

**APLICACIÓN DE TELEDETECCIÓN, EN LA GENERACIÓN DE
INFORMACIÓN
CARTOGRÁFICA BASE, PARA EL ANÁLISIS ESPACIAL DE LA
VULNERABILIDAD SÍSMICA**

por:

Dr. Patricio Zavala Ortiz
Dr. Emilio Chuvieco Salinero
Msc Alejandro Tapia Tosetti

Recibido el 25 de septiembre de 2003
Aprobado el 05 de noviembre de 2003

“APLICACIÓN DE TELEDETECCIÓN, EN LA GENERACIÓN DE INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA BASE, PARA EL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA”

Patricio Zavala¹, Emilio Chuvieco², Alejandro Tapia¹

¹Departamento de Antropología, Geografía e Historia,
Universidad de Tarapacá,
18 de septiembre 2222- Arica (Chile)
pzavala@uta.cl

²Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá,
Colegios 2 - 28801 Alcalá de Henares (España)
emilio.chuvieco@uah.es

RESUMEN

Uno de los problemas fundamentales que posee el estudio de la vulnerabilidad sísmica en muchas zonas del planeta, y en particular en América Latina, lo constituye el hecho de que la información base no existe o no está en su totalidad disponible. Por ello, frente a este problema, en este artículo se presentan algunas aplicaciones de teledetección que pueden ser útiles al momento de gestionar variables de vulnerabilidad sísmica, tales como la estimación de la altura de los edificios y calidad de la construcción, comprendida ésta en términos de respuesta sísmica estructural. Los ejemplos presentados se aplicaron en la ciudad de Arica, localizada en el extremo norte de Chile, la que por su carácter de ciudad fronteriza, no tiene disponible toda la información necesaria para este tipo de estudios.

El presente artículo complementa trabajos anteriores de los autores (Zavala Chuvieco, 2000; Zavala Chuvieco, 2004), en donde se propuso y desarrolló un modelo para estimar la variabilidad espacio temporal de la vulnerabilidad sísmica en esta ciudad.

ABSTRACT

One of the fundamental problems that the study of seismic vulnerability has in many zones of the planet, is that the information base don't exist or is not available. For this reason, in the present work, some applications such as the calculations of the height of the buildings and quality of the construction, in terms of seismic structural answer, stand out. The examples were applied in the border city of Arica, located in the North of Chile, that don't possess readiness of information for this type of studies.

INTRODUCCIÓN

Desde la perspectiva de los estudios de riesgo sísmico, y en particular, de la vulnerabilidad sísmica, la que se manifiesta principalmente a nivel urbano, lo que interesa es poder disponer de información confiable y actualizada, la que no siempre está disponible. Ante esta necesidad, en los últimos años ha ido aumentando el uso de imágenes de satélite en estudios urbanos. Sin embargo, uno de los problemas fundamentales que tenían estas imágenes estaba relacionado con la resolución espacial que poseían, ya que los objetos urbanos eran a menudo inferiores al tamaño que cubría un píxel de una imagen, lo que se refleja en un efecto de alisamiento de la misma, y en la pérdida de información (Armand, 1995).

A partir del año 1972, fecha en que se comenzaron a recibir imágenes del sensor *MSS* del satélite *Landsat*, se inician las aplicaciones de técnicas de teledetección en áreas urbanas, las que si bien, fueron discretas, como consecuencia de la pobre resolución espacial y espectral de los datos, aumentaron conforme el mejoramiento de la resolución espacial de las imágenes de los sensores *Landsat TM* y *Spot HRV*.

La puesta en órbita de sensores de alta resolución espacial como *IRS-1C*, *Ikonos*, y *Quickbird*, entre otros, está permitiendo ampliar y mejorar

la información obtenida por teledetección a nivel urbano, lo que podemos apreciar en la imagen 5, en donde se comparan dos ventanas de un sector de la ciudad de Arica, en una imagen *Landsat TM* y una imagen *IRS 1C*.

Así, desde el punto de vista de los estudios de la vulnerabilidad sísmica, aplicaciones específicas en las áreas de morfología urbana (Moller-Jensen, L. (1990); Cheng y Thiel, 1995; Hartl y Cheng, 1995; Molina y Chuvieco, 1996), cálculo de población (Lo, 1995), y determinación de coberturas (Berger, 1996), pensamos permitirán orientar esta tecnología hacia la generación de información base, útil para el análisis espacial de este fenómeno, tal y como se expone en este trabajo.

Objetivos

Se pretende presentar los resultados alcanzados para producir cartografía de altura de las edificaciones y calidad de la construcción, entendida esta en términos de respuesta sísmica estructural ante la presencia de un sismo, tomando como ejemplo la ciudad de Arica, localizada en el Norte de Chile, y que posee un alto peligro sísmico.

El objetivo último de este trabajo es identificar la diferenciación espacial de la fragilidad de la construcción como factor de vulnerabilidad sísmica, de cara a mejorar la planificación urbana y reducir el posible impacto de un sismo.

METODOLOGÍA

Generación de mapa de altura de las construcciones

Siguiendo a autores como Cheng y Thiel, (1995), y Hartl y Cheng (1995), podemos señalar que las alturas de las construcciones pueden ser calculadas mediante imágenes de satélite, a partir del

conocimiento de la longitud de la sombra que las edificaciones proyectan, del ángulo de elevación solar de la imagen, y de la pendiente del terreno.

Un problema complejo de solucionar, y que incide de manera negativa en el cálculo de las alturas de las construcciones mediante este tipo de métodos, se produce cuando las sombras de dos o mas edificios se superponen, formando la denominada sombra de bloque, fenómeno que se manifiesta fundamentalmente en ciudades con barrios formados por bloques de edificios, lo que para la ciudad de Arica no tiene gran importancia, ya que no tiene un gran desarrollo de construcciones de altura, presentando la gran mayoría de los edificios un número inferior a los 5 pisos. Los que poseen alturas mayores, y que se han construido en los últimos 20 años, se localizan en zonas con un patrón constructivo bajo, por lo que estas edificaciones se presentan de manera aislada con respecto a su entorno, tal y como se demuestra en las figuras 1 y 2.



Figura 1 Edificio Empresarial



Figura 2 Edificios de altura y entorno

Por esta razón, se procedió a calcular las alturas de las construcciones como se señala en la figura 3. Para ello, se hizo uso de una imagen IRS 1C, remuestreada de 5.8 a 5 metros, y corregida mediante convolución cúbica.

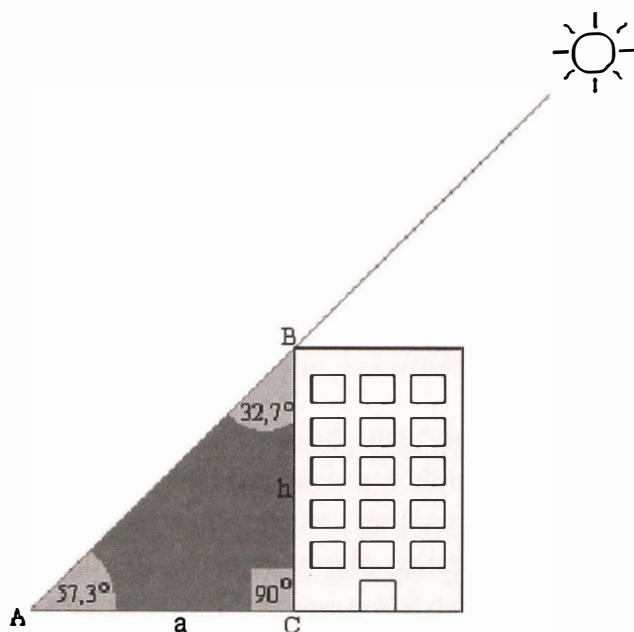


Figura 3 Cálculo de altura de las construcciones

Donde:

- El ángulo de elevación solar que posee la imagen es de $57,3^\circ$ ($57^\circ 18'$).
- La longitud de la sombra (a), fue calculada a partir del número y tamaño del píxel (5 metros), en la columna central de la sombra proyectada por las edificaciones, debido a que ésta tiene menos interferencia que otras columnas. Así, para una sombra de 5 píxeles, la altura del edificio que la proyecta fue estimada en 13,51 metros.

El paso siguiente, una vez estimadas las alturas de las construcciones, consistió en otorgar un atributo de altura a la cartografía base, lo que puede realizarse, promediando las alturas calculadas de las sombras identificadas en cada uno de los polígonos que conforman el mapa. En

el caso de la ciudad de Arica, su expansión espacial se ha desarrollado en forma de conjuntos habitacionales (poblaciones, condominios, etc.), zonas industriales, y edificaciones de uso público, originando áreas homogéneas desde el punto de vista de la construcción, lo que involucra a las alturas como una propiedad de las edificaciones, presentando así un patrón similar de altura a nivel de la mayoría de las manzanas. Sólo en aquellos casos, en los que debido a su extensión, algunos polígonos (manzanas) incorporan más de una línea de construcción, se optó por subdividirlos en función del patrón heterogéneo que es perceptible visualmente en la imagen.

Los resultados fueron verificados en un comienzo en 40 edificios, sin embargo, debido al crecimiento de la ciudad, que ha incorporado nuevos tipos de construcción, este número se amplió a 70, seleccionados mediante muestreo aleatorio estratificado, alcanzando un error promedio de 0.7 metros. Así, se generó el mapa de alturas de la ciudad de la Figura 6.

Generación de mapa de calidad de la construcción

En la búsqueda de mejorar la discriminación, para de esta forma obtener una mayor precisión, se optó por sumar capas de información adicional a la banda original, basadas en la textura, que corresponde a la variación espacial de los tonos grises que presenta una imagen. Así, siguiendo a Berger (1996), y a Molina y Chuvieco (1996), y en consideración al objetivo de diferenciar la calidad de la construcción, se procedió a generar bandas de homogeneidad y de disimilaridad, las que se pueden apreciar en la Figura 4, en donde se comparan con una ventana de la banda Pancromática original, del sector del barrio industrial.

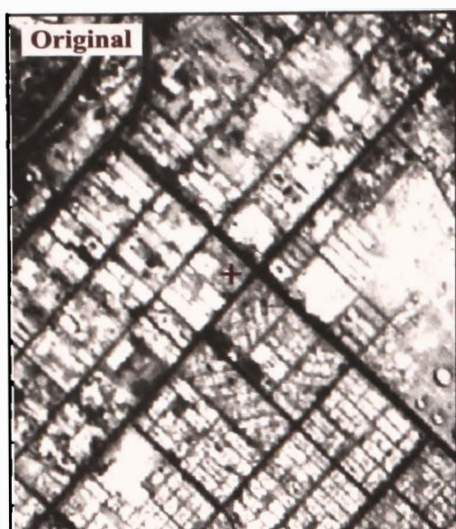


Figura 4 Comparación de banda original con bandas texturales.

Basados en el conocimiento que se tiene del área de estudio, se procedió a desarrollar una clasificación supervisada, definiéndose en primer lugar, las clases de entrenamiento.

Definición de clases

Como es sabido, existe una estrecha relación entre la forma y materiales de los techos y paredes, con respecto a la respuesta estructural de la edificación, y, por consiguiente, con la respuesta sísmica de la misma. Así, se establecieron las siguientes clases para nuestra clasificación, entre las que se encuentran las edificaciones construidas durante el último año:

1. **Construcción baja muy deficiente:** Corresponde a viviendas de uno o dos pisos, que tienen como característica fundamental poseer techos planos construidos de zinc, pizarreño o loza (concreto), sus paredes son de cemento o ladrillo fiscal. Son edificaciones construidas por iniciativa estatal y a través de autoconstrucción. En este último caso, poseen ladrillo fiscal en sus paredes, techo plano, y de material no calificado, debido a que, ante la ausencia de lluvias y al bajo nivel socioeconómico de sus propietarios, éstos son levantados con diversos materiales. Corresponden a la tipificación de estructuras de albañilería, propuesta por Sachanski (1980).
2. **Antisísmica baja con deterioro:** Son construcciones que poseen un techo plano, de loza (concreto), y paredes de ladrillo princesa. Originalmente fueron construidas con criterios antisísmicos, sin embargo, debido a su antigüedad, se han deteriorado a un nivel tal, que han perdido ese carácter.
3. **Antisísmica baja de alta calidad:** Estas edificaciones se caracterizan por tener techos de dos aguas, de cemento o material mixto,

con paredes de ladrillo princesa o cemento. Son construcciones modernas, con no más de 10 años, y que tienen un mantenimiento óptimo.

4. Construcción en altura muy deficiente: Esta categoría corresponde a edificios de departamentos DFL 2 y viviendas de dos o más pisos, con una antigüedad mayor a los 30 años. Sus techos son planos, de loza (concreto), y sus paredes de cemento, ladrillo fiscal o princesa. En el caso del centro de la ciudad, donde se localizan construcciones de este tipo, poseen techos planos, con paredes de adobe recubierto de yeso
5. Antisísmica en altura con deterioro: Son bloques de departamento que fueron contruidos con criterios antisísmicos, pero que por su antigüedad y no mantenimiento se han deteriorado. Presentan techos planos, con paredes de cemento.
6. Antisísmica de altura de alta calidad: Corresponden a construcciones con mas de dos pisos, de diversos materiales, todos sismorresistentes, que permiten que posean una muy buena respuesta estructural a los sismos. Se insertan en la categoría de estructuras porticadas con placas de corte o tirante, propuesta por Sachansky (1980).
7. Construcciones de calidad media no residencial: Corresponden a los sectores ocupados por industrias, que se caracterizan por la presencia de galpones.
8. Sin construcciones: Son básicamente los campos deportivos y eriales.

Asignación de las clases

Para la asignación de los píxeles de la imagen a una de las categorías previamente definidas se utilizó el método de máxima probabilidad

(*Maximum Likelihood*); luego de obtenida la clasificación a nivel de píxel, se aplicó un criterio modal para asignar a los distintos sectores de la ciudad, la clase dominante, dando como resultado el mapa de la figura 7.

Verificación de resultados

Una vez obtenido el mapa resultante del proceso recién señalado, se procedió a verificarlo en terreno. Para ello, se seleccionó el 5% del total de los polígonos existentes en el mapa base, aplicando la técnica de muestreo aleatorio estratificado,

Con el objeto de evaluar el acierto de las clases asignadas, se procedió a confeccionar una matriz de confusión, la que se presenta en la tabla 1.

Tabla 1 Matriz de confusión

	1	2	3	4	5	6	7	8	Total	Éxito	Error
1	4	1	2						7	57.1	42.9
2	2	3							5	60.0	40.0
3			2			1			3	66.6	33.4
4				3					3	100.0	0
5					4				4	100.0	0
6						1			1	100.0	0
7	1						2		3	66.6	33.4
8								1	1	100.0	0

El resultado obtenido alcanzó un error de asignación promedio de 18.7 %, el que sin embargo aumenta de manera notable en las categorías 1 (42.9 %), 2 (40%), 3 (33.4%), y 7 (33.4%), lo que creemos es consecuencia de dos factores que se encuentran estrechamente relacionados. El primero de ellos, corresponde a la existencia de un fenómeno "cultural" que se manifiesta en muchas zonas desérticas, ya que ante la ausencia de precipitaciones, en sectores con techos planos, la población destina esta propiedad de sus tejados, a un uso similar al de un trastero.

El segundo, se refiere a un fenómeno que se presenta en todas las imágenes urbanas de alta resolución, como ocurre con la imagen *IRS* utilizada, en la que como consecuencia de la variedad de los objetos urbanos en cuanto a sus materiales, formas y dimensiones, se produce una respuesta espectral muy heterogénea, que origina grandes dificultades para una clasificación digital.

CONCLUSIONES

Como se manifestó al comienzo de este trabajo, se presentaron los resultados alcanzados para producir cartografía de altura de las edificaciones y calidad de la construcción, entendida esta en términos de respuesta sísmica estructural ante la presencia de un sismo, en la ciudad de Arica, localizada en el norte de Chile, zona que posee un alto peligro sísmico.

Ante esto, debemos señalar que los resultados obtenidos nos permiten comprender a estas tecnologías como de extrema utilidad para la generación de información base, y su posterior gestión territorial, para un problema de tanta complejidad como lo es la vulnerabilidad sísmica.

La imagen utilizada, si bien respondió a los requerimientos que se habían fijado, no fue todo lo eficiente que en un comienzo se esperaba, debido por una parte, a su carácter Pancromático, y por otra, a un fenómeno que está tomando cada vez mayor relevancia, pues la mayor resolución espacial de una imagen, como ocurre en la actualidad con sensores como *Quick Bird* e *Ikonos*, provoca también una mayor complicación para su clasificación digital, debido al aumento del denominado efecto de frontera ("*scene noise*"). De allí que nuestros próximos trabajos estarán referidos al análisis y a la evaluación de los distintos métodos de clasificación y filtros aplicables a este tipo de imágenes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Armand, M. (1995) Teledetección, urbanismo y ordenamiento territorial. Cuadernos Pedagógicos del GDTA. Versión 1.0. Toulouse, Francia.

Berger, M. (1996) Separability analysis of landuse classes using MOMS-02 data in combination whit extracted texture images. En: Proceeding of the MOMS-02 Symposium. EarSel. París, Francia. pp. 137-142.

Cheng, F.; Thiel K. (1995) Delimiting the building heights in a city from the shadow in a panchromatic Spot Image. *International Journal of Remote Sensing*. 16 (3): 409-417.

Chuvienco, E. (1996). Fundamentos de Teledetección espacial. Ediciones Rialp S.A. Tercera Edición revisada. Madrid. 568 páginas.

Hartl, Ph; Cheng, F. (1995) Delimiting the building heights in a city from the shadow in a panchromatic Spot Image: Part 2. *International Journal of Remote Sensing*. 16 (15): 2829-2842.

Lo, C.P. (1995) Automated population and dwelling unit estimation from high resolution satellite images: a gis approach. : *International Journal of Remote Sensing*. 1995; 16, 1:17-34.

Molina, Z. ; Chuvienco E. (1996) Evaluación de índices texturales para discriminar morfología urbana: análisis de la ciudad de Maracay. *Revista de Teledetección* 1996; 7:49-57.

Moller-Jensen, L. (1990) Knowledge based classification of an urban area using texture and context information in a Landsat TM imagery. En: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 56-6, 1990.

Sachanski, S. (1980) Edificaciones: códigos, materiales, diseño. En: *Terremotos*.

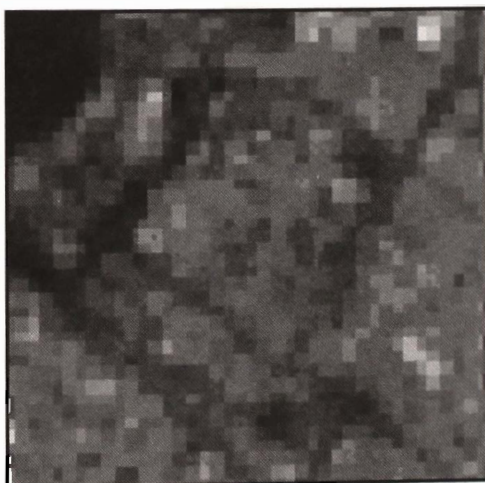
Evaluación y mitigación de su peligrosidad.
Editorial Blume. UNESCO. Barcelona, España.

Zavala P., Chuvieco E. (2000) Análisis de vulnerabilidad sísmica mediante Teledetección y S.I.G. Publicación de la Sociedad de Especialistas Latinoamericanos en Percepción Remota. Buenos Aires.

Zavala P. (2002) Análisis de la vulnerabilidad sísmica aplicando teledetección y SIG: el caso de la ciudad de Arica. Tesis Doctoral, Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá, España.

Zavala P., Chuvieco E. (2004) Analysis of the seismic vulnerability using Remote Sensing and GIS techniques. International Journal of Emergency Management. Spring 2004. France.

Landsat TM (30 metros)



IRS 1C (5.8 metros)



Figura 5 Comparación de resolución espacial entre imágenes Landsat TM e IRS.

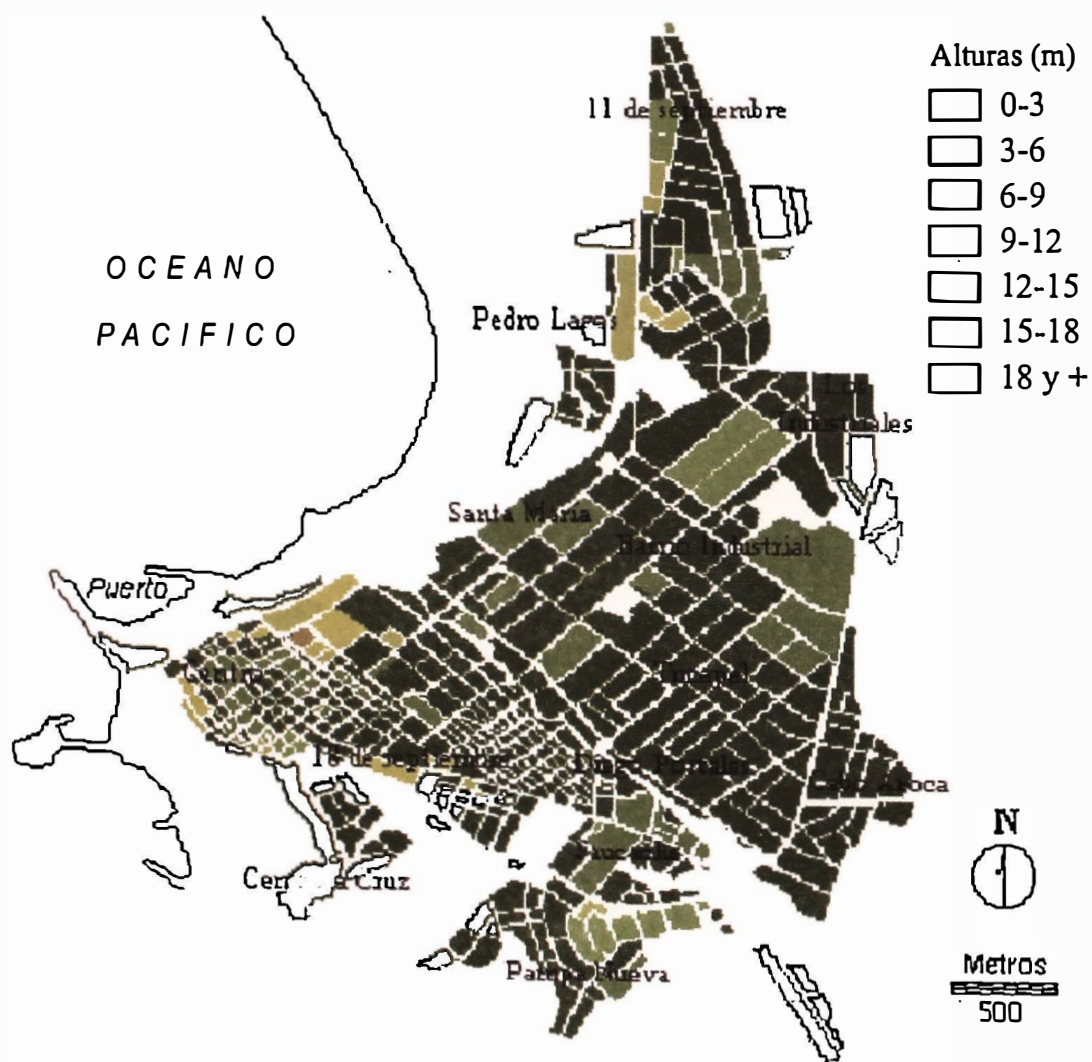
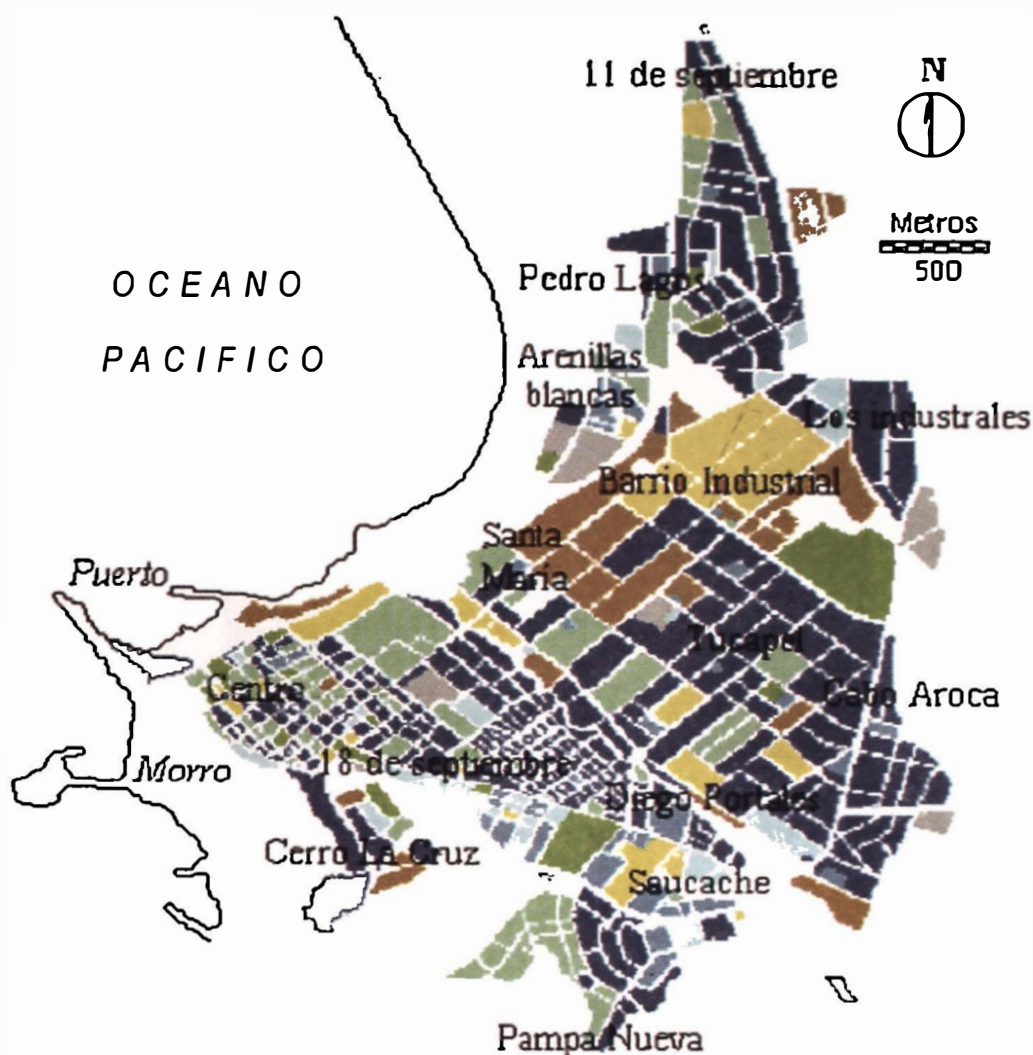


Figura 6 Alturas de las edificaciones.



- Construcción baja muy deficiente
- Antisísmica baja con deterioro
- Antisísmica baja de alta calidad
- Construcción en altura muy deficiente
- Antisísmica en altura con deterioro
- Antisísmica en altura de alta calidad
- Construcción de calidad media no residencial
- Sin construcciones

Figura 7 Distribución espacial de la calidad de la construcción.

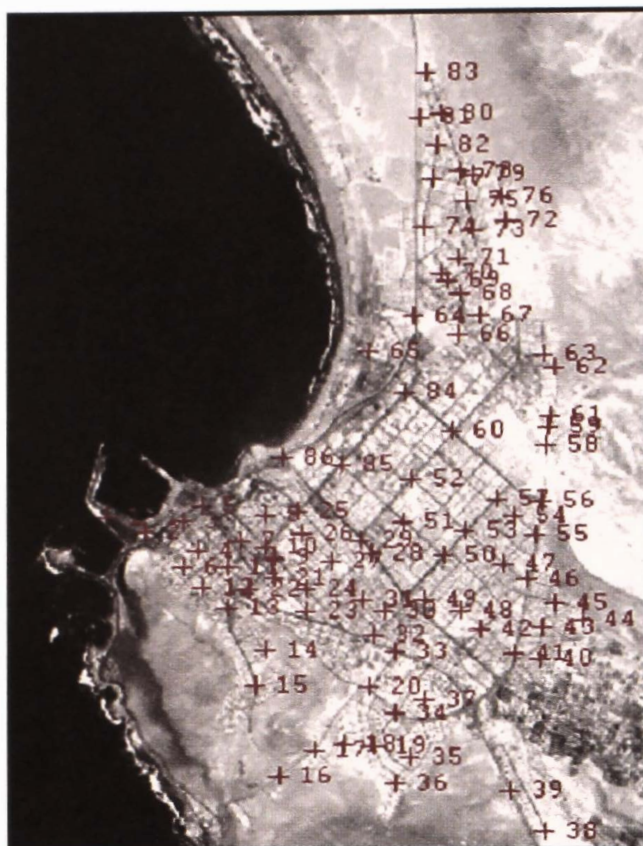


Figura 8 Puntos de control de la corrección geométrica



Figura 9 Superposición vectorial-imagen.

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

DAVID BAYER WEISS

Sociólogo, Bowdoin College. Master en Sociología del Desarrollo, Universidad de Cornell. Doctor en Administración y Educación Multicultural, Universidad de San Francisco. Profesional Senior en Recursos Humanos. Oficial Ejecutivo Adjunto en la Agencia Internacional para el Desarrollo de los Estados Unidos (USAID) en Lima, Perú (1993-2002). Actual Director de Programa de Educación Superior Equivalente, California State University, Sacramento.

EMILIO CHUVIECO SALINERO

Catedrático de Geografía en la Universidad de Alcalá, España, donde es coordinador del Programa de Doctorado en Cartografía, Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Su principal línea de investigación se refiere al uso de sensores remotos y técnicas de SIG en aplicaciones ambientales, principalmente incendios forestales, deforestación y desertificación. Es autor de más de 160 artículos, capítulos de libro y libros. Ha sido profesor visitante de las universidades de Berkeley, Cambridge, Nottingham y del Canadian Center of Remote Sensing.

ALEJANDRO PAVEZ WELLMANN

Geógrafo, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago. Investigador independiente (1997-2001) en recursos naturales y problemática de desastres naturales en Ica, Perú. Desde el año 2002 integra el Equipo de Investigación “Huarango – Ica”.

FÉLIX QUINTEROS FERREIRA

Conservacionista de Flora y Fauna Silvestre de Ica. Premio Nacional “Bárbara D’Achille”, 1992, por la protección y conservación de la Naturaleza en su labor de promotor de la conservación del *Prosopis pallida* en Perú. Actualmente es funcionario no docente de la Universidad Nacional “San Luis Gonzaga” de Ica, Perú.

JOSÉ LUIS QUISPE VILCHEZ

Ingeniero Geógrafo, Académico de la E.A.P. de Ingeniería Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Su área de especialización corresponde a la aplicación de los sistemas de información geográfica en manejo del Medio Ambiente.

ALEJANDRO TAPIA TOSETTI

Geógrafo, Master en Geografía mención en Recursos Territoriales de la Universidad de Chile. Académico del Departamento de Antropología, Geografía e Historia de la Universidad de Tarapacá. Ha participado en proyectos de investigación en el ámbito del uso y manejo de los recursos naturales.

HERNÁN L. VILLAGRÁN

Físico especialista en dinámica de fluidos y en oceanografía de gran escala y cambio climático, tras recibir entrenamiento avanzado en el extranjero. Estos elementos le han permitido introducirse en investigación de carácter interdisciplinaria, incluyendo, entre otros, el tema de sustentabilidad, tecnología y desarrollo institucional desempeñando, por ejemplo, el cargo de coordinador y subdirector del proyecto ENOS, desarrollado durante el ISU Summer Session Program 2000, que tuviera lugar en Chile.

El trabajo publicado fue desarrollado con motivo de la incorporación del autor como investigador asociado al CEADE (Centro de Estudios Aeronáuticos y del Espacio, Chile).

PATRICIO ZAVALA ORTIZ

Director del Departamento de Antropología, Geografía e Historia de la Universidad de Tarapacá, Director del Programa SIG y Percepción Remota de esta unidad académica, y Director de la Revista Diálogo Andino. Doctor por el Programa de Doctorado en Cartografía, Teledetección y Sistemas de Información Geográfica de la Universidad de Alcalá, España. Su principal línea de investigación se ha orientado a las aplicaciones de Teledetección y SIG en el riesgo sísmico y de tsunamis, lo que le ha permitido publicar 45 artículos en revistas técnicas especializadas. Ha dictado clases y conferencias en Chile, Perú, Ecuador, Argentina, Estados Unidos y Colombia. Actualmente es miembro de la Comisión Asesora Presidencial de la Agencia Chilena del Espacio.