

USO DE IMÁGENES SATELITALES DE ALTA RESOLUCIÓN PARA GENERAR CARTOGRAFÍA

Patricio Zavala O.¹ Carlos Zavala A.²

Recibido el 29 de noviembre de 2001, aceptado el 23 de julio de 2002

RESUMEN

Se presenta la metodología aplicada en la ciudad de Arica, Norte de Chile, para generar cartografía de altura de construcciones, mediante el análisis digital de una imagen satelital de alta resolución. Para ello, nos basamos en el cálculo de la longitud de las sombras que se derivan de distintas edificaciones, y del azimut solar de una imagen IRS 1C, que fue remuestreada mediante convolución cúbica a 5 metros.

Este trabajo está basado fundamentalmente en los logros alcanzados en el desarrollo de la tesis doctoral de uno de los autores (1), y que se refirió al análisis de vulnerabilidad sísmica mediante técnicas de Sistema de Información Geográfico (S.I.G.) y Teledetección.

Los resultados logrados creemos permitirán obtener cartografía resultante, que esperamos sea útil para la gestión territorial a nivel intraurbano.

Palabras Claves: Teledetección, S.I.G., construcciones

ABSTRACT

This paper describes the methodology used, to generate building height cartography, through the analysis of high resolution satellite images of the city of Arica, in northern Chile. Calculations were made using shadow lengths, derived from different constructions, and from the solar azimuth of an IRS image 1C, that was processed by cubic convolution at 5 meters.

This research project is based on the development of the doctoral thesis of one of the authors (1), related to the analysis of seismic vulnerability using Geographical Information System (G.I.S) technology and remote sensing techniques. The results of this project will yield cartography, that we hope will be useful for urban territorial management.

Keywords: Remote sensing, G.I.S., buildings

INTRODUCCIÓN

En los últimos 10 años, la bibliografía de gestión de riesgos naturales ha señalado a la vulnerabilidad, como la variable a intervenir en la disminución de un riesgo natural específico, la que según Blaikie puede ser entendida como “las características de individuos o grupos de personas, en términos de su capacidad de anticipar, enfrentar, resistir, y recuperarse del impacto de un peligro natural. Involucra una combinación de factores determinados por su nivel de vida, que los exponen a un riesgo” [1]. En el caso sísmico, ésta puede ser definida como la capacidad de respuesta de la población ante la presencia de un sismo. Por ello, y siguiendo la idea de Seaman (1984), las características

específicas de construcción de viviendas y edificios, deben necesariamente ser incorporados en todo estudio de vulnerabilidad sísmica, destacando entre ellas las alturas de las construcciones como una variable de fragilidad constructiva [2].

Desde la perspectiva de la gestión del riesgo sísmico, lo que interesa es poder disponer de información intraurbana, confiable y actualizada, la que no siempre está disponible para este tipo de estudios. 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

¹ Universidad de Tarapacá, Departamento de Antropología, Geografía e Historia, Arica - Chile, pzavala@uta.cl

² Ingeniero mecánico, czavala@entelchile.net

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. A pesar de ello, y del hecho de que los fenómenos urbanos presentan firmas espectrales muy similares, éstos podían ser identificados gracias a las diferencias notorias que manifiestan en sus características geométricas [3].

A partir del año 1972, fecha en que se comenzaron a recibir imágenes del sensor *MSS* del satélite *Landsat*, se comenzaron a aplicar técnicas de teledetección en áreas urbanas, las que si bien, han sido discretas, como consecuencia de la pobre resolución espacial y espectral de los datos, fueron aumentando conforme al mejoramiento de la resolución espacial de las imágenes de los sensores *Landsat TM* y *Spot HRV* [4].

La puesta en órbita de sensores de alta resolución espacial como *Ikonos*, *Orbimage*, e *IRS*, entre otros, está permitiendo aumentar y mejorar la información obtenida por teledetección, aspecto que se puede apreciar en Fig. 1, en donde se comparan dos ventanas de la ciudad de Arica, del sector Ex Estadio y Regimiento Rancagua, de una imagen *Landsat TM* y de la imagen *IRS 1 C*, ya corregida geoméricamente.

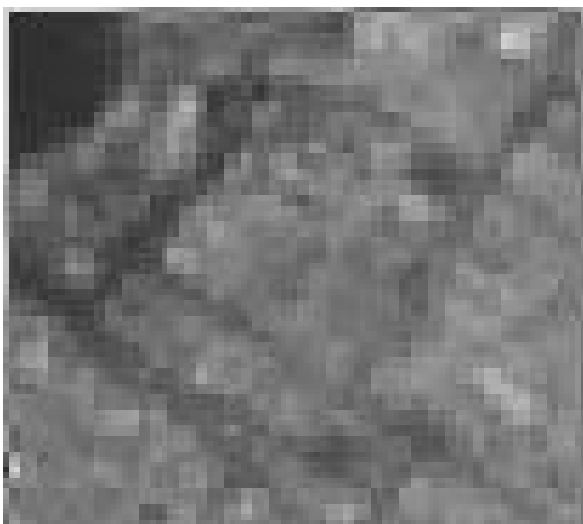
En este contexto se ubica este trabajo, que pretende exponer una metodología para generar cartografía de alturas, mediante el análisis de imágenes pancromáticas de alta resolución.

Generación de información base

Con el objeto de acceder a información inaccesible mediante otros medios tradicionales, se adquirió una imagen del satélite *IRS 1C*, en modo Pancromático, del 18 de marzo del año 2.000, que posee una resolución espacial que responde a los requerimientos de este trabajo (5.8 metros, que luego fue remuestreada a 5 metros).

Esta imagen se encontraba corregida mediante 5 puntos de control, a través de la técnica del vecino más cercano (*nearest neighbour*), que sitúa en cada celdilla de la imagen corregida el nivel digital (ND) del píxel más cercano de la imagen original. Sin embargo, al cotejarla con puntos conocidos, se encontró que estaba notoriamente desplazada, y que su calidad visual era bastante deficiente, debido a que la técnica de corrección ya señalada, tiene como inconveniente, la distorsión que origina en rasgos lineales de la imagen [5]. Por este motivo, y con el objeto de obtener una mayor calidad desde el punto de vista visual, se procedió a corregirla geoméricamente mediante la técnica de convolución cúbica, que considera los niveles digitales (ND) de los 16 píxeles más próximos, y que tiene como característica fundamental el mejorar visualmente los elementos geométricos (lineales) de una imagen, aspectos que son de interés para este trabajo.

Landsat TM (30 metros)



IRS 1C (5 metros)



Fig.1.- Comparación de resolución espacial entre imágenes Landsat TM e Irs

Para ello se hizo uso de 87 puntos de control, obtenidos previamente mediante un equipo *GPS Trimble Explorer* (2 metros de resolución), de las instalaciones que se consideraron como críticas, y de elementos geométricos de clara identificación, como esquinas de calles conocidas. La proyección utilizada fue la UTM, centrada en la zona 19 K Sur, con el elipsoide de referencia *WGS 84*, dando como resultado un *RMS* total de 5.82 (error

medio cuadrático).

Los puntos utilizados en la corrección, se pueden apreciar en la Fig. 2, mientras que sus coordenadas se presentan en la tabla 1, donde es factible observar las coordenadas originales, las generadas, los puntos omitidos (en negrillas) y los residuales producto de la corrección aplicada.



Fig. 2.- Puntos de control de la corrección geométrica

Tabla 1.- Matriz de puntos de control

Puntos	X original	Y original	X corregido	Y corregido	Residual
1	360869.4	7956584	360807	7956911.54	15.4
2	361003.4	7956191	360959.072	7956549.06	5.39
3	361054.7	7956758	361011.495	7957076.98	15.35
4	360826.1	7955917	360785.223	7956326.22	9.73
5	361441.1	7956346	361409.44	7956657.24	0.59
6	361709.2	7956727	361672.977	7956969.08	16.98
7	361784.1	7956131	361772.323	7956441	10.67
8	361685.5	7956299	361673.421	7956587.12	11.46
9	361303.1	7955971	361271.626	7956326.35	2.05
10	361283.4	7955458	361264.192	7955849.15	13.3
11	361650	7954903	361660.276	7955314.78	2.21
12	361512	7954420	361533.434	7954875.93	14.81
13	362103.4	7953586	362146.649	7954086.81	4.75
14	362426.7	7953723	362469.924	7954163.45	10.52
15	362970.7	7954194	362758.326	7954857.1	39.8
16	361756.4	7955887	361749.562	7956199.31	14.28
17	361500.2	7955732	361482.35	7956065.63	9.55
18	362083.7	7955464	362090.859	7955798.55	0.6
19	362075.8	7955756	362088.65	7956065.69	1.88
20	362044.3	7956823	362021.218	7957020.07	4.04
21	362075.8	7956519	362067.51	7956746.61	5.81
22	362269	7956036	362359.208	7956409.32	15.34
23	362777.6	7956299	362796.102	7956485.84	5.52
24	362679	7956489	362691.472	7956657.51	6.57
25	362884	7955523	362911.602	7955786.03	7.65
26	362679	7955667	362705.575	7955932.18	1.41
27	362765.7	7955214	362806.348	7955499.56	3.16
28	362974.7	7954999	363030.548	7955289.79	0.79
29	362970.7	7954194	363025.79	7954557.9	9.15
30	363073.2	7953622	363156.171	7954010.79	2.37
31	362919.5	7953211	362993.073	7953679.9	9.97
32	363262.5	7954379	363324.554	7954698	1.51
33	364437.3	7952734	364569.255	7953094.86	1.98
34	364188.9	7955088	364280.912	7955270.84	3.87
35	363849.9	7955410	363938.065	7955576.11	2.24
36	364476.7	7955464	364576.272	7955582.67	1.44
37	364890.7	7955613	365013.947	7955690.83	6.46
38	364634.4	7955786	364732.594	7955881.69	11.34
39	364346.6	7956072	364433.466	7956167.89	14.2
40	364121.9	7956268	364190.407	7956358.76	3.37
41	363664.6	7955619	363733.131	7955798.73	8.01
42	363100.8	7956769	363137.232	7956873.85	3.83
43	363230.9	7957318	363246.36	7957395.79	5.66
44	363751	7956698	363798.919	7956772.19	8.96
45	364255.9	7956912	364319.585	7956944.25	4
46	364468.8	7956703	364537.12	7956727.8	5.7
47	364528	7957151	364600.361	7957135.09	1.56

Puntos	X original	Y original	X corregido	Y corregido	Residual
48	364090.4	7957157	364139.53	7957160.42	10.51
49	364614.7	7957902	364667.483	7957809.47	6.04
50	364626.6	7958159	364683.816	7958032.22	7.61
51	363664.6	7958015	363684.839	7957987.62	1.72
52	364666	7958319	364717.463	7958172.2	1.91
53	364733	7958975	364770.771	7958770.43	4.68
54	364614.7	7959136	364646.795	7958923.1	1.09
55	362852.4	7959017	362821.967	7958967.11	7.27
56	363759.2	7959309	363759.89	7959158.19	3.46
57	363987.9	7959595	363991.024	7959400.01	0.87
58	363798.6	7959863	363780.473	7959673.54	1.97
59	363680.3	7960024	363662.568	7959820	2.46
60	363617.3	7960126	363601.118	7959921.64	0.6
61	363948.4	7960722	363931.214	7960437.14	3.55
62	363463.5	7960722	363420.197	7960487.98	1.76
63	363909	7961115	363879.81	7960799.64	4.76
64	363562.1	7961378	363511.375	7961073.18	1.32
65	363976.1	7961479	363941.796	7961124.17	4.35
66	363684.3	7962266	363618.349	7961868.65	1.27
67	363463.5	7962188	363396.575	7961811.14	6.1
68	363613.3	7961855	363562.123	7961486.89	0.56
69	363550.3	7962808	363481	7962370.98	0.33
70	363203.3	7958492	363199.617	7958458.16	6.35
71	362501.6	7957479	362491.082	7957586.31	1.12
72	362935.3	7953335	363030.975	7953764.66	2.33
73	362781.5	7952787	362858.51	7953278.38	1.88
74	362986.5	7953121	363077.215	7953570.9	1.51
75	362998.3	7953127	363083.776	7953589.34	4.55
76	362966.8	7953318	363035.973	7953762.16	8.22
77	362935.3	7953330	363028.163	7953763.1	2.26
78	362781.5	7953354	362841.639	7953807.79	11.52
79	363014.1	7953461	363089.088	7953882.8	9.11
80	360680.2	7956007	360649.59	7956415.46	2.18
81	360991.6	7956173	360947.029	7956522.96	1.14
82	361019.2	7956173	360972.024	7956542.97	7.73
83	361496.3	7956030	361459.423	7956370.45	3.28
84	364843.4	7955375	364954.328	7955507.27	3.66
85	364697.5	7955392	364806.859	7955488.52	2.25
86	364681.7	7955380	364806.859	7955488.52	2.12
87	364831.6	7955088	364948.704	7955222.88	6.07

Cálculo de la altura de las edificaciones

Basados en Cheng [6], podemos señalar que las alturas de los edificios pueden ser calculadas a partir del conocimiento de la longitud de la sombra que proyectan, del ángulo de elevación solar de la imagen, y de la pendiente del terreno. Sin embargo, para el caso de la ciudad de Arica, la pendiente es intrascendente para este cálculo, ya que la planicie donde se localiza no posee diferencias de altura significativas. Por esta razón, se procedió a calcular las alturas de las construcciones como se señala en la Fig.3.

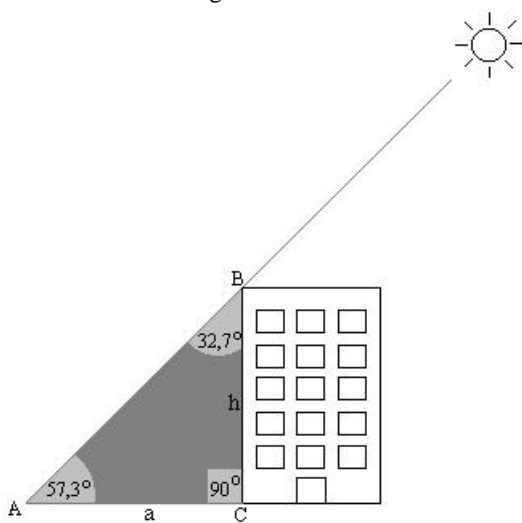


Fig.3.- Cálculo de altura de las construcciones

$$\operatorname{tg} 57,3^{\circ} = h/a$$

luego $h = \operatorname{tg} 57,3^{\circ} * a$

$$h = 0,54024 * a$$

Donde:

- El ángulo de elevación solar que posee la imagen es de $57,3^{\circ}$ ($57^{\circ}18'$), según la información entregada por *Space Imaging*, empresa donde ésta fue adquirida.
- 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.

Un problema complejo de solucionar, y que incide de manera negativa en el cálculo de las alturas de las construcciones mediante este método, se produce

cuando las sombras de dos o más edificios se superponen, formando la denominada sombra de bloque, fenómeno que se manifiesta fundamentalmente en ciudades con barrios formados por bloques de edificios. Frente a esta situación, la ciudad de Arica tiene como una de sus características urbanísticas, el poco 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, como se refleja en las Figs. 4, 5 y 6.

Lo anterior, pensamos que le otorga una mayor fiabilidad a los cálculos realizados, sustentados en la inexistencia de sombras de bloque, como consecuencia del carácter bajo de las construcciones, y en la distancia existente entre los distintos bloques de departamento de la ciudad.

El paso siguiente, una vez estimadas las alturas de las construcciones, consistió en otorgar un atributo de altura a los polígonos (manzanas) del mapa base de la ciudad, el que previamente fue generado mediante vectorización realizada sobre la imagen ya corregida. Sin embargo, debido a su extensión, algunos polígonos incorporan más de una línea de construcción, por lo que se optó por dividirlos en función de este patrón homogéneo que es perceptible visualmente.

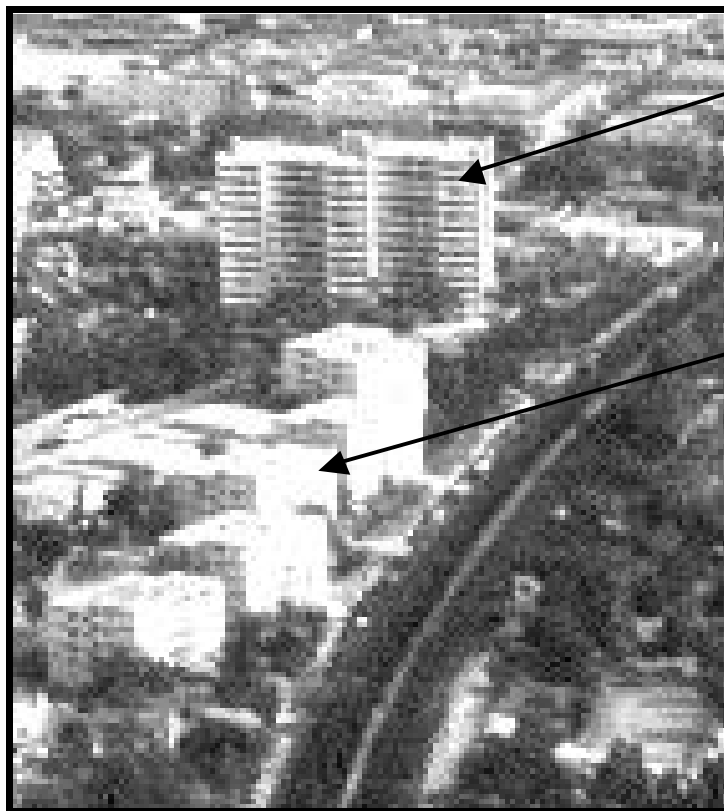
De esta forma, se generó el mapa de altura de las construcciones mediante el siguiente procedimiento:

- Se asignaron los valores de altura a cada polígono, mediante una planilla *Excel* que contiene los identificadores digitales de las manzanas de la ciudad.
- Esta matriz fue exportada al sistema de información geográfica (SIG) Idrisi, donde mediante el comando de asignación del gestor de base de datos, se generó un archivo que fue reclasificado en 7 intervalos, debido a que este número permite reflejar de manera más eficiente la distribución de los valores máximos y mínimos estimados, y a que no excede el total de categorías recomendables en un mapa.
- Se seleccionaron 20 polígonos sobre el mapa base, a través de la técnica de muestreo aleatorio estratificado, mediante el comando *sample* de Idrisi, que divide el área en matrices ortogonales de celdas y elige una localización aleatoria dentro de cada matriz.
- La verificación se realizó mediante trabajo de campo, con altímetros digitales de alta precisión, facilitados por el Ejército de Chile. El error promedio alcanzado fue de 1,5 metros.



Edificio Empresarial.
Localizado en el
centro de la ciudad,
con 16 pisos de
altura.

Fig. 4.- Edificio Empresarial (fuente: autores)



Edificio Ticnamar.
Localizado en la
periferia del centro de
la ciudad, con un total
de doce pisos de
altura.

Edificios Chungará.
Población de edificios
uniformes, con 6 pisos
de altura.

Fig. 5.- Edificio Ticnamar y su entorno (fuente: autores)

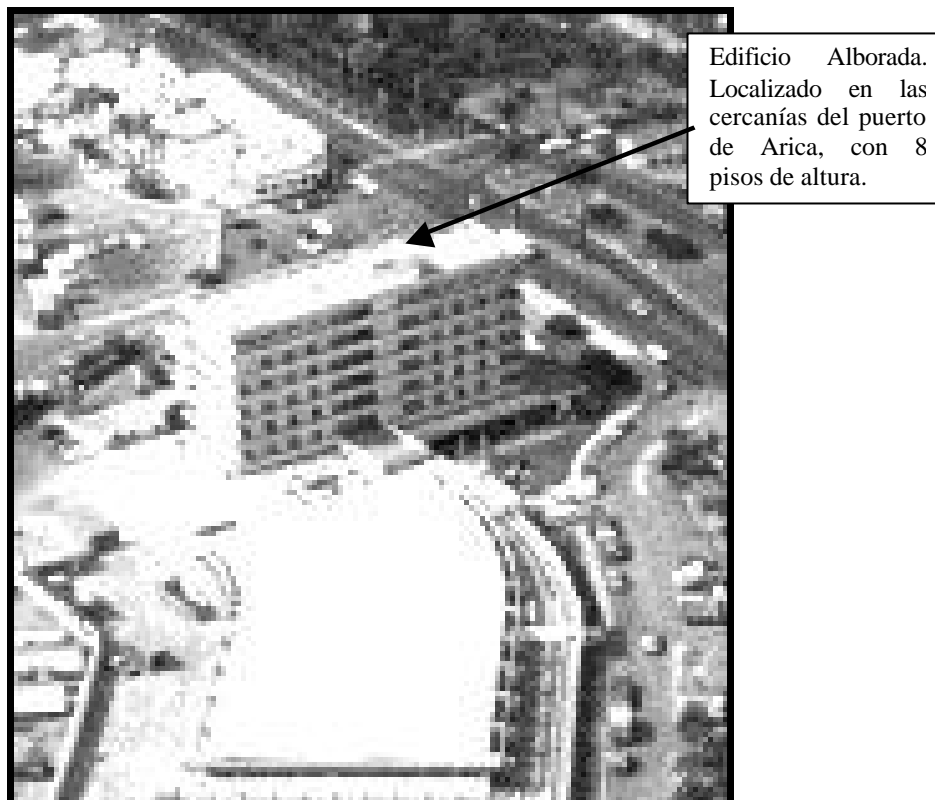


Fig. 6.- Edificio Alborada (fuente: autores)

CONCLUSIONES

El método aplicado, permitió responder de manera eficiente al requerimiento de una cartografía de alturas de la ciudad. Sin embargo, es importante señalar las dificultades que se presentan cuando las condiciones geomorfológicas y constructivas son diferentes.

En sectores con una geomorfología más compleja, las pendientes pueden presentar dificultades para una clasificación automatizada. En el caso de la ciudad de Arica, esta variable no se consideró por localizarse en una planicie litoral (Fase Concordia), con escaso desarrollo de pendientes. Sumado a esto creemos importante señalar el problema asociado con las denominadas sombras de bloque, que al presentarse en zonas de pendiente media debiesen aumentar el error de la estimación ostensiblemente.

Frente al problema de asignación de atributos de alturas a las manzanas, estimamos que la metodología aplicada, en cuanto a subdividir las en polígonos homogéneos de construcción, permite solucionar de buena manera esta dificultad.

De la cartografía obtenida podemos señalar que la ciudad de Arica se caracteriza, al igual que muchas ciudades chilenas, por haber experimentado un crecimiento de tipo horizontal en desmedro de uno vertical. Esto queda demostrado en el mapa de la Fig. 7, en donde se puede apreciar que las edificaciones poseen en su gran mayoría, alturas que van de los 3 a los 6 metros, y que corresponden a viviendas unifamiliares de 1 y 2 pisos. Las edificaciones de mayor altura se localizan en la periferia del centro de la ciudad, en la calle Juan Noé, en torno a las poblaciones Ex Estadio y Chungará. En el centro se localizan sólo algunas construcciones de altura como el caso de los edificios Empresarial y Lan Chile. En la zona norte, las construcciones de mayor altura corresponden a las poblaciones Empart, Pucarani y Pedro Lagos, que son edificios DFL 2 de cuatro pisos, con alturas cercanas a los 15 metros. En el sector de Saucache destaca el conjunto de bloques de apartamentos conocidos como Parinacota, que son construcciones de 3 pisos con alturas que bordean los 13 metros.

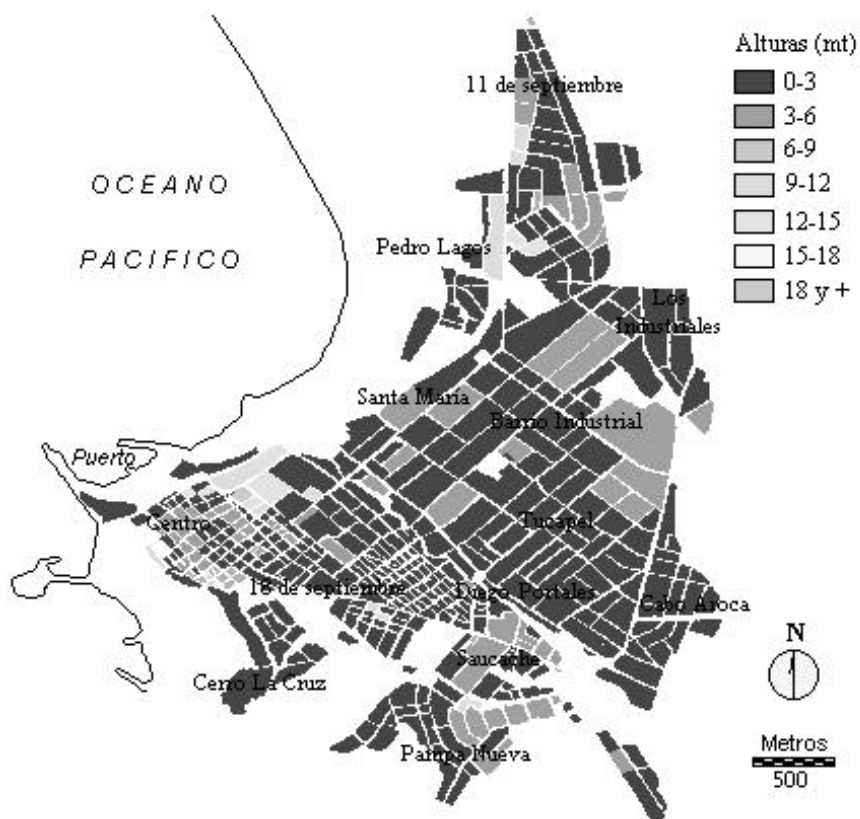


Fig. 7.- Distribución espacial de las alturas de la edificación

REFERENCIAS

- [1] J. Blaikie; "At Risk: natural hazards, people's vulnerability, and disasters". Routledge Editores. Segunda Edición, Londres, 1994.
- [2] A. Seaman; "Epidemiology of natural disasters". Basle Editores. Nueva York, 1984.
- [3] M. Armand; "Teledetección, urbanismo y ordenamiento territorial". Cuadernos Pedagógicos del GDTA. Versión 1.0. Toulouse, 1998.
- [4] P. Zavala, E. Chuvieco; "Análisis de vulnerabilidad sísmica mediante Teledetección y S.I.G." Publicación de la Sociedad de Especialistas Latinoamericanos en Percepción Remota. Buenos Aires, 2000.
- [5] E. Chuvieco; "Fundamentos de Teledetección espacial". Ediciones Rialp S.A. Tercera Edición revisada. Madrid, 1996.
- [6] F. Cheng, K. Thiel; "Delimiting the building heights in a city from the shadow in a panchromatic Spot Image". En: International Journal of Remote Sensing. 16 (3): 409417.