura 1 se aprecian los dos sitios que numéricamente corresponden a los sitios 1 y 3 que tienen un área de 2.5 km por lado.

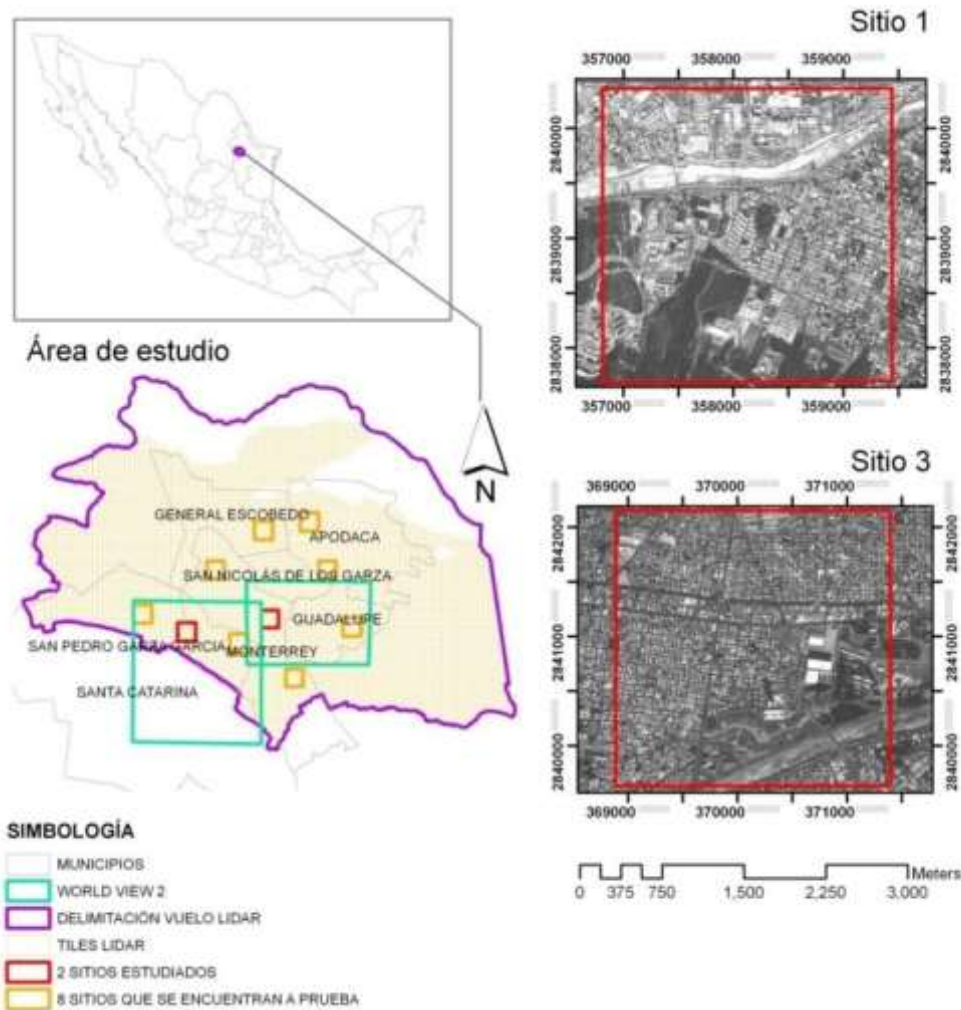


Figura 1. Localización del área de estudio, los sitios de muestreo y los sitios de los que se presentan resultados preliminares

## 3. METODOLOGÍA

El análisis de la superficie fue realizada con dos metodologías distintas de percepción remota:

- 1) Clasificación de datos LIDAR y 2) Clasificación de imágenes ópticas (World View 2). La metodología LIDAR fue la siguiente: Para el filtrado de los datos crudos se utilizaron

algoritmos de filtrado que tiene el programa MARSs de Merrick. Las *breakinglines* permitieron separar el suelo (Digital Terrain Model, DTM) del resto de los elementos de la superficie (Digital Surface Mode, DSM). El resto de los elementos del DSM se clasificó diseñando filtros compuestos con los siguientes algoritmos: *Building*, *Elevation*, *Heightfromsurface*, *Intensity*, *PlaneAnalysis*, *Reclassify*, *Return* y *Cross Section*. Las clases establecidas fueron: Edificios, Calles y avenidas, Vegetación, Suelo, Agua, y Lecho del río etc. El diseño de los filtros y sus resultados específicos pueden ser consultados en la publicación de los autores Yépez Rincón & Lozano García, 2012, *in pub*. La clasificación de las imágenes World View 2, siguió el procedimiento estándar de PCI Geomática para la clasificación de imágenes ópticas. Realizándose un manejo previo de la información en la que se hizo la corrección geométrica y se extrajo el polígono con los sitios de estudio específicos.

Para la clasificación se utilizaron 60 clases para hacer los clusters y con esquema de color en verdaderos y 24 iteraciones, y convergencia threshold 0.95. La imagen que se manejó contenía únicamente cuatro de las ocho bandas disponibles: Roja, Verde, Azul e Infraroja cercana. Las clases obtenidas fueron a) Edificios, b) Vegetación, 3) Calles, 4) Suelos, 5) Agua, 6) Sombras y 7) Otros como se desglosan en la Figura 2. La clasificación se validó al seleccionar 10 puntos por cada tipo de clase, es decir una estratificación de puntos al azar. Se realizó la misma metodología para la clasificación de World View 2 y para LIDAR. Dado a que el objetivo principal de este documento fue utilizar ambas tecnologías y comparar los resultados de la clasificación se utilizaron una serie de puntos estratificados por clase al azar. Cada clase obtuvo 10 puntos que fueron muestreados al azar para verificar su certeza.



Figura 2. Metodología que se siguió para clasificar la información

La verificación se realizó en esta etapa sobre la imagen, sin embargo para el resultado final del estudio se pretende verificar en campo al menos el 50% de los puntos señalados.

La información se comparó en una matriz de confusión donde se obtuvieron los resultados de las ópticas en negro y de LIDAR en rojo (Figura 3).

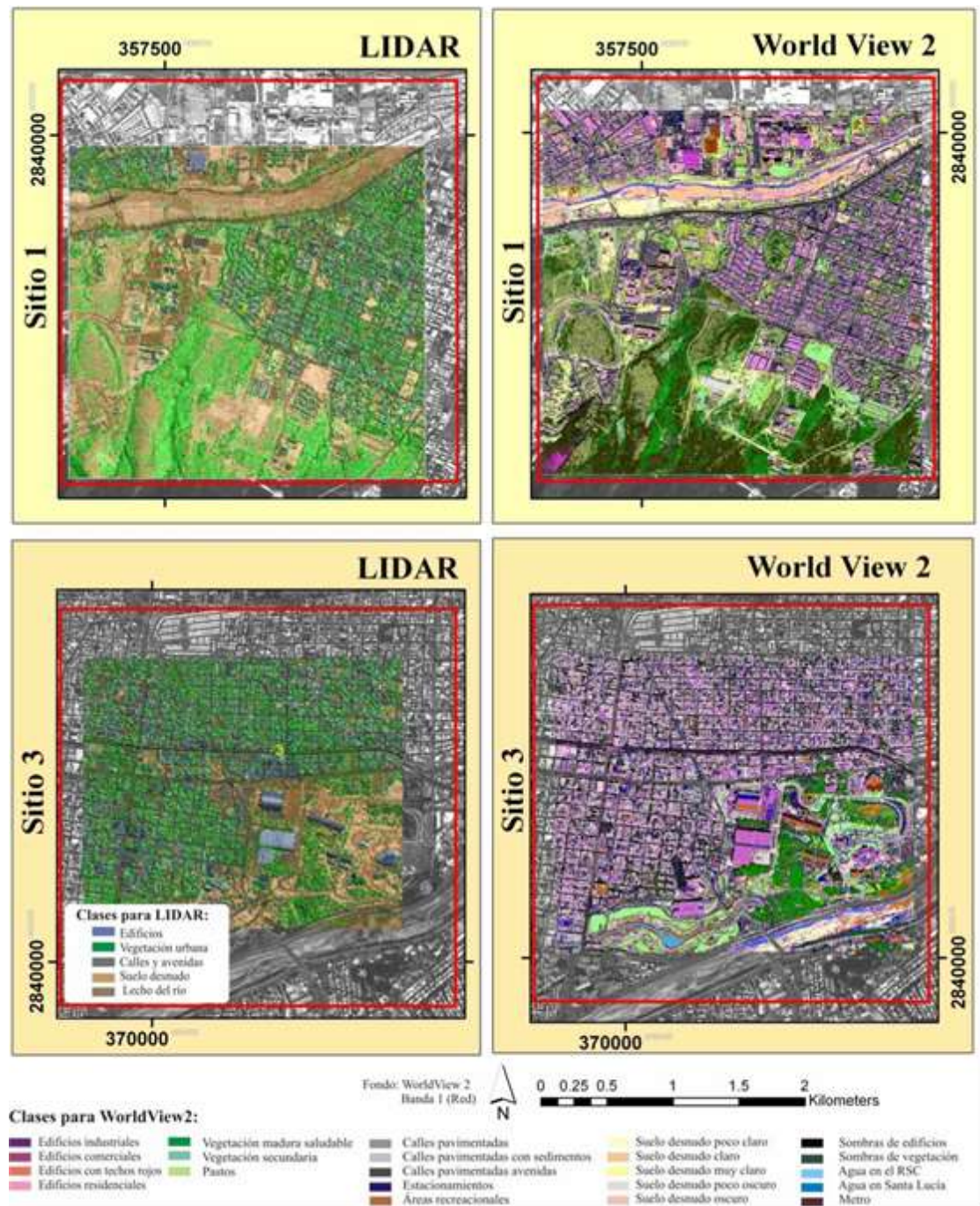


Figura 3. Las clasificaciones por sensor y sitio

#### 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Ambas clasificaciones fueron comparadas por clase, pero para el cálculo de errores de omisión y comisión se generalizaron las clases en 1)Edificios, 2)Vegetación urbana, 3)Calles y avenidas, 4)Suelo y 5) Agua y 6) Otros. Se obtuvieron diferencias importantes entre ambos sensores. Desde la vista aérea se aprecia en la Figura 3 una clara confusión del filtrado en LIDAR con las clases de vegetación y edificios. La razón de esta confusión se remite al número de retornos que se utilizaron y quizás

a valores de intensidad. Sin embargo, la clasificación de la imagen se pueden apreciar las diferencias entre 22 clases, lográndose apreciar claramente entre clases con edificios residenciales e industriales.

En la Figura 4 se observa con puntos rojos los errores del sensor LIDAR y con puntos negros las imágenes ópticas. Para los resultados de LIDAR puede concluirse que la vegetación tiende a confundirse con los edificios, así como los pavimentos con suelos.

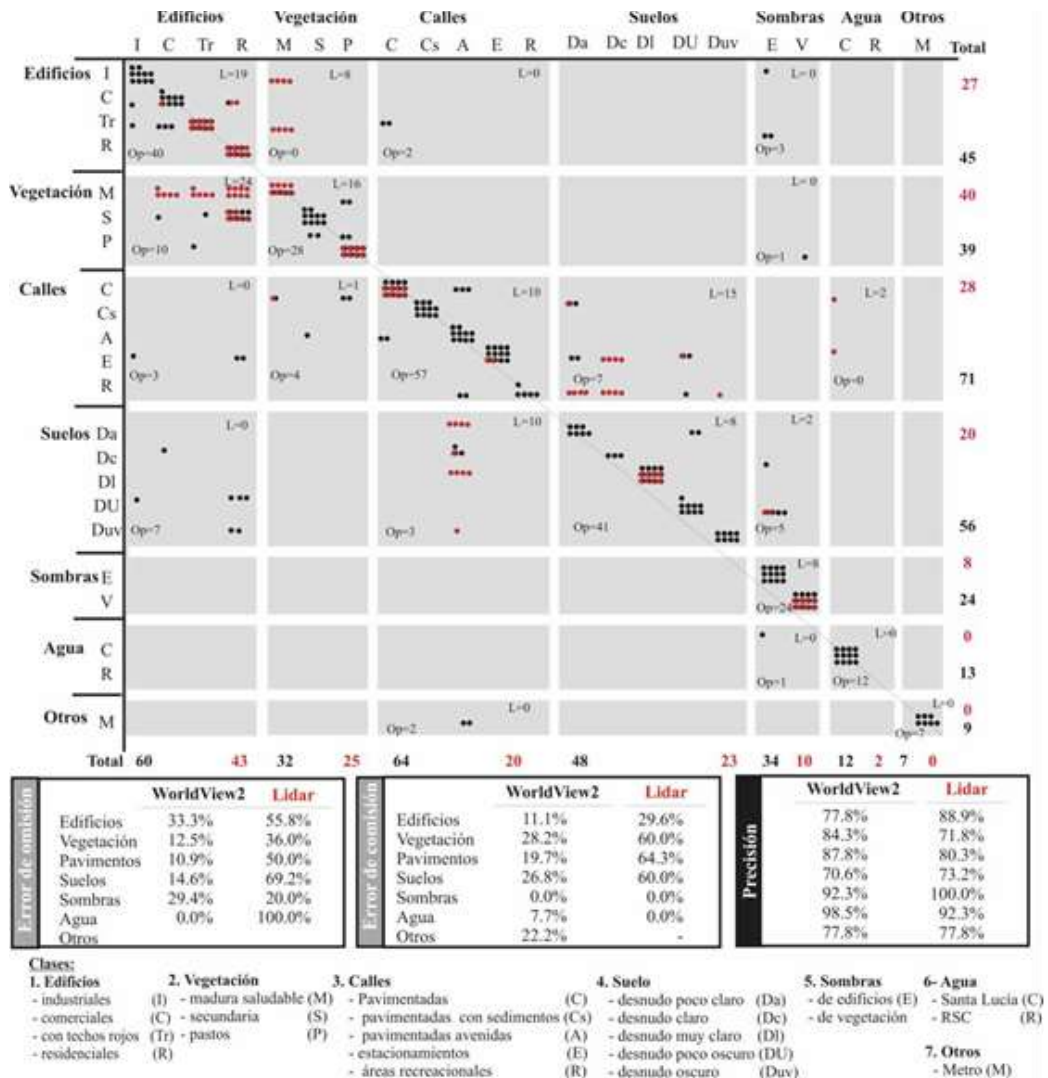


Figura 4. Matriz de error para LIDAR (puntos rojos) y World View 2 (puntos negros)

## 5. RECOMENDACIONES

Los resultados preliminares obtenidos de acuerdo al análisis de la matriz de errores de omisión y comisión indican que será necesario el perfeccionamiento de los filtros utilizados en la clasificación de los datos LIDAR, para lograr mejores resultados en el filtrado automático de la información. En términos generales se recomienda en primer término 1) Ajustar la clasificación de la imagen World View 2 para alcanzar un nivel de exactitud sobre el 95%, mediante un proceso de clasificación mixta (método supervisado y no supervisado, 2) Recalibrar los filtros que fueron diseñados para la clasificación de datos LIDAR en base a las clases propuestas para los datos ópticos y 3) Fusionar la información resultante de la clasificación para elevar el nivel de exactitud al 98%.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a la Comisión Nacional del Agua y al Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey por la provisión de los insumos y apoyo necesarios para la elaboración de éste documento.

## 7. REFERENCIAS

- Ackermann, F. (1999). Airborne laser scanning present status and future expectations. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 54, pp. 148.
- Baltsavias, E. (1999). A comparison between photogrammetry and laser scanning, *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54, 83-94.
- Benítez-Senteno, Raúl. (1992). Los estudios de población en América Latina y México, en Francisco Paoli, Las ciencias sociales y las humanidades, México; UNAM-Miguel Ángel Porrúa.
- CEPAL. (2001). Plan de acción regional de América latina y el Caribe sobre asentamientos humanos. Santiago de Chile.
- Chen, T., J. Wang, K. & K. Zhang.(2008). Urban man-made object extraction using the distribution of the gradient directions.ISPRS documents.
- Filin, S., Kulakov, Y. & Doytsher, Y. (2005).Application of Airborne Laser Technology to 3D. Cadastre. *FIG Working Week 2005 and GSDI-8*.
- Flood, M. (2001). Laser altimetry—from science to commercial LIDAR mapping. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 67, 1209-1211.
- García de León Loza, A. (1998). Cuantificación de las características físicas de la vivienda urbana en México. *Boletín de los Sistemas Nacionales Estadístico y de Información Geográfica*.
- Garza, G. & F.A. Rodríguez. (1998). Normatividad urbanística en las principales metrópolis de México. El Colegio de México.
- Kaiser, E.J., D. R. Godschalk& F. S. Chapin. (1995). Urban Land Use Planning.4ª.Edición.University of Studies, Bioscience. Vol. 52, No. 1. pp. 19-30.
- PNUMA. (2003). Asentamientos humanos en América Latina y el Caribe. Panamá.
- Reutebuch, S.E., H.E. Andersen.&R. J. McGaughey. (2001) R.J. Light detection and ranging (LIDAR): an emerging tool for multiple resource inventory. *J. Forest.* 103, 286-292.
- Satale, D. & M. Kulkarni. (2003). LIDAR in mapping. Map India ConferenceGISdevelopment.net.<http://www.gisdevelopment.net/technology/gis/mi03129.htm>, Last accessed March 28, 2006.
- UNCHS. (1996). An Urbanising World: Global Report on Human Settlements, Oxford: Oxford University Press.
- Williamson, I. & C. Fourie. (1998). Using the Case Study Methodology for Cadastral Reform. *Geomatica*.Vol. 52 No. 3 pp283-295.
- World Bank. (1995). The Urban Age. 3:2. World Bank: Washington, D.C.
- World Health Organization. (2005). Ecosystems and human well-being: Health Synthesis. Millenium Ecosystem Assessment. WHO Press, Suiza. 53p.
- Yépez Rincón, F. D. y D.F. Lozano García. 2012. Mapeo de ciudades con datos LIDAR.in *Dinámicas locales del cambio global: Aplicaciones de percepción remota y análisis espacial en la evaluación del uso del territorio*. Universidad de Chihuahua. in pub.

## Mapeo de ambientes en el Parque Nacional Los Glaciares Provincia de Santa Cruz - Argentina (Glaciar Upsala y perito Moreno) mediante datos ópticos y radar e integración en un SIG

**Alfredo Cuello 1-2; Miriam Antes 1-2; Mirta Raed 1-2; Alicia Sedeño 2;  
Luciano Delise 2; Jorge Gari 2; Leonardo Di Franco 1**

1. PRODITEL, Departamento de Ciencias Básicas, UNLu
2. CSR, Dirección de Investigación y Desarrollo, FAA  
Rutas 5 y ex 7, Luján (6700), Buenos Aires, Argentina  
alfredo.cuello@gmail.com

### RESUMEN

El Parque Nacional los Glaciares se encuentra ubicado en la región conocida como Andes Australes del territorio argentino, al sudoeste de la provincia de Santa Cruz, en el límite con Chile, el mismo fue declarado "Patrimonio Mundial" por la UNESCO en el año 1981. Gran parte de este Parque estuvo cubierto por glaciares y los ríos de hielo dieron forma al paisaje con montañas de laderas abruptas y amplios valles. El área de estudio corresponde al Glaciar Perito Moreno, ubicado sobre el Brazo Sur del Lago Argentino, al Glaciar Upsala, ubicado sobre el Brazo Norte del mismo lago y a las áreas aledañas a los mismos. El uso de geotecnologías basado en la utilización de información satelitaria representa una alternativa de importancia práctica como herramienta de monitoreo y evaluación de recursos naturales. El objetivo de este estudio fue realizar un mapeo temático de los recursos naturales presentes en el área, para identificar y caracterizar los tipos de ambientes y las unidades fisonómicas forestales nativas, generando una cartografía temática de las unidades identificadas. Para generar dicha cartografía se utilizó información correspondiente a imágenes radar (RADARSAT 2, polarimétricas), en combinación con imágenes ópticas Landsat 5 TM; se utilizaron técnicas de procesamiento digital, clasificaciones multiespectrales y análisis polarimétricos, integrando los datos de radar y ópticos, aprovechando el aporte que ofrecen ambas tecnologías. La cartografía temática generada será integrada en un SIG territorial. Palabras claves: SAR / cartografía / bosques / geotecnologías / SIG

### ABSTRACT

Los Glaciares Argentina National Park is located in Andes Patagonicos and it belongs to Santa Cruz province and it limits with Chile country. It was declared Natural Patrimony of Mankind by the United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO) in 1981. An important part of this Park is covered by glaciers and the ice rivers give form to the landscape with abrupt hillsides mountains and wide valleys. Glacier Perito Moreno belongs to the study area and it is located over Brazo Sur that belongs to the Lago Argentino. There is another study area Glaciar Upsala located over Brazo Norte of the same lake. Besides, the environment of both glaciers is taken into account to carry out a complete study of this important area. Satellite data has proved to be very important for monitoring and evaluating natural resources. The objective of this paper is to carry out a thematic map of the natural resources that belong to this area. In this way the different environment can be identified, characterized and the physiognomic natural forest unities described so a thematic cartography of the different identified unities are obtained. Polarimetric RADARSAT 2 and optical Landsat 5 TM images were used to generate this cartography. Digital processing, supervised classification, polarimetric analysis techniques are applied to integrate radar and optical data, taking into account both technologies at the same time. All the thematic cartography will be added to a GIS. Keywords: SAR / cartography / forestry / geotechnologies / GIS

## INTRODUCCIÓN

La necesidad de obtener información sobre recursos naturales de carácter forestal y de ambientes asociados, es fundamental para establecer políticas de acción que optimicen las funciones y actividades relativas a la conservación y el aprovechamiento económico de tales recursos, así como a su control y fomento, logrando de esta manera un manejo sostenible de los mismos.

La teledetección espacial se ha mostrado como una herramienta de importancia práctica para la evaluación y el monitoreo de los recursos forestales, acrecentada por el desarrollo tecnológico de los últimos años que ha posibilitado una amplia disponibilidad de información de distintos tipos de sensores, procesos y algoritmos que permiten obtener una gran variedad de productos utilizados en proyectos de gran complejidad.

Este trabajo está orientado a la utilización de imágenes ópticas y de radar para obtener información temática de cubiertas naturales; en el caso de las aplicaciones forestales el uso de ambos datos, ópticos y de radar se hace necesario ya que permite superar limitaciones que cada uno de los tipos de datos tienen por separado; aunque existen métodos de obtención de índices y clasificación de vegetación mediante datos ópticos, estos no pueden ser utilizados en regiones cubiertas frecuentemente por nubes como lo es la región andino-patagónica. La señal radar retrodispersada por una superficie vegetal depende de dos tipos de factores: (i) factores geométricos relativos a la estructura del suelo y de la cubierta vegetal y, (ii) factores dieléctricos principalmente controlados por la humedad del suelo y del dosel (Dobson, 1995). En términos generales, las superficies más secas producirán una señal más baja. La influencia de las propiedades estructurales sobre la señal devuelta al sensor por una cubierta vegetal es mucho más compleja puesto que se ve afectada por la frecuencia, la polarización y el ángulo incidente de la señal enviada por el sensor.

Los parámetros estructurales de mayor importancia son la arquitectura del dosel (tamaño, forma y orientación de elementos retrodispersantes: hojas, ramas y troncos) y la rugosidad del suelo. Por otro lado la topografía constituye otro factor que causa dificultades para identificar los distintos estratos altitudinales de vegetación y que debe ser reconsiderada en el momento del análisis de los resultados. En este sentido, este trabajo demuestra la complementariedad de ambos

tipos de datos en estudios de cubiertas forestales.

En este contexto, se plantea como objetivo general del presente trabajo generar una cartografía temática de las unidades de vegetación existentes en el área de estudio que puedan ser identificadas y categorizadas mediante el análisis digital y reconocimiento a campo de los diferentes tipos forestales: (*Nothofagus pumilio*, lenga; *Nothofagus Antarctica*, ñire y *Nothofagus betuloides*, guindo); la vegetación de estepa (arbustos pequeños, espinosos y pastizales) y una zona de transición (especies típicas del bosque y de la estepa patagónica). Asimismo es de interés el mapeo de otras cubiertas presentes en el área tales como suelo desnudo (roca), hielo de glaciar (zona de ablación y acumulación) y nieve, con el objetivo de evaluar los mecanismos de interacción de estas cubiertas con la señal del radar polarimétrico, utilizando metodologías de procesamiento y análisis de imágenes. El desarrollo del mismo permitirá generar información para estudios científicos y técnicos, así como para la planificación e implementación de estrategias de gestión sustentable del Parque Nacional, coherentes con sus características ambientales.

## MATERIALES

### Área de estudio

El área de estudio, Parque Nacional los Glaciares, Provincia de Santa Cruz, Argentina se localiza entre los 49° 43' y 50° 53' de latitud Sur y los 71° 52' y 73° 43' de longitud O (Figura 1).

En ella se pueden distinguir fisiográficamente tres fajas que corren en forma paralela al eje de la cordillera de sur a norte: 1- Cordillera Principal o región andina, 2- Región Pre-andina, 3- Región Sub-andina.

La primera corresponde a una extensa masa montañosa con alturas superiores a los 2500 m, su mayor ancho se estima entre 50 y 60 km. En la parte central está cubierta por campos de hielos denominado Hielo Continental Patagónico, de los cuales descienden a dos grandes lagos, el Lago Argentino y el Lago Viedma, y lenguas glaciares, entre las cuales podemos identificar 13 grandes glaciares.

La segunda región está conformada por un gran valle que desciende desde el cerro Norte hasta la estancia Cristina, el brazo Norte, el brazo Spegazzini, el Canal de los Témpanos y el brazo Sur (todos ellos brazos del Lago Argentino).

Las cadenas montañosas bajan desde alturas superiores de los 2000 m y se encuentran desprovistas de hielo.

La tercera región sub-andina se compone de mesetas que se levantan abruptamente sobre el nivel del Lago Argentino y van disminuyendo

hacia el este confundiendo gradualmente con la altiplanicie patagónica (Feruglio, 1944).

En esta etapa del proyecto se seleccionaron como áreas pilotos: el Glaciar Perito Moreno, el Glaciar Upsala y zonas aledañas a ambos glaciares.



Figura 1. Localización del área de estudio

### Imagen óptica

La imagen óptica seleccionada fue la del Landsat 5 TM, Path/Row 231/095, de fecha 20 de febrero de 2011, con ancho de barrido de 185 km y resolución espacial de 30 m, del banco de datos del Centro de Sensores Remotos,

provista por CONAE (Figura 2), la misma fue escogida considerando características de baja nubosidad, buena calidad radiométrica y con un intervalo de tiempo entre las imágenes relevante al problema en estudio.



Figura 2. Imagen Landsat 5 TM FCC (R/Irm/Irc – A/V/R)

## Imágenes radar

Las imágenes empleadas en el presente estudio fueron adquiridas por el sensor SAR a bordo del satélite RADARSAT-2. Se contó con dos imágenes RADARSAT-2, SAR, ID 36726 e ID 36757, ambas del 27 de abril de 2009, adquiridas bajo el programa Science and Applications Research (SOAR) de la Agencia Espacial Canadiense. El satélite RADARSAT-2 fue lanzado en diciembre de 2007 y está gestionado por la empresa MacDonald-Dettwiler and Associates Ltd. (MDA) y el gobierno de Canadá.

El tipo de imagen empleada en este trabajo es el denominado Fine Quad-Polarization con cuatro canales de polarización (HH, VV, HV, VH), ancho de barrido nominal 25 km y una resolución espacial de 10 m.

El SAR interferométrico y polarimétrico (PolInSAR) utiliza, además, la información proveniente del hecho de que la retrodispersión es una onda electromagnética que tiene un ángulo preferente de polarización, dependiendo de las características de la superficie. Utilizando filtros de polarización tanto en la emisión como en la recepción de la señal, es posible estudiar la misma, en cuatro configuraciones angulares para cada punto de la superficie: HH, VV, HV y VH.

El PolInSAR utiliza una información muy rica, pues para cada punto de la superficie dispone de información no sólo del módulo de la retrodispersión, sino también de su fase y de sus características angulares. Con esta información es posible procesar los datos basándose en modelos físicos que predicen la retrodispersión en función de una serie de parámetros de la superficie que pueden ser medidos en el terreno.

## Software

- ENVI 4.7
- NEST 4.C (ESA)
- POLSARPRO V4.2.0 (ESA)
- ARC-VIEW 3.2

## METODOLOGÍA

Para caracterizar el área de estudio, se realizó una revisión de los trabajos existentes relacionados con la utilización de datos ópticos y de radar en ambientes de bosques y glaciares, su cartografía e interpretaciones. A partir de esos datos y del análisis de imágenes satelitales provenientes de diferentes sensores, ópticos y radar, se estructuró una nueva serie de mapas temáticos correspondientes a las comunidades de vegetación y de ambientes presentes.

Se evaluaron a través del análisis visual, sitios característicos de los diferentes ambientes presentes en el área de estudio utilizando como apoyo para este trabajo productos mejorados a través de procesos digitales simplificados (Ensanche de contraste y Realce de bordes), aplicados a la imagen Landsat 5 TM empleada. Se realizó un relevamiento de campo con el objetivo de identificar y validar cada una de las clases temáticas que fueron establecidas en el trabajo de interpretación visual preliminar y antecedentes de trabajos realizados en el área de estudio, el trabajo de terreno consistió en recorrer el área de estudio, localizando con GPS muestras de los distintos tipos de cobertura vegetal boscosa (Bosque de lenga, Bosque de ñire y Bosque asociado), vegetación de estepa, mallines y otras cubiertas asociadas como hielo de glaciar, nieve, roca, etc. (Figura 3). Estos sitios de entrenamiento sirvieron como base para definir patrones espectrales a ser utilizados en la clasificación digital supervisada de la imagen Landsat y para el análisis de los mecanismos de interacción en los datos radar.

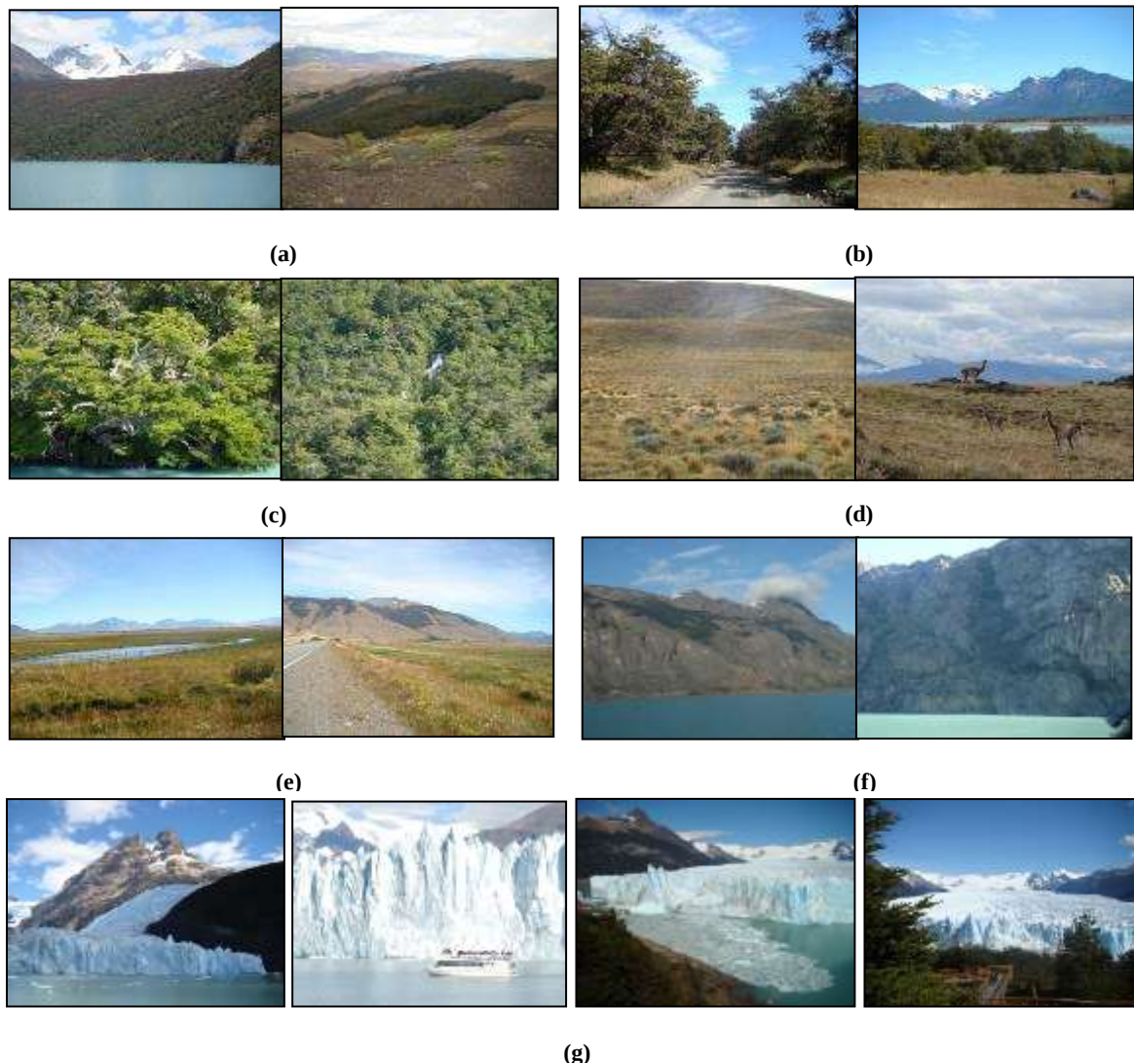


Figura 3. Fotos de relevamiento a campo. (a) Bosque de lenga, (b) Bosque de ñire, (c) Bosque asociado, (d) Vegetación de estepa, (e) Mallines, (f) Roca y (g) Hielo de glaciar y Nieve

La imagen Landsat fue ajustada geométricamente mediante el método imagen-imagen, utilizando como referencia una escena Landsat 7 ETM +, ortogeoreferenciada, WRS-2, path/row 231/95, del 14 de octubre de 2001, el sistema de referencia corresponde a la proyección UTM, zona 18 sur, con Datum WGS84 (Fuente USGS/ GLCF).

Se realizó una clasificación digital multiespectral supervisada, considerando las clases temáticas: bosque de lenga, bosque de ñire, bosque asociado, vegetación de estepa, mallines, roca, hielo glaciario y nieve. Se verificó la buena separabilidad de clases y se redistribuyeron las mismas. Para la evaluación del comportamiento y separabilidad espectral de las distintas clases se aplicó el análisis de

divergencia transformada. El algoritmo utilizado en la clasificación fue el de Máxima Verosimilitud. Las imágenes RADARSAT 2, se calibraron radiométricamente, por la variación del ángulo de incidencia. El ángulo local de incidencia del haz aumenta gradualmente entre los puntos situados en el rango cercano y el lejano. Asumiendo el caso más sencillo de una superficie plana, esto produce una atenuación en la respuesta para los puntos situados en el rango lejano. Para compensar este efecto es que las imágenes de radar deben ser calibradas y se le aplicó el filtro Frost con ventana de 3x3 para disminuir el ruido speckle.

Se realizó el análisis polarimétrico, la descomposición de Pauli y de Sinclair en las imágenes RADARSAT-2. El análisis

polarimétrico es relevante solamente si parte de la onda retro-dispersada es predominante. La evaluación de las matrices de retrodispersión y coherencia permite cuantificar las dos partes de la onda (polarizada y no polarizada) (Chan, 1981). La descomposición de los blancos permite la definición de los parámetros polarimétricos tales como el análisis de la Entropía, Anisotropía y Alpha; estos parámetros reúnen la información polarimétrica y la descomponen en términos de los mecanismos de retrodispersión que se producen en las cubiertas, lo que está directamente relacionado con su naturaleza (Cloude, 1996). La Entropía (H) representa el grado de aleatoriedad o desorden

estadístico de la dispersión. Varía entre 0, reflexiones de primer orden, y 1, mezcla aleatoria de mecanismos de reflexión. El ángulo Alpha proporciona un valor relativo al mecanismo de retrodispersión dominante, oscila entre  $0^\circ$ , dispersión superficial y  $90^\circ$ , reflexión de esquina, con valores intermedios  $45^\circ$  ilustrando la dispersión de volumen. Por último, la Anisotropía (A) cuantifica la proporción entre los dos mecanismos de dispersión no dominantes. Su valor varía entre 0 y 1 y da idea de la homogeneidad de la cubierta; valores bajos corresponden a cubiertas homogéneas y viceversa (Figura 4, 5, 6 y 7).

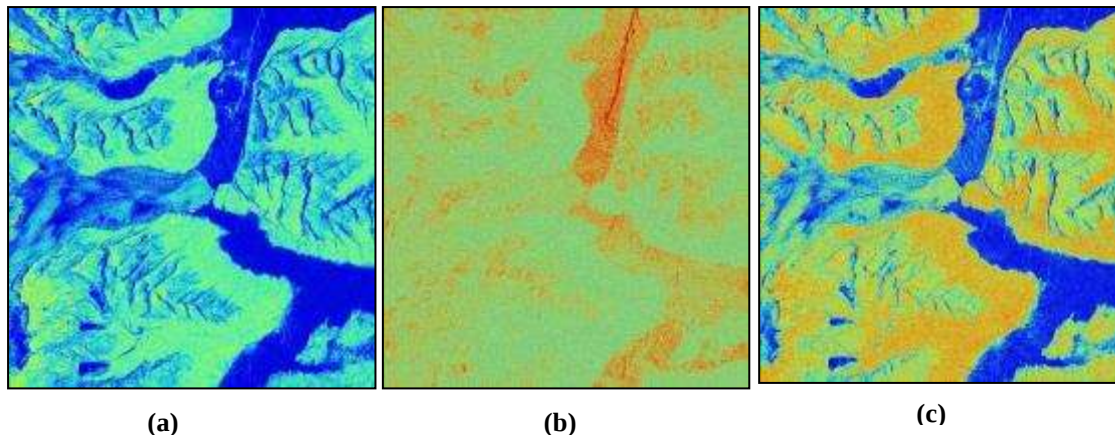


Figura 4. Parámetros polarimétricos en la imagen RADARSAT-2, correspondiente al área del glaciar Perito Moreno. (a) Alpha, (b) Anisotropía y (c) Entropía

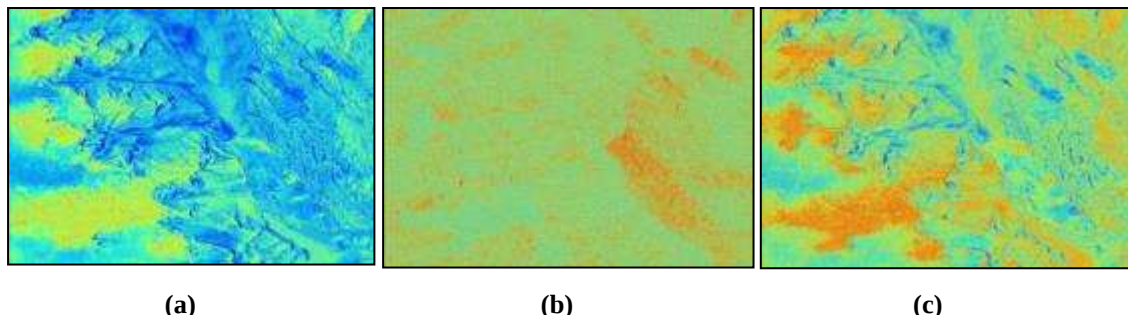


Figura 5. Parámetros polarimétricos en la imagen RADARSAT-2, correspondiente al área del glaciar Upsala. (a) Alpha, (b) Anisotropía y (c) Entropía

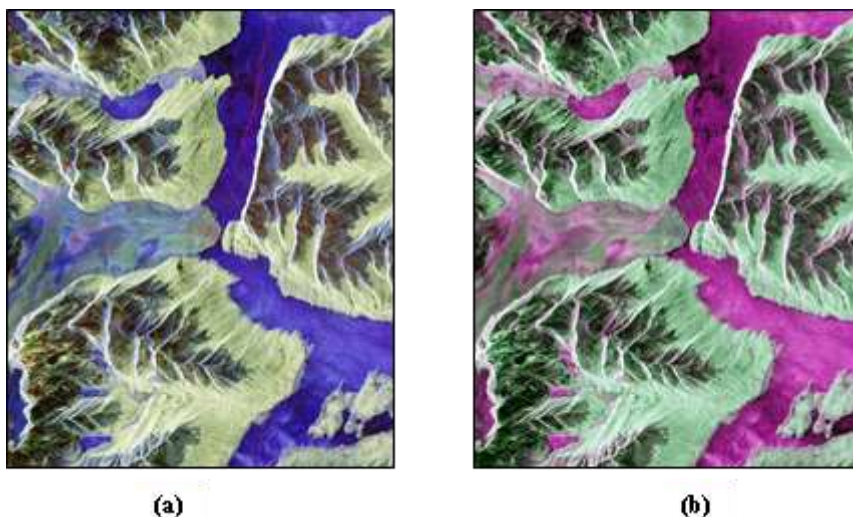


Figura 6. Descomposición de Pauli (a) y Descomposición de Sinclair (b) en la imagen RADARSAT-2, correspondiente al área del glaciar Perito Moreno

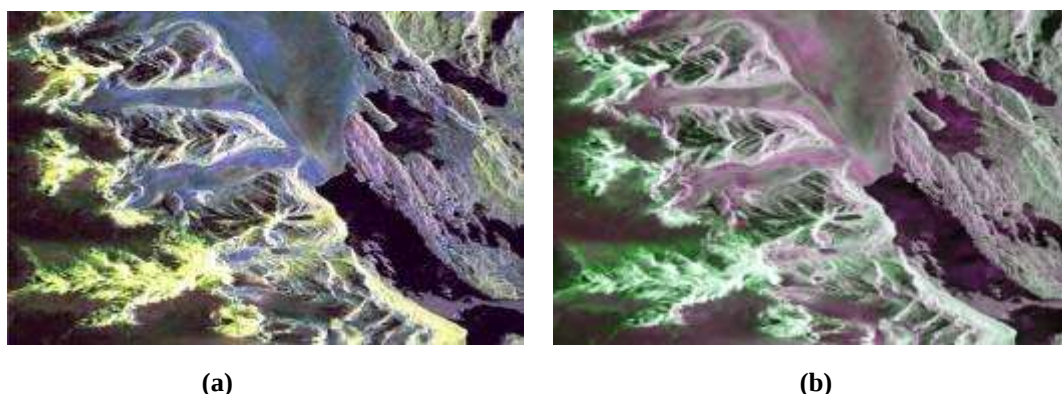


Figura 7. Descomposición de Pauli (a) y Descomposición de Sinclair (b) en la imagen RADARSAT-2, correspondiente al área del glaciar Upsala

El teorema Pauli, utiliza las matrices de Spin Pauli para expresar  $[S]$  en términos de dispersión única (superficie plana, esfera, o triedro) y mecanismos diédricos con una orientación de  $0^\circ$  y  $45^\circ$ , estos algoritmos permiten descomponer las observaciones en parámetros que ofrecen una interpretación física de la interacción ocurrida (por ejemplo dispersión superficial, dispersión de volumen o doble rebote) (Freeman, 1992; Lee, 1999; Ouarzeddine, 2007). Las descomposiciones se pueden utilizar para interpretar la naturaleza de las cubiertas e incluso realizar clasificaciones supervisadas y no supervisadas (Alberga, 2007; Rodríguez, 2003).

## RESULTADOS

A partir del análisis de la cartografía vigente, la interpretación visual y de la clasificación digital multispectral de la imagen Landsat (Figura 8 y Tabla 1) se generó un mapa temático con las categorías objeto de estudio, en este caso el resultado es el mapa de unidades de vegetación y ambientes, considerando las clases temáticas: bosque de lenga, bosque de ñire, bosque asociado, vegetación de estepa, mallines, roca, hielo glaciario y nieve.

Clases temáticas identificadas:

Bosque de lenga: Corresponde a la especie lenga (*Nothofagus pumilio*) como especie

predominante, en dos tipos: arbóreo y achaparrado. Según donde crezca la lenga y en función de su distribución altitudinal puede presentar gran porte y diámetro hasta transformarse, en la altura de las laderas, en un arbusto de pocos metros de altura.

Bosque de ñire: Corresponde a la especie ñire (*Nothofagus antartica*), es una especie bastante rústica, de la familia de las fagáceas, se encuentran bosques puros, con árboles de hasta 15 m de altura, en la zona de transición entre el bosque y la estepa y también asociado con la lenga en los faldeos. También puede presentarse en forma arbustiva.

Bosque asociado: Corresponde a un bosque mixto, que crece en sitios con condiciones más favorables, como faldeos con mayor insolación y cercanos a orillas de lagos, está conformado principalmente por otra especie de la familia de las fagáceas, el guindo, (*Nothofagus betuloides*), con individuos de gran porte, perennifolio, alcanzando los 20 a 30 m de altura y asociado a la lenga, notro, (*Embothrium coccineum*), canelo, (*Drimys winteri*) y sauco (*Sambucus spp.*).

Vegetación de estepa: La clase vegetación de estepa se compone de especies de herbáceas perennes como los coirones y pastizales que forman matas bajas y compactas, con presencia de subarbustos bajos formando matas circulares, como el neneo (*Mulinun spinosum*),

la mata mora (*Senecio filaginoides*), la mata negra (*Junellia tridens*) etc.

Mallines: Son praderas húmedas que se encuentran en la estepa, generalmente asociadas con los cursos de ríos o arroyos o con los fondos de los valles. En ellos, la alta disponibilidad de agua, debida a la redistribución local, determina una fisonomía enteramente diferente. La cubierta vegetal a menudo supera el 100%, y las especies dominantes son los pastos mesofíticos (*Poa pratensis*, *Deschampsia flexuosa*, etc.), los juncos (*Juncus balticus*) y las ciperáceas (*Carex spp.*).

Roca: áreas de roca pelada o suelo expuesto, se distinguen varios sectores rocosos: en la parte alta de las montañas, luego de los bosques de lenga achaparrada y en sectores bajos como la Península Herminita o alrededores de la Estancia Cristina donde se denotan los efectos de la erosión glaciaria.

Nieve: áreas cubiertas de nieve ubicadas en la zona de acumulación de los glaciares.

Hielo de glaciario: áreas de hielo y lenguas glaciarias. Están unidos en la zona de acumulación por un campo de hielo denominado Hielo Patagónico Sur, con una altitud promedio de 1600 m y un área de 13000 km<sup>2</sup>. Esta clase identifica el hielo de los glaciares en la zona de ablación, incluyendo las morenas.



| Training Site Editing |       |                 |              |           |      |
|-----------------------|-------|-----------------|--------------|-----------|------|
|                       | Class | Edit            | Tools        |           |      |
|                       | Value | Name            | Color        | Threshold | Bias |
| 1                     | 6     | Roca            | Gray         | 3.00      | 1.00 |
| 2                     | 9     | Mallines        | Orange       | 3.00      | 1.00 |
| 3                     | 1     | Estepa          | Yellow       | 3.00      | 1.00 |
| 4                     | 5     | Bosque asociado | Light Green  | 3.00      | 1.00 |
| 5                     | 4     | Bosque de Nire  | Dark Green   | 3.00      | 1.00 |
| 6                     | 3     | Bosque de lenga | Bright Green | 3.00      | 1.00 |
| 7                     | 7     | Nieve           | Cyan         | 3.00      | 1.00 |
| 8                     | 2     | Agua            | Blue         | 3.00      | 1.00 |
| 9                     | 8     | Hielo           | Red          | 3.00      | 1.00 |

Figura 8. Imagen Landsat 5 TM clasificada

Tabla 1. Resultado de la clasificación. Superficie por clase temática

|                 | PIXELS   | IMAGEN | HAS        |
|-----------------|----------|--------|------------|
| Estepa          | 2992422  | 19.90  | 269317.98  |
| Agua            | 2062004  | 13.71  | 185580.36  |
| Bosque de lenga | 539647   | 3.59   | 48568.23   |
| Bosque de ñire  | 770412   | 5.12   | 69337.08   |
| Bosque asociado | 308844   | 2.05   | 27795.96   |
| Roca            | 5199592  | 34.57  | 467963.28  |
| Nieve           | 735441   | 4.89   | 66189.69   |
| Hielo glaciar   | 1123586  | 7.47   | 101122.74  |
| Mallines        | 1308772  | 8.70   | 117789.48  |
| Total           | 15040720 | 100.00 | 135(3664.8 |

Average accuracy = 97.08 / Overall accuracy = 98.21 / KAPPA COEFFICIENT = 0.98251

Se realizaron clasificaciones polarimétricas supervisadas y no supervisadas (entropía/alfa/anisotropía), Wishart-H/A/Alpha,

con 9 clases, a fin de observar distintas características de hielos, vegetación y rocas, en ambas áreas de estudio (Figuras 9 y 10).

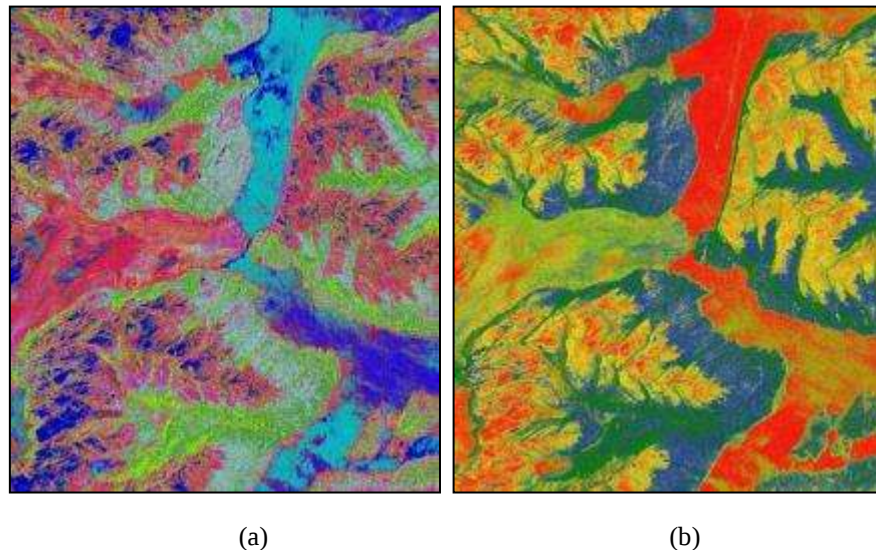


Figura 9. Clasificación Whishart. (a) no supervisada y (b) supervisada. Perito Moreno

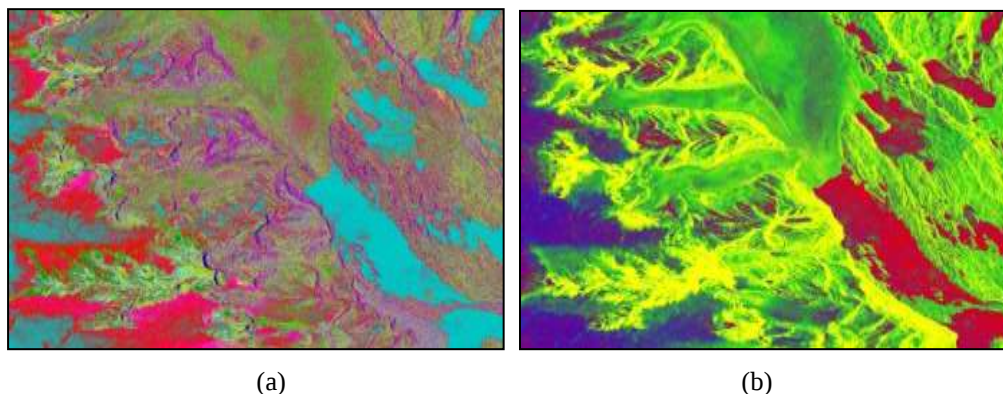


Figura 10. Clasificación Whishart. (a) no supervisada y (b) supervisada. Upsala

## CONCLUSIONES

La clasificación supervisada realizada a la imagen Landsat 5 TM, arrojó buenos resultados utilizando las mismas clases temáticas, en forma visual y por las estadísticas (separabilidad de clases, matriz de confusión).

En el análisis polarimétrico realizado sobre las imágenes RADARSAT-2 se observó mayor despolarización (mayores componentes de polarización cruzada HV, VH) en las zonas de bosques, según lo esperado, y también en algunas zonas de hielos de glaciación.

Es imprescindible considerar y corregir los efectos del relieve en las imágenes SAR de bosques en áreas montañosas o con importantes gradientes topográficos.

Si bien los mecanismos de interacción entre las microondas y los componentes de la vegetación son complejos, el tipo de información ofrecida por los datos SAR demuestra su importancia como dato único y complementario para estudios forestales. El desarrollo de radares en Banda L, polarimétricos, como el SAOCOM Argentino, promete aumentar la utilidad de estos datos para estudios de bosques y contribuir en aplicaciones operativas.

Como conclusión final se demostró la importancia del aporte de la información radar aún en zonas de alto relieve con presencia de deformaciones geométricas, para la confección de mapas temáticos.

## BIBLIOGRAFÍA

Alberga, A. (2007): "A study of land cover classification using polarimetric SAR parameters", *International Journal of Remote Sensing*, 28(17) págs. 3851-3870

Chan, C. K. (1981): "Studies on the power scattering matrix of radar targets", University of Illinois, Chicago, USA

ENVI (2002). The Environment for Visualizing Images. Version 3.6

ENVI 4.7.: Manuales de Usuario. ITT

ESA NEST 4. 1C, (2012): Tutoriales de Nest

ESA SAR Toolbox

ESA POLSARPRO, (2011): Tutoriales Polarimetric decompositions and Polarimetric SAR data classification

Feruglio, E. (1944): "Estudios geológicos y glaciológicos en la región del Lago Argentino. Patagonia". (Expedición Alberto M. De Agostini 1930-31). Editor Academia Nacional de Ciencias, pág. 255

Freeman, A., Durden, S. L. (1992): "A three component scattering model to describe polarimetric SAR data". *Proc. SPIE, Radar Polarimetry*, 1748, págs. 213-225

GLCF. Fuente de datos perteneciente al Global Land Cover Facility, <http://www.landcover.org>

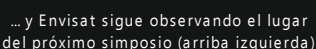
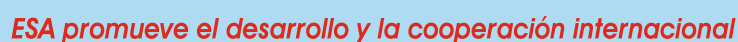
Lee, J. S., Grunes, M. R., Ainsworth, T. L., Lijen, D. U., Schuler, D. L., Cloude, S. R. (1999): "Unsupervised classification using polarimetric decomposition and the complex Wishart classifier". *IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing*, 37/1(5). Págs. 2249-2258

Ouarzeddine, M., Souissi, B., Belhadjaissa, A. (2007): "Unsupervised classification using Wishart classifier". *Proc. of ESA POLINSAR Workshop*.

Rodrigues, A., Corr, D. G., Pottier, E., Ferro-Famil, L., Hoekman, D. H., (2003): "Landcover classification using Polarimetric SAR data". *Proc. of ESA POLINSAR Workshop*

## AGRADECIMIENTOS

A la CONAE por la provisión de las imágenes satelitales. Al Centro de Sensores Remotos Canadiense por la provisión de imágenes RADARSAT 2 en el marco del Programa SOAR.



8-10 rue Mario Nikis,  
75738 PARIS Cedex 15, FRANCIA  
Tel: (33.1) 5369.7731, Fax: (33.1) 5369.7627  
Att. Sra. Marie Elisabeth De Vel (América Latina)

VOL. 36, N° 2, 2013

|             |             |                 |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|-------------|-------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ECUADOR     | CHILE       | BRASIL          | ARGENTINA   | PERU        | COLOMBIA    | MEXICO      | VENEZUELA   | ARGENTINA   | BOLIVIA     | CHILE       | COLOMBIA    |
| 1980 - 1983 | 1983 - 1986 | 1986 - 1989     | 1989 - 1991 | 1991 - 1993 | 1993 - 1995 | 1995 - 1997 | 1997 - 1999 | 2000 - 2002 | 2002 - 2004 | 2004 - 2006 | 2006 - 2008 |
| CUBA        | MEXICO      | GUYANA FRANCESA |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| 2008 - 2010 | 2010 - 2012 | 2012 - 2014     |             |             |             |             |             |             |             |             |             |