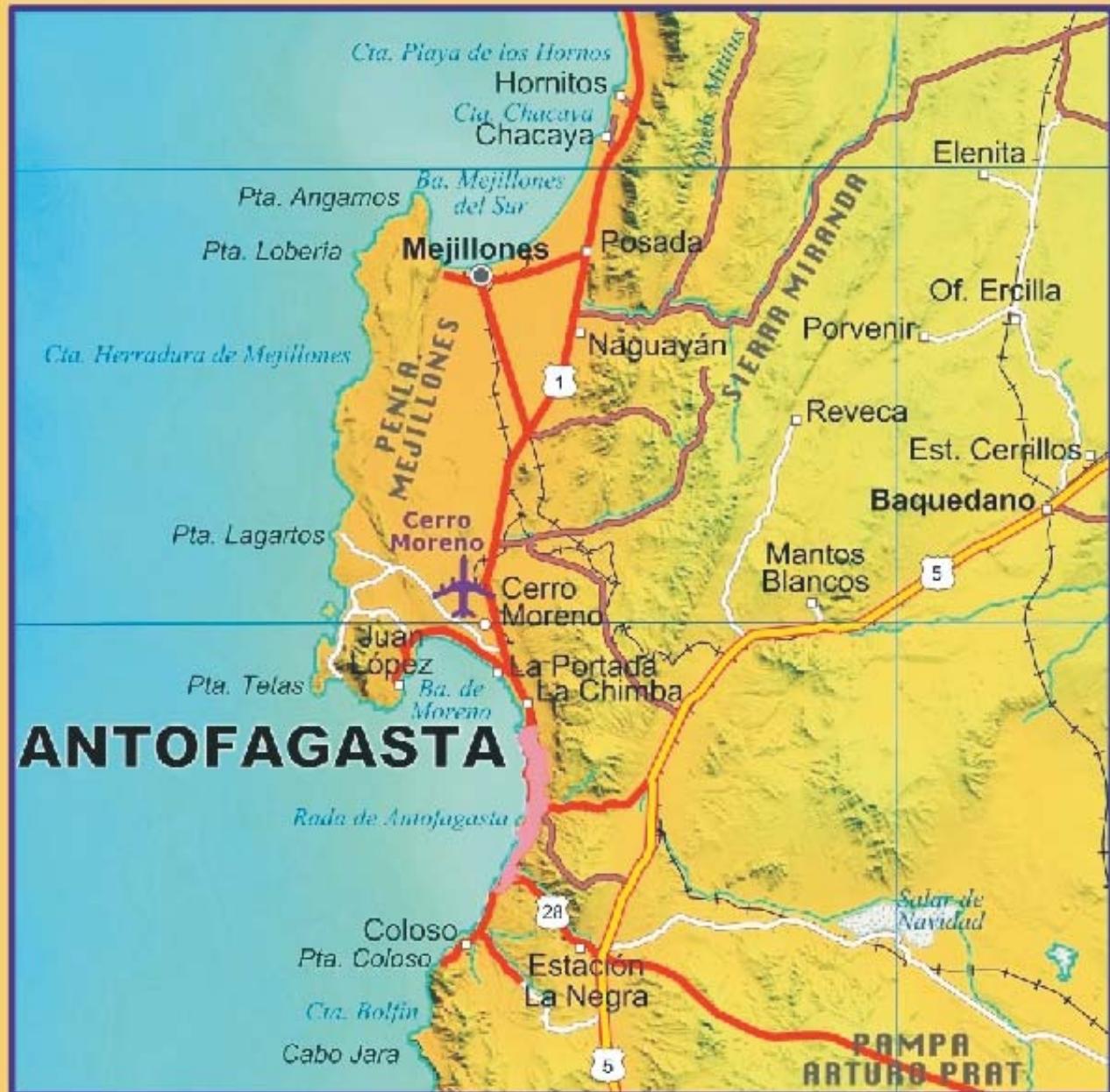


revista **CARTOGRÁFICA**



ANTOFAGASTA

Número 84
Enero-Diciembre 2008

Instituto Panamericano
de Geografía e Historia



**AUTORIDADES
DEL
INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA
2009-2013**

PRESIDENTE
VICEPRESIDENTE

Prof. Héctor O. J. Pena
M. Sc. Bruce W. Presgrave

Argentina
EUA

SECRETARIO GENERAL
M. Sc. Santiago Borrero Mutis
Colombia

COMISIÓN DE CARTOGRAFÍA

(Chile)

Presidenta:

Cart. Alejandra Coll Escanilla

COMISIÓN DE GEOGRAFÍA

(México)

Presidente (E):

Ing. Antonio Hernández Navarro

Vicepresidente:

Cnrl. Rodrigo Maturana Nadal

Vicepresidente:

(por designar)

COMISIÓN DE HISTORIA

(Brasil)

Presidenta:

Dra. María Cristina Mineiro Scatamacchia

COMISIÓN DE GEOFÍSICA

(Costa Rica)

Presidente:

Dr. Walter Fernández Rojas

Vicepresidente:

Dr. Carlos de Almeida Prado Bacellar

Vicepresidente:

M. Sc. Walter Montero Pohly

MIEMBROS NACIONALES DE LA COMISIÓN DE CARTOGRAFÍA

Argentina:

Lic. Liliana Weisert

Belice:

Bolivia:

May. Juan José Contreras Cabana

Brasil:

Isabel de Fátima Teixeira Silva

Chile:

Sr. Jorge Espinoza Nanjarí

Colombia:

Ing. Miguel Ángel Cárdenas Contreras

Costa Rica:

M.Sc. Max Alberto Lobo Hernández

Ecuador:

May. Ing. Richar Saavedra

El Salvador:

Leslie Armstrong

Estados Unidos:

Ing. Marcos Osmundo Sutuc Carillo

Guatemala:

Arq. Marilyn Villatoro

Haití:

Biol. Francisco Takaki Takaki

Honduras:

Lic. Israel Sánchez

México:

Ing. Lorenzo A. Centurión C.

Nicaragua:

My EP Jesús Vargas Martínez

Panamá:

Cnel. Rosanna L. Pons Peguero

Paraguay:

Tte. Cnel. Héctor C. Rovera

Perú:

Ing. Sergio Rodríguez

Rep. Dominicana:

Comité Asesor de la Comisión

Uruguay:

Comité de Infraestructura de Datos Geoespaciales

Venezuela:

Comité de Fortalecimiento Institucional y Cooperación Técnica

COMITÉS DE LA COMISIÓN DE CARTOGRAFÍA

Comité Asesor de la Comisión

Comité de Infraestructura de Datos Geoespaciales

Comité de Fortalecimiento Institucional y Cooperación Técnica

Comité de Hidrografía

Comité de Cartas Aeronáuticas

INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

revista **CARTOGRÁFICA**



NÚMERO 84

ENERO–DICIEMBRE 2008

REVISTA CARTOGRÁFICA

Publicación semestral fundada en 1952
Indizada en PERIÓDICA

La preparación de la REVISTA CARTOGRÁFICA

está a cargo del editor:

Geógrafo Hermann Manríquez Tirado

Instituto Geográfico Militar

Nueva Santa Isabel No. 1640

Santiago de Chile

Teléfono: (562) 410-9314 y 410-9313

Correo electrónico: hmanríquez@igm.cl / hmanríquezt@yahoo.es

Comité Editorial

Hermann Manríquez Tirado

Osvaldo Muñiz Solari

Luiz Paulo Souto Fortes

Canje, venta y distribución de publicaciones, escribir a:

Instituto Panamericano de

Geografía e Historia

Secretaría General

Apartado Postal 18879

11870 México, D.F.

Teléfonos: (5255)5277-5888, 5277-5791 y 5515-1910 Fax: (5255)5271-6172

Correos electrónicos: info@ipgh.org y/o publicaciones@ipgh.org

<http://www.ipgh.org>

Las opiniones expresadas en notas, informaciones, reseñas y trabajos publicados en la REVISTA CARTOGRÁFICA, son de la exclusiva responsabilidad de sus respectivos autores. Los originales que aparecen sin firma ni indicación de procedencia son de la Dirección de la Revista.

En cumplimiento con la resolución IX de la XIV Reunión del Consejo Directivo del IPGH, celebrada en julio de 1972, en Buenos Aires, Argentina, se advierte que:

“Los límites que aparecen en los mapas de esta publicación no están, en algunos casos, finalmente determinados y su reproducción no significa aprobación oficial o aceptación por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH)”.

Foto portada: Fragmento del mapa escala 1:1,000,000 elaborado por el Instituto Geográfico Militar de Chile (IGM), centrado en la ciudad de Antofagasta (23° 37'S, 70°24'W). La imagen de fondo corresponde a un modelo digital de terreno construido a partir del procesamiento de datos del Shuttle Radar Topography Mission V2 Released (SRTM). La red vial, hidrografía, toponomía y altimetría se obtuvo a partir de la Base de Datos Geoespacial (BDG) del IGM. La asignación de colores ha seguido criterios zonales.

Cover Photo: Extract from the 1:1,000,000 scale map made by the Military Geographic Institute of Chile (in Spanish IGM), centered on the city of Antofagasta (23° 37'S, 70°24'W). The background image is a digital terrain model made on the basis of the processing of Shuttle Radar Topography Mission V2 data released (SRTM). The road network, hydrography, toponymy and altimetric data was obtained from the IGM Geospatial Database (in Spanish BDG). The assignation of the colours has been with the criteria of climate zones.

revista **CARTOGRÁFICA**

NÚMERO 84

MÉXICO

ENERO-DICIEMBRE 2008

Contenido

Nota Editorial	5
Editorial Note	7
Obtenção de pontos de apoio fotogramétrico a partir do laser scanner aerotransportado (LIDAR)	
<i>John A. Fierro</i>	
<i>Quintino Dalmolin</i>	
<i>Edson A. Mitishita</i>	9
Nueva cartografía del Puerto Quintero, dando seguridad al desarrollo nacional	
<i>Miguel Vásquez Arias</i>	
<i>Claudio Sobarzo Espinoza</i>	23
Mediciones de EDM en el Volcán de Fuego de Colima entre los años de 1997 y 2009	
<i>Hydyn Santiago Jiménez</i>	
<i>Juan José Ramírez Ruiz</i>	
<i>Eliseo Alatorre Chávez</i>	31
Leitor de Mapas: uma proposta simples para transferência de dados de um mapa analógico para outro em formato digital	
<i>Jorge da Graça Raffo</i>	51
Estudo da variabilidade do nível do Rio Solimões: transformada em ondaletas	
<i>Augusto César Barros Barbosa</i>	
<i>Denizar Blitzkow</i>	65

Automatic Vehicle Detection Using Intensity Laser, Anaglyph Image and Shadows Cast

Daniel R. S.

Quintino D.

81

Análisis fotogramétrico del volcán Citlaltépetl

Rogelio Ramos-Aguilar

Patricia Máximo-Romero

Beatriz Adriana Montiel-Peralta

Yoloxochitl de Jesús González-Castelán

Arturo Rodríguez-Marcos

105

Uso de imágenes satelitales en el Ministerio de Vivienda y Urbanismo

(MINVU), Chile

Pedro Muñoz Aguayo

117

LARS-Chile 2010 Semana Latinoamericana de Percepción Remota

“Exploradores del Sur”

Viviana Barrientos Lardinois

133

Nota Editorial

No es posible concluir con seguridad cuándo fue elaborado el primer mapa, sin embargo la literatura científica confirma que seguramente uno de los primeros intentos del ser humano en representar su mundo conocido a través de un conjunto de símbolos que expresan posición y situación, fue una tabla de barro cocido fechada en la época pre-cristiana encontrada en Babilonia.

Varios son los elementos que pueden destacarse y que han contribuido a dar al mapa las características que hoy tiene. La perspectiva histórica nos entrega un punto de observación especial considerando la cronología de los hechos y el contexto en que ocurrieron, permitiendo comprender a cabalidad su desarrollo. La escala, las coordenadas, el uso del color, la simbolización, son elementos fundamentales que constituyen el código a través del cual los mapas pueden leerse, constituyéndose en un medio efectivo de comunicación. La revolución de la digitalización, ha posibilitado extender este “lenguaje” y su conocimiento asociado, a un público creciente en número: mapas digitales *on line* accesibles a través de teléfonos celulares que incluyen la localización y el medio más rápido de llegar a un determinado servicio, son ingenios tecnológicos impensables hace tan sólo algunos años y que han llevado al “mapa” literalmente al bolsillo de las personas.

Desde el punto de vista académico las geociencias y en general todos aquellos que necesitan expresar su quehacer a través de un mapa, se apoyan en los mismos aspectos, permitiendo a la cartografía convertirse en un medio que facilita el diálogo disciplinar. En este mismo sentido, se ha debido recurrir a un conjunto de técnicas con el objeto de capturar y administrar información del *continuum* territorial, lo que ha traído como consecuencia la masificación de los sistemas de información geográfica, la teledetección y los sistemas de posicionamiento global, como herramientas que facilitan estos procesos y que son utilizados en la actualidad por un gran y diverso número de profesionales provenientes de los más diversos campos del conocimiento, los que han debido adaptarse y realizar esfuerzos no sólo por comprender el lenguaje y terminología cartográfica, sino también conocer y utilizar correctamente las diferentes técnicas y herramientas que la cartografía posee.

La experiencia muestra, que se ha tendido hacia una mayor rigurosidad en el uso de estas herramientas. La industria del software, comprendiendo esta situación, ha desarrollado una infinidad de aplicaciones no sólo relacionadas ahora con las posibilidades de elaborar un “mapa de calidad”, sino también manifestada en la multiplicidad de procesamientos de variables temáticas que ellos permiten, facilitando incluso conexiones estrechas con la estadística, objetivizando aún más los análisis.

La *Revista Cartográfica* del IPGH se ha transformado en un importante medio de difusión de conocimientos. Las herramientas, metodologías y resultados dan cuenta de interesantes investigaciones realizadas, manteniendo como centro de atención la cartografía, disciplina que hoy, también se ha transformado en un elemento transversal en el mundo panamericano del cual formamos parte.

Geog. Hermann Manríquez Tirado

Editor en Jefe

Revista Cartográfica

Editorial Note

No one can be sure exactly when the first map was made; nevertheless scientific literature confirms that surely, one of the earliest attempts by the human race to portray their known world though a set of symbols representing position and situation was a tablet of baked clay dated to the pre-Cristian era, found in Babylon.

Several features can be observed that have contributed to giving the modern map the characteristics it has today. The historical perspective provides us with a special point of view considering the chronological sequence of events and the context they occurred in, enabling a full understanding of how they happened. The scale, the coordinates, the use of color, the symbology, are the fundamental elements that make up the code through which maps can be read, thus becoming an effective means of communication. The digital revolution has made it possible to extend this “language” and its associated knowledge towards an ever-growing range of users: digital maps available on line through cellular telephones that include the location and the fastest way to get to a given service are a technological breakthrough unheard of even only a few years ago and have brought the “map” literally into the pockets of people.

From the academic point of view, both the geosciences and in general all those who need to express their activities by means of a map rely on the same aspects, making cartography become a medium that facilitates dialogue in each discipline. In this sense, it is necessary to use a set of techniques with the aim of capturing and managing information about the territorial continuum, which has brought as a consequence the widespread use of geographic information systems, remote sensing and global positioning systems as tools that enable these processes and that are currently being used by a very wide variety and large number of professional people belonging to diverse fields of knowledge, who have had to adapt and make efforts not only to understand cartographic language and terminology but also to get to know and use correctly the various techniques and tools of cartography.

Experience shows that the tendency is towards an ever greater attention to detail in the use of these tools. The software industry, understanding this situation, has developed an infinity of applications not only related now to the possibilities for making a “quality map”, but also manifest in the multitude of processing methods for thematic variables that they allow, thus facilitating even links to statistics and making the analysis more objective.

The *Cartographic Journal* of the PAIGH has become a major medium for transmitting and publishing knowledge. The tools, methodologies and results report interesting research performed, keeping cartography as the center of attention. Cartography is the discipline that today has become an element of transversal relevance throughout the Pan-American world we are part of.

*Geog. Hermann Manríquez Tirado
Chief Editor
“Revista Cartográfica” (Cartographic Journal)*

Obtenção de pontos de apoio fotogramétrico a partir do laser scanner aerotransportado (LIDAR)

John A. Fierro^{*}
Quintino Dalmolin^{*}
Edson A. Mitishita^{*}

Abstract

This work presents a proposal methodology for the semi-automatic extraction of control points for photogrammetric blocks. The control points had been determined from the reconstruction, adjustment and intersection of planar features, generated from a surveying set points from airborne laser scanner. The objective is to verify the possibility of using these points gotten for the intersection of plans in a computational routine, in substitution of GPS field points. The laser scanner set points had been processed to make possible the reconstruction of the feature plane that form the buildings, through the application on a semi-automatic method. The plane features try to reproduce the existing on the roofs of buildings or construction in general. The identification and extraction was carried using Delaunay triangulation and analysis of the normal vectors of its generated triangles. To test the methodology one bundle adjustment phototriangulation were made, using laser scanner control points and using GPS control points to check. The study area was recovered by a photogrammetric block formed with non metric digital camera by 6 images. Finally, the two processes had been analyzed and compared. Conclusions had been taken based on the results.

Key words: *Planes Feature Extraction, Airborne Laser Scanner, Phototriangulation, Exterior Orientation, Control Point, Normal Vectors Adjustment.*

* Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Caixa Postal 19001, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: john.fierro@gmail.com; qdalmolin@ufpr.br; mitishita@ufpr.br.

Resumen

Este trabajo presenta una propuesta de metodología para la extracción semi-automática de puntos de apoyo para la fototriangulación. Los puntos de apoyo fueron determinados a partir de la reconstrucción, ajuste e intersección de planos, generados a partir de un conjunto de puntos oriundos de un levantamiento realizado con el sistema laser scanner aerotransportado. El objetivo es verificar la posibilidad de empleo de esos puntos obtenidos por la intersección de planos en una rutina computacional, en substitución a los puntos levantados en terreno con receptores GPS. Los puntos del laser scanner fueron procesados de tal forma que posibilitan la reconstrucción de entidades planas que forman las edificaciones, por medio de la aplicación de un método semi-automático. Las entidades planas buscan reproducir a las existentes en las coberturas de las casas, edificios o construcciones en general. La identificación y extracción fue realizada mediante el uso de la triangulación de Delaunay y del análisis de los vectores normales de los triángulos generados. Para testar la metodología fue realizada una fototriangulación por el método de ajuste de haces perspectivos apoyada con los puntos obtenidos del laser scanner y se utilizó puntos de verificación previamente señalizados y levantados en campo con GPS. Un bloque conformado por 6 imágenes sirvió como base los testes. Los resultados fueron analizados y comparados. Las conclusiones fueron tomadas en base a los resultados obtenidos.

Palabras clave: *extracción de rasgos planos, escáner láser aerotransportado, fototriangulación, orientación exterior, puntos de control, vectores normales, ajuste.*

Resumo

Este trabalho apresenta uma metodológica para a extração semi-automática de pontos de apoio para a fototriangulação. Os pontos de apoio foram determinados a partir da reconstrução, ajustamento e intersecção de planos, gerados a partir de um conjunto de pontos oriundos de um levantamento realizado com o sistema laser scanner aerotransportado. O objetivo é verificar a possibilidade da utilização de pontos obtidos pela intersecção de planos em uma rotina computacional, em substituição aos pontos levantados diretamente em campo com por exemplo, o emprego de rastreadores GPS. Os pontos do laser scanner aerotransportado foram processados de forma a possibilitar a reconstrução das feições planas que formadoras de edificações, através da aplicação de um método semi-automático. As feições planas procuram reproduzir as existentes nas coberturas de casas, edifícios ou construções em geral. A identificação e extração foi realizada mediante o emprego da triangulação de Delaunay e da análise dos vetores normais dos seus

triângulos gerados. Para testar a metodologia realizou-se uma fototriangulação com ajustamento simultâneo por feixes de raios apoiada com os pontos obtidos do laser scanner e utilizou-se como pontos de verificação, pontos pré-sinalizados levantados em campo com GPS. Um bloco fotogramétrico formado por 6 imagens obtidas com câmara digital não métrica serviu de base para os teste. Os resultados foram analisados e comparados, concluindo-se pela recomendação da metodologia.

Palavras-chave: *extração de feições planas, laser scanner aerotransportado, fototriangulação, orientação exterior, pontos de apoio, vetores normais, ajustamento.*

Introdução

Na maioria das vezes, os pontos de apoio fotogramétricos são coletados diretamente em campo por técnicas de levantamentos geodésicos, como por exemplo, através do Sistema de Posicionamento Global (GPS). Recentemente foram desenvolvidas novas técnicas e metodologias para determinar os parâmetros (X_0 , Y_0 , Z_0 , κ , ϕ , ω) da orientação exterior das fotografias, de forma a não dependerem somente do apoio levantado em campo. Dentre elas encontra-se o vôo apoiado com GPS, complementado com um Sistema de Navegação Inercial (INS), visando minimizar a quantidade de pontos de apoio necessários.

Atualmente, outras metodologias estão sendo desenvolvidas para a obtenção indireta do apoio fotogramétrico usando os dados do laser scanner aerotransportado. O sistema varre a superfície e registra uma densa quantidade de pontos com coordenadas tridimensionais, mas sem a definição morfológica dos objetos, afim de serem pontualmente identificáveis numa fotografia aérea, razão pela qual não podem ser empregados diretamente como pontos de apoio fotogramétrico. Por outro lado, o processamento de feições a partir da nuvem de pontos fornecida pelo laser permite a extração de pontos, retas, polígonos e planos, os quais também podem ser tratados para servirem de apoio fotogramétrico.

Alguns pesquisadores têm trabalhado visando a automação na extração destas feições para gerar apoio fotogramétrico. Entre eles citam-se os resultados obtidos por Delara *et al.* (2004), na extração de feições pontuais. Habib (1999), Habib *et al.* (2004), Dalmolin *et al.* (2005), Santos *et al.* (2005), Santos (2006) na extração e emprego de feições retas com o desenvolvimento metodologias e técnicas específicas. Vosselman (1999), Lee e Schenk (2001), Rottensteiner e Briese (2003) com a extração de superfícies planas, porém, sem usa-las como apoio.

Este trabalho apresenta uma metodologia para a obtenção de pontos de apoio fotogramétrico, gerados pela interseção de feições planas extraídas semi-automaticamente a partir de um levantamento realizado com o laser scanner aerotransportado.

Metodologia

A primeira etapa da metodologia consiste na identificação de pontos na imagem de intensidade laser, os quais correspondam a elementos construtivos possuidores de no mínimo três planos que se interceptem. Em regiões urbanas não é difícil encontrar telhados de edificações que apresentem esta característica que podem ser detectados visualmente na fotografia aérea, e obter-se as coordenadas aproximadas manualmente na imagem de intensidade. As coordenadas aproximadas do telhado servirão para extrair da nuvem de pontos do laser, um conjunto de pontos pertencentes ao telhado. Os dados brutos serão processados para se extrair de forma automática as feições planas. Sobre os dados brutos realiza-se uma triangulação de Delaunay e aplica-se um filtro para remoção dos pontos indesejados. O filtro baseia-se na obtenção do ângulo diedro (θ) formado por cada triângulo de Delaunay com respeito de um plano horizontal hipotético (Figura 1), eliminando todos aqueles triângulos que possuem um ângulo (θ) fora do intervalo $4^\circ < \theta < 30^\circ$. De acordo com Boulos e Camargo (1987), o ângulo entre dois planos pode ser obtido pela relação entre os seus vetores normais respectivos, segundo a Equação (1):

$$\cos(\theta) = \frac{\vec{n}_H \cdot \vec{n}_D}{\|\vec{n}_H\| \cdot \|\vec{n}_D\|} \quad (1)$$

Onde:

θ : ângulo entre o triângulo de Delaunay e o plano horizontal hipotético;

\vec{n}_H : vetor normal ao plano horizontal hipotético e

\vec{n}_D : vetor normal ao plano do triângulo de Delaunay.

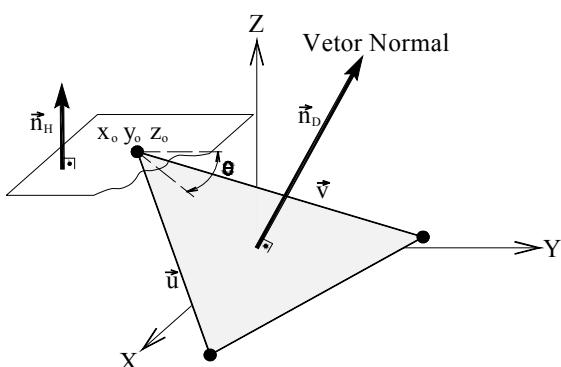


Figura 1. Ângulo formado por dois planos.

O tratamento dos triângulos de Delaunay visa a eliminação de pontos não pertencentes à “água” (plano) do telhado e que se afastem da condição de coplanaridade do conjunto de triângulos. A seleção de pontos para a detecção de cada “água” ou lado do telhado, se baseia na direção dos vetores normais que possuem os triângulos de Delaunay. Os lados de cada telhado são identificados, ajustados repetitivamente pelo Método dos Mínimos Quadrados empregando-se como modelo matemático funcional a equação do plano (Equação 2) e como modelo matemático estocástico a Equação 3. No ajustamento elimina-se todos os pontos que não pertencem à “água” do telhado segundo um limiar pré-estabelecido.

$$a \cdot X_T + b \cdot Y_T + c \cdot Z_T + d = 0 \quad (2)$$

Onde:

a, b, c, d: parâmetros do plano a serem ajustados e

XT, YT, ZT: coordenadas no referencial geodésico dos pontos pertencentes a cada “água” do telhado.

$$F(X_a, L_a) = 0 \quad (3)$$

Onde:

Xa : vetor de parâmetros ajustados que definem o plano;

La : vetor de observações ajustadas.

A interseção de pelo menos três planos concorrentes forma um sistema de equações homogêneo e fornecerá as coordenadas de um ponto, o qual será usado como apoio fotogramétrico (Fierro, 2007). No caso da existência de mais de três planos, o sistema não homogêneo passa a ser inconsistente, apresentando mais de uma solução. Neste caso, a solução será obtida através de um ajustamento por mínimos quadrados empregando-se o método paramétrico (Equação 4).

$$X = - (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot B \quad (4)$$

Onde:

A : matriz dos parâmetros ai, bi, ci dos planos;

B : matriz dos termos independentes di dos planos e

X : vetor das coordenadas ajustadas do ponto de interseção.

A solução deste sistema fornecerá as coordenadas de um ponto de apoio fotogramétrico e participará na fototriangulação como injunção de posição, cujo modelo matemático funcional empregado corresponde a equação de colinearidade (Equação 5):

$$\begin{aligned}x_{\text{fotc}} &= -c \cdot \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \\y_{\text{fotc}} &= -c \cdot \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}\end{aligned}\quad (5)$$

Onde:

$x_{\text{fotc}}, y_{\text{fotc}}$: fotocoordenadas observadas na fotografia aérea;

c : distância focal calibrada;

m_{ij} : elementos (κ, φ, ω) da matriz de rotação;

X_0, Y_0, Z_0 : coordenadas do centro de projeção e

X, Y, Z : coordenada do ponto no espaço objeto.

Na Figura 2 apresenta-se um diagrama das etapas da metodologia para a determinação de pontos de apoio fotogramétricos, com base na extração de feições planas e cálculo de entidades pontuais a partir dos dados do laser scanner. Os programas e rotinas foram desenvolvidos na plataforma do MatLab 7.0.

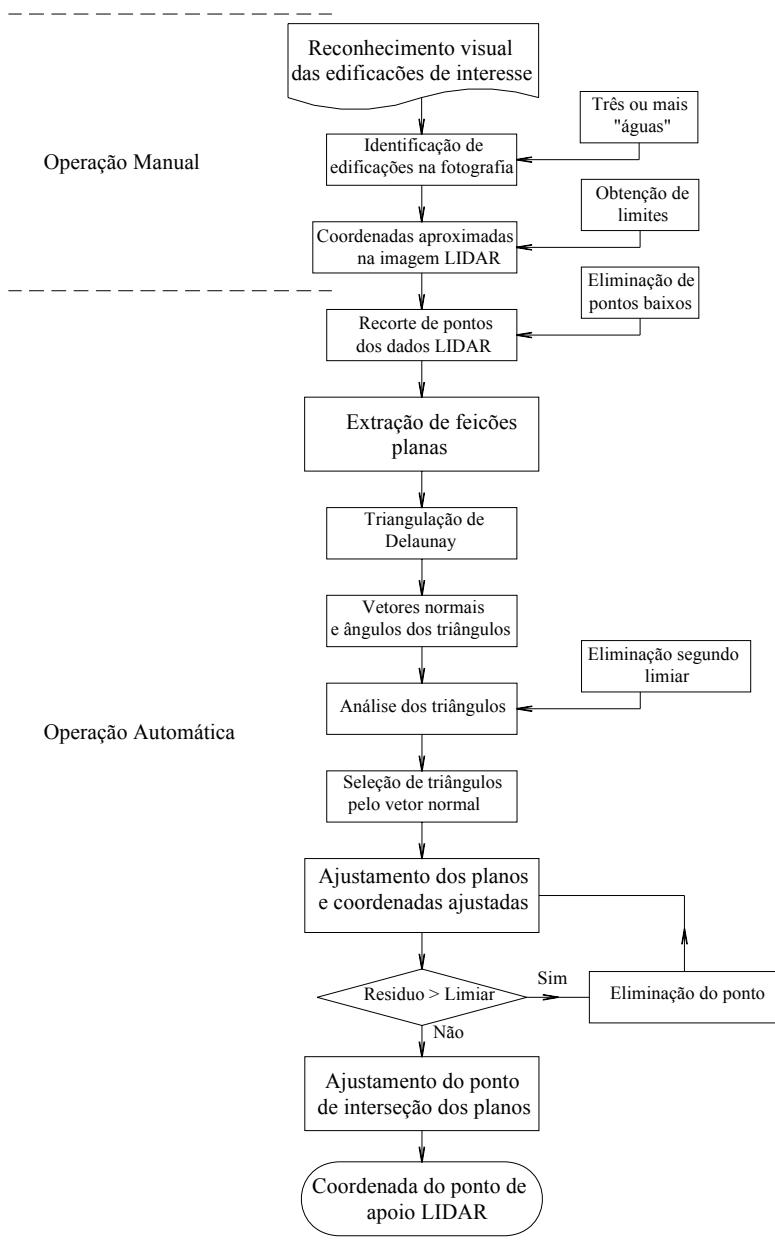
Testes e resultados

Um bloco de seis imagens obtidas a uma altitude média de 1200m com uma câmara não métrica, marca Kodak modelo Pro DCS14n a uma resolução de 3000 X 4500 pixels foi usado para testar a metodologia. O tamanho do pixel de 7.9 μm corresponde a uma resolução no terreno de 0.20m. A câmara foi previamente calibrada e as observações feitas na imagem corrigidas dos erros sistemáticos.

A Figura 3 apresenta o bloco fotogramétrico com a distribuição de pontos de apoio obtidos semi-automaticamente a partir dos dados laser.

Foram escolhidas 18 edificações que preenchiam as condições de servirem como pontos de apoio no atendimento da metodologia. A identificação de cada um dos telhados das edificações na fotografia aérea foi realizada visualmente, sendo que, algumas delas apresentaram mais que três “água”. Os telhados selecionados corresponderam a residências do tipo sobrado e prédios situados na área teste. A partir da imagem de intensidade laser, as coordenadas aproximadas no referencial geodésico dos telhados escolhidos foram extraídas manualmente.

A Figura 4 apresenta algumas edificações com telhados selecionados na fotografia aérea, os seus homólogos na imagem de intensidade laser, e os resultados da aplicação da triangulação de Delaunay nos dados brutos do LIDAR para a extração dos planos.

**Figura 2.** Diagrama da seqüência metodológica.

A Figura 4 apresenta ainda, os planos filtrados e ajustados conforme a metodologia proposta.

Observa-se que, para os pontos 707 e 717, o processo de cálculo de vetores normais e ajustamento de planos eliminou os pontos não pertencentes ao telhado permitindo identificar cada “água” do mesmo. No caso de pontos situados nas paredes das edificações (Ponto 718 da Figura 4) o processo também permitiu a sua filtragem. Como resultado final da metodologia e algoritmo desenvolvidos um arquivo no formato ASCII, contendo as coordenadas dos pontos no referencial geodésico foi obtido.

Realizou-se uma fototriangulação com ajustamento simultâneo por feixe de raios, empregando-se como pontos de apoio, os pontos obtidos da interseção dos planos concorrentes extraídos. Como pontos de verificação foram utilizados 18 pontos levantados em campo com GPS, sendo que, quinze destes eram pré-sinalizados. As precisões atribuídas aos pontos extraídos do conjunto de dados laser foram as informadas pelas Especificações Técnicas da Optech about ALTM system para uma altura de vôo de 1000m. Ou seja, $\pm 0.50\text{m}$ para planimetria e $\pm 0.15\text{m}$ para altimetria. Os pontos de verificação foram tratados na fototriangulação como pontos livres.

As discrepâncias planimétricas entre os pontos triangulados livremente e seus valores levantados em campo, estão representadas na Figura 5 abaixo.

Observa-se que os pontos 627, 662 e 661, apresentam um afastamento maior que os demais. Isto deveu-se às dificuldades apresentadas na observação de suas coordenadas na fotografia aérea, já que os pontos 661 e 662 não foram pré-sinalizados. O ponto 627, apesar de ser pré-sinalizado, a sua observação foi dificultada por se situar nas bordas da imagem.

Observa-se também uma tendenciosidade nas discrepâncias planimétricas com um comportamento similar entre os pontos. Isto sugere a existência de um erro do tipo sistemático. Este erro pode ter origem no deslocamento existente entre os sistemas referenciais dos dados GPS e dos dados do laser scanner. Mesmo assim, nenhum ponto ultrapassou a discrepância de 1.0m.

As discrepâncias altimétricas apresentadas na Figura 6, não evidenciam tendências e permaneceram dentro da precisão esperada para esta metodologia, quando comparadas com a precisão na interseção de raios ($\pm 1.23\text{m}$), determinada segundo a relação base/altura de vôo.

Aplicou-se o teste de Filliben sobre as componentes planimétrica e altimétrica para verificação da normalidade das amostras e eliminar possíveis erros grosseiros. Para avaliar a acurácia foi aplicado o teste “t-Student” e para a avaliação da precisão, o teste “Qui-quadrado”. Em ambos os casos usou-se um nível de significância de 10%.

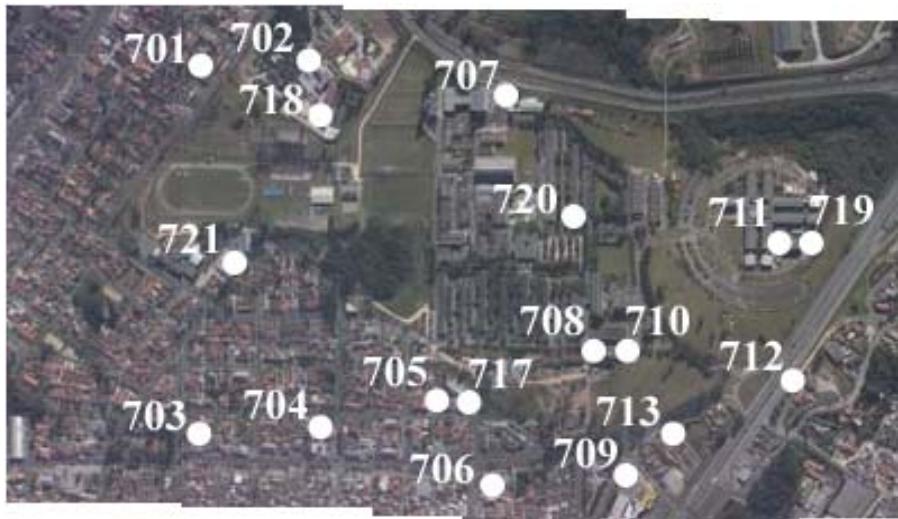


Figura 3. Bloco fotogramétrico e distribuição dos pontos de apoio obtidos semi-automaticamente dos dados do laser scanner.

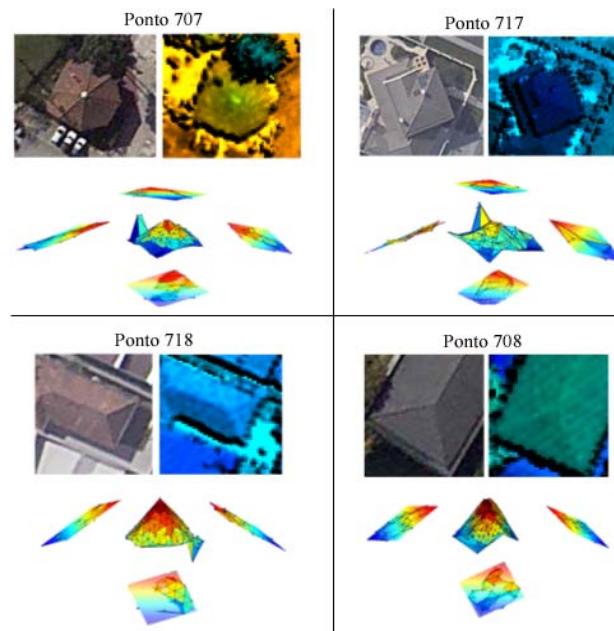


Figura 4. Lados do telhado extraídos semi-automaticamente: (a) fotografia aérea; (b) imagem de intensidade do laser scanning; (c) dados brutos do laser scanning e planos ajustados.

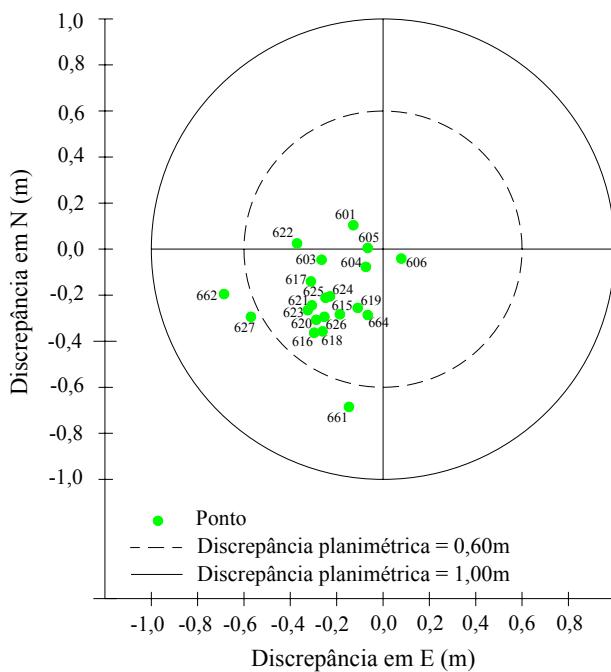


Figura 5. Discrepança planimétrica das coordenadas dos pontos GPS pré-sinalizados e as obtidas com a fototriangulação apoiada com pontos obtidos com a metodologia.

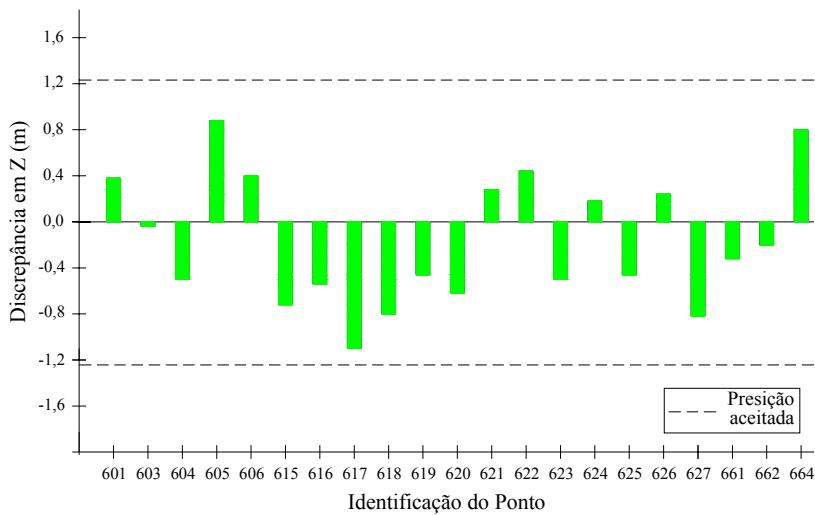


Figura 6. Discrepança altimétrica das coordenadas dos pontos GPS pré-sinalizados e as obtidas com a fototriangulação apoiada com pontos obtidos com a metodologia.

A distribuição normal das amostras, tanto planimétricas como altimétricas foram confirmadas com a análise do gráfico Q.Q. Plot (Figura 7), cujos valores se distribuem aproximadamente ao longo de uma reta. Esta normalidade também foi confirmada pelo coeficiente de correlação de ambas as retas (>0.961).

O resultado obtido na aplicação do teste estatístico “t-Student” mostra que a média populacional das discrepâncias é menor ou igual a 1.0m para planimetria e para a altimetria. Isto confirma as precisões esperadas para a geração de produtos cartográficos de escala 1:2000. O teste “Qui-quadrado” mostrou uma precisão de ± 0.60 m em planimetria e de ± 0.67 m em altimetria

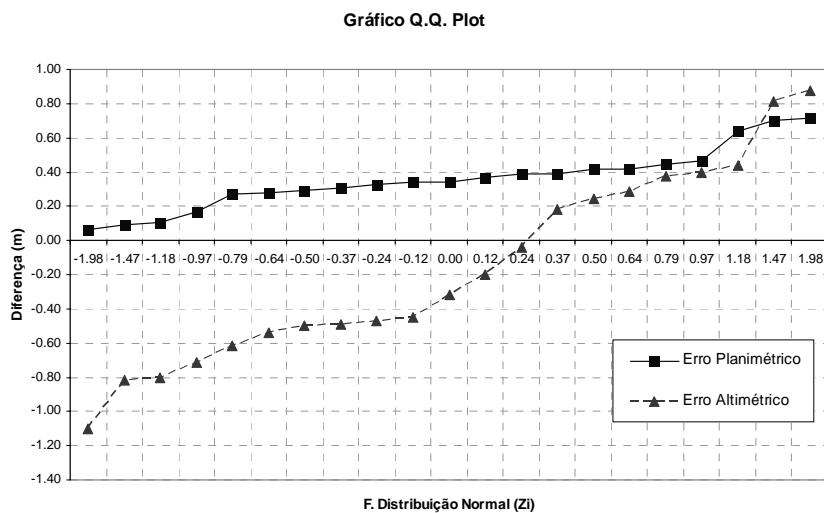


Figura 7. Gráfico Q.Q. Plot para a realização do teste de Filliben na sua componente planimétrica e altimétrica.

Conclusões

A obtenção de pontos de apoio fotogramétricos a partir dos dados brutos do LIDAR é dificultada pelo fato de não apresentarem forma morfológica para serem perfeitamente foto-identificáveis nas fotografia aérea, e consequentemente serem observados e utilizados como pontos de apoio. Portanto, não podem ser empregados em trabalhos que requerem “maior” precisão sem um tratamento prévio.

Em essência a metodologia proposta para o tratamento das feições planas para obter indiretamente as coordenadas de pontos que não foram varridos pelo laser scanner atua como um método interpolativo.

Para os dados do LIDAR a determinação do plano é uma das soluções matemáticas que permite um desempenho eficiente, pois os pontos se apresentam

em distribuição “semi-regular” e em grande quantidade, fornecendo uma alta redundância à solução.

Uma vez que é possível observar e extrair a informação pontual foto-identificável, a utilização de técnicas de processamento digital de imagens e modelamento matemático do relevo, os pontos obtidos pela interseção de planos extraídos do LIDAR, podem contribuir decisivamente na diminuição ou até na substituição total da coleta de pontos em campo como ficou comprovado nos experimentos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, ambas as instituições com sede no Brasil.

Bibliografia

- Boulos, P.; Camargo, I. (1987), *Geometria Analítica: Um tratamento vetorial*, Editora McGraw-Hill Ltda., 2a. Edição.
- Dalmolin, Q.; Santos, D.R.; Delara, R. Jr.; Bahr, H.P. (2005), “O uso de feições retas extraídas do MDT gerado pelo sistema de varredura laser como apoio para o cálculo da ressecção espacial de imagens digitais”, *Boletim de Ciências Geodésicas*, vol. 11, pp. 117-140.
- Delara, R. Jr.; Mitishita E.A.; Habib A.F. (2004), “Bundle adjustment of images from non-metric CCD camera using LIDAR data as control points”, *Archives of XXth ISPRS Congress*, commission III, pp. 13-19.
- Fierro, J.A. (2007), “Extração semi-automática de feições planas e cálculo de entidades pontuais a partir dos dados LIDAR para o apoio fotogramétrico”, Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas), Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Habib, A. (1999), “Aerial triangulation using point and linear features”, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, München, Germany, vol. 32, part 3-2W5, pp. 137-141.
- Habib, A.; Ghanma M.; Kim C.J.; Mitishita, E.A. (2004), “Alternative approaches for utilizing LIDAR data as a source of control information for photogrammetric models”, *XXth ISPRS Congress, Istanbul, Turkey, PS WG I/5 Platform and Sensor Integration*, p. 193.
- Lee, I.; Schenk, T. (2001), “Autonomous extraction of planar surfaces from airborne laser scanning data”, Dept. of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, The Ohio State University, Columbus, Ohio.

- Optech (acceso em 22/08/2007), about ALTM System. Disponível em:
<<http://www.optech.on.ca/>>
- Rottensteiner, F.; Briese, Ch. (2003), "Automatic generation of building models from LIDAR data and the integration of aerial images", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. XXXIV, Dresden.
- Santos, D.R. (2006), "Automação da resseção espacial de imagens com uso de hipóteses de rodovias como apoio de campo derivadas do sistema de varredura laser", Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas), Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Santos, D.R.; Dalmolin, Q.; Delara, R. Jr.; Bahr, H.P. (2005), "O uso de feições retas extraídas do MDT gerado pelo sistema de varredura laser como apoio para o cálculo da resseção espacial de imagens digitais", *Boletim de Ciências Geodésicas*, Brasil, vol. 11, n. 1, pp. 117-140.
- Vosselman, G. (1999), *Building reconstruction using planar faces in very high density height data*, Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences.

Nueva cartografía del Puerto Quintero, dando seguridad al desarrollo nacional

Miguel Vásquez Arias^{*}
Claudio Sobarzo Espinoza^{**}

Abstract

Due to the lack in terms of energy diversification, Chile faced the necessity to import Liquefied Natural Gas (LNG) from overseas. Thus and thanks to the public and private contributions, GNL Quintero Project was born, providing equipped and modern port installations for gas tankers berth and natural gas import. The latest required the review and update of existing nautical charts from this area for safety of navigation and docking purposes.

Key words: *Nautical Chart, LGN (Liquefied National Gas), Quintero Port, Hydrographic and Oceanographic Service of the Chilean Navy.*

Resumen

Chile se planteó la necesidad de importar gas natural licuado desde cualquier parte del mundo. Para ello y con un gran aporte público y privado nació el Proyecto GNL Quintero, el cual permite contar con un puerto equipado y moderno para el atraque de buques tanques y el importe de gas natural. Lo anterior, exigió revisar y modernizar la cartografía náutica existente en esta área, para que ellas dieran toda la seguridad tanto en la navegación como en el atraque al nuevo puerto construido.

Palabras clave: *Carta Náutica, GNL (Gas Natural Licuado), Puerto Quintero, SHOA (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile).*

* Jefe del Departamento de Hidrografía del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), correo electrónico: mvasquez@shoa.cl

** Cartógrafo del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), correo electrónico: csobarzo@shoa.cl

Proyecto País

A inicios del año 2007 el gobierno de Chile, analizada la situación energética interna, decidió iniciar la construcción de un terminal marítima capaz de permitir la importación de Gas Natural Licuado (GNL) y su posterior distribución en territorio nacional. Lo anterior permitiría una mayor independencia energética y un aporte al desarrollo industrial significativo.

En la actualidad, el millón de BTU del gas natural que llega a Chile proveniente de países vecinos cuesta entre 13 y 20 dólares, dependiendo si es verano o invierno. Con la puesta en marcha del proyecto se estima que la misma cantidad de gas natural tendrá un valor de entre 7 y 8 dólares durante los primeros embarques.

Así el proyecto GNL apuntó específicamente a contar con la capacidad e infraestructura portuaria (Figura 1) y de almacenamiento, siendo escogido para tales efectos el puerto de Quintero, ubicado en la zona centro del país, como alternativa más viable (Figura 2).

Este puerto sería acondicionado para recibir gas licuado por medio de buques tanques especialmente diseñados para esta función (Figura 3). Estas naves, por su tamaño y calado, obligan a tener terminales preparados en infraestructura y seguridad marítima.

A pesar de contar con cartas náuticas adecuadas para la navegación en estas áreas, la construcción del nuevo terminal marítimo ameritaba un levantamiento hidrográfico y la edición de cartas náuticas actualizadas. Teniendo en consideración además que el primer cargamento de GNL sería efectivo durante el primer semestre del año 2009, se transformó en prioridad el trabajo de colección de data batimétrica y posterior edición de cartas náuticas en sus dos formatos papel y electrónica, tendientes a soportar en materia hidro-cartográfica éste importante proyecto.

La cartografía náutica y su aporte al desarrollo nacional

En Chile, la elaboración oficial de la cartografía náutica de sus aguas jurisdiccionales, está bajo el control y estandarización del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA). Por tal motivo, le correspondió la planificación de los trabajos tendientes a la adquisición de información relevante para las cartas náuticas y su posterior procesamiento, hasta completar el producto cartográfico necesario para la operación segura en las aguas cercanas al terminal marítimo.

Fase de restitución aerofotogramétrica

Dentro de los trabajos efectuados en gabinete estuvo la interpretación de las fotografías aéreas. Éstas fueron empleadas para la restitución de los sectores de Quintero y Horcón (localidad vecina a Quintero), y correspondieron a las tomadas

con una cámara WILD RC-10, montada en un avión Cessna equipado con tecnología GPS y Navegación Inercial. La escala del vuelo fue planificada a 1:20,000 correspondiente a 3,050 metros sobre el nivel medio del mar, obteniendo así fotografías aéreas que posteriormente fueron digitalizadas con una resolución de 20 micrones y 1800 dpi.

Las correspondientes restituciones se realizaron en estaciones digitales DATEM, recibidas en el SHOA a comienzos del 2008.



Figura 1. Muelle del proyecto GNL Quintero en su etapa de construcción.



Figura 2. Vista aérea del sector de la Bahía Quintero y proyecto GNL proyectado.



Figura 3. Buques tanques, especialmente diseñados para transportar, en forma segura, grandes cantidades de Gas Natural Licuado.

Así y gracias al empleo de esta tecnología, se pudieron utilizar los datos de orientación generados, lo cual simplificó los procesos de orientación absoluta. El mencionado vuelo fue innovador en Chile desde el punto de vista de la fotogrametría, toda vez que no se efectuó el tradicional apoyo fotogramétrico, siendo reemplazado por el empleo de una cancha de calibración, donde se midieron con GPS diferencial varios puntos en terreno. Estos puntos fueron fotoidentificados y medidos en estaciones digitales, donde se aplicaron las coordenadas obtenidas y los datos producidos por una unidad IMU (*Inertial Measuring Unit*) montada en el avión y adosada a la cámara aérea. La IMU fue la encargada de medir los movimientos del avión, o más precisamente de la cámara fotogramétrica en el momento exacto de la toma, es decir el Phi, Omega y Kappa de cada fotografía. La data de la IMU y de los GPS fue procesada en dos etapas (pre-proceso y post-proceso), entregando como resultado la posición exacta del centro y la orientación para cada fotografía.

El trazado de la línea de costa, incluyendo todos los accidentes como rocas: a flor de agua, siempre cubiertas, que cubren y descubren, rocas (islotes) que nunca cubren etc., fueron así cuidadosamente restituidos por personal del SHOA debidamente calificados.

Fase de procesamiento batimétrico

La más alta tecnología con la cual cuenta Chile, en materia hidrográfica, fue usada en el levantamiento del fondo marino de los sectores de la bahía de Quintero y Horcón. Ecosondas multihaz, GPS diferencial y sensor de movimiento fueron parte integral del instrumental utilizado y los generadores principales de la data colectada.

Por otra parte, se utilizaron softwares especializados para el manejo y edición de la data hidrográfica (Figura 4), los cuales a su vez permitieron observar antes de abandonar el área de trabajo la calidad de la misma.

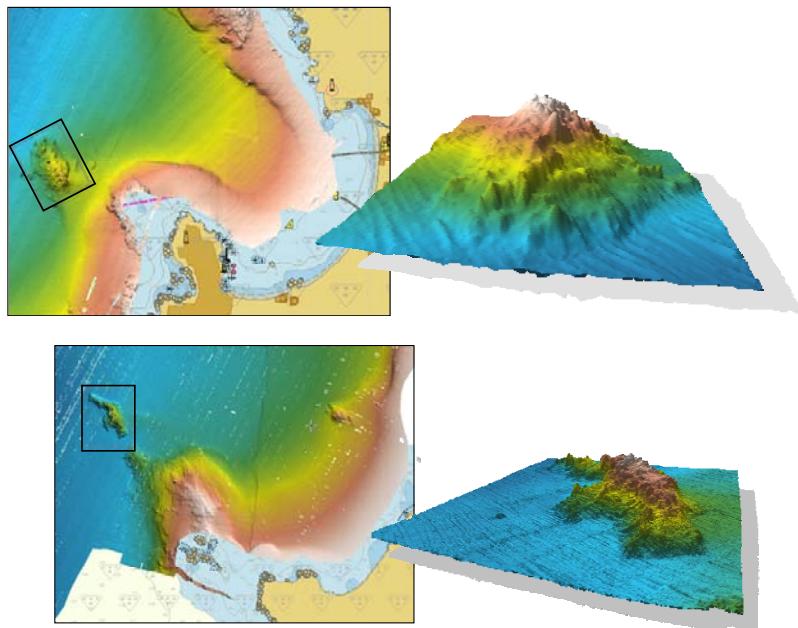


Figura 4. Resultado del procesamiento de la data batimétrica con software CARIS HIPS de los sectores de Quintero y Horcón.

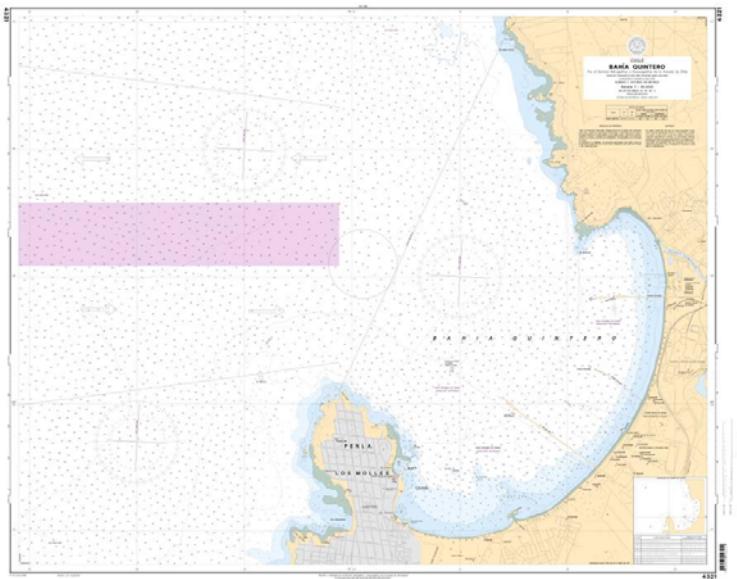


Figura 5. Carta núm. 4321 “Bahía Quintero”.

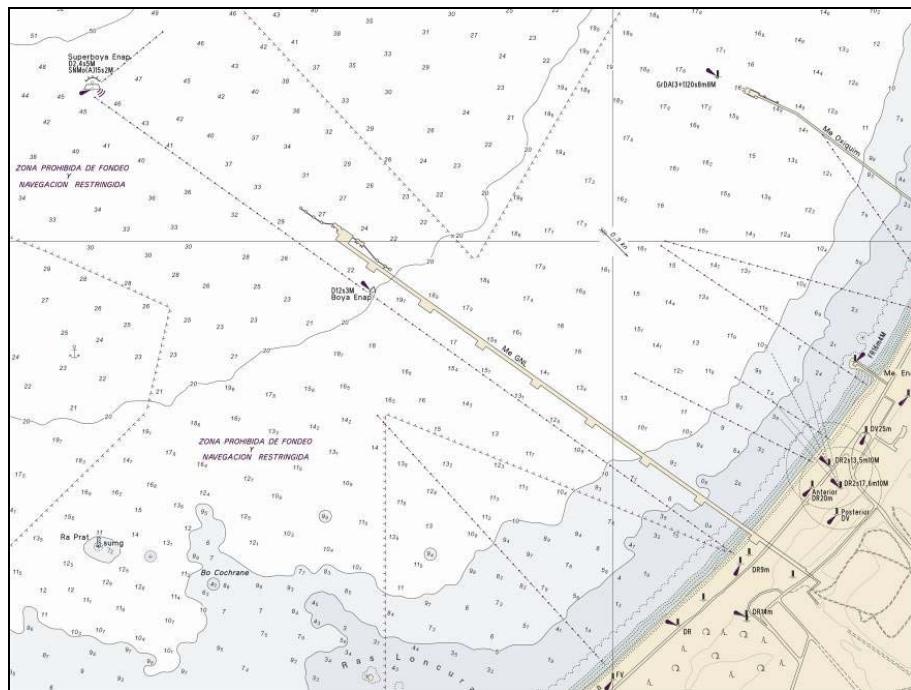


Figura 6. Nuevo muelle GNL en la carta de la Bahía de Quintero.

De esta forma toda el área desde los 20 metros hasta los sectores más profundos de las cartas afectadas, fueron procesados con algoritmos especializados. En aquellos sectores en donde la navegación de la embarcación hidrográfica con ecosonda multihaz, era insegura debido a su calado, embarcaciones menores equipados con ecosondas monohaz, realizaron un levantamiento de precisión priorizado. La intensión de este trabajo, estuvo orientado principalmente a la investigación del fondo casi en un 100% con el objetivo de reducir al mínimo los riesgos de accidentes por bajos fondos no detectados o accidentes sumergidos que afectan a la navegación segura. Esto último generó una gran cantidad de valores de profundidades o sondas con sus respectivas posiciones geográficas asociadas. Sin embargo, y teniendo en consideración el producto final, se realizó una selección de las sondas, las cuales por procedimiento obedecen siempre a las más bajas.

Gracias a la metodología y tecnologías utilizadas, el producto batimétrico generado, no sólo sirve para efectos de elaboración de cartas náuticas, también puede ser usada para estudios tales como: geomorfología marina, y acuicultura, entre otros.

Fase de edición cartográfica

El proyecto GNL Quintero consideró la confección de tres cartas náuticas: una carta general, de tipo nueva edición, que abarca desde Valparaíso a Quintero, una carta nueva edición de la bahía de Quintero (Figura 5), que es donde se concentró el proyecto GNL y una carta nueva de la caleta Horcón:

- Carta núm. 4320

Nombre: “Bahía Quintero a Bahía Valparaíso”

Escala: 1:50,000

Propósito: Nueva edición de la carta, extendiendo el límite hacia el Norte objeto incluir en ella a la caleta Horcón

- Carta núm. 4321

Nombre: Bahía Quintero

Escala: 1:10,000

Propósito: Nueva edición que mejorar la cobertura y calidad del sondaje para dar seguridad a las grandes naves que transporten el combustible al nuevo muelle GNL

- Carta núm. 4322

Nombre: Caleta Horcón

Escala: 1:15,000

Propósito: Carta nueva que permite proporcionar un área alternativa de fondeo a los buques tanques.

Uno de los elementos principales del desarrollo del proyecto lo constituyó la construcción del muelle GNL en el sector de la Bahía de Quintero, esta monumental obra tiene una extensión aproximada de 1,800 metros, convirtiéndolo en uno de los más extensos de Chile. La información digital del citado muelle, fueron proporcionados por la empresa “GNL Quintero S.A.”. Esto se transformó en uno de los mayores desafío en la etapa de edición cartográfica, debido a que la información específica del muelle fue ingresada sin estar este materializado en forma definitiva en terreno, lo cual, por la envergadura del proyecto hacia pensar en posibles modificaciones que pudiesen definirse en el momento de su construcción y lo que esto afectaría al avance en la edición cartográfica obtenida (Figura 6).

La estandarización por la cual se rigen las cartas náuticas oficiales construidas por el SHOA, exigió cumplir con todos los elementos de uso gráfico como: colores, símbolos, abreviaturas, etc., elementos que sumados a toda la data obtenida y su posterior procesamiento, tanto fotogramétrico como batimétrico, más todo el análisis de las variables oceanográficas (mareas y corrientes), de ayudas a la

navegación y sus posteriores controles de calidad nos permitió obtener las nuevas cartas náuticas que cumplieran la condición principal de dar seguridad a la navegación.

Finalmente, el proyecto fue terminado dentro de los plazos que se fijaron y gracias al compromiso adquirido por todo el personal del SHOA, lo que permitió contar con nuevas y más actualizadas cartas náuticas antes del ingreso del primer buque tanque.

Conclusión

El proyecto GNL, uno de los más importantes desarrollados en Chile en el último tiempo, contó con el fuerte compromiso y aporte de estamentos públicos y privados.

La gran tarea de construcción e implementación de un terminal marítimo capaz de sostener la importación de gas natural por medio de buques tanque, fue así apoyada con la edición de cartografía náutica actualizada y tratada bajo los estándares más modernos.

Gracias a esto último, todas las naves que arriben a este nuevo terminal marítimo podrán hacerlo haciendo uso de cartas náuticas en papel y electrónicas, las que permitirán realizar maniobras de aproximación y atraque de los buques tanque al muelle GNL en forma automatizada, precisa y dentro de los márgenes más estrictos de seguridad.

Bibliografía

Artículo del periódico *Mercurio de Valparaíso*, entrevista al Ministro de Energía de Chile, señor Marcelo Tokman, del 25 de junio de 2009: http://www.mercuriovalpo.cl/prontus4_noticias/site/artic/20090624/pags/20090624175617.html

Artículo publicado en sala de prensa digital de la Empresa Nacional de Petróleo, “Primer barco con GNL navega desde Trinidad y Tobago hasta Quintero”, del 21 de junio de 2009: http://www.enap.cl/sala_de_prensa/detalle.php?no_noticia=78

Fotografías en página web de la Empresa GNL Quintero S.A., “Mapa e ilustraciones: <http://www.gnlquintero.com/nosotros/Mapa.htm>

Organización Hidrográfica Internacional, publicación M-4, Regulaciones para las cartas náuticas internacionales y especificaciones cartográficas, edición 3,006 abril 2009.

Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, *Elaboración de carta náutica núm. 4321 Bahía Quintero*.

Mediciones de EDM en el Volcán de Fuego de Colima entre los años de 1997 y 2009

Hydyn Santiago Jiménez^{*}
Juan José Ramírez Ruiz^{**}
Eliseo Alatorre Chávez^{***}

Abstract

EDM is a technique for monitoring volcanic deformation, which may show as changes in the Earth's surface before an eruption. Studies of deformation at Volcan de Colima started towards the end of 1996 and continues to the present in 2009. During this period there has been four volcanic eruptions recorded in the years 1998, 2001, 2004 and 2007. These events were documented using the EDM technique; however, the last two are unclear due to technical problems, which affected the magnitude of the final data. This did not allow a precise diagnosis like in 1998 and 2001.

Key words: *Volcano, Monitoring, Eruption, Risk.*

Resumen

El EDM es una técnica de monitoreo de deformación volcánica que muestra cambios en la superficie de la tierra antes de una erupción. El tiempo de estudio de deformación en el Volcán de Colima abarca desde finales de 1996 hasta la fecha actual 2009. Durante este periodo se han producido cuatro erupciones volcánicas registradas en los años de 1998, 2001, 2004 y 2007. Estos eventos fueron documentados por la técnica de EDM, siendo las dos últimas puestas a discusión debido a que se presentaron problemas de carácter técnico afectando la magnitud de

* Av. Gonzalo de Sandoval 444, Colima, México, correo electrónico: hy-dyn@ucol.mx

** Profesor Investigador Titular, Centro Universitario de Estudios e Investigaciones de Vulcanología, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de Colima.

*** Técnico Académico en Electrónica, Centro Universitario de Estudios e Investigaciones de Vulcanología, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de Colima.

los datos finales. Esta situación no permite realizar un diagnóstico preciso como en 1998 y 2001.

Palabras clave: *volcán, monitoreo, erupción, riesgo.*

Introducción

Dentro del Cinturón Volcánico Mexicano se localiza el Volcán de Fuego de Colima, con una altitud de 3,860msnm y coordenadas geográficas 19°30'44''N y 103°37'02''W que lo sitúan entre los municipios de Cóbala y Cuauhtémoc en el estado de Colima, y los municipios de Tuxpan, Zapotlán y Tonila en Jalisco. Es considerado uno de los más activos de la República Mexicana ya que en los últimos 400 años ha presentado más de 43 erupciones siendo el volcán mas activo de México (Medina Martínez, 1983; De la Cruz, 1993; Bretón *et al.*, 2002).

Hasta la década de los noventa el único sistema de monitoreo establecido por el Gobierno del Estado de Colima y la Universidad de Colima era la instalación de varias estaciones sísmicas para el monitoreo volcánico. A partir de 1996 se implementó a un nuevo parámetro de monitoreo que se ha venido aplicando en otros volcanes denominado deformación del edificio volcánico. Este parámetro en un principio solo consistió en la realización de medidas de distancia mediante un distanciómetro electrónico Di3000s, hacia dos puntos ya establecidos en el flanco norte, instalados por el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La red radial parcial de deformación mediante EDM (Electronic Distance Measurement), contaba únicamente con un nivel a una altura de 3,100msnm con dos reflectores en un inicio removibles y posteriormente fijos. En 1997 esta red se incrementó con un segundo nivel localizado a una altura de 3,800msnm y a finales de ese mismo año se logró la instalación de un tercer nivel a 3,350msnm. Teniendo así una red radial sobre toda la superficie del volcán en su flanco norte.

La constante actividad así como la consolidación de la red de EDM en el proceso eruptivo de noviembre de 1998 permitió que se ampliara este sistema de monitoreo con mas técnicas de deformación como la Nivelación Geométrica de Primer Orden, Inclinometría Seca, GPS e Inclinometría Electrónica (TILTMETERS) siendo este último el que ha logrado detectar cambios en la corteza de magnitud de micro-radianes que rebasan la capacidad de precisión del EDM el cual es de milímetros.

El presente trabajo se basará en el análisis del monitoreo de la deformación volcánica mediante la técnica de EDM como parámetro precursor de las erupciones del Volcán de Fuego en 1998 y 2001, con el fin de que en el futuro se pueda cuantificar un proceso de características similares a estos eventos que desde el punto de vista científico ratifican la importancia de ampliar las redes y las técnicas de monitoreo en la predicción y mitigación del riesgo volcánico.

Metodología

La técnica de deformación volcánica consiste en la medición de distancias entre dos puntos fijos, en nuestro caso, el vértice de prisma está localizado sobre el volcán y las bases de medición que se encuentran ubicadas fuera del área de influencia de los procesos eruptivos.

En todo trabajo de monitoreo volcánico la precisión se pierde si las estaciones o puntos de referencia no están consolidados en la superficie del terreno, es importante tener una buena estabilidad en todas las estaciones, ésta se logra teniendo una monumentación bien acoplada al suelo. Las estaciones de prisma son placas metálicas de 8mm de espesor empotradas sobre roca sólida, mientras que las bases de EDM son mojoneras de piso (Membrillera) y pilar de concreto (Antenas y Base 5).

La red radial parcial de EDM (Figura 1) estaba conformada por 10 estaciones de prismas instalados en los niveles “I” a 3,100msnm, nivel “II” a 3,400msnm y nivel “III” a 3,860msnm, con una configuración de 2 prismas en el nivel I, 6 reflectores en el nivel II, y 8 prismas en el nivel III, orientados hacia las estaciones de EDM, Membrillera a 1,200m en promedio a una altura de 3,100msnm con rumbo “NE” y Nevado II a una distancia de 4,400m y altura del vértice de 4,000msnm para el año 1998, esta estación fue reubicada a la base Antenas en el 2001 a 5,200m y finalmente quedó como estación fija “Base 5” con registro cada hora hacia los reflectores del nivel II a 5,200m en promedio hacia el “N” a la misma altura.

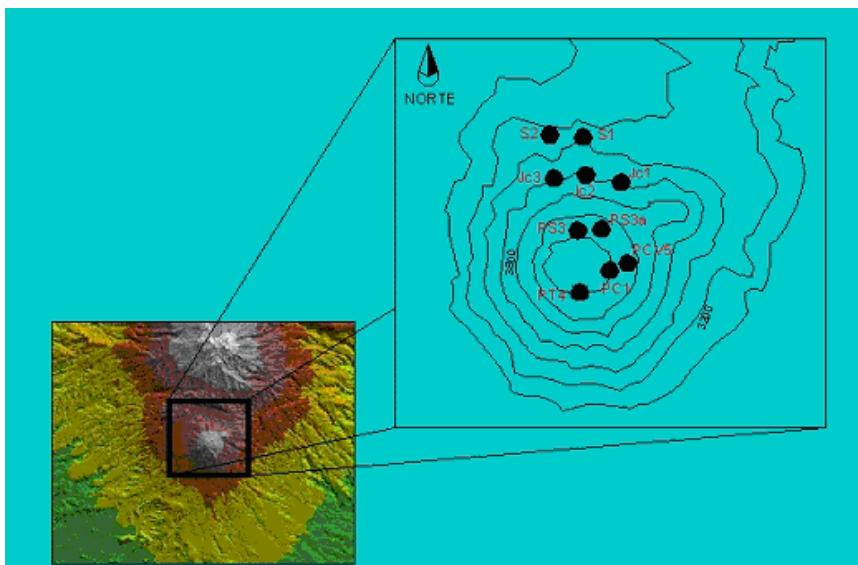


Figura 1. Localización de Prismas.

En la actualidad como consecuencia de productos volcánicos se han destruido las bases de los primas del nivel I y III, quedando intacto únicamente el nivel II con 3 prismas orientados hacia la estación Base 5, mismos que han sido reemplazados varias veces debido a la caídas de bombas volcánicas sobre los reflectores (Figura 2). La estación Membrillera ha sido descartada de toda medición ya que se encuentra dentro de la zona de riesgo por proyectiles balísticos, a lo cual se suma el deterioro del camino de acceso a la estación y la falta de mantenimiento de este por las autoridades estatales.



Figura 2. Prismas JC1 y JC2 destruidos por material de caída.

Para lograr la mejor precisión en nuestras mediciones de distancia se consideraron varios factores con el fin de obtener datos más exactos. En el monitoreo de EDM en el Volcán de Fuego de Colima se utiliza el distanciómetro Wild DI3000s, montado sobre un Wild T2 nueva generación, el cual ha demostrado tener las cualidades de calidad y potencia que se requieren para determinar pequeños cambios en distancias de kilómetros. Como se ha mencionado el Wild DI3000s va montado sobre un teodolito Wild T2 que recibe también el nombre de instrumento universal, es un instrumento capaz de medir ángulos verticales y horizontales con gran precisión. El T2 se considera actualmente como uno de los mejores equipos de medición angular óptico-mecánico, con precisión angular de 1" de arco, mismo que por su sensibilidad de medición y la calidad del material con que está construido lo hacen vulnerable a los cambios de temperatura, efecto que

puede ser contrarrestado teniendo bajo sombra al Teodolito para evitar que los cambios repentinos de temperatura le afecten directamente (Eugene Y. *et al.*, 1992). El T2 por su gran precisión y estabilidad, se ha convertido en uno de los instrumentos más usados en el control de deformaciones volcánicas así como en el seguimiento de crecimiento de domos en la cima del Volcán de Fuego de Colima mediante ángulos verticales. Este equipo en conjunto con el distanciómetro DI3000s crean un instrumento único en el control de monitoreo de las paredes de un edificio volcánico. En esta área de estudio se ha podido constatar la veracidad e importancia de este equipo que sin duda alguna y en una opinión particular es uno de los mejores teodolitos de alta precisión usado en este tipos de estudios.

Al utilizar equipos tan sensibles y con una distancia de varios kilómetros se hace presente el error de puntería, los reflectores tiene un diámetro de 7cm, magnitud que hace que a grandes distancias sea imposible localizar el prisma, este error fue contrarrestado con la utilización de un espejo localizador “Signal Mirrors Glass”, el cual ha sido utilizado anteriormente por personal de ejército y bomberos para ubicar su posición cuando son rastreados por aire. El sistema es muy sencillo, consiste en reflejar la luz del sol apuntado hacia donde está el prisma, siguiendo la misma secuencia de medición de un distanciómetro. El prisma regresa la señal luminosa del sol haciendo visible su localización exacta, teniendo de esta manera la puntería real para la medición del ángulo vertical. En las mediciones realizadas por la noche se utiliza una lámpara de buena potencia y de la misma manera que los rayos solares el prisma regresa la luz emitida por la lámpara haciendo más fácil su localización.

En muchas ocasiones antes de una erupción en las superficies cercanas al volcán y el mismo edificio tiende a mostrar cambios sobre su superficie, estos cambios son muy pequeños y casi indetectables para el ser humano, pero no así para estos aparatos que han venido a resolver el dilema de la inseguridad en las mediciones de deformación durante periodos de crisis con métodos tradicionales. Con el DI3000s junto con el T2 se realizan mediciones de distancias considerables teniendo una visión más rápida y precisa de las condiciones que guarda la estructura del volcán, con estos equipos se llegan a medir grandes distancias con precisión de milímetros, que permiten llevar un control de las paredes o superficies volcánicas en donde se usa el sistema de mediciones angular y extensionales. Acceso: <http://www.itcerroazul.edu.mx/>

Correcciones de datos

A toda medición obtenida por cualquier equipo electrónico se le realiza una serie de correcciones, obteniendo de esta manera un dato preciso y exacto. Dentro de la gama de estas correcciones se encuentran los ajustes de distancia por factores atmosféricos, en nuestro caso particular las mediciones puntuales se realizaron

generalmente durante la mañana o en la noche, con el fin de minimizar los efectos antes mencionados, también se realiza el ajuste por emisión de frecuencia.

Corrección por factores meteorológicos

Esta corrección se hace debido a que la longitud de onda se ve afectada por las condiciones del ambiente. Los parámetros que alteran la emisión de la onda son:

- Temperatura (T) en grados centígrados °C
- Presión (P) en Milibares Mbar
- Humedad (H) medida en porcentaje (%)

Estos factores pueden introducirse durante la campaña de la medición corrigiendo en forma automática la medida o posterior a la medición haciendo los cálculos necesarios, ya sea en gabinete mediante tablas o los mismos algoritmos establecidos por el constructor del equipo. Sumada a estas correcciones también se realiza el ajuste de distancia por discrepancia de la frecuencia de emisión durante la realización de la medida.

Los factores atmosféricos producen cambios drásticos en las variaciones de las distancias, las condiciones atmosféricas a las que son calibradas las emisiones de frecuencias de los distanciómetros por los fabricantes nunca son similares a las del campo de trabajo en donde se emplean estos equipos. Esto nos lleva a usar las tablas de correcciones estándar proporcionadas por el fabricante, en un cálculo rápido estas tablas son muy importantes pero se arriesga la precisión de las lecturas. En las campañas de medición se opta por tomar las lecturas y registrarlas en la libreta de campo (Tabla 1), donde posteriormente se hacen las correcciones a las distancias inclinadas para obtener finalmente la distancia horizontal con la que se realizará una modelación que permita conocer las características físicas de la fuente que generó estas deformaciones.

Tabla 1
Registro de campo

<i>Estación Membrillera</i>	<i>Prisma Jc1</i>	<i>Fecha</i>
<i>Distancia</i>	<i>Ángulo horizontal</i>	<i>Ángulo vertical</i>
1283.8544	30° 22' 26"	275° 15' 32"
1283.8545	30° 22' 25"	275° 15' 33"
1283.8546	30° 22' 27"	275° 15' 34"
1283.8546	30° 22' 26"	275° 15' 33"
1283.8548	30° 22' 26"	275° 15' 32"
Frecuencia	Humedad	Temperatura
15000028 Hz	63.5 %	12.3 °C
		698Mbar

Mediante la teoría de los errores (Montes de Oca, 1994), con los datos de campo se realiza un análisis estadístico para la obtención de la precisión y errores de cada medición realizada durante las campañas entre 1997 y 2009 (Tabla 2).

Tabla 2
Análisis datos de Campo

<i>Estación Membrillera</i>	<i>Prisma Jc1</i>	<i>Fecha</i> <i>25 de mayo de 2002</i>	
<i>Núm. de medida</i>	<i>Distancia</i>	<i>Error dato</i>	$e^2 = Dato$
m_1	1283.8544	$e_1 = 0.00018$	$e_1^2 = 3.24E-08$
m_2	1283.8545	$e_2 = 8.0E-05$	$e_2^2 = 6.40E-09$
m_3	1283.8546	$e_3 = -2.0E-05$	$e_3^2 = 4.00E-10$
m_4	1283.8546	$e_4 = -2.0E-05$	$e_4^2 = 4.00E-10$
m_5	1283.8548	$e_5 = -0.00022$	$e_5^2 = 4.20E-08$
Sumas: $E_t = 0.0$ $E_t^2 = 8.80E-08$			
$M = 1283.8546$	$E_m = 0.0001483$	$E_o = 6.63E-05$	$E_p = 4.42E-05$
Precisión de la medición 1:21605 $\sigma = 0.143\text{mm}$			

Continuando con los cálculos, una vez obtenidos los valores de la distancia cruda, así como la precisión de la misma, el siguiente paso es la compensación de la distancia por factores atmosféricos. Para este efecto se necesita un algoritmo de refracción, en este caso se tomará el del fabricante, ya que se adapta en forma confiable a las correcciones aplicadas a las lecturas tomadas durante las campañas de mediciones.

Teniendo la distancia cruda promediada, se calcula las PPM que se corregirán a la obtenida, en este proceso se requiere de la fórmula emitida por el fabricante del equipo así como los factores atmosféricos.

Fórmulas de corrección por factores atmosféricos para el DI3000s (Manual DI3000s, Leica):

$$ppm_1 = 281.5 - \frac{0.29035p}{1 + 0.00366t} + \frac{11.27h}{100(273.16 + t)} \cdot 10^x \quad (1)$$

$$X = \frac{7.5t}{237.3 + t} + 0.7857$$

Donde:

t = temperatura, p = presión y h = humedad

$$ppm_2 = D_c \cdot \left(\frac{ffap - ffcal}{15} \right) \times 10^{-6} \quad (2)$$

Donde:

D_c = Distancia corregida por factores atmosféricos

$ffap$ = Frecuencia emitida en la medición

$ffcal$ = Frecuencia de calibración del distanciómetro

Conociendo las PPM a corregir se aplican de la siguiente manera, para la primera corrección por factores atmosféricos se realiza:

$$D_{cfa} = D_c + D_c * (ppm_1 * 10^{-6})$$

Donde:

D_{cfa} es la distancia corregida por factores atmosféricos.

D_c la distancia druda

ppm_1 son las partes por millón a corregir

La segunda corrección a la distancia por diferencia de frecuencia se realiza de la misma forma que la corrección de ppm_1 por condiciones atmosféricas,

$$D_{cfaf} = D_{cfa} + D_{cfa} * (ppm_2 * 10^{-6})$$

Donde:

D_{cfaf} es la distancia corregida por frecuencia

D_{cfa} la distancia corregida por factores atmosféricos

ppm_2 son las parte por millón a corregir, por frecuencia

Resultados

A partir del año de 1997 se han realizado campañas de medición de distanciometría como parte del monitoreo del Volcán de Fuego de Colima para el pronóstico y mitigación del riesgo volcánico. Estas campañas de medición han permitido tener una base de datos confiable que ha permitido detectar cambios en la estructura de la corteza volcánica. En un principio de realizaban mediciones puntuales con cierta periodicidad en las estaciones Membrillera y Antenas, posterior a los eventos

efusivos empezó una nueva etapa explosiva registrada a partir de 1999 y que continua hasta la fecha, la cual hizo inseguros los ascensos al sitio de control Membrillera, aun así se continuó trabajando de la misma manera durante los años 2001 y 2003 realizándose solo una campaña para este año, así como en 2004, cuando quedó finalmente descartada cualquier medición desde este punto. A finales de 2005 el Sistema Estatal Protección Civil Jalisco (SEPCJ) adquiere un WILD DI3000s y un T2, con la finalidad de reestablecer las mediciones de EDM. A principios del 2006, personal del Centro Universitario de Estudios e Investigaciones de Vulcanología (CUEIV) de la Universidad de Colima capacita a personal técnico del SEPCJ para realizar las mediciones hacia los reflectores Jc1, PCJ2 (antes Jc2) y Jc3 desde la estación Base 5 donde existe personal las 24 horas del día, realizando de esta manera una medición por hora hacia los prismas (Figura. 3). Los datos son proporcionados por el SEPCJ y personal del CUEIV realiza los procesos y análisis de los datos los cuales son del dominio público a través de los sitios web, <http://www.ucol.mx/volcan> y <http://proteccioncivil.jalisco.gob.mx/inicio.html>.

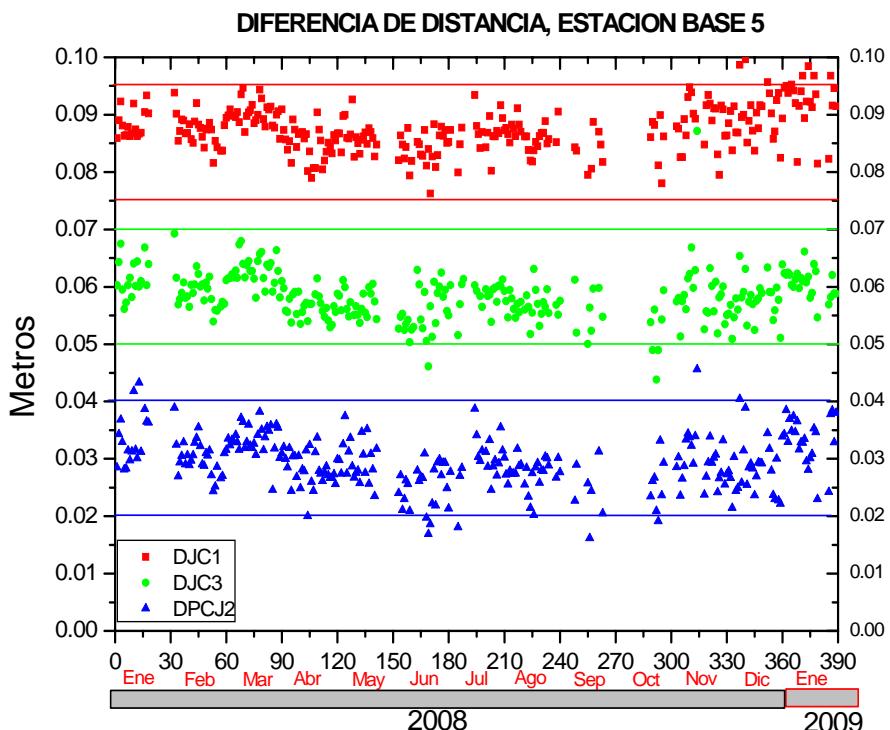


Figura 3. Registro desde la estación Base 5.

En los años 1998 y 2001 las mediciones puntuales desde la estación Membrillera (Figuras 4 y 5), muestran cambios en las magnitudes de las distancias de los reflectores de los tres niveles, estos cambios en la superficie del Volcán de Fuego son efectos producidos por el ascenso de magma, los valores van desde 8mm en el nivel I, 8-12cm en el nivel II y variaciones de decenas de centímetros hasta algunos metros en el Nivel III, para nuestro análisis se utilizará el Nivel II (Figura 4) que es la zona en donde se midieron desde las dos bases de control.

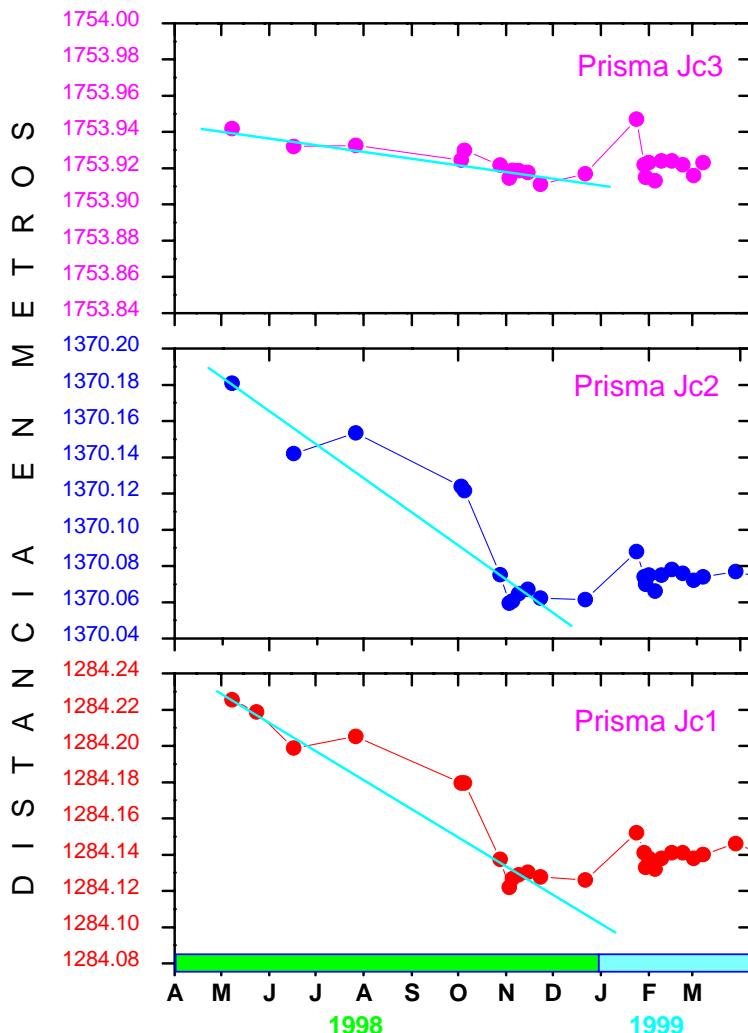


Figura 4. Gráficas del año 1998 de la estación Membrillera.

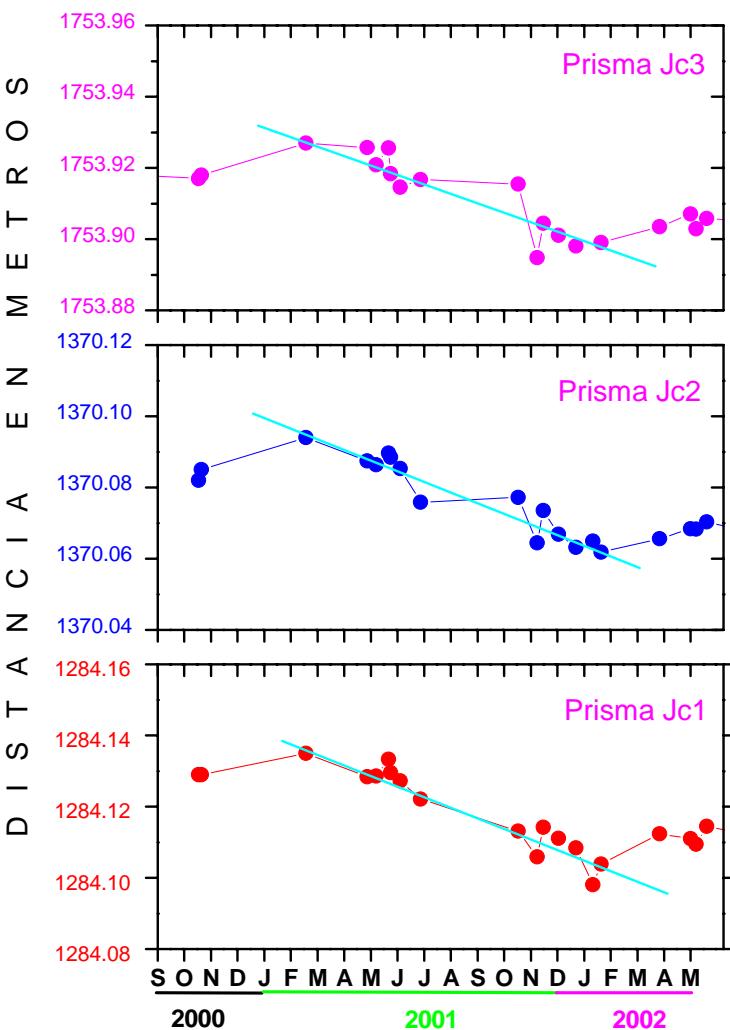


Figura 5. Gráficas del año 2001, de la estación Membrillera.

Las gráficas de la estación Membrillera de los años 1998 y 2001 muestran que las variaciones medidas están asociadas al ascenso de magma que se presentó durante estos años, culminando estas actividades con el colapso del domo y posteriormente con eventos explosivos. Las gráficas muestran que para el año de 1998 las deformaciones en los reflectores se estimaron en promedio de 8cm, desde el inicio de actividad, hasta el día que emergió el domo (20 de noviembre) y para el año 2001 las diferencias fueron 3cm en promedio, los coeficientes de correlación

(R) entre tiempo y deformación, oscilan en 0.85 en promedio de todas las observaciones. Es importante señalar que el reflector JC3 no muestra cambios significativos, este prisma es tangencial al volcán con respecto a la estación Membrillera.

Las deformaciones obtenidas en ambos períodos permitieron aplicar el modelo de Deformación Puntual de Mogi (1958). Este modelo se utiliza ampliamente para predecir deformaciones por intrusión de magma. El modelo simula una pequeña fuente de expansión esférica incrustada en un sistema homogéneo, en esta fuente de presión esférica con una profundidad y diámetro, se ejercen fuerzas de ascenso en todas direcciones, que provocan una deformación del terreno en la superficie (G. Natale y F. Pingue, 1996).

$$Mh = \frac{3a^3 P}{4\mu} \bullet \frac{R}{(F^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} \quad Mv = \frac{3a^3 P}{4\mu} \bullet \frac{F}{(F^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}}$$

Ecuaciones de Mogi, Mh = movimiento horizontal y Mv = movimiento vertical

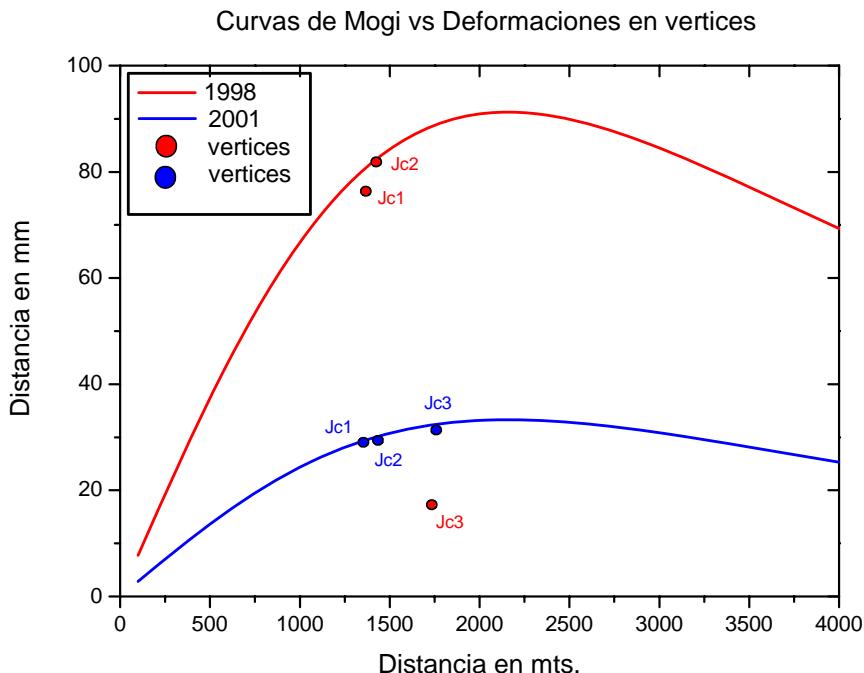


Figura 6. Curva de Mogi vs deformaciones medidas en 1998 y 2001.

Donde:

P = Presión hidrostática de la cámara magmática en kilobares (Kbar)

a = Radio de la cámara magmática en metros (km)

μ = Módulo de Young (constante de rigidez de la corteza = 1×10^{11})

F = Profundidad en kilómetros (km)

R = Distancia horizontal en kilómetros (km)

Con los datos obtenidos durante las campañas de medición, se modeló la posible ubicación de la fuente de presión que provocó el acortamiento de distancia entre los prismas y las estaciones bases en los períodos de 1998 y 2001, con la finalidad de tener un rango de valores posibles de deformación (Figura 6) en un futuro ascenso de magma.

Donde los datos teóricos que forman la curva de Mogi que se ajusta a las deformaciones obtenidas son para el año de 1998:

Tabla 3
Datos teóricos de la posible fuente de presión para 1998

Presión Hidrostática (P)	10 Kbar
Profundidad (F)	3.050 m
Radio de la esfera (a)	665 m
Rigidez de la corteza (μ)	1×10^{11}

Y para el año 2001:

Tabla 4
Datos teóricos de la posible fuente de presión para 2001

Presión Hidrostática (P)	3.65 Kbar
Profundidad (F)	3.050 m
Radio de la esfera (a)	665 m
Rigidez de la corteza (μ)	1×10^{11}

Conociendo los parámetros de la curva que genera el modelo de Mogi se puede calcular la deformación teórica (ecuación de Mogi Mh) respecto a la ubicación del prisma hacia a la base de medición en nuestro caso Membrillera, obteniéndose que:

Para 1998:

Tabla 5
Comparación de deformaciones teóricas y medidas en la estación Membrillera

<i>Prisma</i>	<i>Deformación modelo de Mogi</i>	<i>Deformación medida con EDM</i>	<i>Diferencia</i>
Jc1	78.01 mm	76.90 mm	+1.11 mm
Jc2	80.54 mm	82.40 mm	-1.85 mm
Jc3	88.63 mm	17.40 mm	71.23 mm

Y para 2001:

Tabla 6
Comparación de deformaciones teóricas y medidas en la estación Membrillera

<i>Prisma</i>	<i>Deformación modelo de Mogi</i>	<i>Deformación medida con EDM</i>	<i>Diferencia</i>
Jc1	28.47 mm	29.10 mm	-0.62 mm
Jc2	29.39 mm	29.60 mm	-0.20 mm
Jc3	32.35 mm	32.20 mm	+0.35 mm

Como se puede apreciar en las Tablas 5 y 6 los valores teóricos se asemejan a los medidos con diferencias mínimas, conociendo la precisión del distanciómetro (3mm+1ppm) estos valores son aceptables exceptuando como se ha mencionado anteriormente el prisma JC3 para 1998. En este estudio se tomaron los datos de la estación de control cercana a los reflectores, obteniendo con esto un mayor peso en la certidumbre de los datos arrojados por el distanciómetro tratando de estar dentro de los rangos de precisión proporcionados por el fabricante. Para la estación Membrillera así como para la estación Antenas los valores de la curva de Mogi se adaptan a los resultados de las mediciones de los prismas para estas épocas, situación que nos da confianza y certeza de los datos obtenidos en la estación Base 5 situada a 5,200m al Norte. Con los rangos de deformación calculados para estos períodos en un futuro se esperaba encontrar variaciones de la misma magnitud, en el año 2004 inicia una nueva actividad eruptiva, para este año las mediciones de la estación Membrillera ya estaban descartadas, los registros de datos para esta etapa eruptiva se realizaron desde la estación Antenas. Esta actividad se caracterizó por un crecimiento semi-lento evolucionando en 4 meses. La actividad explosiva del año 2002 afectó a los prismas cubriendolos de cenizas, las lecturas obtenidas en este periodo muestran cambios erráticos en la distancias medidas, al grado de que en el reflector JC1 no se tenían lecturas confiables obteniéndose variaciones del orden de varios milímetros es un espacio de tiempo de segundos. Las mediciones realizadas desde Membrillera dieron la pauta para descartar el deterioro del distanciómetro al corroborar las distancias desde este punto hacia los reflectores orientados a la

misma que mostraban las mismas incongruencias. Después del periodo de lluvias los reflectores se limpiaron arrojando nuevamente datos confiables hasta inicios del 2003 donde se perdió la reflexión de señal del prisma JC2 y JC3, teniendo mediciones únicamente el reflector JC1. A mediados de 2004 se retoma la señal de JC3 donde solamente se tienen dos mediciones y posteriormente se perdió comunicación total con este reflector quedando de esta manera JC1 como único punto de medición. Las otras dos bases de prismas fueron destruidas por bombas volcánicas. Con la información graficada de JC1 se muestra la tendencia de una deflación entre los meses de septiembre 2002 y diciembre 2003 del orden de 1cm aproximadamente (Figura 7), posterior a esta fecha inicia una inflación culminando la toma de datos en el mes de noviembre de 2004 con la destrucción total de todos los prismas del Nivel II. La magnitud de esta inflación fue de 26mm, magnitud similar a la calculada en el 2001. Teniendo un solo dato nos imposibilita hacer un diagnóstico certero de esta actividad.

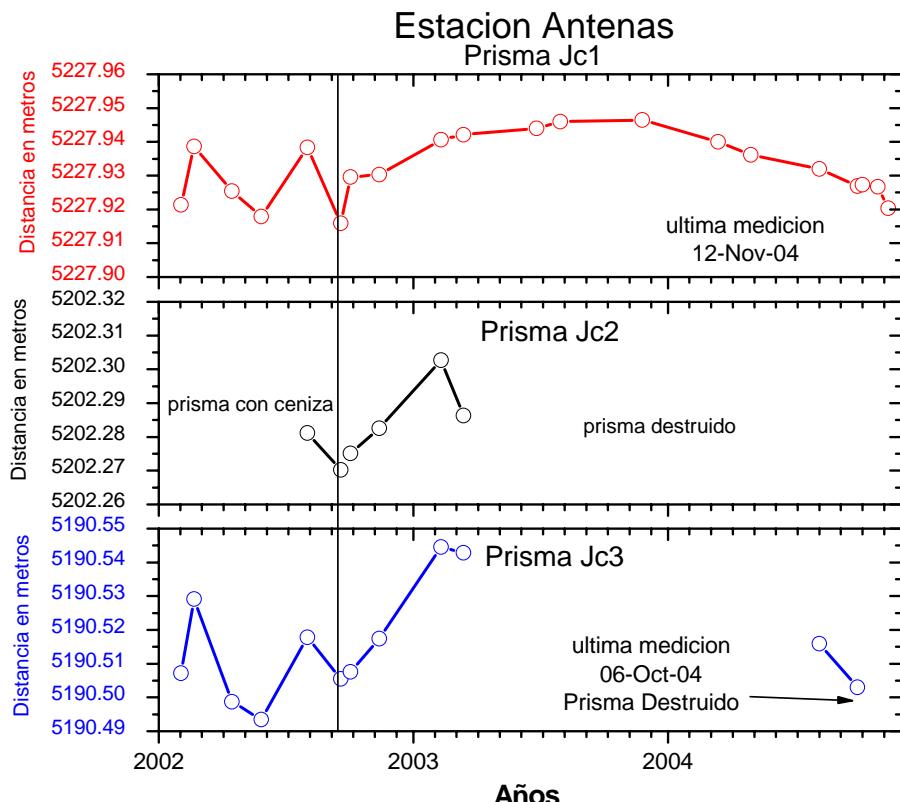


Figura 7. Mediciones de EDM, estación Antenas.

Después de la destrucción de todos los prismas del nivel II, en 2005 no se realizó ninguna campaña de EDM, como se menciona anteriormente personal del SEPCJ realiza un ascenso los primeros meses de 2006 hacia las estaciones de prismas, con la finalidad de re establecer los reflectores, lográndose reinstalar los prismas JC1, JC3 y reubicando JC2 por destrucción de la base a una posición cercana quedando renombrado como PCJ2. Ya desde la estación Base 5 se realizan mediciones por espacio de una hora obtenido de esta manera un promedio de 24 registros por día que nos permite llevar un seguimiento continuo y más estable. Con una base de datos mas extensa y diaria se tiene la posibilidad de seguir a detalle la evolución de un evento, situación que se presentó en los primeros meses del 2007, desafortunadamente la introducción accidental de un dato como constante de prisma proporcionó información desplazada unos milímetros de su posición real, este error fue corregido durante el posible ascenso de magma, motivo por el cual no se puede afirmar que los resultados obtenidos sea la deformación total causada por este ascenso, como se muestra en la grafica de este periodo (Figura 8).

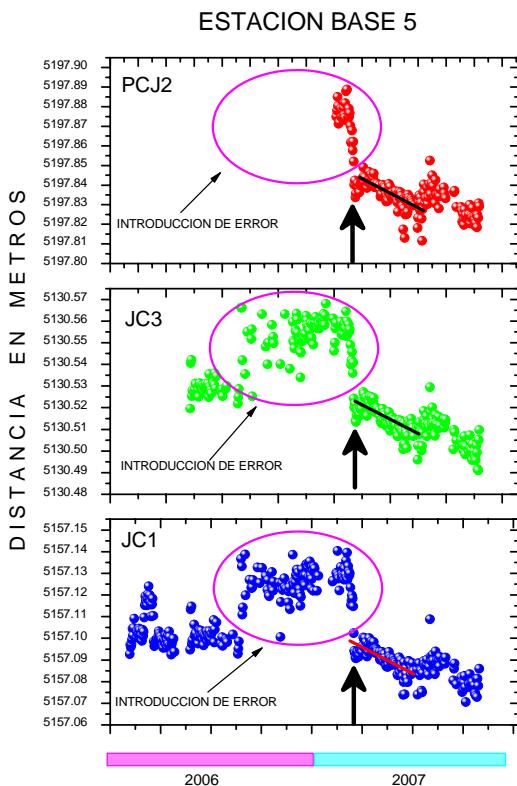


Figura 8. Datos de la estación Base 5.

La constante que fue introducida al distanciómetro probablemente fue de 24mm asumiendo que este dato fue insertado al tratar de realizar la observación de la frecuencia de emisión del DI3000s, el cual se obtiene siguiendo la secuencia de teclas (SET MODE 49), donde la tecla SET tiene como función secundaria la constante del prisma la tecla MODE es el número 2 y 49 la sentencia que muestra la frecuencia de medición, como la constante solo admite dos valores se dedujo que el dato fue 24. Antes de corroborar esta información el error fue corregido sin saber exactamente cual fue el valor que se le proporcionó al instrumento.

Corregido este error las medidas empiezan a mostrar un acortamiento de distancia de los reflectores indicando una inflación cuya magnitud promedio es de 12.4mm. Como se ha mencionado, la información alterada antes de este evento y su ajuste durante la evolución de esta actividad crean incertidumbre sobre la magnitud real de esta deformación. Situación que como en el 2004, no permite realizar un análisis con certeza de las características de deformación de este proceso eruptivo.

Conclusiones

En 1998 las distancias de los reflectores establecidos sobre la pared norte del Volcán de Fuego de Colima mostraron acortamiento en sus dimensiones dando inicio al registro por medio de medición de distancia de los ascensos de magma que se han dado durante el periodo de análisis de este texto. Desde el inicio de la técnica de EDM como parte de monitoreo volcánico en el CUEIV se han documentado 4 erupciones en el Volcán de Fuego, los resultados de las deformaciones medidas durante los periodos eruptivos de 1998, 2001, 2004 y 2007 han fortalecido el monitoreo de deformación volcánica, en la actualidad se cuenta con más instrumentación topográfica que junto con EDM genera la capacidad de correlacionar la información recolectada, dándole certeza a los desplazamientos de la corteza del Volcán de Fuego de Colima provocadas por el movimiento de magma hacia la superficie. Como se aprecia en las mediciones realizadas desde 1998 la capacidad de deformación del magma ascendente ha venido disminuyendo por lo que se crea la necesidad de contar con instrumentación de deformación mas precisa, capaz de detectar la mas mínima deformación en la inmediaciones del volcán, como se ha manifestado en la etapa eruptiva actual el magma lleva más de 30 meses ascendiendo donde las mediciones de EDM han manifestados cambios del orden de milímetros al inicio de esta actividad durando solo unos días, después de este tiempo los datos de EDM se han mantenido estables mientras que el magma sigue llenando el cráter del volcán, situación que se manifiesta en los demás parámetros de monitoreo.

El cambio de comportamiento del magma nos deja la incógnita de saber si en una próxima erupción el EDM tendrá la capacidad de mostrar cambios en las distancias, previniendo este, posibilidad en la actualidad se han instalado sensores

de inclinación *Tiltmeters*, estaciones de *Dry Tilt* cuya sensibilidad es superior al EDM. Junto con estos sensores se realizan mediciones con GPS. Esta instrumentación se implementó a partir de la disminución en la capacidad de observar cambios significativos de las distancias en los eventos eruptivos actuales. La técnica de EDM nos ha proporcionado información valiosa para preparar la instrumentación y técnicas de deformación volcánica idóneas que sirvan de apoyo en la detección de eventos eruptivos futuros.

Agradecimientos

Todo este trabajo no hubiese sido posible sin el apoyo en campo de los estudiantes de la Carrera de Ingeniero Topógrafo Geomático de la Facultad de Ingeniería Civil de Colima, sería extenso mencionar a cada compañero de brigada, junto con ellos a todo el personal de guardia en Base 5 de Protección Civil Jalisco, al Mayor Trinidad López Rivas director general del SEPCJ, Germán Pinto, Alfredo Hernández, especialmente a Francisco Cortina por su valioso apoyo en la preparación de la información de EDM para su proceso y análisis. A don Melchor Ursua, Director General de Protección Civil Colima por su incondicional apoyo hacia el CUEIV y a mis compañeros del CUEIV especialmente a Eliseo Alatorre quien sin su valiosa colaboración no hubiera sido posible realizar muchas de las campañas para la realización de las mediciones.

Bibliografía

- Breton M., Ramirez J.J., Navarro C. (2002), “Summary of the historical eruptive activity of the Volcan de Colima, Mexico (1519-2000)”, *Journal of Volcanoogy and Geothermal research*, vol. 117, pp. 21-26.
- De la Cruz-Reyna S. (1993), “Random patterns of occurrence of explosive eruptions at Colima Volcano, Mexico”, *Journal of Volcanology and Geothermal research*, vol. 55, pp. 51-68.
- Eugene Y. Iwatsubo and Donald A. Swanson (1992), “Trilateration and distance-Measurement Techniques used at Cascades and Other Volcanoes, in Ewert and Swanson, (eds.), Monitoring Volcanoes: Techniques ans strategies used by the staff the Cascades Volcano Observatory, 1980-1990”, *USGS Bulletin 1966*, pp. 103-114.
- Giuseppe De Natale and Folco Pingüe (1993), “Ground Deformation in collapse caldera structures”, *Journal of Volcaology and Geothermal Research*, vol. 55, pp. 19-38.
- Leica (1992), “Correciones PPM”, *Manual Serie Wild DI3000S*, Suiza, pp. 49-52.
- Medina Martínez F. (1983), “Análisis of the eruptive history of the volcan de Colima, Mexico (1560-1980)”, *Geofísica Internacional*, vol. 22, pp. 157-178.

Miguel Montes de Oca (1994), “Teoría de los errores”, *Topografía*, Alfaomega, México, pp. 52-53.

Mogi K. (1958), “Relation between the eruptions of various volcanoes and the deformations of the ground surface around them”, *Bulletin Earthquake Research Institute*, vol. 36, pp. 99-134.

Leitor de Mapas: uma proposta simples para transferência de dados de um mapa analógico para outro em formato digital

Jorge da Graça Raffo*

Abstract

In paperworks using Geographic Information System, comes up the necessity to incorporate information from paper maps or digital maps in matrix format, of which is not known the map projection and the datum reference. Other times these elements are known, but are not included in the repertoire of the GIS cartographic projections. To solve the problem, this paper proposes to use in an unconventional way, a feature available in almost all geographic information systems, the Digital Elevation Model (DEM). In this case, the DEM is used to model the variation of the geographic coordinates in the points from the map. Using this model, information can be transferred from the map to the GIS, without knowing the type of map projection and the datum of reference from the original map.

Key words: *GIS, Cartography, DTM, Raster.*

Resumen

En trabajos utilizando Sistemas de Informaciones Geográficas, muchas veces surge la necesidad de incorporar informaciones provenientes de mapas en papel o de mapas digitales en formato matricial, de los cuales no se conoce el tipo de Proyección Cartográfica o el Datum de referencia. Otras veces estos elementos son conocidos, pero no están incluídos en el repertorio de proyecciones cartográficas del SIG. Para resolver el problema, este trabajo propone utilizar en forma no convencional, un recurso que casi todos los sistemas de informaciones tienen, el Modelo Numérico de Terreno (MNT). En este caso, el MNT es usado para modelar la variación de las coordenadas geográficas de los puntos del mapa. Usando este

* Prof. Doutor do Departamento de Geografia da FFLCH-Universidade de São Paulo, Brasil,
e-mail: jggraffo@usp.br

modelo, pueden ser transferidas informaciones desde el mapa para el SIG, sin necesidad de conocer el tipo de proyección cartográfica o el Datum de referencia del mapa original.

Palabras clave: *SIG, Cartografía, MNT, Raster.*

Resumo

Em trabalhos utilizando Sistemas de Informações Geográficas, muitas vezes surge a necessidade de incorporar informações provenientes de mapas em papel ou de mapas digitais em formato matricial, dos quais não se conhece o tipo de Projeção Cartográfica ou o Datum de referência. Outras vezes estes elementos são conhecidos, mas não estão incluídos no repertório de projeções cartográficas do SIG. Para resolver o problema, este trabalho propõe utilizar em forma não convencional, um recurso que quase todos os sistemas de informações têm, o Modelo Numérico de Terreno (MNT). Neste caso, o MNT é usado para modelar a variação das coordenadas geográficas dos pontos do mapa. Usando este modelo, podem ser transferidas informações desde o mapa para o SIG, sem necessidade de conhecer o tipo de projeção cartográfica ou o Datum de referência do mapa original.

Palavras-chave: *SIG, Cartografia, MNT, Raster.*

Introdução

É bem sabido pelas pessoas atuantes nas ciências vinculadas ao espaço geográfico, tanto em pesquisa como em atividade profissional, da necessidade de uso de mapas. Com o surgimento dos Sistemas de Informações Geográficas e seu uso cada vez mais generalizado na sociedade, a necessidade de mapas multiplicou-se, especialmente daqueles que se encontram em formato digital.

São utilizados mapas na Geografia, na Geologia, na Geofísica, nos estudos ambientais, nos projetos de Engenharia, no planejamento urbano, no estudo da evolução e a expansão das epidemias, no estudo da distribuição da renda e no índice do desenvolvimento dos países e das regiões, na estimativa dos investimentos etc., e assim se poderia continuar uma longa lista de aplicações da Cartografia.

Por outro lado, o aparecimento da Internet tem possibilitado a divulgação da informação, do conhecimento, e também dos mapas.

No entanto, a maioria dos mapas existentes na Internet apresenta sérios problemas para seu uso imediato nos Sistemas de Informações Geográficas, sendo os mais importantes indicados a seguir:

- 1) Os mapas existentes na Internet geralmente estão em um formato de arquivos chamado matricial ou Raster. Decodificar, interpretar automaticamente este tipo

de informação e cruzar a mesma com outras informações do SIG, sem antes realizar um complexo processo de georreferenciamento da imagem não é possível.

- 2) Caso se escolha efetuar o georreferenciamento, o mesmo exige que: a) seja conhecida a Projeção Cartográfica assim como o Datum em que o mapa-imagem se encontra, b) que o sistema de informações geográficas receptor do mapa, possua o tipo de Projeção Cartográfica e o Datum do referido mapa no seu repertório de projeções, c) que existam coordenadas conhecidas de pontos do mapa-imagem, as quais deverão ser informadas ao sistema receptor, d) que o número de pontos de coordenadas conhecidas seja o suficiente para os requerimentos de ajuste do SIG empregado.
- 3) Após realizado o processo de georreferenciamento, sobre o mapa-imagem se deverá efetuar uma “vetorização” dos elementos da imagem. Esta vetorização poderá ser feita manualmente, ou através de um processo de Classificação do mapa-imagem e posterior transformação para o formato vetorial. A Classificação da imagem é numa operação longa e que exige num bom conhecimento da técnica de “Tratamento Digital de Imagens” por parte do usuário.
- 4) Caso tudo o processo anterior tenha sido realizado, o mapa-imagem agora em formato vetorial, ainda encontra-se no sistema de projeção da imagem original. Como geralmente, o sistema cartográfico utilizado no mapa receptor não coincide com o usado no mapa original, deverá ser efetuada numa transformação entre sistemas cartográficos. Em alguns SIGs esta operação não pode ser realizada internamente, o que obriga a utilizar outros software específicos de transformação. Nos casos em que a transformação pode ser realizada, exige um conhecimento bastante aprofundado do uso do software e especialmente de conceitos de Cartografia e Geodésia.

Para se ter uma idéia da quantidade de projeções cartográficas existentes, a publicação, *Comprehensive Library of Cartographic Projection Functions* de Evenden, G. (2005), cita mais de 150 delas. O livro *Map Projections* de Pearson, F. (1990) analisa e discute 35 projeções de tipos diversos. Por outro lado os referenciais geodésicos também são em número muito elevado. O *Geodetic Datum List* de Dana, P. (1997) cita 125 referenciais geodésicos diferentes. Combinando ambas coisas, o número de sistemas de representação cartográfica que cada software do tipo SIG deveria incluir seria muito grande, em torno de 10,000 situações diferentes de representação, na prática isto não é possível. Por tal motivo, os Sistemas de Informações Geográficos apresentam as projeções e os referenciais geodésicos mais utilizados pela maioria dos presumíveis usuários do referido

software. Por exemplo, o software Spring¹ utilizado nesta pesquisa apresenta 13 projeções cartográficas e 5 sistemas geodésicos de referencia. Caso o usuário possuir um mapa em alguma projeção cartográfica que não estiver nas disponibilizadas pelo sistema, o mesmo não poderá ser georreferenciado. Além disso, muitas vezes resulta interessante incluir em projetos de SIG, informações de mapas que se encontram em sistemas de projeção cartográfica desconhecidos, imagens de satélite sem georreferenciamento, fotografias panorâmicas, croquis do terreno, mapas históricos etc. Todos estes produtos podem ser oriundos da Internet ou resultantes da digitalização através de scanner, de documentos analógicos como por exemplo fotografias em papel, mapas impressos etc. Estes produtos geralmente não podem ser incluídos nos sistemas de Informações Geográficas.

A partir destas constatações, de refletir sobre as dificuldades que surgem quando se pretende importar e usar imagens num SIG surgiu a proposta deste trabalho: como utilizar nos SIGs, mapas e imagens em formato raster dos diversos tipos indicados anteriormente, de forma a contornar os problemas antes mencionados?

Cabe observar que não é preocupação deste trabalho a transformação de arquivos de formato Raster para Vetorial ou inversamente, quando são conhecidos os sistemas cartográficos de referencia. Este problema já faz bastante tempo que foi resolvido e existe software para realizar isso inclusive em forma automatizada. Em resumo, a questão que trata esta pesquisa é: como incorporar os dados de uma fotografia aérea panorâmica obtida por acaso, num mapa com determinada projeção cartográfica.

Como busca a resposta desta pergunta surgiu esta pesquisa e seu resultado acabou sendo uma metodologia que aparece relatada seguidamente.

Objetivo

Este trabalho visa estabelecer uma metodologia que possibilite incorporar num Sistema de Informações Geográficas, informações oriundas de mapas ou imagens em formato Raster (imagens e mapas da Internet, mapas e fotografias em papel digitalizados através do uso de Scanner, etc.) que por algum motivo não possam ser georreferenciados no SIG utilizado, e consequentemente não possam ser incorporados no sistema, na forma habitual.

¹ O software Spring é um Sistema de Informações Geográficas desenvolvido pelo INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Brasil. Este software é gratuito e possui um número considerável de recursos computacionais para pesquisas em Geoprocessamento. O referido programa é bastante utilizado especialmente ao nível de pesquisa acadêmica particularmente no Brasil. Pode se efetuar o download do programa na página de Internet: <http://www.dpi.Inpe.br/spring/>

Revisão Bibliográfica

Modelo numérico

Os sistemas de informações geográficas operam com um modelo numérico, isto é, uma representação matemática do espaço. Estes modelos matemáticos do espaço podem ser de dois tipos: matricial ou vetorial.

O modelo matricial, também conhecido como Raster, representa o espaço por meio de uma ordenação de números conhecida na matemática como Matriz. Uma matriz é só um conjunto de números ordenados, mas que pode ser assimilado graficamente a um tabuleiro de xadrez. Cada elemento do tabuleiro chamado *pixel* fica individualizado por um par de números que indicam a linha e a coluna da referida célula no tabuleiro. Em cada célula armazena-se um valor que corresponde ao atributo do assunto tratado nesse modelo, no local do terreno correspondente a essa célula da matriz. Por exemplo, se for tratada a Orografia, o atributo de cada pixel será a altitude dos pontos do terreno.

Os formatos de arquivo de tipo matricial mais utilizados são JPEG, TIFF, BMP, GIF, etc. Outra forma de representar no computador o espaço geográfico consiste em identificar cada objeto por sua própria geometria, por sua conformação de pontos, linhas e áreas, assim como por sua relação espacial com outros objetos circundantes, característica conhecida na Matemática como Topologia. Este tipo de representação do espaço geográfico é chamado de Vetorial. Os formatos de arquivo de tipo vetorial mais utilizados são dxf, dwg, shp, etc.

Ambos modelos apresentam vantagens e desvantagens relativas, um com o outro.

O modelo matricial exige maior tamanho de memória, isto é, maior espaço de armazenamento no computador, que o modelo vetorial. Por este motivo, nos inícios do desenvolvimento do “Geoprocessamento” existia uma clara preferência pelo uso de modelos vetoriais, mas na medida que o preço da memória (*hardware*) foi diminuindo e a resolução dos equipamentos gráficos foi aumentando a tendência temido mudando, e hoje são utilizados ambos modelos, com uma maior preferência do modelo matricial, especialmente quando vai ser utilizada Álgebra de Mapas, a qual é um dos grandes diferenciais dos SIG com os CAD.

Por outro lado, a qualidade dos gráficos gerados pelo modelo vetorial é superior a qualidade gráfica oriunda das matrizes.

Deve se considerar também, que a estrutura de dados e o processamento dos arquivos matriciais é bem mais simples que os vetoriais, e consequentemente a modelagem do espaço em forma matricial é bem mais simples que em forma vetorial.

Modelo numérico do terreno

Como foi indicado, o espaço pode ser modelado em forma matricial, também chamado de Raster, ou em forma vetorial. Quando a modelagem corresponde à forma do terreno, sua orografia e hidrografia, e costume denominar ao produto gerado de: Modelo Numérico do Terreno (MNT), Modelo de Elevação Digital (MED) ou em Inglês, *Digital Terrain Model* (DTM). Embora originalmente a modelagem foi pensada para representar o terreno e seu relevo, geralmente aplicações de Topografia e Engenharia Civil, posteriormente percebeu-se que poderia ser modelado desta forma, qualquer fenômeno que pudesse ser representado ou imaginado como uma superfície, por exemplo, uma função de duas variáveis independentes. A partir de essa observação também se passou a utilizar a expressão Modelo Digital de Superfície, ou *Digital Surface Model* (DMS). Neste trabalho é modelada a distribuição espacial das variáveis Latitude e Longitude Geográfica, as quais no caso dos mapas, são funções matemáticas geradas pelas formulas correspondentes a Projeção Cartográfica empregada e não a forma do terreno, em função do qual resulta mais adequado falar de Modelo Digital de Superfície das variáveis Latitude e Longitude.

Quando o DMS ou o MNT é modelado em forma matricial e denominado de “Estrutura de Grade Regular” ou também (DEM) (*Digital Elevation Model*). Quando é modelado em forma vetorial e chamado de Rede Irregular de Triângulos (TIN) (*Triangulated Irregular Network*).

Amostragem

Para poder efetuar a modelagem do fenômeno em questão, são necessários dados do referido fenômeno em diversos lugares do espaço. Estes dados levantados são chamados de amostras. Os dados poderão ser utilizados na modelagem por triangulação ou por grade retangular. Em ambos casos é habitual efetuar um adensamento de dados para efetuar uma modelagem mais “realista”. Este adensamento efetua-se utilizando métodos de Interpolação Esse processo é constituído de duas partes:

- I) a definição de um relacionamento de vizinhança, isto é, identificar quais pontos são os vizinhos apropriados a serem utilizados e
- II) a escolha do método matemático que calculará os valores desconhecidos.

Quando a interpolação utiliza expressões matemáticas de primeiro grau denomina-se interpolação linear, quando as expressões são de grau diferente do primeiro, a interpolação chama-se não linear. Às vezes resulta necessário calcular valores fora da região limitada pelas amostras. Neste caso fala-se de extrapolação,

e também são utilizados métodos matemáticos. Os valores obtidos por Extrapolação apresentem uma confiabilidade menor que os obtidos por Interpolação.

Interpolação

Segundo Miranda (2005) as técnicas de densificação a partir dos dados amostrados incluem diversos métodos como: Combinação Linear Ponderada, Medias, Polígonos de Voronoi, Inverso da Distancia, Triangulação, Kriging etc. Neste trabalho foi utilizado o software Spring e os recursos de densificação disponibilizados pelo sistema são:

- a) Quando for usada Grade Triangular, e utilizado o método de Delauney puro ou do método de Delauney com restrições de Isolinhas ou de Menor angulo, e posteriormente a Interpolação Linear ou a Interpolação Quintica. Para maiores informações sobre os conceitos teóricos da triangulação de Delauney podem ser consultados Sheimy et al (2005), assim como Girard e Girard (1999) Também resulta importante consultar a pagina do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), instituição desenvolvedora do software usado, sobre os métodos de interpolação e esclarecimentos da parte operacional dos mesmos, assim como Felgueiras, C. (Apostila curso GIS Brasil 1998).

O professor Landim (2000), efetua uma análise dos diversos métodos de interpolação e na pagina 5 de seu trabalho indica entre outras coisas, que o método de Interpolação Linear a partir da triangulação tem as vantagens de ser rápido, fiel aos dados originais, e que a superficie pode ser interpolada entre os pontos amostrados. Por outro lado apresenta a desvantagem de não permitir extrapolação, gerar superfícies muito angulosas, e as Isolinhas geradas podem apresentar fortes mudanças de orientação. O professor Landim sugere utilizar a Triangulação quando a distribuição de dados for bastante regular, os valores estimados necessários estejam dentro da região amostrada, ou na região existam mudanças quantitativas bruscas da variável estudada, como, por exemplo, encostas íngremes no caso da Topografia. Por outro lado observa que esta metodologia não deveria ser utilizada quando as Isolinhas não devam apresentar quebras ou a distribuição dos dados e espacialmente muito irregular.

- b) Quando for usada Grade regular os métodos disponibilizados no Spring são: Vizinho mais próximo, Media Simples e Media Ponderada, Interpolador Bilinear e Interpolador Bicubico. Maiores esclarecimentos sobre estes métodos podem ser achados em Felgueiras, C. (Apostila curso GIS Brasil 1998), e disponível na página de Internet do INPE, indicada nas referencias bibliográficas.

Material e métodos

Materiais utilizados no projeto

Cabe observar que os fundamentos teóricos assim como a metodologia geral apresentada nesta pesquisa independem do software utilizado. Neste caso foi usado o software Spring 4.3.2., programa gratuito desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, e o software auxiliar de apoio foi o Openoffice.org.1.1.0., suite de aplicativos escritório desenvolvido pela OpenOffice.org Source Project, Sun Microsystems Inc. (2009), baseado em uma antiga versão do StarOffice. o mapa-imagem em formato Raster utilizado, foi obtido da Internet e o endereço da pagina em que se encontra aparece nas referencias bibliográficas.

O computador utilizado neste trabalho foi um desktop Pentium 4 com 512 de RAM.

Resumo do método empregado

A elaboração de um leitor de mapas envolve varias etapas que são indicadas a seguir:

- 1) *Preparação do material.* Obtenção dos mapas ou imagens em formato Raster seja resultado de scannerizar mapas ou imagens em papel ou por importação da Internet ou de outras mídias. Em algumas oportunidades será preciso previamente transformar a formato Raster compatível com o sistema utilizado.

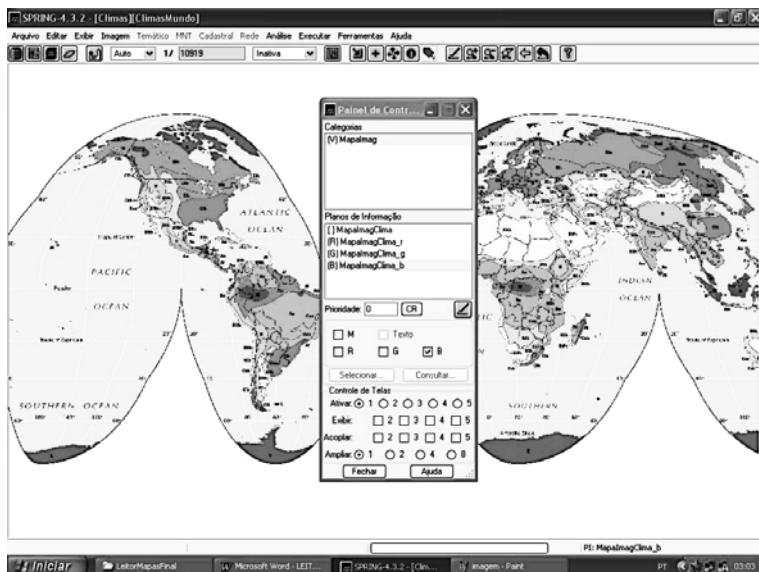


Figura 1. Imagem de Internet trazida ao SPRING.

- 2) *Implementação de dois Sistemas de Informação Geográfica.* Um deles servira para efetuar a exportação dos pontos da imagem original (Sistema fornecedor ou exportador) e o outro para receber os pontos (Sistema receptor ou importador).
- 3) *Criação do MNT.* No sistema fornecedor será construído o modelo numérico de Latitudes e Longitudes da região em questão.
- 4) *Leitura de Pontos.* Apos construído o MNT, efetua-se a leitura das coordenadas geográficas dos pontos escolhidos a serem transferidos, as quais serão salvas no formato txt e logo transformadas ao formato dbf (estas são condições específicas no caso do usa do Spring).

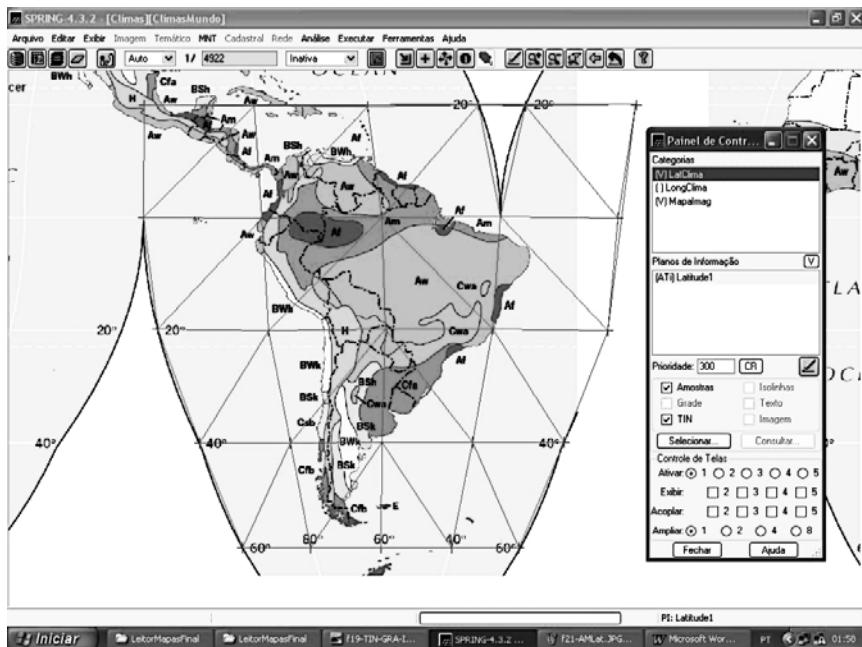


Figura 2. Amostras de Coordenadas.

- 5) *Transformação de formato.* Para que os pontos possam ser desenhados no sistema importador, será necessário que o arquivo esteja no formato ASCII-Spring, por tal motivo, ainda no sistema fornecedor, efetua-se a transformação de formato.
- 6) *Importação dos pontos.* Por último, o arquivo ASCII-Spring é transferido para o sistema importador. Os pontos são desenhados e a partir deles podem ser realizadas as operações de interesse, por exemplo, desenhar o polígono da região.

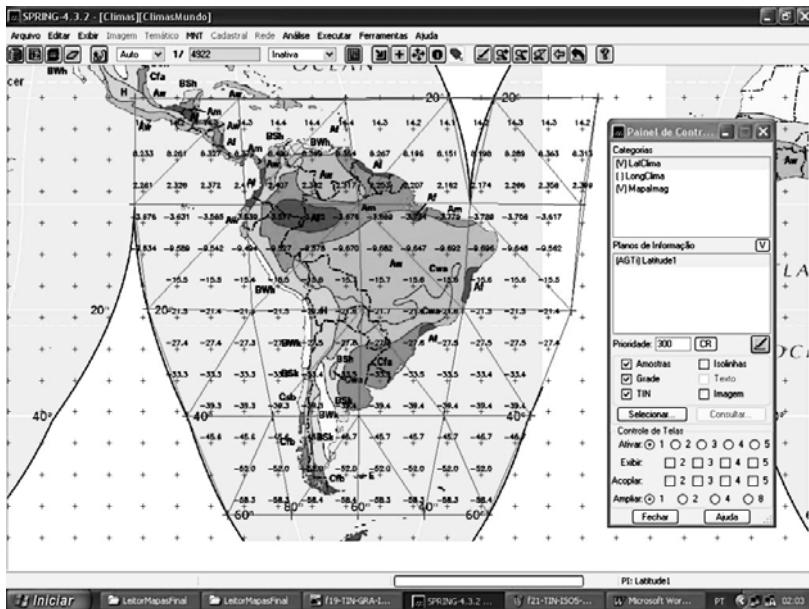


Figura 3. Geração de Grades Numéricas a partir das amostras.

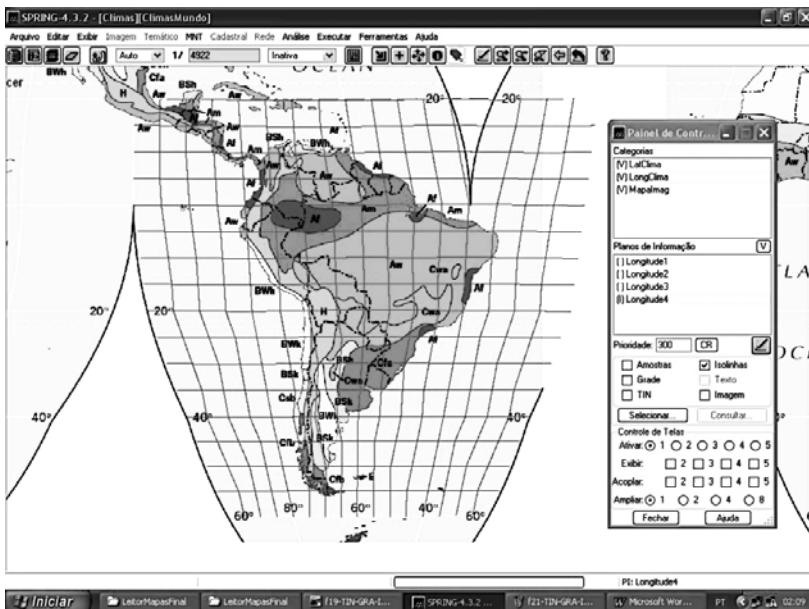


Figura 4. Criação de Isolinhas de Coordenadas.

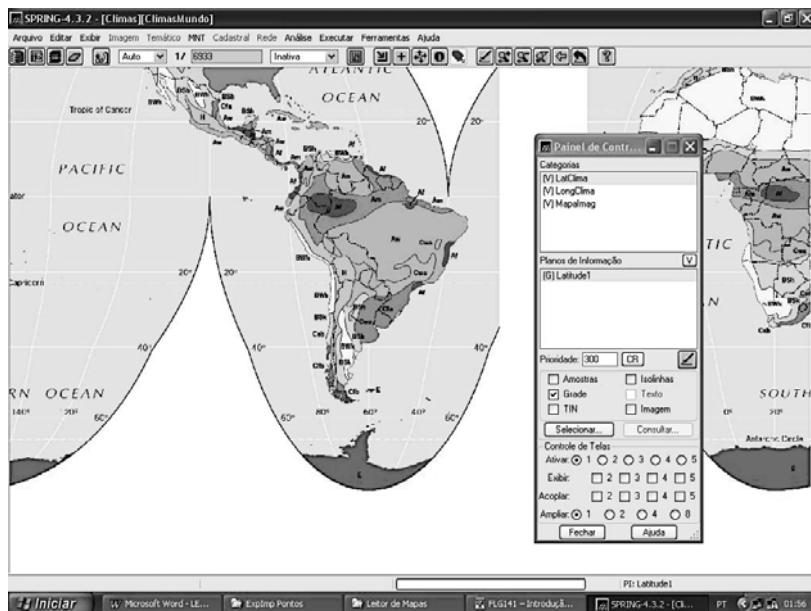


Figura 5. Exportação de Pontos.

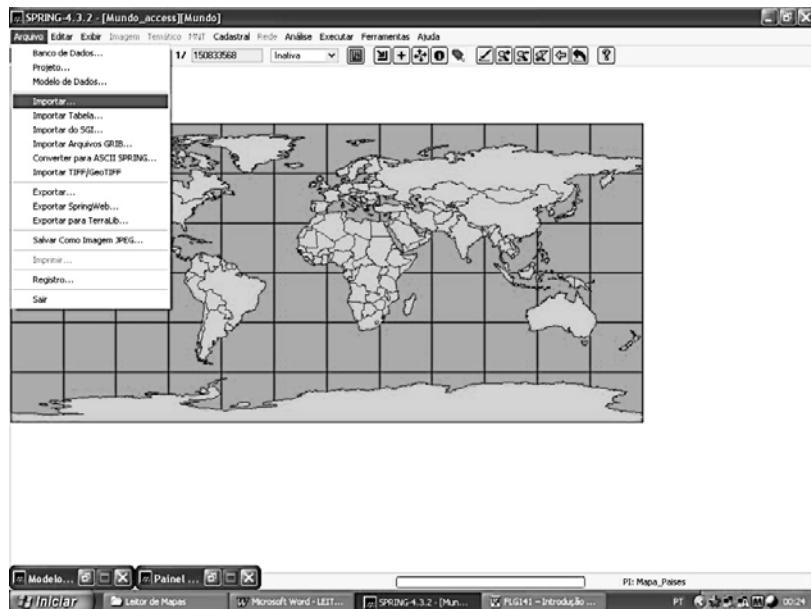


Figura 6. Importação dos pontos no SIG Receptor.

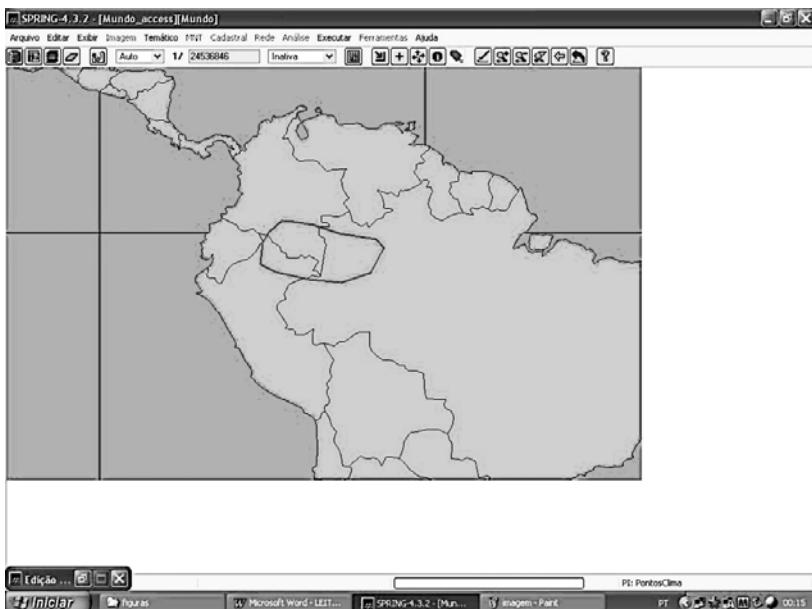


Figura 7. Polígono importado e georeferenciado.

Resultados

O resultado de toda a metodologia desenvolvida no trabalho esta apresentado graficamente na Figura 7.

Na Figura 1 é apresentado o mapa em formato Raster, fornecedor de informações. O referido mapa obtido da Internet, não tem indicada a Projeção Cartográfica no qual foi elaborado e alem disso apresenta uma separação na região do Oceano Atlântico como se fosse o resultado de scanner um mapa em papel que se encontrava em duas paginas de um livro. Este fato ficou oculto pelo menu do Spring na Figura 1, mas pode ser observado nas Figuras 2, 3, 4, e 5. Deve se observar também, que deste mapa não é conhecida a superfície geodésica utilizada como referencia. Como resultado dessas duas coisas, este mapa não poderia ser geo-referenciado pelos métodos tradicionais.

A partir deste mapa foi de interesse transferir para o mapa receptor a região “No Dry Season “do’Humed Equatorial Climate” existente na região amazônica na fronteira de Brasil, Colômbia e Peru, e limitando com a fronteira da republica do Equador.

Na Figura 6 aparece o mapa receptor. Este mapa esta em Projeção Cilíndrica Equivalente, com superfície geodésica de referencia o SAD 69. O resultado de tudo o processo gerou o mapa da Figura 7. Aqui aparece o mapa da Figura 6 incluindo a região escolhida no mapa da Figura 5.

Discussão e recomendações

A qualidade do resultado da transferência de informações entre a imagem fornecedora e a imagem receptora depende de vários fatores: I) a esperteza do operador em escolher os pontos, II) a acuidade operacional para a marcação dos pontos, e especialmente III), a montagem correta do modelo numérico da superfície representativa da Latitude e da Longitude.

- I A esperteza do operador na escolha nos pontos representativos da área em questão é um fator importante para que a forma transferida corresponda à forma original. O número de pontos escolhidos deve ser o suficiente para coletar as diferentes mudanças de curvatura da forma original. Deve-se lembrar que a forma da curva original será transferida como uma linha poligonal para a imagem receptora. Por outro lado o número de pontos não deverá ser tão grande que exija um esforço e tempo desproporcionado desta atividade dentro do projeto geral.
- II Independente da esperteza do operador na escolha dos pontos deve-se considerar também a resolução do mouse empregado e a acuidade visual do operador para efetuar a marcação dos pontos.
- III Outro elemento importante para obter-se um bom resultado do processo, é a montagem correta do DMS. Como as situações possíveis do mapa fornecedor são muito variadas já que existe um grande número de projeções cartográficas, resulta impossível estabelecer uma norma fixa para a seleção das amostras para a construção do modelo numérico. Por esse motivo o operador deve-se guiar pelo bom senso na escolha dos pontos que melhor modelem a superfície numérica de Latitudes e de Longitudes.

No exemplo utilizado, o autor do trabalho, escolheu como amostras, os pontos de interseção dos Meridianos e Paralelos entre as Latitudes $+2^{\circ}1'$ e -60° e das Longitudes entre -20° e -100° , como pode ser observado na figura 2. Escolheu-se a referida região por compreender à América do Sul, onde geralmente o autor e sua equipe desenvolvem os trabalhos de pesquisa.

Cabe observar também, que alguns pontos do Meridiano de Longitude $-2^{\circ}1'$ foram transferidos do mapa direito da figura para o mapa esquerdo.

Conclusões

A proposta apresentada neste trabalho viabiliza a transferência de informações de cartas existentes em papel, assim como em arquivos matriciais, imagens de satélite não georeferenciadas e fotografias aéreas panorâmicas, para Sistemas de Informação Geográfica, permitindo desta forma incluir estas informações em

arquivos vetoriais ou matriciais dos referidos SIGs, enriquecendo a potencialidade destes sistemas.

A metodologia utilizada na proposta é relativamente simples e utiliza os recursos de Modelo Numérico do Terreno já existentes no Spring e na maioria dos sistemas de informações geográficas. Um usuário com conhecimentos básicos dos software utilizados neste trabalho tem condições de utilizar a metodologia apresentada.

Seria interessante que os desenvolvedores de software tipo SIG, implementassem a metodologia dentro dos programas para que a mesma pudesse funcionar em forma automatizada.

Bibliografia

- Dana, P. Geodetic Datum List. Department of Geography, University of Texas at Austin, <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/datum/dlist.html>, página visitada em 30/08/09.
- El-Sheimy N., Valeo C., Habib, A., *Digital Terrain Modeling*, Ed. Artech House, Norwood, USA, 2005.
- Evenden, G., A Comprehensive Library of Cartographic Projections Functions, <http://www.scribd.com/doc/17712009/Manual-of-Cartography>, página visitada em 30/08/09.
- Felgueiras, C., Modelagem Numérica do Terreno, capítulo do curso “Geoprocessamento para projetos ambientais, GIS Brasil 1998”, http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/4mnt.pdf, página visitada em 30/08/09.
- Girard M. e Girard C., *Traitemet des données de Télélétection*, ED Dunond, Paris 1999.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Geração de Grades. file:///C:/Arquivos%20de%20programas/spring432_Port/helpport/mnt2.htm#gra de_triang, página visitada em 30/08/09.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Spring, página de download do software, <http://www.dpi.inpe.br/spring/> Página visitada em 30/08/09.
- Koppen, G., World Climates Map, http://www.boqueteweather.com/images/world_climate_map.jpg, página visita- da em 30/08/09.
- Landim, P., *Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas*, texto didático, Ed. UNESP-Rio Claro, 2000.
- Miranda, J., *Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas*, Ed. Embrapa, Brasilia, 2005.
- Pearson, F., *Map Projections: Theory and Application*, Ed. Press, Florida, USA, 1990.
- Sun Microsystems Inc., Home page OpenOffice.org, <http://www.openoffice.org/>, página visitada em 30/08/09.

Estudo da variabilidade do nível do Rio Solimões: transformada em ondaletas

Augusto César Barros Barbosa^{*}
Denizar Blitzkow^{**}

Resumen

La cuenca del Amazonas tiene una gran variación en su masa de agua a lo largo del año como consecuencia de la sequía y de las inundaciones en los períodos relacionados con las estaciones del año. Las perturbaciones de la gravedad pueden ser derivadas de los modelos geopotenciales del satélite GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*). Utilizando la metodología denominada “inversión”, se convierten los disturbios de la gravedad en el equivalente de la altura del agua (EWH). De esta manera, es posible visualizar y cuantificar las variaciones de esa altura a lo largo de los ríos. Los valores de EWH obtenidos a partir del GRACE fueron comparados con los registros de limnímetros de la ANA (Agencia Nacional de Aguas). A través de la Transformada en Ondaleta continua (TO) ha sido posible percibir características similares entre los dos conjuntos de datos, así como las grandes diferencias en la variabilidad de la energía en diferentes períodos a lo largo de pocos años. La validez de los datos del satélite, en comparación con los obtenidos de limnímetros de ANA también fue verificada a partir de esa misma técnica.

Palabras clave: *geopotencial, altura, ondaletas, hidrología*.

* Instituto de Astronomía, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, IAG/DCA-USP, Brasil, correo electrónico: barbosa@model.iag.usp.br

** Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Transporte, Laboratório de Topografia e Geodesia, Universidade de São Paulo, EPUSP-PTR/LTG, São Paulo, Brasil, correo electrónico: dblitzko@usp.br

Abstract

The Amazon basin has a large variation in its water mass along the year as a result of drought and flood in periods related to the weather seasons. From GRACE's geopotential models, gravity disturbances can be derived. Utilizing the methodology called "reverse", they are converted in Equivalent Water Height (EWH). In this way, it is possible to visualize and to quantify the height variations along the rivers. The EWH obtained from GRACE was compared with records of limnimeters from ANA (Agência Nacional de Águas). The continuous Wavelet Transform (WT) has shown similar characteristics between the two sets of data, as well as large differences in the variability of energy in different periods along a few years. The validity of data from the satellite compared to those obtained from limnimeters of ANA was also verified, using this same technique.

Keywords: *Geopotential, Height, Wavelets, Hydrology*.

Resumo

A bacia amazônica sofre uma grande variação de massa d'água ao longo do ano em consequência dos períodos de seca e cheia inerentes às estações climáticas. Os modelos do geopotencial do satélite GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*) permitem obter os distúrbios de gravidade. Utilizando a metodologia denominada "inversão", estes foram convertidos em equivalente da altura d'água (EWH). Dessa forma, foi possível visualizar e quantificar as variações destas alturas ao longo dos rios. Os valores do EWH obtidos do GRACE foram comparados com os registros dos limnímetros oriundos da ANA (Agência Nacional de Águas). Através da Transformada em Ondaletas (TO) na forma contínua foi possível perceber características similares entre os dois conjuntos de dados, assim como grandes diferenças na variabilidade da energia em períodos distintos entre alguns anos. A validade dos dados do satélite comparados aos obtidos dos limnímetros da ANA também foi verificada, utilizando-se desta mesma técnica.

Palavras-chave: *Geopotencial, Altura, Ondaletas, Hidrologia*.

Introdução

Com o objetivo de melhor compreender a variabilidade do nível do rio Solimões na estação de Tefé – Missões na região Amazônica, foram utilizados duas fontes de informações – (i) dados do satélite GRACE e (ii) dados *in situ* da ANA (Agência Nacional de Águas). A análise espectral dos dados foi feita utilizando-se uma técnica de origem bem recente, mas que se tornou bastante conhecida pela comunidade científica devido à sua grande aplicabilidade na análise de sinais. A mesma denomina-se Transformada em Ondaletas na forma contínua – TO nas seguintes alternativas: Transformada Simples em Ondaletas – TS; Transformada Cruzada em Ondaletas – TCO e Transformada Coerência em Ondaletas – TC (esta

última utiliza o teste de Monte Carlo em 95% de confiança estatística), para esta análise foi utilizado a Ondaleta-mãe de (Morlet, 1983). A primeira destas técnicas é aplicada apenas em séries individuais, enquanto as outras duas, combinam os espectros de duas séries simultaneamente (Barbosa e Blitzkow, 2008). As análises espectrais foram obtidas valendo-se de séries temporais dos limnômetros da ANA e do satélite GRACE para a mesma estação e para um mesmo período de estudo.

A partir de observações do referido satélite foram obtidos modelos do geopotencial com intervalo de 10 dias. Os mesmos consistem em conjuntos de coeficientes das funções harmônicas esféricas com grau e ordem 50. A partir de um modelo do geopotencial obtém-se o potencial perturbador e outras componentes do campo anômalo, entre elas, o distúrbio da gravidade. Mediante um procedimento de inversão (Ramillien, *et al.*, 2005) os distúrbios foram convertidos em equivalente da altura d'água. Para isso, foi necessário levar em consideração a deformação elástica da crosta através dos números de Love.

A variação do nível de um rio é uma consequência de várias características muito importantes, por exemplo, a vazão e a extensão do leito do rio, incluindo as áreas alagadas. Como define (Tucci, 1993), a variação do nível ou a vazão de um rio depende basicamente das características climatológicas e físicas da bacia hidrográfica concernente, sendo que as distribuições temporais e espaciais das chuvas se mostram como as principais condições climáticas para as variações do nível de um rio.

Em vista do que foi mencionado no parágrafo anterior, existem registros bem antigos de níveis de rios que fornecem também preciosas informações sobre variações climáticas (Peixoto e Oort, 1992), bem como sobre fenômenos geofísicos associados. As cheias de rios resultam em implicações sociais e econômicas muito traumáticas com dificuldades extremas em função da falta de uma estrutura de saneamento adequada, com consequências na vida das populações ribeirinhas que sofrem com as grandes cheias.

Objetivos

Serão analisadas diversas características da variabilidade do nível do rio Solimões na estação de Tefé – Missões através de dados de satélites e dados *in situ* para um mesmo período de estudo. Uma análise espectral utilizando-se a TO será feita, procurando-se evidenciar similaridades como também diferenças entre os dois conjuntos de dados. Esta técnica também possibilita a análise da variabilidade na energia das várias escalas (períodos) inerentes em cada conjunto de dados e a associação no tempo com a climatologia referente às estações do ano. Dessa forma, o nível do rio Solimões poderá ser avaliado através de seu ciclo anual, semi-anual e escalas intrazonais até períodos menores.

Dados e Metodologia

Os dados utilizados na elaboração deste trabalho consistem em médias móveis ponderadas de 10 dias do nível do rio Solimões para um período de 13 de agosto 2002 a 04 de maio de 2006. O primeiro conjunto de dados foi adquirido a partir do sítio da ANA. Esta agência tem como finalidade, implementar em sua esfera de atribuições, a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9433 de 8 de janeiro de 1997. Esta política é também conhecida como “Lei das Águas” - instrumento legal inspirada no modelo francês que permite a gestão participativa e descentralizada dos recursos hídricos; para mais informações acesse <http://www.ana.gov.br/>.

A ANA vem operando uma rede de estações em todo o Brasil e, em particular na Região Amazônica, nas quais são medidas, entre outras grandezas, chuvas, níveis de água dos rios, qualidade da água e sedimentos. Esta rede de monitoramento permite o acompanhamento da evolução dos níveis de água dos principais rios dessa região, dentre eles o rio Solimões.

O segundo conjunto de dados foi obtido do satélite GRACE que faz parte do programa SENH (*Solid Earth and Natural Hazards*) da NASA (National Administration Space Agency), em parceria com o Centro Alemão de Pesquisa Aérea e Astronáutica (DLR – Deutche Forschungsanstalt für Luft und Raumfahrt). O objetivo principal deste programa é o estudo do campo gravitacional terrestre e suas variações no tempo Ramillien *et al.* (2004, 2005, 2006).

Toda a problemática inerente à variabilidade de cada sinal foi equacionada e analisada utilizando-se ferramentas matemáticas apropriadas (Dettinger *et al.*, 1995) buscando-se evidenciar relações climatológicas e da variabilidade do nível do rio para a referida estação; uma das ferramentas aplicadas foi a TO (Morlet, 1983).

Análise Espectral dos Dados - Ondaletas

Observa-se uma vasta gama de técnicas de análise espectral aplicada a séries de dados geofísicos, em oposição à análise estatística clássica de sinais. As mesmas foram desenvolvidas e introduzidas na literatura com a finalidade de fornecer ferramentas para a caracterização de regimes não-lineares que estivessem associados à variabilidade observada de grandezas atmosféricas e geofísicas.

Exemplos clássicos de sinais que apresentam grande variabilidade são aqueles relacionados à observação de dados atmosféricos, por exemplo, vento, temperatura da superfície do mar, precipitação, etc. Demonstra-se facilmente que a análise de Fourier tradicional não é eficiente para a investigação de fenômenos não-estacionários ou aqueles em que o sinal sofra variações bruscas de freqüência (Farge, 1992).

Entende-se como “não-estacionária” uma série temporal em que, calculando-se grandezas estatísticas tais como “médias” e “variâncias”, para diferentes intervalos

com períodos constantes e sucessivos, constate-se que aquelas grandezas sejam distintas (caso contrário, assume-se que a série é estacionária).

A chamada Transformada Janelada de Fourier (TJF) é uma técnica para a análise de sinais não-estacionários. Todavia, esta é limitada no aspecto em que, apesar de possuir uma janela móvel no tempo através de translações $\psi(t) \rightarrow \psi(t+1)$, a mesma é fixa, ou seja, não possui dilatação temporal $\psi(t) \rightarrow \psi(2t)$; dessa forma não permite discriminar variações de altas e baixas freqüências simultaneamente. Tal necessidade requer o uso da técnica em TO, pois esta se caracteriza por janelas móveis no tempo que se dilatam para capturar sinais de baixa freqüência e se comprimem para capturar sinais de alta freqüência.

A TO se tornou uma ferramenta comum, para a análise de variações locais de energia dentro de uma série temporal, pela decomposição da mesma em tempo-freqüência-espacão. Ela é capaz de determinar os modos dominantes de variabilidade e sua magnitude no decorrer do tempo.

A TO tem sido usada em numerosos estudos em meteorologia, incluindo convecção tropical (Weng e Lau, 1994), o El-Niño – Oscilação Sul (ENSO) (Gu e Philander, 1995), frentes frias atmosféricas (Gamage e Blumen, 1993) e estruturas coerentes em fluxos turbulentos (Farge, 1992). Uma completa descrição de aplicações geofísicas pode ser encontrada em (Foufoula-Georgiou e Kumar, 1995), enquanto o tratamento teórico para a análise em ondaletas é descrito em (Daubechies, 1992). Muitos outros estudos ainda podem ser citados em várias outras áreas do conhecimento, tais como: processamento de sinais (M. Vertteli e C. Herley, 1992), sistemas hidrológicos (D. J. R. Nordemann, 1998), geofísica espacial (M. J. A. Bolzan, 2005) e áreas da saúde (Kelencz e Magini, 2006), interação oceano-atmosfera (Barbosa, 2007; Barbosa e Camargo, 2008). Uma abordagem histórica com algumas aplicações pode ser vista em (Barbosa e Blitzkow, 2008). Programas-base para aplicação podem ser encontrados em (Torrence e Compo, 1998) e (Grinsted *et al.*, 2004).

A análise em ondaletas tem sido formalizada extensivamente graças aos esforços de físicos e matemáticos, constituindo um núcleo de idéias partilhadas também por engenheiros, entre outros. Esta técnica foi originalmente empregada na análise de sinais sísmicos na geofísica (Morlet, 1993); contudo o estudo desta técnica vem crescendo vertiginosamente estando aliada a poderosos algoritmos computacionais e ao interesse de uma ampla comunidade (Daubechies *et al.*, 1992).

Com o objetivo de melhor compreender a variabilidade do nível do Rio Solimões para a estação de Tefé – Missões na bacia Amazônica, foi aplicada a TO nas três formas mencionadas na introdução (TS, TCO e TC). Estas podem ser utilizadas para interpretar os mais diferentes aspectos intrínsecos a sinais de

sistemas físicos que possuam características não-lineares, como os que serão analisados neste trabalho.

A metodologia utilizada para a análise espectral e espectral cruzada dos dados TS, TCO e TC pode ser encontrada com detalhes em (Barbosa, 2007; Barbosa e Blitzkow, 2008).

Resultados

Para a aplicação da análise espectral utilizando a TO, é extremamente necessário verificar se as séries que serão estudadas apresentam características não-estacionárias, tal como mencionado anteriormente. Em virtude disso, foram calculadas as médias e as variâncias para os dados do GRACE e da ANA em janelas temporais fixas de 30 em 30 valores consecutivos, iniciando no primeiro dia destas séries. A título de amostragem, os dez primeiros valores encontrados são apresentados na Tabela 1. Esta evidencia que apesar de alguns valores se diferenciarem apenas a partir da segunda casa decimal, as séries apresentam características não-estacionárias, tornando viável a análise espectral utilizando a TO.

Tabela 1

Resultados de algumas análises estatísticas (médias e variâncias) em intervalos de 30 em 30 valores consecutivos. Unidades (média em m, variância em m²)

<i>GRACE</i>	<i>GRACE</i>	<i>ANA</i>	<i>ANA</i>
Média Móvel (m) (30 dias)	Variância Móvel (m ²) (30 dias)	Média Móvel (m) (30 dias)	Variância Móvel (m ²) (30 dias)
0,078	0,081	10,519	9,164
-0,027	0,048	8,547	5,767
-0,029	0,028	9,209	3,605
0,060	0,086	10,087	10,073
0,003	0,048	8,993	6,271
-0,001	0,045	9,325	4,350
0,057	0,087	9,797	11,885
0,034	0,039	9,562	4,847
0,038	0,062	9,561	5,603
0,069	0,078	9,991	10,017

Em virtude do que mostra a Tabela 1, foi aplicado a TO para os dois conjuntos de dados (satélite e *in situ*) buscando-se evidenciar similaridades no espectro de energia entre ambos, como também, a variabilidade nas diversas escalas contidas nestas séries com suas respectivas localizações temporais.

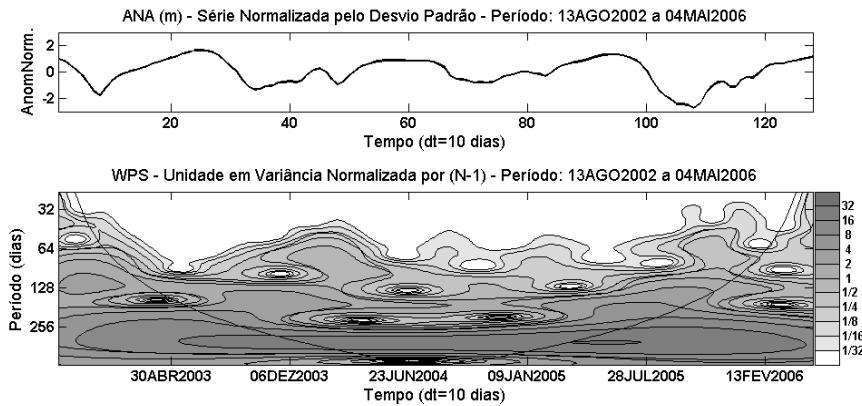


Figura 1. Série temporal normalizada do nível do Rio Solimões obtida dos limnômetros da ANA (acima) e o WPS da série (abaixo) período de 13ago2002 a 04mai2006. Unidade em variância normalizada para o WPS.

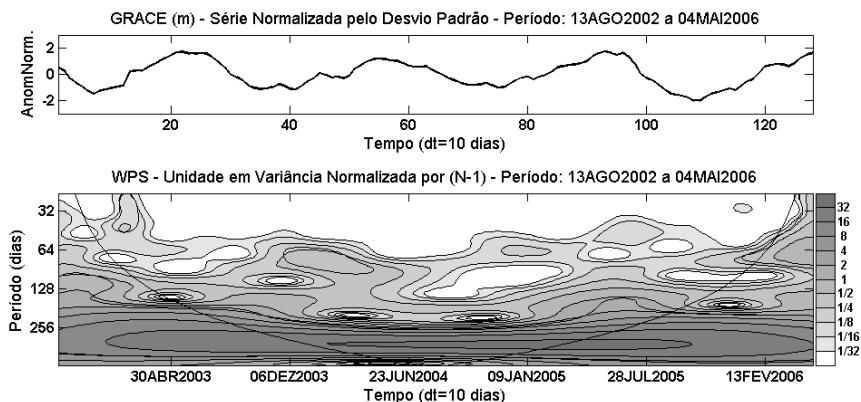


Figura 2. Série temporal normalizada do nível do Rio Solimões obtida do satélite GRACE (acima) e o WPS da série (abaixo) período de 13ago2002 a 04mai2006. Unidade em variância normalizada para o WPS.

As Figuras 1 e 2 mostram os WPS (Wavelets Power Spectrum – região dentro do limite de confiança estatística COI – veja Barbosa, 2007; Barbosa e

Blitzkow, 2008) das séries temporais da ANA e do satélite GRACE respectivamente, com a ondaleta-mãe de Morlet. Estas apresentam grande variabilidade na energia a partir da escala de 256 dias, possivelmente associada ao ciclo anual da variação do nível do rio Solimões na bacia Amazônica, mostrando para esta escala uma ótima concordância entre os dois conjuntos de dados. No entanto, na escala um pouco acima de 128 dias os dados *in situ* apresentaram considerável variabilidade na energia em períodos que vão de abril de 2003 a aproximadamente janeiro de 2006, o que de certa forma não é visualizado para os dados do GRACE na região dos 5% de significância estatística. Nas mesmas figuras é possível ainda visualizar regiões com moderada energia por volta da escala de 64 dias; o primeiro próximo a janeiro de 2004 e o segundo em janeiro de 2006. Todavia, apenas a região próxima a janeiro de 2004 é visualizada nas duas figuras, com menos intensidade na energia e menor região espacial para os dados de satélite em comparação aos dados da ANA. Algumas similaridades entre os padrões em alguns períodos bem definidos de alguns anos entre as duas séries analisadas (ANA e GRACE) mostram baixa energia, tornando difícil dizer se seriam ou não uma mera coincidência. Entendem-se como similaridades, regiões em comum em tempo-escala entre duas séries temporais visualizadas em seus respectivos WPS. Em geral estas regiões não se encontram dentro da região dos 5% de significância estatística contra o ruído vermelho de fundo, mas possuem energia significativa. Devido a isso, torna-se claro a necessidade da utilização da TCO e da TC buscando assim, evidenciar estes aspectos e dizer se seriam realmente válidos estatisticamente. Assim, a TCO e a TC tornam possível evidenciar características de acoplamento em regiões espectrais de maior energia em comum e com maior covariabilidade em tempo-escala entre as séries analisadas. Alguns aspectos das TCO e TC serão colocados em evidência na perspectiva de uma comparação de resultados, ou seja, serão analisadas apenas as variabilidades da TCO que corresponderem a uma variabilidade na TC para uma mesma escala e período para os dois conjuntos de dados.

O conhecimento da diferença de fase entre duas séries temporais é de grande importância para quantificar e qualificar a relação entre elas em termos da propagação de seus ciclos de oscilação. Tanto na TCO quanto na TC pode-se ver a relação de fase entre as variáveis analisadas, através de vetores que determinam o atraso temporal de resposta de uma série em relação à outra, ou simplesmente, a relação de fase entre ambas. Existem várias possibilidades de representação destes vetores de fase e que podem mostrar perfeitamente interações entre duas grandezas físicas como também a forma de oscilação entre elas. Estes vetores serão utilizados para quantificar a relação das duas séries temporais, ou seja, verificar o grau de coerência entre as medidas *in situ* com as medidas obtidas pelo satélite. Para esta

mesma análise, é feita uma relação dos dois WPS (relativos à ANA e ao GRACE) a períodos de secas e cheias inerentes ao período estudado.

As Figuras 3 e 4 mostram a TCO e a TC, respectivamente, entre os dados da ANA e do satélite GRACE para a estação de Tefé-Missões e para o período analisado. A variabilidade no nível de 5% de significância contra o ruído vermelho é mostrada como um contorno espesso em preto. A fase relativa é mostrada como vetores onde: em fase, apontando para a direita; fora de fase, apontando para a esquerda; a série do GRACE avançada da série da ANA em 90°, apontando para baixo; a série da ANA avançada da série do GRACE em 90°, apontando para cima.

A relação de fase entre as séries analisadas neste artigo é extremamente importante, pois possibilita determinar o grau de confiabilidade dos dados do GRACE quando comparados aos dados *in situ* obtidos da Agência Nacional de Águas.

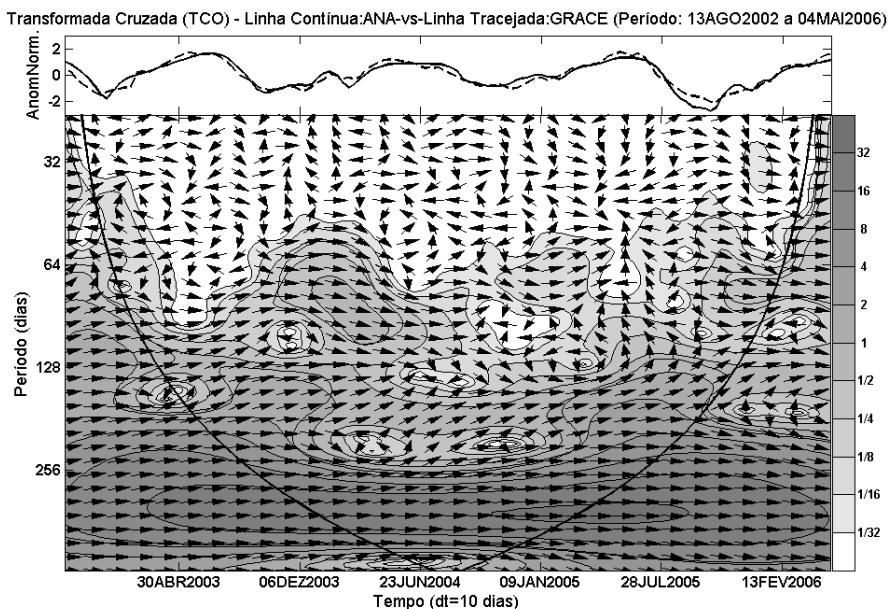


Figura 3. TCO das séries temporais do nível do Rio Solimões obtidas dos limnímetros da ANA e do Satélite GRACE. Unidade em variância normalizada para o WPS.

A TCO mostra grande covariabilidade na energia numa escala a partir de 256 dias entre as duas séries analisadas (Figura 3). Os vetores mostram que para esta escala as séries estão totalmente acopladas, ou seja, em fase. Para essa mesma faixa de escala, a TC (Figura 4) apresenta alto grau de coerência que varia de 0,9 a 1; isto

indica uma alta correlação entre as duas séries. Para este caso, o GRACE foi sensível ao ciclo anual de variação do nível do rio quando comparado aos valores *in situ* da ANA. A Figura 3 mostra ainda as duas regiões próximas à escala de 128 dias destacadas na Figura 1 onde se percebe uma tendência de acoplamento entre as duas séries como indicam os vetores de fase. A Figura 4 confirma esta variabilidade conjunta na energia com uma alta coerência estatística, em torno de 0,9.

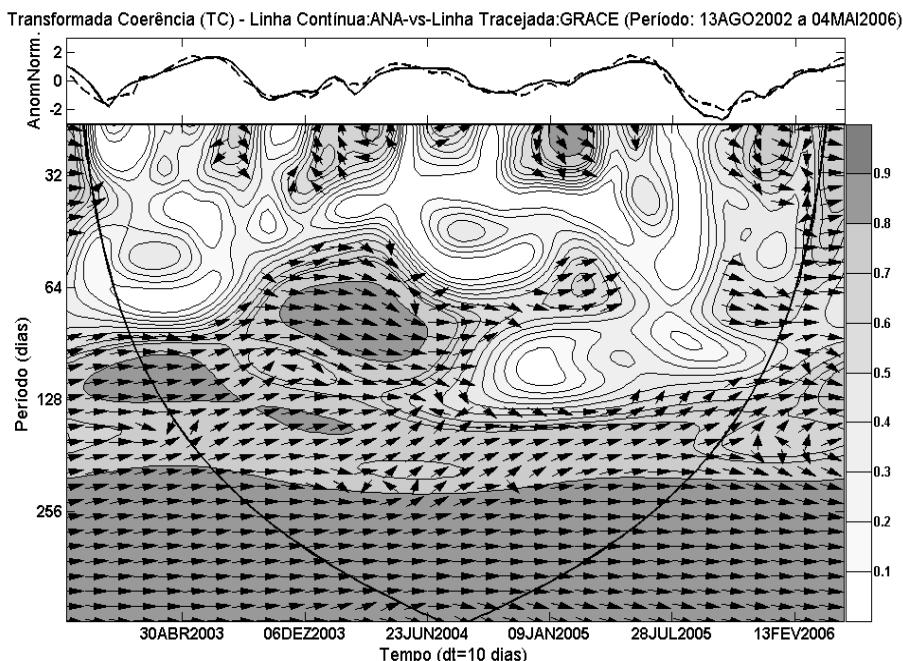


Figura 4. Idem a Figura 3, mas para a TC das séries temporais.

A região localizada próximo a janeiro de 2004 (Figura 3) em torno da escala de 64 dias, descrita anteriormente, mostra alto grau de coerência estatística entre as duas séries temporais, indicando através dos vetores de fase uma tendência de acoplamento e, dessa forma, confirmando o que as TS (Figuras 1 e 2) mostraram. Observa-se ainda que, em escalas menores do que 60 dias, as análises espectrais (Figuras 1 e 2) e também espectrais cruzadas (Figuras 3 e 4), não apresentaram energia significativa. Dessa forma, conclui-se que a maior contribuição para a variabilidade do rio Solimões foi determinada pelo ciclo anual (escala a partir de 256 dias) e pela variabilidade semi-anual (escala a partir de 128 dias) para o período analisado e que se encontram dentro do cone de influência. As oscilações intrazonais (escalas acima de 64 e menores que 100 dias) apresentaram uma

variabilidade bem menor e em períodos bem específicos (entre dezembro de 2003 e junho de 2004).

Embora a energia associada à oscilação intrasazonal numa escala de 64 dias possa ser considerada baixa em relação à variabilidade total do espectro, ela é importante porque deve interagir com outras escalas influenciando no regime pluviométrico da região. O conhecimento da variabilidade intrasazonal pode adicionar mais informação para o entendimento da física envolvida na modulação da precipitação da região Amazônica, onde está localizado o rio Solimões e consequentemente na determinação dos períodos de seca (cheia) moderados ou fortes.

O período de chuvas ou forte atividade convectiva na região Amazônica (esta detém mais de 20% da água doce do mundo) é compreendido entre novembro e março, sendo que o período de seca (sem grande atividade convectiva) é entre os meses de maio e setembro. Os meses de abril e outubro são meses de transição entre um regime e outro (Fisch, Marengo e Nobre 1998).

O evento de cheia do sistema Negro/Solimões em Manaus, referente ao ano hidrológico novembro de 2002 a outubro de 2003, teve início em 02 de novembro de 2002 (Figura 1 - gráfico superior) e atingiu seu pico no dia 01 de julho de 2003 (próximo ao dia Juliano 24, Figura 1 – gráfico superior) com a cota de 28.27m, demandando 241 dias no processo de elevação. Esta variabilidade é vista no WPS com uma contribuição das escalas de 64 a 200 dias aproximadamente. Essa foi a 36^a cheia em ordem decrescente de grandeza, verificada em todo o período das observações para aquele rio, o qual se estendeu desde setembro de 1902. Eventos dessa magnitude acontecem com um tempo de retorno da ordem de 2,8 anos. A cota de 28.27m é 1.14m menor do que o pico ocorrido em 1953, ano da maior enchente para todo o período de observação do rio Solimões. Estes valores foram obtidos dos boletins da Superintendência Regional de Manaus/SUREG-MA. A cheia de 2003 em Manaus, pela grandeza apresentada e pelo seu tempo de retorno é considerada normal.

A cheia do sistema Negro/Solimões em Manaus, referente ao ano hidrológico novembro de 2003 a outubro de 2004 teve início em 12 de novembro de 2003 (aproximadamente dia Juliano 38, Figura 1 - gráfico superior) e atingiu seu pico no dia 12 de junho de 2004 (próximo ao dia Juliano 59, Figura 1 – gráfico superior) com a cota 27.13m, demandando 213 dias no processo de elevação. Este período pode ser visto no WPS (Figura 1, inferior) com uma moderada variação na energia na escala de 64 dias em torno de janeiro de 2004 e com significativa variabilidade nas escalas de 128 e acima de 256 dias (referentes ao ciclo semi-anual e anual, respectivamente) no decorrer do ano hidrológico. Eventos dessa magnitude acontecem com um tempo de retorno da ordem de 1.3 anos. A cheia de 2004 em Manaus, pela grandeza apresentada e pelo seu tempo de retorno, também é

considerada normal. Em comparação ao ano hidrológico de novembro de 2002 a outubro de 2003 ela apresentou menor variabilidade para o nível do rio Solimões. No entanto, o ano hidrológico (novembro de 2003 a outubro de 2004) apresentou maior variabilidade na escala intrasazonal (a partir de 64 dias). Informações a cerca dos valores das cheias para este ano hidrológico foram obtidas da ANA (Relatório de cheia de 2004, Nº 05.250.2004).

Para o ano de 2005, a bacia Amazônica viveu a maior seca dos últimos 50 anos. O rio Solimões na região de Manaus foi afetado com esta seca mostrando níveis muito baixos. A partir de julho de 2005 o nível deste rio caiu abruptamente, mostrando o menor valor negativo em aproximadamente 26 de setembro de 2005; este foi o menor índice pluviométrico apresentado pelo rio Solimões em todo período analisado e para os últimos 50 anos.

As únicas contribuições para a variabilidade do nível do rio Solimões para o período de seca, foram as escalas em torno do ciclo semi-anual como mostra o WPS (Figura 1 - gráfico inferior) e com pouca contribuição em escalas menores. Isso leva a considerar que o ciclo anual é um fator muito importante para a variabilidade positiva da altura deste rio, o que não se apresentou estatisticamente significante para este período.

Esta seca pode também ser justificada, pelo principal fenômeno atuante na região, que seria o aumento na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no oceano Atlântico Tropical em cerca de 1°C a possivelmente 2°C. O que poderia acarretar intensos movimentos descendentes do ar em regiões próximas, como a Amazônia e, como consequência direta, a inibição da formação de nuvens. No entanto, a partir de novembro de 2005 o rio Solimões teve um aumento de 2.5 metros em seu nível com a retomada das chuvas.

Conclusão

A TO das séries temporais do nível do rio Solimões obtidas da ANA e do satélite GRACE mostraram que em períodos inferiores a 60 dias as análises espectrais e também espectrais cruzadas não apresentam energia significativa. A maior contribuição para a variabilidade deste rio foi determinada pelo ciclo anual (escala a partir de 256 dias) e pela variabilidade semi-anual (escala a partir de 128 dias) para o período analisado e que se encontram dentro do cone de influência. As oscilações intrasazonais (para escalas acima de 60 dias e menores que 100 dias) apresentam uma variabilidade bem menor e em períodos bem específicos de alguns anos.

Para a escala acima de 128 dias, os dois conjuntos de dados mostram considerável variabilidade na energia em algumas regiões bem específicas no WPS. No entanto, apenas os dados *in situ* apresentam estas regiões dentro dos 5% de significância estatística, para quase todo período em estudo.

As duas séries mostram significativa variabilidade na energia na escala de 64 dias entre o fim de 2003 e meados de 2004. Todavia, apenas os dados da ANA mostram variação na energia nesta escala para o ano de 2006. Apesar de algumas similaridades, o satélite GRACE foi capaz de capturar estruturas bem específicas para o período analisado e que são evidentes no WPS (Figura 1, inferior) dos dados da Agência Nacional de Águas.

A TCO e a TC (Figuras 3 e 4, respectivamente) mostram que as duas séries estão em fase, ou apresentam tendência de fase em todas as regiões espectrais analisadas no WPS dos dados da ANA (Figura 1, inferior), inclusive nas regiões de similaridades; a exceção é a escala entorno de 64 dias em fevereiro de 2006, que de acordo com a TC (Figura 3), a região encontra-se fora do nível de confiança estatística. Ainda para estas regiões, a TC apresentou alto grau de coerência estatística, mostrando que o satélite GRACE também foi capaz de detectar a variação na energia em períodos específicos determinados pelas similaridades encontradas entre os dois conjuntos de dados.

Os anos de 2003 e 2005 mostram variabilidade na escala de 128 dias e os anos de 2003 e 2004 apresentam influência da escala intrasazonal de 64 dias. No entanto, o ano de 2004 foi o que apresentou mais variabilidade na energia para o ciclo anual.

Em resumo, a transformada em ondaletas das séries analisadas, mostrou-se uma ferramenta hábil para detectar estruturas localizadas em certos períodos do ano, referentes às secas e cheias inerentes a contribuição espacial dos ciclos anual e semi-anual para a variabilidade do nível do rio Solimões. A mesma também mostrou que os dados de satélites apresentam ótima clareza de detalhes quando confrontados aos dados *in situ* contribuindo para a validação dos mesmos.

Bibliografía

- Grinsted A., Moore J. C., Jevrejeva S., “Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series”, *Nonlinear Processes in Geophysics*, vol.11, pp. 561-566, 2004.
- Barbosa, Augusto C. B., “Estudo da Variabilidade Acoplada Oceano-Atmosfera no Atlântico Tropical” (Dissertação de Mestrado), Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, IAG/USP, 2007.
- Barbosa, Augusto C. B., Camargo, R., “Estudo da variabilidade intrasazonal para o período de 2001-2003: Uma análise observacional em ondaletas”, in *XV Congresso Brasileiro de Meteorologia – CBMet, 2008, São Paulo/SP. Anais do XV Congresso Brasileiro de Meteorologia – CBMet, 2008*.
- Barbosa, Augusto C. B., Blitzkow, D., “Ondaletas: Histórico e Aplicação”, disponível em <http://www.ptr.poli.usp.br/ltg/pos/index.html>, Maio, 2008.

- Bolzan, M. J. A., "Statistical and Wavelet Analysis of the Solar Wind Data", *Brazilian Journal of Physics*, v. 35, n. 3, pp. 592-596, 2005.
- Daubechies, I., "Ten lectures on wavelets. Philadelphia", PA:SIAM, vol. 61 of CBMS-NSF Regional Conference, Series in Applied Mathematics, 351 p., 1992.
- Daubechies, I., Mallat, S., Willsky, A., "Introduction to the special issue on wavelet transforms and multi resolution signal analysis", *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 38, n. 2, pp. 528-531, 1992.
- Dettinger, M. D., Ghil, M., Strong, C. M., Weibel, W., You, P., "Software expedites singular-spectrum analysis of noisy time series", *Eos*, vol. 76, n. 2, pp. 12-21, Jan., 1995.
- Farge, M., "Wavelet transforms and their applications to turbulence", *Journal of the Atmospheric Sciences*, Palo Alto, vol. 24, pp. 395-457, 1992.
- Fisch, G.; Marengo, J. A.; Nobre, C. A., "Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia", *Acta Amazônica*, vol. 28, n. 2, pp. 101-126, 1998.
- Foufoula-Georgiou, E., Kumar, P., *Wavelets in Geophysics*, Academic Press, 373 p., 1995.
- Gamage, N., Blumen, W., "Comparative analysis of low-level cold fronts: Wavelets, Fourier, and empirical orthogonal function decompositions", *Mon. Wea. Rev.*, vol. 121, pp. 2867-2878, 1993.
- Gu, D., Philander, S., "Secular changes of annual and interannual variability in the Tropics during the past century", *Journal of Climate*, vol. 8, pp. 864-876, 1995.
- Kelencz, C. A., Magini, M., "Análise eletromiográfica do exercício agachamento utilizando a transformada wavelet", *Revista UNIVAP*, vol. 13, pp. 2287-2290, 2006.
- Nordemann, D. J. R., "Periodicidades, tendências e previsão a partir da análise espectral dinâmica da série dos níveis do Rio Paraguai, em Ladário (1900/1995)", *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, vol. 33, Número Especial, pp. 1787-1790, out., 1998.
- Morlet, J., "Sampling theory and wave propagation", Springer, 1993.
- Peixoto, J. P., Oort, A. H., *Physics of Climate*, New York, AIP, 520 p., 1992.
- Ramillien, G., A. Cazenave and O. Brunau, "Global time-variations of hydrological signals from GRACE satellite gravimetry", *Geophys. J. Int.*, vol. 158, pp. 813-826, 2004.
- Ramillien, G., Frappart, F., Cazenave, A., Güntner, A., "Time variations of land water storage from an inversion of 2 years of GRACE geoids", *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 235, pp. 283-301, 2005.
- Ramillien, G., Lombard, A., Cazenave, A., Ivins, E. R., Llubes, M., Remy, F. and Biancale, R., "Interannual variations of the mass balance of the Antarctica and Greenland ice sheets from GRACE", *Glob. Planet. Change*, vol. 53, pp. 198-208, 2006.

- Torrence, C., Compo, G. P., "A practical guide to wavelet analysis", *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, vol. 79, pp. 61-78, 1998.
- Tucci, C. E. M., "Controle de enchentes", in Tucci, C. E. M. ed., *Hidrologia: ciência e aplicação*, Porto Alegre, UFRGS, Cap. 16, pp. 621-658, 1993.
- Vertteli, M., Herley, C., "Wavelets and filter banks: theory and design", *IEEE Trans. Signal Process*, vol. 40, pp. 2207-2232, 1992.
- Weng, H. Y.; Lau, K. M., "Wavelet, period-doubling and time frequency localization with application organization of convection over the tropical western Pacific", *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 51, n. 17, pp. 2523-2541, 1994.

Automatic Vehicle Detection Using Intensity Laser, Anaglyph Image and Shadows Cast

Daniel R. S.^{*}
Quintino D.^{**}

Resumen

En este trabajo se propone una metodología para la detección automática de vehículos en movimiento en imágenes aéreas digitales de áreas urbanas, usando la intensidad, imágenes anaglifos y la proyección de las sombras de los vehículos. Se usan las imágenes anaglifos para identificar los vehículos en movimiento en el momento de la captura de las imágenes, procedimiento que es posible debido a que los vehículos en movimiento se presentan en color rojo en el anaglifo, como resultado de una falta de calce entre los objetos. Un modelo implícito fue desarrollado para proveer un valor de pixel digital de las propiedades, los que son previamente especificadas en la imagen anaglifo y otro modelo implícito aplicado en la imagen original usando la sombra de los vehículos. Las intensidades de la imagen son utilizadas para disminuir el número de falsas detecciones y restringir el procesamiento a las carreteras. Los resultados muestran la aplicabilidad de la metodología propuesta y su potencial uso en la detección automática de vehículos en movimiento utilizando datos adquiridos por distintos sensores.

Palabras clave: Detección automática de vehículos, procesamiento digital de imágenes, intensidad de imagen, imagen anaglifo, shadow cast.

Abstract

In this paper, we propose a methodology to automatic vehicle motion detection in digital aerial images of urban areas using intensity, anaglyph images and shadows

* Federal University of Parana, Department of Geomatic, Curitiba, PR, Brazil, correo electrónico: danielsantos@ufpr.br

** Federal University of Parana, Department of Geomatic, Curitiba, PR, Brazil, correo electrónico: qdalmolin@ufpr.br

cast by vehicles. Anaglyph images are used to identify moving vehicles at the moment of capture of images, which is possible due to the fact that moving vehicles appear in red in anaglyph images as a result of a lack of conjugate between objects. An implicit model was developed to provide a digital pixel value the properties of which are previously specified in the anaglyph image and other implicit model applied in the original image using shadows cast by vehicles. Intensity images are used to decrease the number of false detections and to restrict the processing to highways. The results show the applicability of the proposed methodology and its potential use in the automatic detection of vehicles in motion using data acquired by distinct sensors.

Key words: Automatic vehicle detection, Digital image processing, Intensity image, Anaglyph image, Shadows cast.

Introduction

The development of an algorithm to automatically detect vehicles in aerial images is the goal of this research. Such algorithm may be put to valuable use in various applications, such as, data generation for urban and spatial planning, noise pollution control, air quality estimates and simulations, automatic traffic monitoring, among others. Military recognition and data compilation for a Geographic Information System are also other applications that could benefit from the automatic recognition of vehicles.

The information extracted from vehicles indicates the presence of highways, roads and streets, and parking lots, and is highly useful in the analyses and evaluations of algorithms for the automatic extraction of various features. One specific application in the field of Digital Photogrammetry is the automatic extraction of highways. The concrete efficacy of the detection of highways will depend on the correct identification of the objects present therein, such as moving vehicles. The extraction process may be jeopardized by certain anomalies resulting from the presence of obstacles that impede the representation of a highway's central axis. Another disturbance caused by the presence of vehicles in aerial images is shadow casting, which also influences the process of automatically extracting highways.

In the effort to overcome these and other challenges, researches aimed at the detection of vehicles in aerial images make use of implicit and/or explicit mathematical models in order to map the vehicles present in the scene.

Implicit mathematical models use only the radiometric properties of the object of interest, such as the gray scale or the RGB color of the vehicle. These attributes are then translated into a non-linear mathematical model that uses a pre-defined limit to separate the different pixels that make up the vehicle from those of the background. In this case, the results will vary according to the attributes that comprise the parameters of the chosen model.

Explicit mathematical models describe both geometric and radiometric attributes of vehicles, in two or three dimensions, with the use of templates. In this case, either the reference model is correlated with the image at hand, or the extracted features are grouped in order to compose a structure that is similar to that of the model. The vehicle is considered detected when the properties of the explicit model match those of the template image in question.

Throughout this work, the focus will be on the implicit mathematical modeling required to detect moving vehicles at the moment of capture of digital aerial images. Therefore, the objective is to propose a methodology for the automatic detection of vehicles in motion, in digital aerial images of urban areas, making use of anaglyph images, intensity laser images, and of shadows cast.

An implicit mathematical model will allow the automatic detection of moving vehicles through the ratio of the RGB attributes of the pixel under analysis – the moving vehicles will appear in red in the anaglyph image. The solution presented here is feasible, *de facto*, because of the lack of homology between the exact positions of the vehicles seen in the left image and of those in the right image, a result of the displacement of those vehicles during the interval between the subsequent captures of images. In this case, the vehicles in the left images are shown in red in the anaglyph, while the same vehicles in the right image appear in cyan, or in congruent variations thereof.

We propose the use of the intensity laser image in order to restrict processing to roads and streets, making it possible to project the XYZ coordinates of the points in the object space that correspond to roads and streets onto an image space. This strategy will be used to the effect of eliminating the false detections that arise from the markings that separate the lanes and shoulders of highways. We also propose the use of a third image acquired from the subtraction between the original images and shadows cast automatically detected. Experiments conducted during this inquiry conclusively show that the methodology is efficient and indeed contributes to the detection of moving vehicles.

Related Work

In recent years, work on the detection of vehicles has been greatly broadened by the computational community (Zhang *et al.*, 1994; Liu and Haralick, 1999; Liu, 2000; Hinz and Baumgartner, 2001; Moom *et al.*, 2002; Yu *et al.*, 2003; Li *et al.*, 2004; others). Indeed, vehicles are a constant variable in digital images and present themselves as relevant information for the efficiency of algorithms designed to extract highways, as well as in the various applications pointed out above. In this section, we shall present some of the literature pertinent to the object of this inquiry.

Pantavungkour and Shibasaki (2003) have proposed a methodology for the automatic detection of highways and vehicles based on the method of region growing and shape descriptor, with the use of aerial images acquired with a tri-linear sensor. This method applies mathematical morphology in order to reduce the level of noise in the image. The objects present in the highway are interpreted and selected as possible vehicles. At a later moment, those objects are compared to a pre-defined explicit model. One disadvantage of this method is that the fact that all objects of a similar size as that of actual vehicles are detected places a heavy burden on the processing of information, besides the obvious increase in the number of false vehicle detections.

For Zhao and Nevatia (2003), an *a priori* requirement is to apply a Psychology of Shape-style test in order to find human characteristics in the vehicles detected in aerial images. Based on the peculiarities of how human perception works, a three-dimensional model of the vehicle, and of the shadow it casts, is then constructed with the aid of prior information on the position of the sun at the moment of capture of aerial images. The information obtained is combined by means of an implicit Bayesian model. One disadvantage of this method is the time demanded by the border-extraction algorithm to be processed, as borders are extracted from the whole image in order to be used *a priori* in the automatic classification of vehicles.

Hinz *et al.* (2005) have put forth a methodology for the automatic detection of hypothetical vehicles in high-resolution images of urban areas. Detection is conducted with the help of a three-dimensional explicit model of vehicles, described by geometric and radiometric characteristics based on the construction of a three-dimensional model, or frame. In the detection process, the three-dimensional model is automatically adapted to attributes related to the color of a vehicle and to the direction it is headed. One advantage of this method is certainly that the use of additional information such as a cartographic basis for algorithm orientation becomes irrelevant. A disadvantage, on the other hand, is that the strength of this algorithm is limited, as it utilizes only one image and does not allow the three-dimensional reconstruction of the vehicle detected.

Leitloff *et al.* (2005) have implemented a method for the detection of vehicles in high-resolution aerial images based on the gradient method of border detection in vehicles. In this approach, the axes of highways are extracted as linear hypotheses in order to reduce the area wherein vehicles will be explored within the image. Linear features that may represent some of the attributes of a vehicle are also extracted with the same intent. One handicap of this method is that an explicit model requires high-resolution images for its application, besides cartographic support with information on the axes of highways.

For automatically detection of vehicles several authors proposed the use of an implicit model (Kuskone *et al.* 1996, Rajagopalan *et al.* 1999, Schneiderman and Kanade, 2000, Papageorgio and Poggio, 2000). The detection is performed by computing the feature vectors from image regions and testing them against the statistics of the model features. To Schneiderman and Kanade (2000), some works present a methodology where car detection is done by detecting in a number of viewpoints and then combining the results to automatically vehicle detection.

Anaglyph images have been frequently used to solve problems related with cartographic updating and three-dimensional reconstruction of objects present in images. The use of anaglyph images makes the process of updating cartographic information fast, economical, and efficient. Anaglyphs may also be used to identify alterations in the objects detected in aerial images.

Within this context, we propose a methodology to automatically detect vehicles in motion shown in digital aerial images of urban areas, introducing an implicit mathematical model that relates the radiometric attributes of the vehicles in an anaglyph image, and combines the data and information acquired with different sensors.

Methodology

The objects of interest in this inquiry are the vehicles in motion in highways and roads, within the urban perimeter, shown in high-resolution digital aerial images, which is to say that we are concerned solely with pixels on the surface that are smaller than 10cm. The proposed methodology makes use of an anaglyph image, an intensity laser image, and of shadows cast. The algorithm for this methodology was developed in Borland C++ Builder 5.0.

A sequence of steps must be followed in order to automatically detect vehicles in motion captured in digital aerial images. Original images must be rectified or normalized so as to eliminate the y parallax, which apparently alters the position of objects along the y axis of the image system (Epipolar Geometry). The process of normalizing images involves shifting pixel coordinates to a vertical position in the original image, thus adjusting the altitude of the camera.

For Mikhail *et al.* (2001), the normalization of aerial images is based on the relationship between the rotation matrix of exterior orientation parameters ($\kappa, \phi, \omega, X^0, Y^0, Z^0$) of the images acquired (R^T), on the one hand, and, on the other, the rotation matrix of the base (R_B), which is determined by the spatial directions of the base on the object space. Now normalized, the rotation matrix is finally determined by the product of the matrixes R^T and R_B . Hence, the coordinates produced by the photogrammetric system (x_f, y_f) in the original image are shifted to their normalized positions (x_N, y_N), by means of the colinearity equation, given by:

$$\begin{aligned}x_f &= -f \frac{x_N R_{N11} + y_N R_{N21} + R_{N31}(-f)}{x_N R_{N13} + y_N R_{N23} + R_{N33}(-f)} \\y_f &= -f \frac{x_N R_{N12} + y_N R_{N22} + R_{N32}(-f)}{x_N R_{N13} + y_N R_{N23} + R_{N33}(-f)}\end{aligned}\quad (1)$$

where f is the camera's focal distance, and R_{Nij} are elements of the normalized rotation matrix – i and j varying from 1,...,3.

In order to relate the coordinates in the normalized image and those in the original image, it becomes necessary to apply an interpolating function, thus making it possible to reach the corresponding levels of gray. In this work, we made use of a bilinear interpolating function. Therefore, with the normalized images, we turned to generating an anaglyph with information on Red components, for the left image, and information on Green and Blue components, for the right image. Figure 1 shows the resulting anaglyph.

The anaglyph image presents a very promising characteristic in the effort to detect alterations in digital images. Within this work, at the moment of capture of the left image (E_1), any given vehicle in motion is found at position x_1 , whereas the same vehicle will be found at position x_2 at the time of capture of the right image (E_2), as may be seen in Figure 2.

Hence, as the anaglyph is generated, the vehicles in motion that are seen in the left image will not be found in conjugate positions in the right image, and, consequently, those vehicles are shown in the anaglyph image in the color red, as indicated by the white arrows in Figure 3.

An implicit mathematical model is proposed with the intent of defining a digital value for the pixels that make up the vehicles in motion that are shown in the aerial image. Supporting information was retrieved from the anaglyph image in order to identify those vehicles. The implicit mathematical model is given by the ratio between component R and the sum of components G and B of each of the pixels that constitute the vehicle in motion:

$$dv = \frac{R}{(G + B)} \quad (2)$$

where dv represents the pixel's digital value.

The algorithm that is implemented runs a complete scan of the image and analyzes each pixel in the anaglyph image. Should a dv value be found to be greater or equal to 0,6 and lower or equal to 1,0 ($0,6 \leq dv \leq 1,0$) then the pixel in question belongs to a vehicle in motion in the highway. It is labeled as V^l and assigned a gray attribute of 255. Otherwise, the pixel retains its original color attributes and is not tagged.

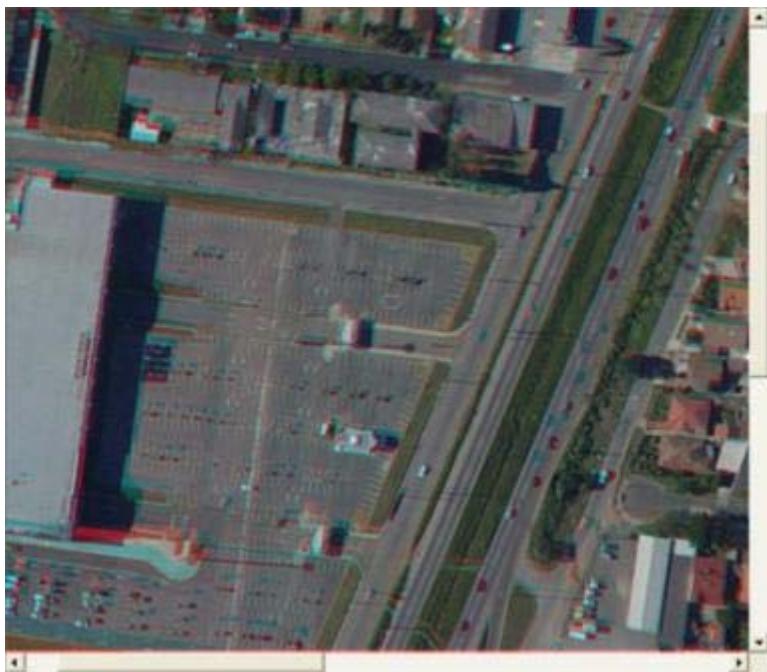


Figure 1. Anaglyph image.

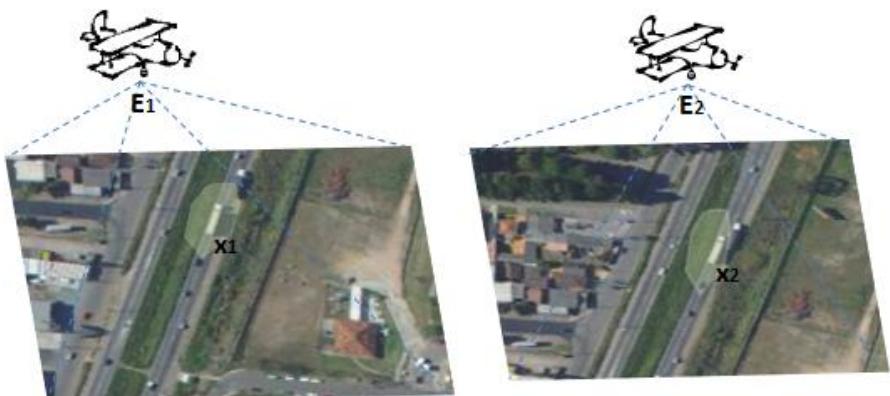


Figure 2. Displacement of vehicles during capture of images left and right.

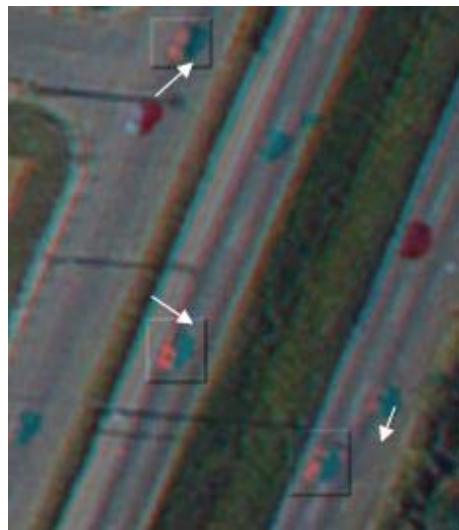


Figure 3. Objects not found in conjugate positions are highlighted in red.

This pixel, which is then stored in a vector, will later be analyzed and verified. Its pertinence to the object-vehicle is to be evaluated in terms of the information retrieved from the intensity laser image and of the XYZ coordinates – coordinates taken from the raw file produced by the laser scanning system – of the corresponding point on the object space. Put differently, we propose the use of information on intensity and of the XYZ coordinates of the points on the object space in order to restrict processing to the area comprising the highways and to avoid possible false detections. In the intensity laser image, the object-highway reveals a stark contrast with its immediate surroundings, as may be seen in Figure 4.

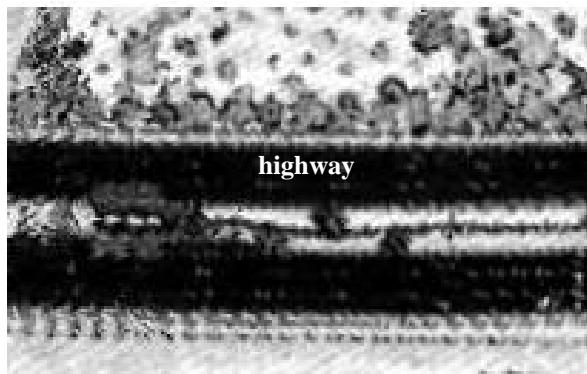


Figure 4. A portion of intensity image.

In order to verify the pertinence of the pixel tagged as V^I , it is essential to consider its intensity value recorded in the raw file, with its corresponding three-dimensional coordinates in the object space. Nevertheless, the points on the object space are projected onto the image space by means of a direct collinearity equation, with the aid of information from the XYZ coordinates of the points on the object space, taken from the raw file produced by the laser scanning system.

Here, one has but photogrammetric coordinates free of errors. In order for these coordinates to be translated into their exact position in the digital image (Row, Column), systematic errors must then be added. Thus, each point on the object space with an average intensity value of 40 —points belonging to roads and streets— will be tagged as V^O . Figure 5 shows the points on the object space that pertain to the object-highway, projected onto the anaglyph image (in blue).

The process of analyzing and verifying a pixel starts the moment that pixel is scanned by the algorithm and its dv is calculated. Should that pixel reveal a V^I tag and the exact same coordinates (Row, Column) of the point projected from the object space onto the image space, that is, a V^O tag, then that pixel belongs to a moving object-vehicle in the highway. Thus, that pixel is assigned a V^P tag and given a gray attribute equal to 0 (zero) in the original image. Otherwise, the pixel is assigned no tag at all and retains its original color.

False detections remain, indeed, a possibility, as the edges of some features —features such as buildings, lane and shoulder markings on highways, among others— might also reveal displacements caused by the parallax effect suffered by some objects when an anaglyph image is generated. In order to decrease or, possibly, eliminate the number of false detections, we propose the use of an image that results from the subtraction of the original color images, all previously rectified.

The process comes to an end when the algorithm concludes a complete scan of the image. The result is the detection of all vehicles in motion shown in the image. In the next section, we shall present some experiments conducted during this inquiry, as well as the analysis of the results obtained from the application of the proposed methodology.

Experiments and results

The proposed methodology was applied to a high-resolution image with a ground surface distance pixel resolution of 40cm. The high-resolution images used in this inquiry were captured with a non-metric small digital camera, Sony DSC-717, with a resolution of $3.4\mu\text{m}$ 1629×1222 , which was kindly made available by AGRI-TEC/S.A. Enterprise. Figure 6 shows the vehicles detected in high-resolution images, with the use of the proposed methodology.

From a visual analysis of Figure 6, it becomes apparent that:

- Of the 12 vehicles in motion in the highway, seen in the original image, 10 were detected;
- The algorithm was not fully efficient as it was unable to detect vehicles in darker colors – black vehicles, for example. This reveals that the efficiency of the algorithm is limited to vehicles in lighter colors;
- The use of the intensity laser image combined with the anaglyph image restricted the processing to the surface of highways. The combination of data avoids the occurrence of false detections that might result from the parallax effect of tall objects, such as buildings or vegetation. One example of the efficiency of this combination of data is that the edge of the building on the left in Figure 6(A) appears in red, which indicates the presence of a moving vehicle. However, Figure 6(B) shows that the border of that building was not detected, thus avoiding the occurrence of a false detection;
- Nevertheless, from a visual analysis of Figure 6(B), it becomes clear that not only were vehicles *de facto* in motion detected but some sections of the roof of a building, as well as a parked vehicle, in the top left of the picture, were also perceived as vehicles in motion. In other words, there were still false detections;
- One of the causes of the above-mentioned incident may be understood from careful consideration of Figure 6(C). Some sections of the roof of the building (black points) were tagged as V^P (vehicles in motion). There, the intensity value of the points on the object space that corresponded to the pixels in the image space is similar to the intensity value of the objects that define highways – see Figure 6(C), where we present an intensity laser image of the building in question. Note the points with average intensity value of 40;
- Furthermore, another aspect that merits mentioning as Figure 6(B) comes under scrutiny is that part of the highway was detected and tagged as V^P , though this was, in fact, a false detection of objects that represented lane and shoulder markings on the highway, both seen in red in certain tracts of highway – another result of the parallax effect of certain objects when the anaglyph is generated.

Following the analysis described above, we reached the conclusion that an additional filter must be implemented in order to improve the efficiency of the algorithm in the detection of vehicles in motion, and, consequently, eliminate false detections. The additional filter derives from the subtraction of the original color images that are previously rectified. That filter is put in place in an attempt to decrease and/or eliminate false detections, that is, objects that are not, *de facto*, vehicles in motion. Thus, the results presented and evaluated following Figure 6(B) must be eliminated from processing.



Figure 5. Points on the actual highway (object space/intensity image) projected onto the image space (blue points).

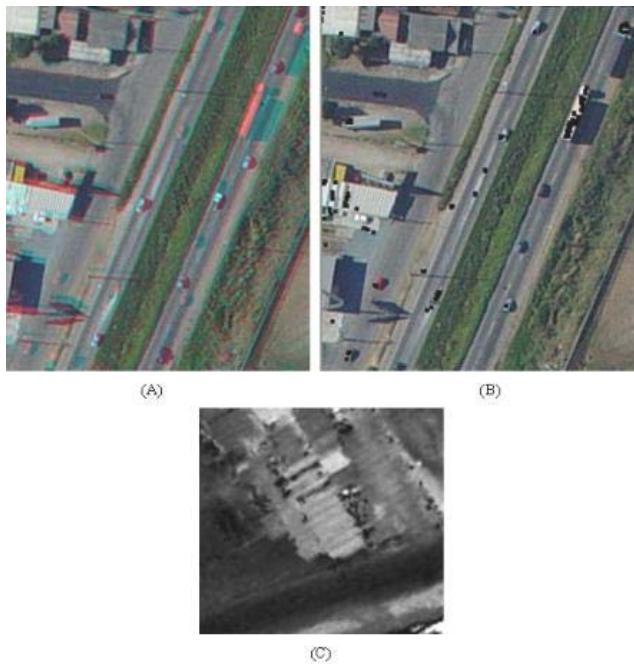


Figure 6. Vehicles detected. (A) Vehicles in motion (in red). (B) Vehicles detected (black points). (C) A section of the intensity laser image.

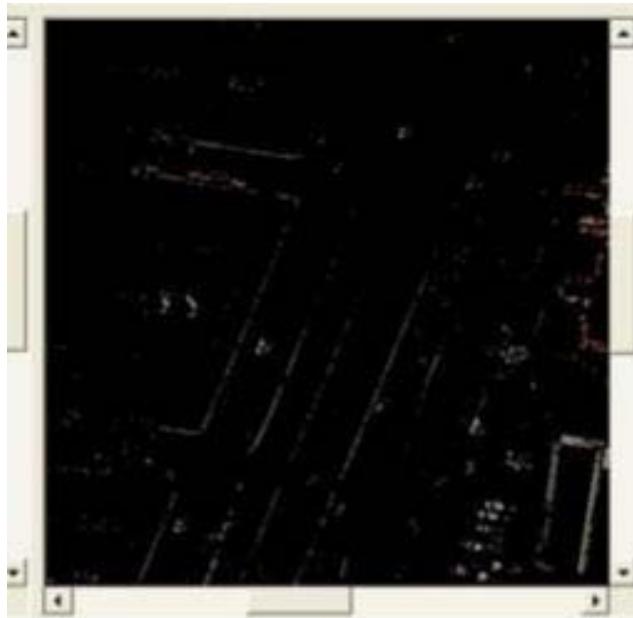


Figure 7. Anaglyph image resulting from the subtraction between left and right images.

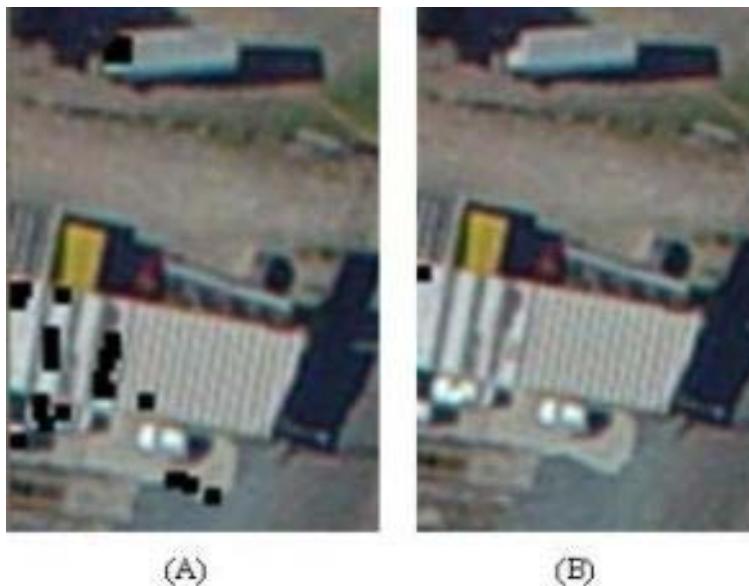


Figure 8. (A) False detections in the previous experiment; (B) False detections eliminated.

With this additional filter, it becomes possible to visualize, in the resulting image, only those objects that are not in any way conjugates to their counterparts in the original images, that is, the vehicles in motion in the highway and the borders of buildings and trees – a result of the parallax effect of certain objects when the anaglyph is generated (Figure 7).

Figure 7 shows the anaglyph left image, and, on the right, the image that result from the subtraction of the previously rectified original images. As the borders of buildings and of trees are not seen on the highway, the use of information on intensity and of the XYZ coordinates of the points on the object space projected onto the image space automatically eliminates those potential false detections. Nevertheless, in order to eliminate the false detections that occur on sections of the roof of the before mentioned building, it becomes necessary to implement that additional filter, and, thus, remove those sections from processing. Figure 8 shows the same experiment detailed in Figure 6, now with the use of the additional filter.

From a visual analysis of Figure 8, we conclude that:

- With the use of the additional filter, the false detections described above, seen again in Figure 8(A), are no longer present, but have been eliminated from processing, as may be gathered from Figure 8(B);
- The parked vehicle wrongly detected at the top of the prior image, Figure 8(A), is eliminated from processing, Figure 8(B), with the use of the proponed filter;
- Finally, the results presented here indicate that there was a significant improvement of the efficiency of the method in question with the additional filter in place.

Figure 9 presents other experiments conducted with high-resolution images left and right, with the additional filter already in use.

A visual analysis of Figure 9 reveals that:

- Among the five vehicles in motion shown in the image in Figure 9(A), three were successfully detected – see Figure 9(B). The cases in which the algorithm was not efficient have already been discussed; and
- In Figure 9(B), one may see that there were no false detections resulting from the parallax effect of the lane and shoulder markings on the highway when the anaglyph was produced. This reveals, yet again, that the efficiency of the algorithm was, indeed, improved with the use of the added filter.

Figure 10 presents experiments conducted with high-resolution images, without the use of the additional filter, in order to allow the analysis and discussion of other problems.

A visual analysis of Figure 10 reveals that:

- Figure 10(B) shows that the algorithm detected vehicles that were, indeed, in motion, but misunderstood some markings on the highway, as well as sections of the borders of a building found to the right of the highway;
- The points on the border of the building, seen as false detections in Figure 10(B), are explained by the fact that the corresponding points in the intensity laser image (object space) possess a similar intensity value as that of the object-highway, as may be seen in Figure 10(C); and
- In the case described above, as well as in the case of markings on the highway resulting in false detections, the problem may, again, be solved with the use of an additional filter – see Figure 11(C).

Figure 11 shows the same experiment, though now with the use of the proposed filter.

The efficiency of the algorithm, when coupled with the additional filter, becomes apparent from a visual analysis of Figure 11(C). The borders of the buildings on the right were no longer wrongly detected – see Figure 10(B), with reference to the previous experiment. However, once again, vehicles in darker colors, in motion, were not detected by the algorithm. Therefore, we may reach a general analysis of the experiments conducted thus far:

- All lighter-colored vehicles were successfully detected by the algorithm adopted;
- The methodology implemented reached an efficiency rate of 88% in the detection of moving vehicles in all experiments conducted. This reveals that the implicit model developed is, indeed, promising;
- The efficiency of the methodology was significantly boosted with the use of the additional filter and of the intensity laser image. The occurrence of false detections were eliminated from the process, and the process itself was restricted to the surface of the highways, which increased computational velocity;
- The implicit mathematical model developed considers those vehicles in motion that are pertinent to the left image – shown in red in the anaglyph image;
- Image resolution has a real influence on the efficiency, or the lack thereof, of the vehicle detection process, as in low-resolution images, with pixels greater than 5m, it becomes impossible to visualize the objects of interest in the highway;



Figure 9. (A) Vehicles in motion (seen in red); (B) Vehicles detected by the algorithm (black points on the vehicles).

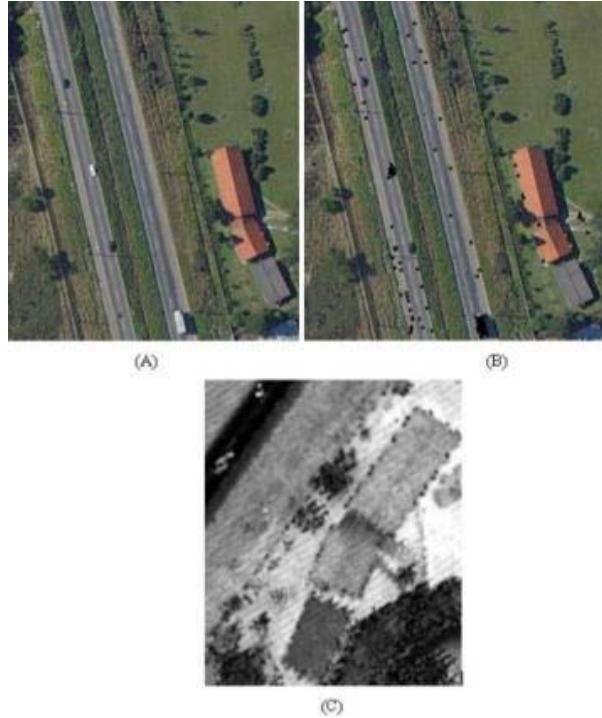


Figure 10. (A) Original image; (B) Vehicles and markings detected on the highway (black points); (C) A section of the intensity laser image.

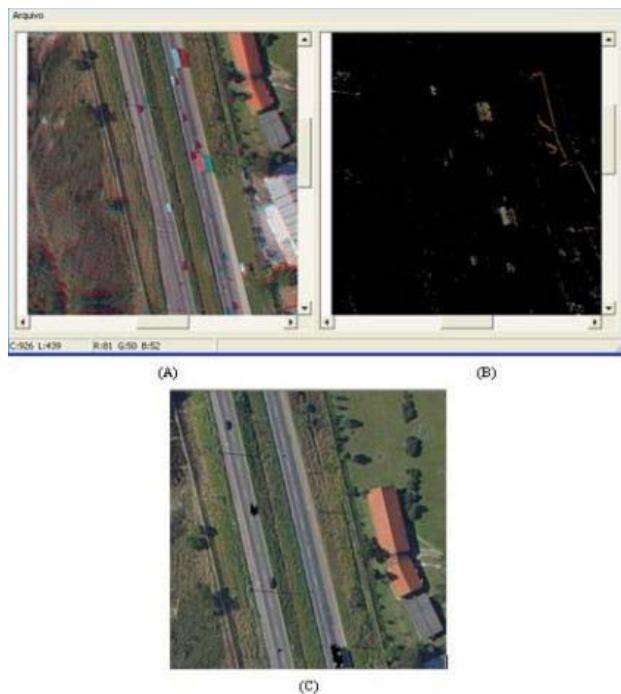


Figure 11. (A) Anaglyph image; (B) Image resulting from the additional filter; (C) Vehicles detected (black points).

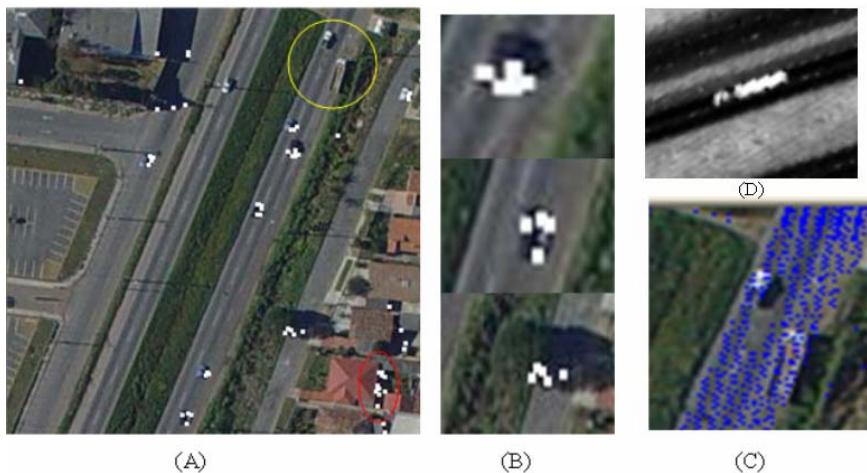


Figure 12. (A) Shadows cast detected; (B) Zoom on darker-colored vehicles detected; (C) Points on the intensity laser image projected onto the digital image; (D) Intensity image of a vehicle on the highway.

- Perspective effects, which cause obstructions, and the parallax effects of certain objects, in parts of the image, especially in the borders of buildings, may be avoided with the aid of the intensity laser image; and, in cases when the intensity laser image is not fully efficient – as shown in Figures 6(B) and 10(B) –, the use of the additional filter effectively solves that problem – as may be seen in Figures 7(B) and 11(C);
- The use of more efficient attributes and the implementation of an explicit mathematical model – both objects of future studies – will further increase the efficiency and strength of the proposed method; and
- One important aspect is the development of implicit mathematical models with more robust radiometric attributes to be used in constraints with the proposed model.

Considering the results obtained with the application of the mathematical model proposed in Equation (2), a conclusion was reached that a new mathematical model should be developed in order to improve the efficiency of the results obtained, especially in relation to the current model’s inability to detect darker-colored vehicles —the color black, in particular. But, in this case will be applied the proposed mathematical model only the left image and not about the composed anaglyph image. The implicit mathematical model developed was:

$$dv = \frac{B}{(G + R)} \quad (3)$$

This mathematical model was developed to detect shadows cast projected by vehicles on the roads. The above mathematical model —Equation [3]— was applied to the images and the results obtained are shown in Figure 12.

In Figure 12, it may be seen that:

- A manual count of the vehicles present in Figure 12(A) reveals that 8 of the 11 vehicles in that image were successfully recognized by the algorithm. In the case of the vehicles that were not detected —shown in the yellow circle in the top right-hand corner of Figure 12(A)—, a visual analysis of Figure 12(C) may help to explain the problem. The shadow of the larger vehicle —in the lower half of the yellow circle— is cast on the shoulder of the road, on the green vegetation to the right, where the intensity laser points do not correspond to values below 40 —values used as *a priori* input when projecting the points in the object space onto the image space. Thus, the algorithm cannot efficiently detect the shadow cast by that vehicle, failing to detect the vehicle itself;
- In order to explain the algorithm’s failure to automatically detect the vehicle located in the upper half of Figure 12(C), we present Figure 12(D). There, it

may be seen that a large vehicle was scanned by the laser scanning system and that its intensity values are greater than 40. As a result, the projection of that vehicle from the object space onto the image space did not occur, which, in turn, generated flaws in the continuity of the highway projected onto the color digital image, as seen in Figure 12(C). When analyzing the compatibility between the different tags, the pixels tagged as V^p are not understood as compatible with the points that are projected and tagged as V^0 , as there is no correspondence between them;

- In Figure 12(A), in the lower right-hand corner of the image, one sees that the algorithm wrongly detected the shadow of a building that is not cast on the highway. This is related with the acquisition of the spectral response intensity values of the laser pulse, whose intensity depends on the response from the interaction between the pulse and the objects present on the physical surface of the Earth. In the case in question, there appears a darker-colored unidentifiable object next to the building. The reflected pulse intensity value of that object is close to 40, as besides the presence of the darker object itself, there is also the shadow of the building, which causes the corresponding surface to respond at a lower intensity value;
- As one examines Figure 12(B), one sees that darker-colored vehicles were successfully detected with the use of the implicit mathematical model (Eq. 03) developed during this inquiry. Indeed, this model greatly improved the efficiency of the algorithm in relation to the weaknesses seen earlier; and
- The methodology used in this experiment clearly demonstrates the potential of our implicit model, as the algorithm was able to successfully detect 80% of the vehicles present in the image in question.

The Figure 13 presents the experiments conducted with the use of high-resolution image.

From Figure 13, we conclude that:

- Both Figure 13(A) and Figure 13(B) offer examples of darker-colored vehicles that were efficiently detected by the algorithm;
- In Figure 13(C), a manual count of the vehicles in the parking lot reveals a total of 16 vehicles therein. Of those vehicles, 14 were successfully detected by the algorithm. The failure to detect the remaining two vehicles is explained by the fact that those vehicles cast their shadows on the side of the pavement;
- The vehicles in the parking lot were not identified —see Figure 13(C). This is due to the fact that the parking lot has an intensity value above the one previous-

ly established for the projection of points from the surface of highways onto the intensity laser image, as may be seen in figure 13(D);

- In Figure 13(C), it may also be seen that there occurred false detections that resulted from the shadows cast by vegetation on the surface of the road. One solution would be to use mathematical models to detect the vegetation and the position of the sun at moment of capture of the images —a perspective for future studies;
- The use of an intensity laser image combined with a digital image captured with small-sized cameras is very promising in the automatic detection of vehicles in highways;
- In some cases, the shadows of buildings cast on highways resulted in false detections. These may be eliminated with the use of mathematical models with adequate parameterization for the recognition of the physical structure of vehicles —a structure with the attributes of color, length and width of a vehicle, for example. Moreover, the use of more efficient attributes and the implementation of an explicit mathematical model would increase the efficacy and strength of the proposed methodology; and
- The implicit mathematical model (Equation 2) developed is simple, yet efficient in the detection of shadows cast by the vehicles present in the highway.

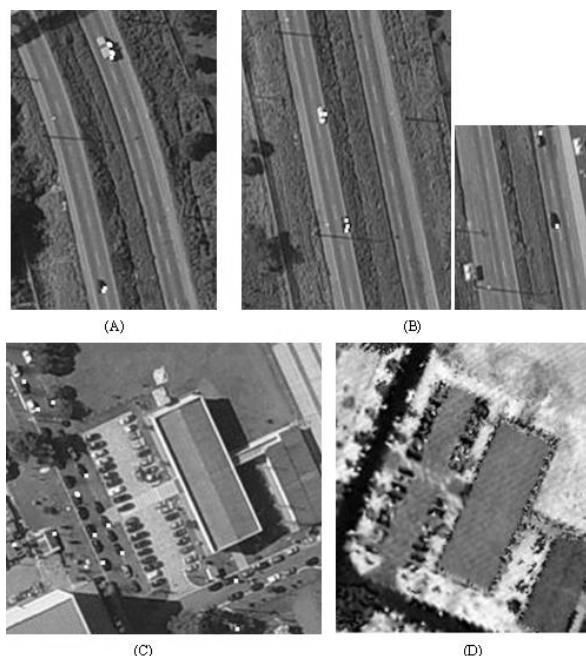


Figure 13. Vehicles identified.

Based on the experiments that were conducted during this study, the proposed methodology has certainly proven itself efficient; its strength, however, depends on the factors highlighted above, as they have a direct influence on the occurrence of false detections and on the detection of the shadows cast by vehicles. Further additions and experiments are now being conducted and explicit mathematical models being developed in order to adequately solve the problems encountered and discussed in this inquiry.

In the following section, we shall present the conclusion of the experiments conducted and discussed thus far, as well as some perspectives for future research toward the improvement of the proposed methodology.

Conclusions

The main characteristic of the proposed methodology is that its automatically detects vehicles in motion in highways and in urban areas with the use of high-resolution images, anaglyph images, intensity laser images and a mathematical model based on shadows cast that make up the photographic stereopar. In this research, the work presented revealed its potential and efficiency based on the results obtained and discussed above. From an analysis of the results, we conclude that:

- A) Anaglyph image is a very promising tool in the detection of vehicles in motion in highways and urban areas in high-resolution aerial images;
- B) The proposed methodology may effectively contribute in various applications, such as the ones discussed in the first section of this paper;
- C) The efficiency of the proposed method depends on the quality of the exterior orientation parameters, as low-quality parameters decrease the chances of eliminating parallax effects among objects and increases the probability of generating false detections;
- D) The implicit mathematical models (Equations 1 and 2) developed are simples, efficient, has a low computational cost and presents promising results in the assistance of the explicit mathematical model currently under development for future studies;
- E) False detections are eliminated from processing with the use of an intensity laser image and of the additional filter;
- F) The algorithm is efficient in 88% of the results. Nevertheless, this will vary according to the number of darker-colored vehicles in motion. An algorithm that extracts linear features is now under development in order to further improve these statistics;
- G) The use of an intensity image has a positive effect on the efficiency of this method, as it avoids that the borders of buildings, for with the aid of an intensity image, the detection process is restricted to objects present in highways. In the

- cases in which the borders of buildings still generate detections, those detections are eliminated from processing with the use of the additional filter;
- H) Not only did the mathematical model developed during this research (see Equation 2) reveal its potential in the detection of vehicles, but it also improved the efficiency of the method in relation to the detection of darker-colored vehicles.

Based on the experiments conducted, the methodology is, *de facto*, efficient; however, the factors highlighted above do affect its strength and cause some moving vehicles to go undetected. The advantages of the proposed method in relation to the works outlined in the second section of this paper are: the use of two sequential images allows the generation of an anaglyph image to automatically identify vehicles in motion; the use of information on intensity values and on the XYZ coordinates of the points in the object space that correspond to the pixels that belong to the object of interest restricts the algorithm's processing to the surface of highways, and lowers both the computational cost and the number of occurrences of false detections; finally, the use of the additional filter eliminates possible causes of false detections.

This method combine information retrieved from different acquisition systems; has a high potential as *a priori* input in the automatic recognition of parking lots; automatically detects vehicles of any color; and, works directly on color images, which makes it possible to use the color attributes of the pixels in question. The implicit mathematical model implemented in this research is simple and has a low computational cost.

One disadvantage of this method, however, is the definite correlation between the detection of vehicles in motion with the quality of the exterior orientation parameters in use when normalizing the images, which is not used in the detection of darker-colored vehicles. There is a correlation in the detection of shadows cast by objects that are not the interest of this work, such as the shadows cast by vegetation on the surface of highways. It is not possible to recognize vehicles that do not cast shadows, as a result of their apparent proportions at the time of capture of images, or vehicles whose shadows are cast on the shoulder of highways, as they stand too close to those objects at the moment of photographic exposure. Furthermore, in the cases in which the shadow cast by a vehicle in the color image happens to coincide with another vehicle scanned in the object space by the laser scanning system, no correspondence will be detected between the V^0 and V^p tags.

Acknowledgements

The authors would like to express their most sincere gratitude to AGRITEC/S.A. Enterprise for providing the digital images used in this research and to LACTEC for contributing with the intensity laser images.

References

- Moon, H., Chellapa, R. and Rosenfeld, A. (2002), "Performance analyses of simple vehicle detection algorithm", *Image and Vision Computing*, pp. 1-13.
- Hinz, S. and Baumgartner, A. (2001), "Vehicle Detection k Aenal Images Using Generic Features, Grouping, and Control", in *Symposium of Pattern Recognition*, Lecture Notes on Computer Science.
- Hinz, S., Schlosser, C. and Reitberger, J. (2005), Automatic car detection in high resolution urban scenes based on an adaptive 3D – Model, 2nd GRSSi/ISPRS Joint Workshop on "Data Fusion and Remote Sensing over Urban Areas", pp. 167-175.
- Kuskone, R. L., Guiges, S. A., and Jamet, O. (1996), "Vehicle detection on aerial images: A structural approach", *13th International Conference on Pattern Recognition*.
- Leittloff, J., Hinz, S. and Stilla, U. (2005), "Vehicle queue detection in satellite images of urban areas, 3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas", Volume xxxvi, Part 8/W27, Tempe, AZ, USA, March 14-16.
- Li, X., Yao, X., Murphey, Y. L., Karlsen, R., Gerhart, G. (2004), "Real-time vehicle detection and tracking system in outdoor traffic scenes", in *Proceedings IEEE Int. Conf. Pattern ICPR04*.
- Liu, L. G. and Haralick, R. (1999), "Vehicle Detection in Aerial Imagery and Performance Evaluation", *ISL-Technical Report, Intelligent Systems Laboratory*, University of Washington, Seattle, WA.
- Liu, G. (2000), "Automatic Target Recognition Using Location Uncertainty", PhD thesis, University of Washington, Seattle, WA.
- Mikhail, E. M., Bethel, J. S. and Mcglone, J. C. (2001), *Introduction to modern Photogrammetry*, Inc. New York: John Wiley & Sons, 479 pp.
- Pantavungkour, S. and Shibasaki R. (2003), "Feature object detection on the urban road surface by the application of three line scanner imagery", *The 23th Asian Conference on Remote Sensing, Kathmandu*, Nepal, November.
- Papageorgiou C., and Poggio T. (2000), "A trainable system for object detection", *International Journal of Computer Vision*, 38(1), pp. 15-33.
- Schneiderman H., and Kanade T. (2000), "A Statistical Method for 3D Object Detection Applied to Faces and Can. Computer Vision and Pattern Recognition".
- Spiegel, M., (2000), "Automatic detection of vehicles from digital aerial imagery by neural networks", Diploma thesis, the Technical University Munich, Munich German.
- Rajagopalan A., Burlina P., and Chellapa R. (1999), "Higher-order statistical learning for vehicle detection in images", in *International Conference and Computer Vision*.

- Zhao, T. and Nevatia, R. (2003), “Car Detection in Low Resolution Aerial Images”, in *Image and Vision Computing Journal*, vol. 21, no. 8, August, pp. 693-703.
- Zhang, Z., Weiss R., Hanson, A. R. (1994), “Qualitative obstacle detection”, in *Proceedings IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 94*, pp. 554-559.
- Yu, Q., Araújo, H., Wang, H. (2003), “Stereo-Vision based real time obstacle detection for urban environments”, in *Proceedings Int. Conf. Advanced Robotics ICAR*, pp. 1671-1676.

Análisis fotogramétrico del volcán Citlaltépetl

Rogelio Ramos-Aguilar^{*}
Patricia Máximo-Romero^{**}
Beatriz Adriana Montiel-Peralta^{***}
Yoloxochitl de Jesús González-Castelán^{***}
Arturo Rodríguez-Marcos^{***}

Abstract

A study was realized geomorphologic to determine glaciological and geohidrologycal characteristics of Citlaltepetl.

There were in use photogrammetrical couples of the region study and it was digitized by the program Surfer.

Key words: *Geomorphologic, Photogrammetry, Geohidrologycal.*

Resumen

Se realizó un estudio geomorfológico a través de fotogrametría aérea para determinar las características geohidrológicas y glaciológicas del volcán Citlaltepetl.

Se utilizaron pares fotogramétricos de la región de estudio y se digitalizó por medio del programa Surfer.

Palabras clave: *Geomorfológico, fotogrametría, geohidrológico.*

Introducción

El volcán Citlaltepetl es un estratovolcán cuaternario que se encuentra rodeado por una gran cantidad de aparatos volcánicos recientes tales como conos de

* Jefe del Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), Puebla, Pue., México, correo electrónico: rogelio.ramos@fi.buap.mx

** Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), Puebla, Pue., México.

*** Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, becarios adscritos a Ciencias de la Tierra, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), Puebla, Pue., México.

escoria, cráteres de explosión, domos riolíticos y calderas. Este vulcanismo descansa sobre un basamento de rocas calcáreas del Mesozoico intensamente plegadas y falladas. Es el volcán más alto del país, cuya altura alcanza los 5,747m.

El retroceso acelerado de los glaciares de montaña en casi todo el mundo, incluyendo México y otras zonas tropicales es una prueba tangible del calentamiento global que empezó en el siglo XX y que se ha venido incrementando en el siglo actual (Kaser, 1999).

La hipótesis de que el glaciar del volcán Citlaltépetl ha disminuido se basa en la comparación a simple vista de una serie de fotos del año 1980 con las tomadas durante los años 1990 y 2000.

Los glaciares mexicanos tienen particular importancia por ser los únicos situados a nivel mundial en la latitud 19° norte.

En este trabajo se determinó la estructura geomorfológica del volcán y se calculó el área y el perímetro del glaciar. Se utilizaron seis fotografías aéreas y una fotografía ortogonal, y se digitalizó la zona de estudio a través de una representación de coordenadas UTM obtenidas de una carta topográfica, se creó una base de datos para interpolar y extrapolar. Además, a través de estereoscopía se identificó la topografía de la zona de estudio.

Desarrollo

Se realizaron varias prospecciones del lugar para identificar las áreas de estudio, geomorfología, características del clima (régimen de vientos), definición cartográfica de la zona y obtención de coordenadas geográficas.

Para obtener las características geomorfológicas del volcán Citlaltépetl se realizó un estudio fotogramétrico y de fotointerpretación. La fotogrametría es una técnica con la cual se pueden crear mapas mediante el empleo de fotografías y algunos trabajos de campo. La fotointerpretación es una técnica que permite identificar detalladamente los elementos que aparecen en las fotografías, tales como, edificios, caminos, límites de predios, vegetación, etc., así como su posición relativa.

El estudio se realizó mediante tres etapas:

- Reconocimiento e identificación (foto lectura)
- Análisis, clasificación y evaluación (foto análisis)
- Deducción e inducción (foto interpretación)

Para llevar a cabo el estudio fotogramétrico se formaron pares con las fotografías aéreas y una ortofoto donde no sólo se representa la zona de estudio, sino también los alrededores, con el objetivo de obtener mayor información de la región.

El traslape de las fotos se realizó con un estereoscopio, en el que la visión del relieve real se logra mediante la visión simultánea de los objetos desde dos ángulos distintos, que corresponden a cada ojo y a su coordinación mental. La doble visión permite apreciar distancias, espesores, profundidades, etc., es decir, todas las magnitudes tridimensionales.

Las fotografías aéreas se orientan correctamente disponiéndolas en el mismo orden en que fueron tomadas y según el criterio adoptado para los mapas, con el Norte situado hacia arriba. Sin embargo, orientadas de este modo, la visión individual de una fotografía en el hemisferio Norte tiene el inconveniente de dar la sensación de que el relieve está invertido, lo cual se denomina *efecto pseudoscópico*. Para tener una impresión correcta del relieve y prescindiendo del hemisferio considerado, las fotografías se orientan de manera que las sombras se sitúan entre el observador y el objeto que las proyecta.

Cada fotografía aérea cuenta con marcas fijas que se encuentran en el recuadro, en el centro de cada lado del mismo hay una pequeña flecha que sirve para facilitar la localización del centro geométrico de la fotografía. El marco que rodea a la imagen tiene fotografías de instrumentos (nivel esférico, altímetro y reloj segundero) y la rotulación de la distancia focal de la cámara.

Determinación del área y del perímetro del glaciar

Por medio de una ortofoto y utilizando el programa ArcView se determinó un sector superior caracterizado por la acumulación neta de nieve y hielo, y un sector inferior donde el clima es menos frío en el que predomina la ablación, es decir, la pérdida de masa por fusión y sublimación; con una temperatura media de verano de 0°.

Cuando el clima se torna más frío y/o aumenta la precipitación en forma de nieve, la zona de acumulación se expande ladera abajo. Cuando la temperatura regional aumenta y/o disminuye la precipitación sólida, la línea de equilibrio asciende en altitud y el frente del glaciar se desplaza hacia cotas cada vez más altas, lo cual se denomina retroceso glaciar (Figura 1).

El área y el perímetro del glaciar y del cráter se calcularon a través del programa ArcView mediante el trazado de polígonos sobre la ortofoto, uno para definir el glaciar y otro para definir el cráter.

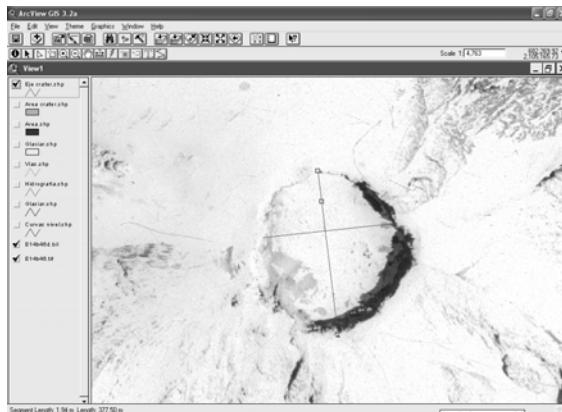


Figura 1. La línea de equilibrio asciende en altitud y el frente del glaciar se desplaza hacia cotas más altas. El color más claro indica la mayor altura del glaciar. La altura de donde se formó el tapón del volcán a donde termina el cono del cráter, calculada por la proyección de la sombra es de 58m de altura. El cráter del volcán tiene un área de 90,928.61m², perímetro de 1,133.08m y el eje del cráter mayor es de 377.50m y el menor de 310.97m.

Estudio Geomorfológico mediante estereoscopia

El área de estudio está representada en la fotografía a una escala de 1:75,000 que corresponde a 150,075km².

Es un volcán de tipo cinerítico y formación poligenética. La constitución del edificio volcánico es de tipo andesita, augita y obsidiana, en sus faldas hay roca caliza, basalto y arenisca de grano grueso. Se determinaron cinco fallas (barrancas) importantes (Figura 2).

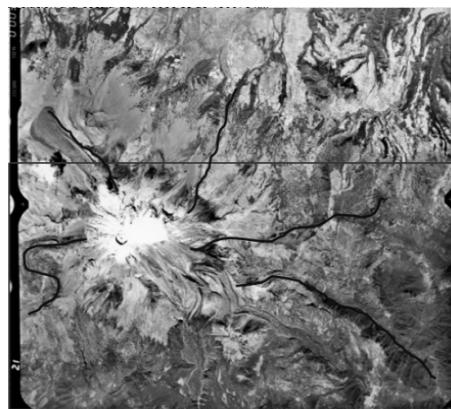


Figura 2. Localización por estereoscopia de cinco barrancas con longitud promedio de 15km.

Se calcularon las dimensiones del cráter cuya forma es elíptica, siendo la longitud del eje mayor de 478m, la del menor 400m y una profundidad de 300m; el cono tiene una forma simétrica con pendientes pronunciadas que alcanzan los 40°. Existen escasas señales de actividad moderna, sin embargo se observan exhalaciones débiles de SO₂ y depósitos de azufre en las paredes del cráter por lo que se considera como un volcán activo en estado de quietud. La colada de lava se encuentra perfectamente definida (Figura. 3).

El perfil de la colada se calculó con distanciómetros comparándose con fotos ortogonales. Se obtuvo una longitud de 3km y una altura de 25m para esta unidad. El relieve presenta formaciones de anticlinales y sinclinales (Figura 4).

El suelo está formado por areniscas de grano grueso y rocas ígneas extrusivas, principalmente lapilli, andesita y basaltos.

Para determinar las estructuras geológicas se utilizó una ortofoto y una carta topográfica digital del Citlaltépetl; se analizó la información digital de datos hidrográficos, hidrológicos y edafológicos y se observaron grandes estructuras que fueron formadas por emisiones alternadas de productos piroclásticos y derrames lávicos. Se localizan rasgos fisurales y numerosos conos desarrollados en sus laderas (Figura 5).

Es importante la localización de los cauces, ya que al existir un deshielo debido a una actividad volcánica o por causas del calentamiento global, el agua se encausaría hacia los canales antes mencionados. La pendiente calculada en promedio es de 40° por lo que un lahar descendería rápidamente (Figura 6).

El análisis fotogramétrico permitió zonificar las siguientes unidades (Figuras 7 y 8).

Resultados

El aumento de la temperatura parece ser la causa dominante, aunque no la única, del retroceso del glaciar en el volcán Citlaltépetl o Pico de Orizaba. No hay duda de que el glaciar continuará contrayéndose en un escenario de calentamiento global, aún cuando la precipitación también aumentase localmente.

Además se encontró magnetita del último periodo eruptivo importante (1867) cerca de una roca madre, cuya línea de dirección corresponde a las fallas encontradas en dirección Norte-Sur.

Los cambios observados en la estructura volcánica y del glaciar se relacionan con la actividad magmática y los constantes cambios térmicos y eólicos ocasionados por el cambio climático en los últimos 20 años, lo que ha dado lugar a la topografía existente en la zona.

A través de un estudio fotogramétrico se calcularon las deformaciones o alteraciones micrométricas en la constitución geológica del volcán. Se verificó la escala y se marcó un punto inicial en un punto arbitrario de la ortofoto, que coincidió con la carta topográfica digital. Esto permitió comprobar que la información obtenida del estudio es correcta.

El procesamiento de los datos se hizo con los programas Surfer y ArcView, lo que permitió crear modelos de la topografía de la zona de estudio en 2D y 3D, y manipular de forma más dinámica la carta topográfica digital.

Utilizando ArcView se procesó la ortofoto para obtener el perímetro y área del cráter y del glaciar; primero se procedió a ejecutar la vista de la carta topográfica desde el programa Surfer, para obtener las coordenadas que sirvieron para delimitar el área de estudio. Las coordenadas forman una base de datos que servirá como referencia para estudios posteriores.

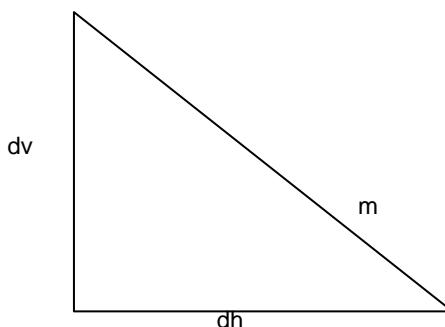
El modelo se formó con 826 coordenadas geodésicas (Figura 9).

Se empalmaron los datos importando la carta topográfica de Surfer al ArcView, para verificar que coincidieran. La ortofoto se abrió en el ArcView, haciendo que quedara delante de la carta topográfica a una misma escala.

Cálculo de la pendiente promedio del volcán

Con cinco pendientes representativas se determinó la pendiente promedio; para obtener cada pendiente se utilizó la distancia horizontal y vertical (se representa de la siguiente manera el perfil):

Distancia horizontal = dh
 Distancia vertical = dv
 Pendiente = m (el ángulo)



La Figura 10 muestra las pendientes utilizadas, la distancia horizontal se obtiene trazando una línea en Arc View, mientras que la vertical se obtiene de la diferencia de curvas de nivel: $m = \tan(dv/dh)$.

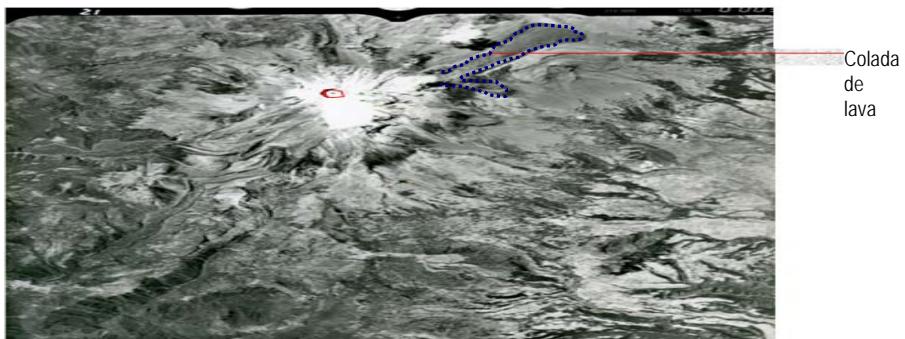


Figura 3. Se señala el cráter (color rojo) y la colada de lava (línea punteada en azul).

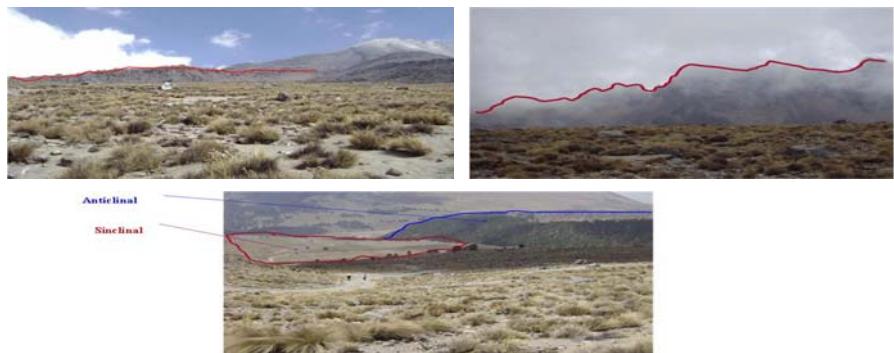


Figura 4. La geodinámica de la zona ha formado pliegues anticlinales en el perfil del lado Oeste de la colada de lava, con una longitud de 3km y una altura de 25m.

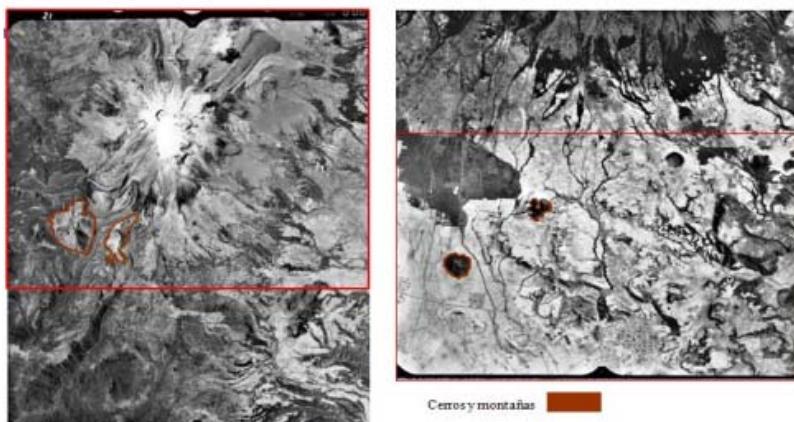


Figura 5. Identificación de estructuras geológicas en el área de estudio.

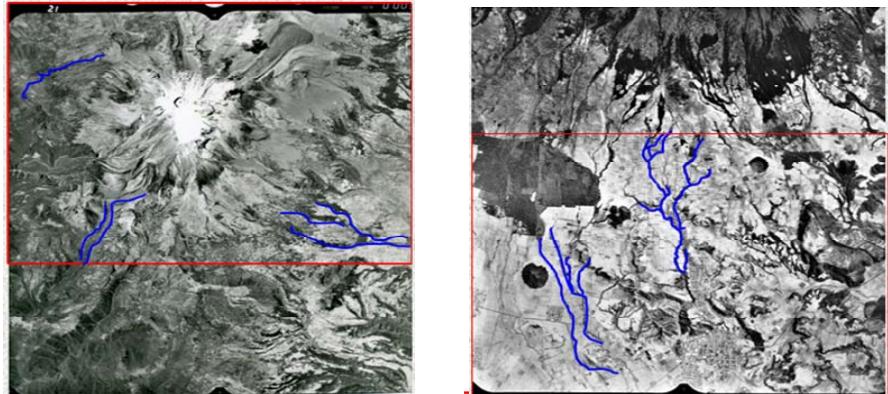


Figura 6. En color azul se señalan los cauces más importantes, cuya longitud y profundidad promedio es de 15km y 20m respectivamente.

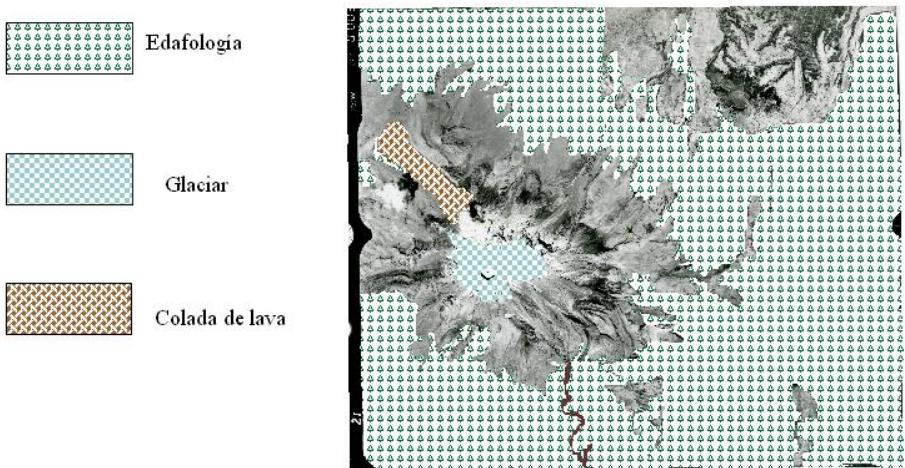


Figura 7. Zonificación obtenida a partir del análisis fotogramétrico.

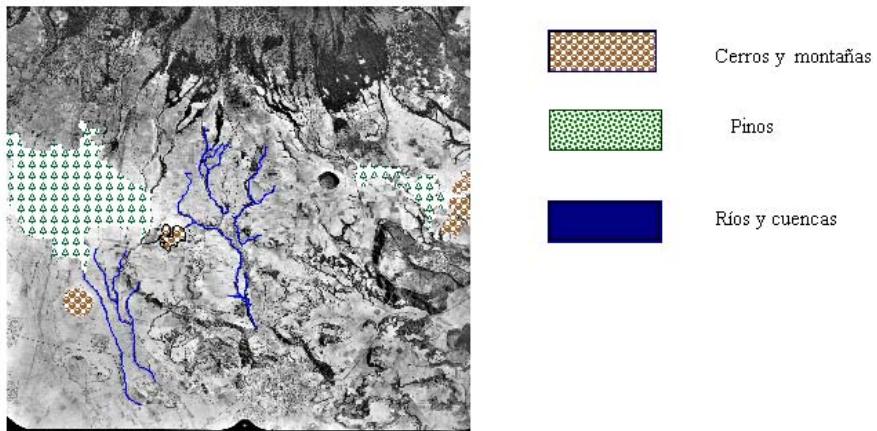


Figura 8. Zonificación obtenida a partir del análisis fotogramétrico, sector sureste del área de estudio.

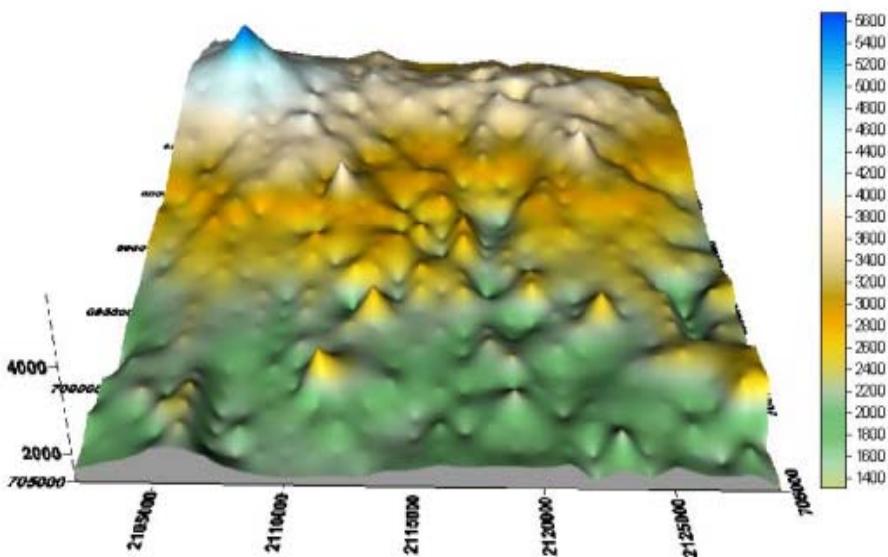


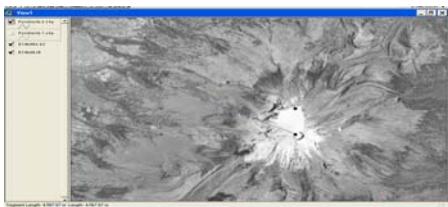
Figura 9. Digitalización del volcán.

Primera pendiente:

Distancia horizontal = 5,745m

Distancia vertical = 1,500m

$$m = \tan (1,500 / 5,745) = 14^\circ 37' 58.99''$$

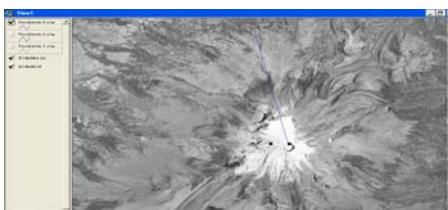


Segunda pendiente:

Distancia horizontal = 4,568m

Distancia vertical = 1,620m

$$m = \tan (1,620 / 4,568) = 19^\circ 31' 35.73''$$

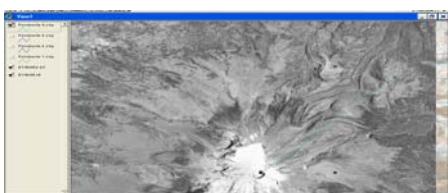


Tercera pendiente:

Distancia horizontal = 4,718m

Distancia vertical = 1,540m

$$m = \tan (1,540 / 4,718) = 18^\circ 4' 37.83''$$

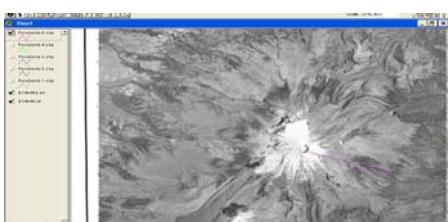


Cuarta pendiente:

Distancia horizontal = 5,819m

Distancia vertical = 1,660m

$$m = \tan (1,660 / 5,819) = 15^\circ 55' 19.15''$$



Quinta pendiente:

Distancia horizontal = 3,001m

Distancia vertical = 1,660m

$$m = \tan (1,660 / 3,001) = 28^\circ 56' 56.86''$$

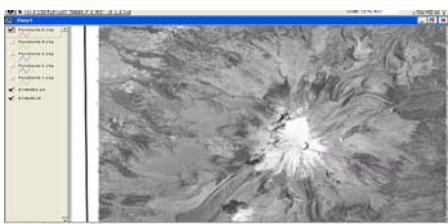


Figura 10. Sumando las pendientes y dividiendo entre el número de las mismas se obtiene la pendiente promedio: $P_m = 19^\circ 25' 17.71''$.

Con el apoyo del Instituto Tecnológico de Ciudad Serdán, se instaló una cámara que monitorea al volcán las 24 horas del día. Para ver la imagen en tiempo real del volcán Citlaltépetl o Pico de Orizaba consultar la página: <http://www.buap.mx/investigacion/tierra>.

Integrantes del monitoreo

BUAP

Rogelio Ramos Aguilar (FI), Patricia Máximo Romero (FI), Yahilyire Flores Rodríguez (FI), Yoloxochitl de Jesús González Castelán (FI), Beatriz Adriana Montiel Peralta (FI), Daniel Ávila Jacobo (FI), Arturo Rodríguez Marcos (FI), Jessica Narciso Hernández (FI), Miguel Ángel Castro Ramírez (FI).

SEGOB

Miguel Ángel Martínez Pérez (Director General de Protección Civil), Alejandro Rivera Domínguez (Estación Terrena de Satélites), Ramón Peña Merche (Director de Plan Operativo Popocatépetl).

Bibliografía

- Dóniz, J. (2002), *El volcanismo basáltico de la dorsal de Pedro Gil en Tenerife*, Universidad La Laguna, España, pp. 101-114.
- Godman, P. (2001), *Principles of Geographical Information Systems For Land Resources*, Springer, USA.
- Huerta, A., Ramos, R. (2003), *Ciencias Atmosféricas*, UTP, México, pp. 122-132.
- Juárez, A., Gay, C., Flores, Y. (2005), “Impact of the Popocatépetl’s volcanic activity on the air quality of Puebla City, México”, *Atmósfera*, pp. 57-69.
- Leick, A. (2004), *GPS satellite surveying*, USA, pp. 413-424.
- Macías, J. L. (2005), “Geología e historia eruptiva de los grandes volcanes activos de México”, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, tomo LVII, núm. 3, pp. 379-424.
- Nieto-Samaniego, Á.; Alainz-Álvarez, S.; Camprubí Cano, A. (2005), “La Mesa Central de México: estratigrafía, estructura y evolución tectónica cenozoica”, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, tomo LVII, núm. 3, pp. 285-318.
- Ramos, R. et al. (2005), “Aplicación de imágenes satelitales para determinar el clima y la radiación solar en el estado de Puebla y la geohidrología de su zona norte”, *Ciencia Ergo Sum*, México.
- Schenk, T. (2002), *Fotogrametría digital*, ICC, España.
- Ternryd, C. (1985), *Topografía y fotogrametría en la práctica moderna*, CECSA, México.

[http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/epoca04/5703/\(6\)Macias.pdf](http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/epoca04/5703/(6)Macias.pdf).
[http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/epoca04/5703/\(3\)Nieto.pdf](http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/epoca04/5703/(3)Nieto.pdf).
<http://www.leon.gob.mx/seguridad/proteccion/archivos/biblioteca/geologicos/volcanes.pdf>.
<http://www.um.es/dp-geografia/papeles/n35/07%20Doniz%20101-114.pdf>.
<http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc16159/doc16159-2c.pdf>.

Uso de imágenes satelitales en el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), Chile

Pedro Muñoz Aguayo*

Abstract

The article presents the main experiences gained through the use of satellite images in urban planning studies carried out in Chile by the Housing and Urban Planning Ministry. The types of studies that can feasibly be performed through images, and their advantages, are presented. A Chilean satellite is due to be launched in 2010, so the future challenges for Chile in cartographic matters related to the acquisition of information from that satellite are also covered.

Key words: *Satellite Images, Chilean Satellite, Urban Planning.*

Resumen

Se exponen las principales experiencias a partir del uso de las imágenes satelitales en estudios de planificación urbana en Chile llevados a cabo por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Se presentan las ventajas y los tipos de estudios factibles de realizar mediante imágenes, incluyendo además los próximos desafíos del país en materia cartográfica frente a la futura adquisición de información por parte del satélite chileno, que se espera sea lanzado durante el año 2010.

Palabras clave: *imágenes satelitales, satélite chileno, planificación urbana.*

Introducción

El uso de sensores remotos en planificación urbana se está constituyendo en una herramienta importante a la hora de cuantificar fenómenos urbanos con representación espacial. Desde mediados del siglo XX, las fotografías aéreas fueron las únicas herramientas disponibles, que además de ser de alto costo, se

* Geógrafo, Coordinador SIG, Observatorio Urbano, Comisión de Estudios Habitacionales y Urbanos, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Chile, correo electrónico: pmunoza@minvu.cl

interpretaban manualmente. Con el tiempo, la tecnología ha permitido el acceso a otros tipos de sensores, como cámaras fotográficas especiales operadas desde satélites, que permiten procesos digitales de las imágenes, para apoyar su análisis. Si bien en un principio las resoluciones de estos no resultaban suficientes para realizar estudios de carácter urbano, cada píxel de la imagen representaba con un solo color, un área de 60 x 60m o 3,600m², usándose principalmente para recursos naturales. Hoy la variada oferta de imágenes de alta resolución, de 1m² por píxel en promedio, ha permitido analizar con mayor detalle el territorio, masificando su uso en temas urbanos.

Chile lanzará su propio satélite de resolución urbana el año 2010, generando por primera vez una abundancia de imágenes, lo que planteará nuevos desafíos, poniendo a prueba la capacidad de procesamiento, para poder entregar nueva información que resulte imprescindible para la planificación, por ejemplo, la mención de déficits urbanos.

Así, de la escasez de imágenes, se pasará probablemente a una situación de escasez de programas y de equipos técnicos especializados. La respuesta a este dilema no sólo pasará por la inversión de nuevos recursos, sino que deberá centrarse en el desarrollo de instancias de coordinación eficiente, donde los diversos organismos del estado realicen un trabajo colaborativo para compartir su conocimiento y experiencia en la manipulación de imágenes y sus aplicaciones prácticas. La institucionalidad necesaria para abordar ésta materia se encuentra creada desde el 2006, con el nombre de Sistema Nacional de Coordinación de Información Territorial, SNIT.

Desde el año 2004, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), decidió invertir en la adquisición de nuevas tecnologías, programas especializados e imágenes de satélite Landsat 5 y 7 de todo Chile, como complemento para la elaboración de los instrumentos de planificación de escalas intercomunal y metropolitana.

Posteriormente, con la creación del Observatorio Urbano en el año 2005, se comenzó a elaborar una serie de indicadores, destinados a apoyar la gestión de la División de Desarrollo Urbano. Las mismas imágenes permitieron medir, por primera vez en el país, la verdadera superficie ocupada y estimar con mayor precisión la densidad poblacional de las ciudades de Chile (Maturana y Muñoz, 2007).

Una vez demostrada y validada su utilidad, el siguiente paso ha sido la adquisición de imágenes de alta resolución, o de resolución urbana, que debido a la abundancia de satélites en órbita, se han logrado obtener a precios muy inferiores a los obtenidos previamente.

Uso de las Imágenes de Satélites

El año 2003, se adquirió la cobertura completa del territorio nacional del Satélite Landsat 7 ETM,¹ con procesamiento incluido, que consistió en la confección de orto mosaicos regionales georreferenciados, con una resolución de 15m por píxel (Figura 1).

Se utilizó como referencia la red de caminos que el Ministerio de Obras Públicas levantado a nivel nacional, con la ayuda de aparatos de georreferenciación o GPS.

El uso de estas imágenes coincidió con un estudio encargado por el Ministerio de Planificación (MIDEPLAN) al mismo consultor, que consistió en ajustar el trazado de todos los límites administrativos del país a las imágenes Landsat 7. El consultor pudo utilizar el producto MINVU, para realizar el encargo de MIDEPLAN. La consecuencia de esto, es que toda la cartografía, Distrital, Comunal y Regional de MIDEPLAN, facilitando la integración e interoperabilidad entre ambos ministerios.

Este producto fue utilizado ampliamente en:

- *Una base cartográfica única*, sobre la cual superponer todo tipo de datos espaciales, en las 15 secretarías Ministeriales del MINVU. Facilitando la migración de las coordenadas de los mapas, desde los Datum de 1969 y 1956 al definido por el Sistema Nacional de Información Territorial, SNIT el año 2005, el Datum WGS 1984.
- *Una base cartográfica para la confección de instrumentos de planificación territorial de escala intercomunal y regional.* Este mosaico satelital supuso un gran ahorro de recursos, en la confección de estos estudios de carácter intercomunal y regional, permitiendo superponer y actualizar los catastros y diagnósticos propios de estos instrumentos. Además ayudó a la confección de los mapas de uso actual del suelo.
- *Medición de la superficie ocupada en un conjunto de ciudades.* Utilizando una combinación de bandas espectrales tipo 4-5-7, todas en el rango de los infrarrojos, se midió la extensión de las ciudades o “lo construido” v/s lo rural o “no construido”, definiendo para las ciudades de más de 15,000 habitantes el verdadero valor de su superficie para luego determinar, por primera vez con tanta exactitud, la densidad urbana a febrero del año 2003. En este cálculo se utilizó el valor de la población levantada en el censo de población del año 2002. Se descubrió que las densidades urbanas publicadas hasta la fecha, tenían en promedio, un 95% de error (Figura 2).

¹ Satélite Landsat 7 ETM. Satélite con 6 bandas multiespectrales de 28.5m por píxel (3 bandas del espectro visible y 3 del infrarrojo), 1 banda Pancromática de 15m por píxel y 2 bandas del espectro termal de 60m por cada píxel.

En el año 2005 se adquirieron 11 imágenes satelitales Landsat 5 TM, (no posee banda Pancromática) de febrero de 1993, que contuvieran las mismas ciudades medidas en 2003. El plan fue determinar la superficie y la densidad de ese año, utilizando el censo de población del año 1992, para estudiar los cambios producidos en las ciudades y definir claramente las direcciones de expansión.

- *Análisis del suelo urbano disponible para construcción, en las principales ciudades de Chile.* Del estudio anterior se logró determinar la extensión física o real de las ciudades. Con los planes reguladores de las ciudades principales, se separaron las áreas que la ley permite construir y, mediante la superposición de ambas zonas, se obtuvo el número de hectáreas disponibles, legalmente, para el crecimiento urbano (Figura 3).
- *Crecimiento de la ciudad de Santiago entre 1987 y 2003.* El caso de la ciudad de Santiago hizo necesario un estudio especial, debido a su condición de Área Metropolitana. Se midió el suelo ocupado por la ciudad en tres fechas: febrero de 1987, febrero de 1993 y febrero de 2003, utilizando como referencia el límite urbano oficial, definido en el Plan Regulador Metropolitano de Santiago de 1994 y actualizado en los años 1997 y 2006 (Figura 4).

Mediante imágenes se logró obtener los cambios producidos en Santiago, dentro del límite urbano definido por el Plan Regulador Metropolitano, entre febrero de 1987 y febrero de 2003 (Figura 5).

A continuación, se midió el suelo disponible sobre el tipo de zonificación del Plan Regulador Metropolitano que permite edificaciones, en este caso la “Zona habitacional mixta” y la “Zona industrial”, determinando así el potencial de crecimiento urbano dentro de los límites de la ciudad (Figura 6).

Trabajo colaborativo entre instituciones del Estado

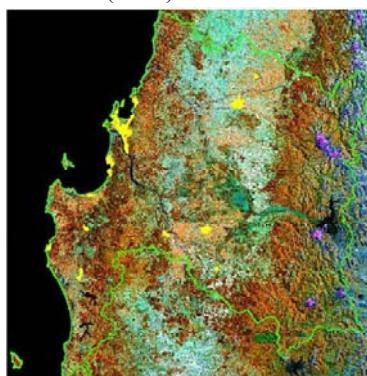
A partir del año 2007, toda compra de imágenes de satélite depende de los acuerdos que se efectúan en la “Mesa de coordinación para la adquisición de imágenes satelitales de alta resolución”, creada bajo el alero del SNIT en la que participan diversos ministerios e instituciones del estado².

El espíritu de esta mesa de coordinación es unificar los esfuerzos y recursos de los organismos del estado por adquirir imágenes de satélite. El primer objetivo fue la estandarización de parámetros para adquirir imágenes de escala urbana que resolviera las necesidades de todos los miembros. El segundo objetivo fue la priorización de zonas del país a adquirir, y el tercero, establecer la factibilidad de

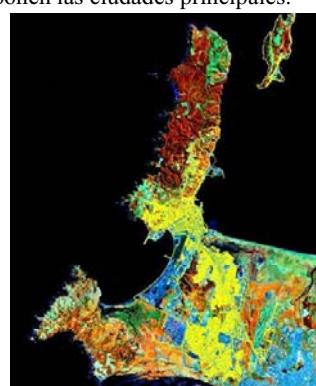
² Estas instituciones son: Ministerio de Planificación y Cooperación (MIDEPLAN), Gobierno regional de la Región Metropolitana de Santiago, Ministerio de Obras Públicas (MOP), Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).



Región del Biobío: color real (3-2-1).

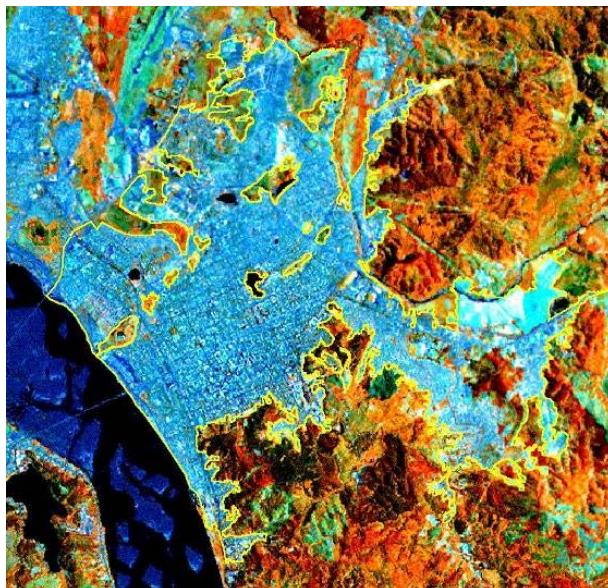


Región del Biobío: combinación 4-5-7.
En amarillo se superponen las ciudades principales.

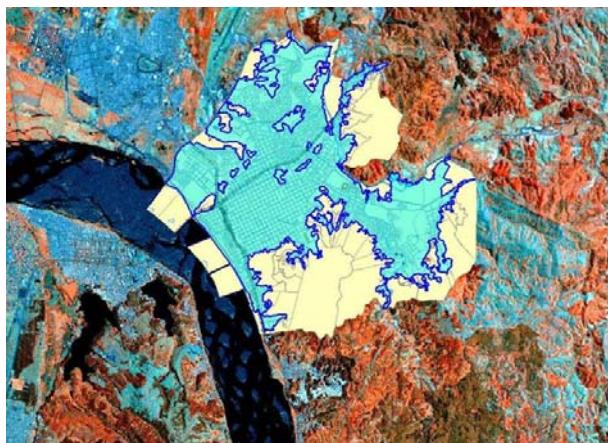


Detalle de la ciudad de Talcahuano. En amarillo la trama urbana.

Figura 1. Se aprecia el mosaico satelital creado a partir de las imágenes de Landsat 7 ETM, para la Región del Biobío, en distintas combinaciones de bandas.



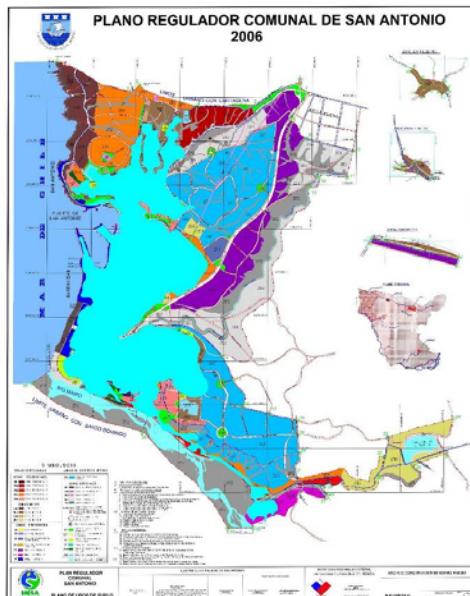
Ciudad de Concepción, combinación 4-5-7.



La zona azul, corresponde al suelo construido y la zona amarilla, corresponde a la zona censal, confeccionada por el Instituto Nacional de Estadísticas.

Figura 2. Se observan las mediciones realizadas sobre la imagen de la ciudad de Concepción para obtener la superficie urbana construida.

(a)



(b)



Figura 3. (a) Se observa el plano regulador de la ciudad de San Antonio y (b) la superficie disponible para la ocupación sobre el área planificada, equivalente a 1,835.02ha.

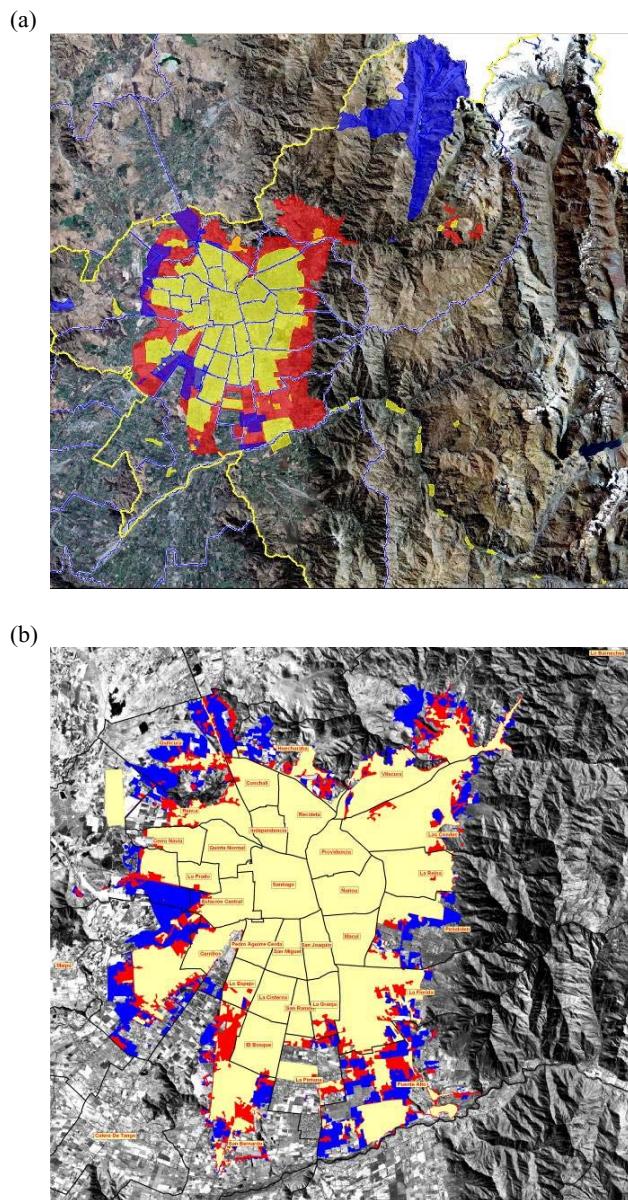


Figura 4. (a) Plan Regulador Metropolitano de Santiago: Zonas en rojo: Área de expansión urbana, zonas en morado: Áreas industriales y mineras. (b) Crecimiento de la ciudad de Santiago. Amarillo: Santiago a 1987, rojo: Santiago a 1993, azul: Santiago a 2003.

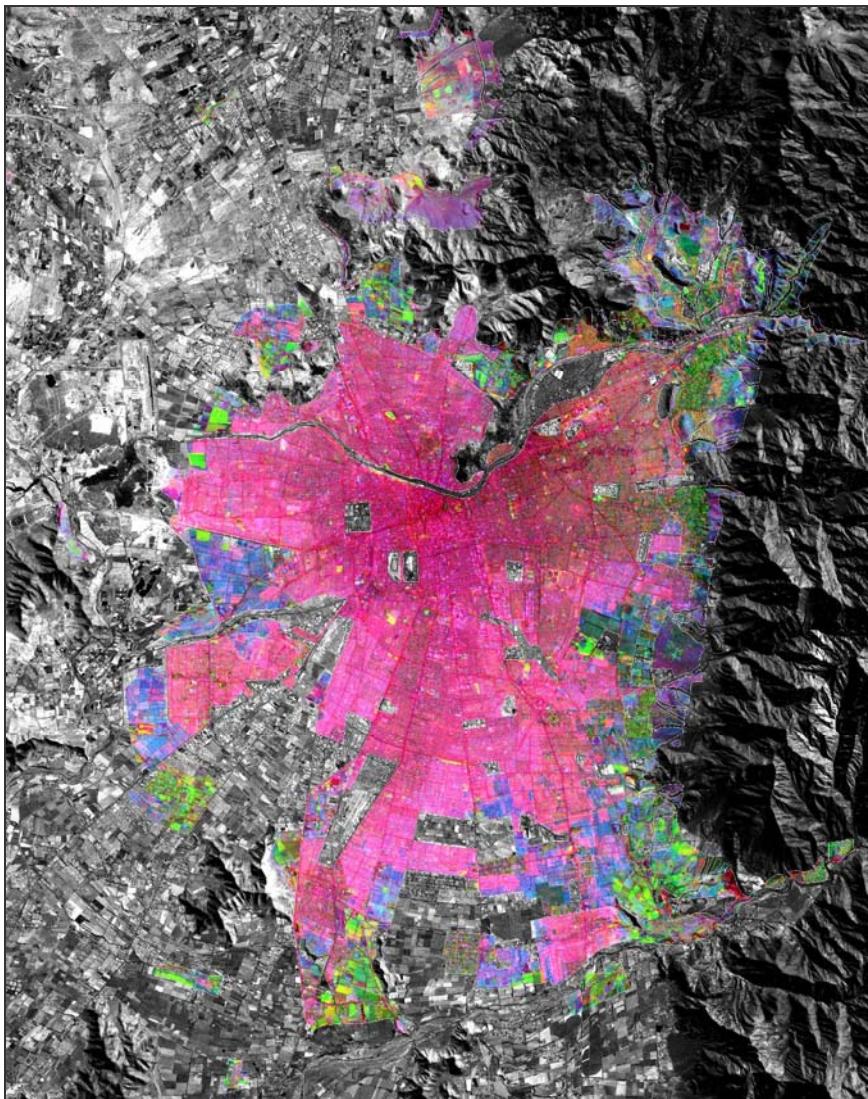


Figura 5. Los tonos rojos, muestra lo construido hasta el año 1987; los tonos en azul, muestran el crecimiento hasta el año 2003. Se utilizó para el año 1987 una imagen Landsat 5 TM, de 28.5m por píxel y para el año 2003 una imagen Landsat 7 ETM. Imagen base: Landsat 7 ETM 2003, banda pancromática de 15m por píxel de resolución.

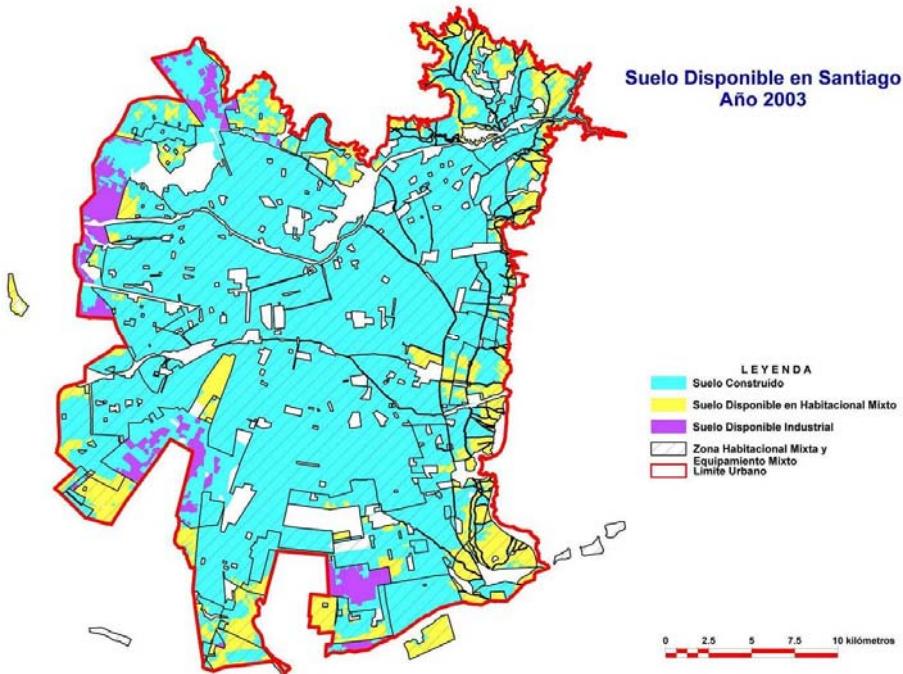


Figura 6. Suelo disponible en la ciudad de Santiago para expansión, año 2003.

compra de imágenes que incluyera licencias de uso para un mínimo de nueve instituciones, lo que permitió intercambiar imágenes, sin transgredir los derechos establecidos en las licencias de las mismas.

En este contexto el Gobierno Regional adquirió imágenes Quick Bird de la periferia de Santiago, Mideplan, adquirió a fines del 2007, imágenes Komsat 2³ de las capitales regionales de Chile (Figuras 7 y 8) y el MOP comprometió la compra de imágenes de las tres regiones metropolitanas (Santiago, Valparaíso y Biobío), a materializar durante el año 2009.

El MINVU adquirió a fines del 2008, imágenes Komsat 2, de 99 ciudades de menor tamaño.

³ Satélite Komsat 2: Este satélite entrega 4 bandas espectrales de 4m por píxel (3 de estas son del espectro visible y una del infrarrojo cercano) y una quinta banda pancromática de 1m por píxel.



Figura 7. Imagen Komsat 2: color real o combinación 3-2-1, año 2007 del Puerto de Arica.



Figura 8. Imagen Komsat 2: falso color convencional o combinación 4-3-2, año 2007 del Puerto de Arica.

Uso de imágenes satelitales planteado en el año 2009

Se ha propuesto la realización de las siguientes tareas:

- *Coordinación interministerial para el post proceso de las imágenes de Satélite:* debido a que las 99 imágenes adquiridas a fines del año 2008 no poseen georreferenciación, se está trabajando con otros ministerios, para abordar esta tarea. Por ejemplo, MIDEPLAN incluyó este trabajo en su proyecto de normalización cartográfica 2008-2009, en el marco del cual los consultores contratados, deberán georreferenciar un porcentaje de estas imágenes. Adicionalmente, ya se tiene el compromiso de la Secretaría Regional Ministerial del Ministerio de Salud de georreferenciar las 26 ciudades pertenecientes a la Región de Valparaíso.

- *Medición del crecimiento de las ciudades, año 2008:* nuevamente se medirá el suelo ocupado por las ciudades de más de 15,000 habitantes, complementando la serie de mediciones del año 1993 y 2003 con la del año 2008. Este esfuerzo implica sincronizar los perímetros dibujados anteriormente sobre Landsat, con las nuevas imágenes de resolución urbana, de esta forma se podrán detectar y corregir los errores propios de la escala del satélite Landsat, para luego realizar la nueva medición, bajando el nivel de error de las mediciones desde un 10% a un 3%, aproximadamente. Además serán medidas, por primera vez, las ciudades menores a 15,000 habitantes comenzando, de esta manera, la serie estadística para estos centros urbanos.
- *Medición de la vegetación presente en las ciudades de Chile:* mediante el uso de la banda infrarroja, que es sensible a la presencia de clorofila, se medirán los metros cuadrados de vegetación con que cuentan las ciudades. Con esto se calculará un índice: “metros cuadrados de vegetación por habitante”, que permitirá caracterizar las ciudades, orientando la planificación sectorial (Figura 9).
- *Análisis de riesgos:* identificación preliminar de los espacios urbanos ocupados en áreas con potenciales riesgos naturales, particularmente en la cercanía de cursos de agua importantes, laderas de cerros inestables con desprendimientos rocosos, etc.

Estos avances se materializarán en el contexto de una mesa de coordinación interinstitucional de riesgos naturales, que se constituyó a fines del año 2008.



Figura 9. Vegetación urbana en el centro de la ciudad de Linares, Imagen Komsat 2, en color real.

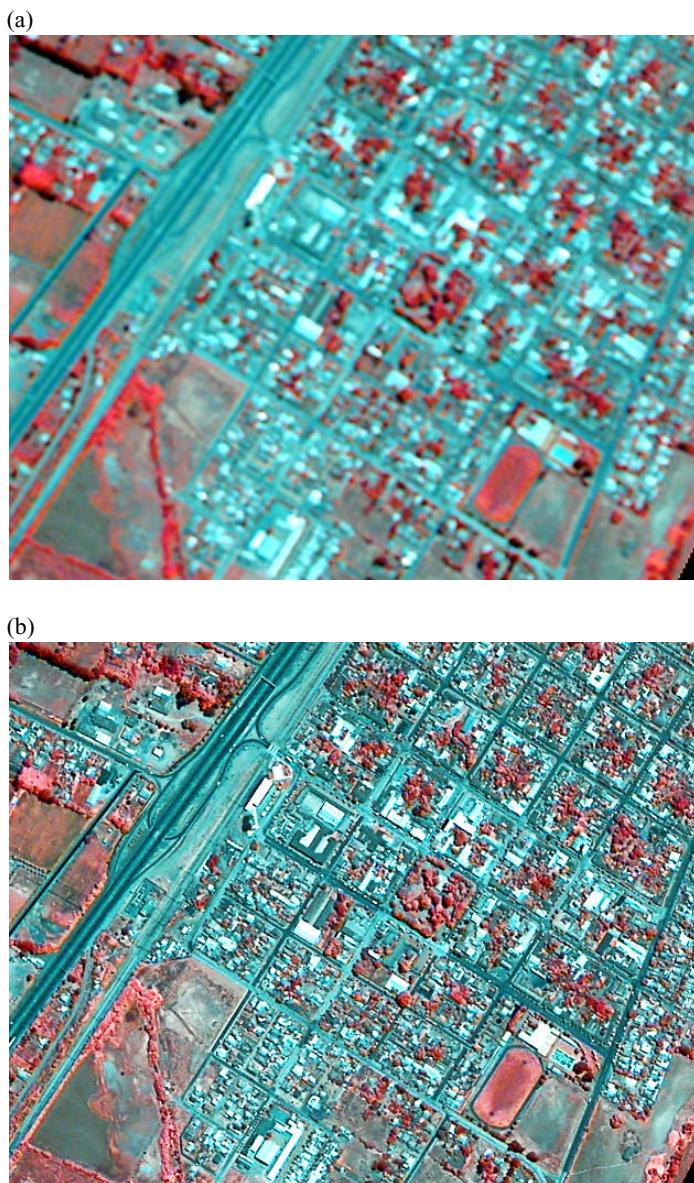


Figura 10. Ejemplo del proceso de mejoramiento de resolución de las bandas espectrales, utilizando la banda pancromática, para imágenes del Satélite Komsat 2, muy parecido técnicamente al futuro satélite Chileno. (a) Ciudad de Longaví: combinación 4-3-2, píxel de 4m, combinación 4-3-2 Pancromática, píxel de 1 solo bandas espectrales de 4m. (b) Bandas espectrales de 4m más la banda pancromática de 1m.

Programa de uso de imágenes Satelitales para el año 2010

Para el año 2010, el MINVU tiene programado actualizar los estudios y los indicadores, que requieran para su elaboración el uso de imágenes de satélite. Se pretende utilizar las imágenes del nuevo satélite chileno, ya que para junio de ese año, se espera que estén disponibles las imágenes. Este satélite entregará cuatro (4) bandas espectrales de 5.8m por píxel: 3 pertenecen al espectro visible y una al infrarrojo cercano; además de una banda pancromática, de 1.45m por píxel de resolución. Mediante un proceso informático, se podrá contar con imágenes espectrales de 1.45m de resolución, de todo el territorio nacional. Solo el almacenamiento de estas imágenes, requerirá, muchos terabytes de almacenamiento (Figura 10).

Entre los temas nuevos que podrán ser desarrollados con el uso de éste satélite se encuentran estudios de riesgos naturales y geológicos en los entornos urbanos y en las futuras áreas de expansión urbana.

El desarrollo de estos estudios requiere el uso de imágenes de satélite como plataforma cartográfica base para elaborar la carta de cobertura vegetacional de la cuenca hidrográfica en que se localizan los centros urbanos; y como elementos para confeccionar una carta hídrica local y un mapa de uso actual del suelo.

Mediante convenios, se podrá intercambiar imágenes del satélite chileno por imágenes de satélite de otros países (por ejemplo del tipo radar), que permitirán construir las cartas topográficas de detalle necesarias a bajo costo, comparado con los métodos tradicionales, reduciendo significativamente los costos globales de elaboración de estos estudios (Figura 11).

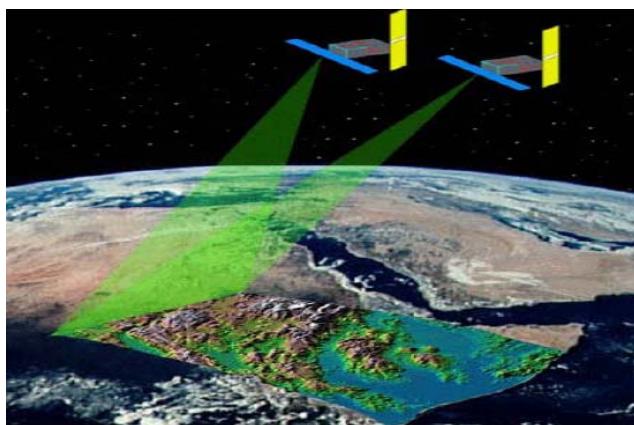


Figura 11. Dos satélites Radar, capturan imágenes de la superficie de la Tierra, procesando la diferencia de la fase entre ambas imágenes, es posible obtener un mapa topográfico, para apoyar estudios geomorfológicos, paso obligado en la elaboración de cartas de riesgos potencial (ilustración cortesía del profesor Howard Zebker, Universidad de Stanford).

Desafíos actuales

Queda de manifiesto que el país ha avanzado mucho en la inserción de éstas tecnologías en la administración de su territorio, pero queda un gran desafío para las instituciones públicas chilenas: afrontar el gran salto tecnológico que supone contar con un satélite propio, con la consecuente y necesaria capacidad de administración y procesamiento de sus imágenes, que las convierta en elementos útiles para la planificación del territorio, la erradicación de la pobreza, el manejo sustentable de los recursos naturales y el patrimonio ambiental y cultural.

En este contexto resta abordar un tema no tratado aún, y es responder ¿qué va a suceder en durante el año 2010, cuando los discos duros de las oficinas de información del Estado, se encuentren rebosantes de imágenes de todo el país?

Uno de los post procesos más relevantes y difíciles de resolver, al contar con imágenes satelitales, es la georreferenciación de las mismas, porque actualmente el país no cuenta con la cartografía regular necesaria, escala 1:5,000 o inferior.⁴

Si bien existe un proyecto del Instituto Geográfico Militar, que busca elaborar una cartografía de detalle con cobertura nacional, este demorará al menos seis años en materializarse. Por lo tanto, resolver el dilema a corto plazo, requerirá de la unión de los recursos del Estado, en un esfuerzo de coordinación sin precedentes, en el que sea posible recopilar toda la cartografía digital de escala urbana, por lo menos de los últimos cinco años, y organizar el trabajo de georreferenciación de las imágenes satelitales entre todos los equipos que posean la capacidad técnica para efectuar este tipo de procesamiento digital. Los resultados convertirán las imágenes satelitales, en una base cartográfica única, sobre la cual se podrán superponer todos los estudios territoriales del país.

Bibliografía

- Maturana, F. y Muñoz, P. (2007), “Medición de la superficie ocupada por las ciudades de Chile de más de 15,000 habitantes: 1993-2003”, Observatorio Urbano, MINVU, febrero 2007, sección “Documentos”, www.observatoriourbano.cl

⁴ La cartografía topográfica regular existente para todo el territorio, en forma continua, es confeccionada a escala 1:50,000.

LARS-Chile 2010

Semana Latinoamericana de Percepción Remota

“Exploradores del Sur”

Viviana Barrientos Lardinois^{*}

Abstract

The inequality prevailing among the countries that have the capacity of generating and acceding to the new knowledge and technologies increases the gap between developed countries and developing countries. The symposium LARS-Chile 2010, seeks to strengthen the scientific integration, the technical development and technological innovation between the region and the rest of the World.

Key words: *Symposium, Remote Sensing, Research, Technological Development.*

Resumen

La desigualdad que prevalece entre los países que tienen la capacidad de generar y de acceder a los nuevos conocimientos y tecnologías aumenta la brecha entre los países desarrollados y los países en desarrollo. El simposio LARS-Chile 2010 “Exploradores del Sur”, busca fortalecer la integración científica, el desarrollo técnico y la innovación tecnológica entre la región Latinoamericana y el mundo.

Palabras clave: *simposio, percepción remota, investigación, innovación tecnológica.*

Introducción

La incorporación sistemática de nuevas tecnologías se ha convertido en el eje generador de cambios sociales, económicos y culturales, que en muchos casos ha incrementado la desigualdad entre los países que poseen la capacidad de generar nuevas tecnologías y aquellos que son incapaces de incorporarla con la rapidez y rigurosidad requerida para apoyar el desarrollo.

* Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile, correo electrónico: viviana.barrientos@saf.cl

Es por tanto, esencial crear las condiciones más adecuadas para fortalecer la transferencia del conocimiento, la asimilación de nuevas tecnologías y el fomento de nuevas alianzas para superar decididamente la brecha entre los países desarrollados y los países en desarrollo. El Simposio LARS-Chile 2010, busca fortalecer la integración científica, el desarrollo técnico y la innovación tecnológica.

Identificación del problema

Los adelantos científicos y tecnológicos de las últimas décadas han traído aspectos positivos a nivel nacional, sin embargo, persiste la desigualdad entre los países que poseen la capacidad de generar y acceder a los nuevos conocimientos y tecnologías y aquellos que se encuentran en vías de desarrollo, acrecentándose la brecha entre las naciones.

En América Latina aun persiste una insuficiente inversión en Investigación y Desarrollo (I+D), la cual se suma a una escasa formación del recursos humanos, a un atraso en infraestructura tecnológica disponible, a una débil cooperación entre universidades y otros organismos para la ejecución de proyectos de mayor contenido tecnológico y a una falta de instrumentos para el desarrollo de investigaciones en el campo de las Ciencias de la Tierra.

Es importante crear las condiciones más adecuadas para fortalecer la transferencia del conocimiento y la asimilación de nuevas tecnologías. Por ello, desarrollar iniciativas tendientes a fortalecer la integración científica-técnica constituyen actividades esenciales para la transformación del conocimiento, para impulsar la innovación tecnológica y promover el desarrollo regional sostenible.

Desarrollar un simposio de percepción remota donde confluyan los intereses nacionales, institucionales y regionales, que permita dar a conocer los últimos avances científicos y tecnológicos en el campo de la percepción remota, compartir experiencias, interiorizarse sobre soluciones integradas basadas en datos digitales y estrechar lazos entre desarrolladores, investigadores y usuarios de la geoinformación.

Los países en desarrollo deben incorporar la ciencia y la tecnología para generar innovación y con ello crecimiento social y económico sostenible. De hecho, los datos confirman que, actualmente, el 40% del incremento de la productividad de un país proviene de los esfuerzos en Investigación y Desarrollo (Fuente: Background discusión, Estrategia de Lisboa de la UE). Los países latinoamericanos por su ubicación geográfica, se encuentran alejados de los países con mayor innovación tecnológica, esto se ve acrecentado por el alto costo que le genera a investigadores, académicos, estudiantes y público en general viajar a los diferentes simposios, congresos y/o seminarios que se realizan en el mundo sobre temáticas geoespaciales, así como las dificultades que les presenta que la mayoría se realizan en idioma inglés.

Adicionalmente, la información geoespacial juega un papel cada vez más protagónico en la toma de decisiones y en la gestión territorial. En los últimos años la comunidad se está dando cuenta de la importancia que tiene la componente espacial de los datos para la toma de decisiones. Cada día aparecen productos y servicios basados en la localización, (LBS-Location Based Services), donde la componente geográfica es vital y donde existen una serie de recursos tecnológicos y aplicaciones que se desarrollan para ello. Se requiere entonces establecer las instancias para mejorar la disponibilidad, accesibilidad y aplicabilidad de la información espacial para la toma de decisiones.

Transferencia del conocimiento

Pese al crecimiento económico de la región latinoamericana no se ha consolidado el ansiado desarrollo del conjunto de los países, lo cual impide enfrentar de mejor manera a las economías más dinámicas, los expertos coinciden en la necesidad de una mayor inversión en investigación y desarrollo. Chile es uno de los pocos países de América Latina ubicado en los lugares de avanzada en los índices mundiales de competitividad, según el ranking 2006 elaborado por el International Institute for Management Development (IMD), la región en su conjunto está muy lejos de esta posición.

El desarrollo y participación en eventos científicos y técnicos juega un papel fundamental en el crecimiento económico y en los procesos de convergencia entre países desarrollados y en vías de desarrollo, logrando estimular el conocimiento, la investigación y la innovación tecnológica.

Es esencial crear las condiciones más adecuadas para fortalecer la transferencia del conocimiento y la asimilación de nuevas tecnologías. Por ello, desarrollar iniciativas tendientes a robustecer la integración científica-técnica constituyen actividades esenciales para la transformación de la información en conocimiento y de esta forma impulsar la innovación tecnológica y el desarrollo regional sostenible.

Bajo esta perspectiva, la Semana Latinoamericana de Percepción Remota LARS-Chile 2010, que busca dar a conocer los últimos adelantos en materia de percepción remota y promover las capacidades de las geociencias.

LARS-Chile 2010

La primera versión de LARS-Chile denominada “Exploradores del Sur”, se desarrollará entre el 4 y el 8 de octubre del año 2010, está organizada por el Servicio Aerofotogramétrico del General Juan Soler Manfredini (SAF) y cuenta con el apoyo de la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Percepción Remota (ISPRS) y la Sociedad de Especialistas Latinoamericanos en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial (SELPER).



Figura 1. La primera circular del simposio, donde se representa Latinoamérica y el torbellillo de iniciativas en torno a las geociencias que se reunirán en Chile en octubre del año 2010.

LARS-Chile 2010, “Exploradores del Sur”, reúne un programa que incluirá exposiciones científicas y tecnológicas, sesiones técnicas, póster, reuniones técnicas y de negocios. Invitamos por tanto, a toda la comunidad científica, académica, tecnológica y organizaciones vinculadas a las geociencias, a participar de este importante evento, con el propósito de difundir la evolución y las tendencias más recientes en materia de percepción remota, contando con relatores invitados y participantes de todo el mundo.

Comentario final

El mayor impacto negativo que existe entre países desarrollados y en desarrollo en el ambiente geoespacial radica en el acceso diferencial a los recursos tecnológicos, las capacidades de investigación y el conocimiento en general. Aquellos que han tenido la facilidad de tomar contacto con los focos tecnológicos pudieron adaptarse e incorporar las nuevas tecnologías, aumentando por ende su capacidad de producción y competitividad. La brecha no se supera solo incorporando recursos tecnológicos o financieros, sino mediante la consolidación del conocimiento, el incentivo a la investigación, promoviendo programas de investigación y cooperación tecnológica y mediante la búsqueda permanente de nuevas soluciones.

Los simposios y actividades afines, son una opción sin igual para difundir conocimiento, ver lo que pasa en el mundo, para interactuar y para repensar qué hacer con los recursos que nos entrega la ciencia y la tecnología.

El Simposio LARS-Chile 2010 busca ser el punto de encuentro que permita disminuir la brecha existente, creando y consolidando lazos para discutir e intercambiar experiencia, constituyéndose en una actividad periódica que apoye el desarrollo regional.

LARS-Chile, constituirá en un medio para incentivar la cooperación científica, técnica y académica, permitiendo conocer y difundir capacidades de las geociencias en el desarrollo de las naciones.

Edición del
Instituto Panamericano de Geografía e Historia
realizada en su Centro de Reproducción
Impreso en **CARGRAPHICS**
RED DE IMPRESION DIGITAL
Av. Presidente Juárez N° 2004
Col. Fracc. Industrial Puente de Vigas
Tlalnepantla C.P. 54090
Edo. de México
Tels: 5390-9709 5390-9711
2010

E S T A D O S M I E M B R O S
DEL
INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

EL IPGH, SUS FUNCIONES Y SU ORGANIZACIÓN

Argentina

Belice

Bolivia

Brasil

Chile

Colombia

Costa Rica

Ecuador

El Salvador

**Estados Unidos
de América**

Guatemala

Haití

Honduras

México

Nicaragua

Panamá

Paraguay

Perú

**República
Dominicana**

Uruguay

Venezuela

EL IPGH, SUS FUNCIONES Y SU ORGANIZACIÓN

El Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) fue fundado el 7 de febrero de 1928 por resolución aprobada en la Sexta Conferencia Internacional Americana que se llevó a efecto en La Habana, Cuba. En 1930, el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos construyó para el uso del IPGH, el edificio de la calle Ex Arzobispado 29, Tacubaya, en la ciudad de México.

En 1949, se firmó un convenio entre el Instituto y el Consejo de la Organización de los Estados Americanos y se constituyó en el primer organismo especializado de ella.

El Estatuto del IPGH cita en su artículo 1o. sus fines:

- 1) Fomentar, coordinar y difundir los estudios cartográficos, geofísicos, geográficos e históricos, y los relativos a las ciencias afines de interés para América.
- 2) Promover y realizar estudios, trabajos y capacitaciones en esas disciplinas.
- 3) Promover la cooperación entre los Institutos de sus disciplinas en América y con las organizaciones internacionales afines.

Solamente los Estados Americanos pueden ser miembros del IPGH. Existen también las categorías de Observador Permanente y Socio Cooperador del IPGH. Actualmente son Observadores Permanentes: España, Francia, Israel y Jamaica.

El IPGH se compone de los siguientes órganos panamericanos:

- 1) Asamblea General

- 2) Consejo Directivo

- 3) Comisión de:

Panamá	Cartografía	(Santiago, Chile)
	Geografía	(Aguascalientes, México)
	Historia	(Sao Paulo, Brasil)
	Geofísica	(San José, Costa Rica)

- 4) Reunión de Autoridades

- 5) Secretaría General (México, D.F., México)

Además, en cada Estado Miembro funciona una Sección Nacional cuyos componentes son nombrados por cada gobierno. Cuentan con su Presidente, Vicepresidente, Miembros Nacionales de Cartografía, Geografía, Historia y Geofísica.



Obtenção de pontos de apoio fotogramétrico a partir do laser scanner aerotransportado (LIDAR) **John A. Fierro, Quintino Dalmolin y Edson A. Mitishita** • Nueva cartografía del Puerto Quintero, dando seguridad al desarrollo nacional **Miguel Vásquez Arias y Claudio Sobarzo Espinoza** • Mediciones de EDM en el Volcán de Fuego de Colima entre los años de 1997 y 2009 **Hydyn Santiago Jiménez, Juan José Ramírez Ruiz y Eliseo Alatorre Chávez** • Leitor de Mapas: uma proposta simples para transferência de dados de um mapa analógico para outro em formato digital **Jorge da Graça Raffo** • Estudo da variabilidade do nível do Rio Solimões: transformada em ondaletas **Augusto César Barros Barbosa y Denizar Blitzkow** • Automatic Vehicle Detection Using Intensity Laser, Anaglyph Image and Shadows Cast **Daniel R. S. y Quintino D.** • Análisis fotogramétrico del volcán Citlaltépetl **Rogelio Ramos-Aguilar, Patricia Máximo-Romero, Beatriz Adriana Montiel-Peralta, Yoloxochitl de Jesús González-Castelán y Arturo Rodríguez-Marcos** • Uso de imágenes satelitales en el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), Chile **Pedro Muñoz Aguayo** • LARS-Chile 2010 Semana Latinoamericana de Percepción Remota "Exploradores del Sur" **Viviana Barrientos Lardinois**