

EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE PATRONES RADIOMÉTRICOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CRECIMIENTO URBANO. MENDOZA, ARGENTINA

Autor: Hilda Cristina Salvatierra

Universidad Nacional de Cuyo . Fac. Filosofía y Letras. Depto. Geografía

JTP Laboratorio Teledetección

Email: csalvatierra@logos.uncu.edu.ar

Universidad Juan Agustín Maza. Fac. Ingeniería en Agrimensura.

Titular Cátedra Teledetección y Fotointerpretación

Email: chsalvatierra@umaza.edu.ar

RESUMEN

Una de las características más notables del proceso de asentamiento humano en América Latina y el Caribe ha sido la tendencia cada vez mayor a la urbanización. Esto conllevó obviamente, a una aguda concentración de la población, generando nuevos sistemas urbanos al interior de cada país e incluso en las regiones. Para poder entender y evaluar las consecuencias de estos procesos es necesario investigar los cambios del uso del suelo en áreas metropolitanas grandes; evaluar los impactos de estos cambios en los ecosistemas y recursos regionales; aplicar tecnologías para el monitoreo, análisis y predicción de tasas, patrones e impactos de cambios del terreno como consecuencia de causas naturales y humanas. Atendiendo a estas necesidades se concibió esta investigación como parte integrante de un macro proyecto el cual planteó, como principal objetivo de estudio cuantificar y delimitar el crecimiento de la región del Gran Mendoza, a partir del empleo de técnicas de interpretación visual de imágenes satelitales LANDSAT TM de diferentes fechas bajo técnicas de análisis estadístico y multitemporal. La metodología empleada se basó en la clasificación visual sobre pantalla de las imágenes, segmentando las áreas de entrenamiento en grupos de píxeles con determinados patrones radiométricos y estadísticos relacionados al tipo de consolidación de los usos urbanos. Posteriormente se correlacionó el resultado con los datos validados en campo y se analizó la variación espacial final presente a través de un SIG. La cuantificación del crecimiento urbano por este método mostró un incremento del 40%, equivalente a 9513 hectáreas, el cual evidencia la fuerte tendencia del abandono de áreas tradicionalmente agrícolas por nuevos asentamientos urbanos, representando básicamente por una clase social económica y educativamente distintiva.

ABSTRACT

One of the most remarkable characteristics of the process of settlement in Latin America and Caribbean every greater time to the urbanization has been the tendency. This entailed obvious, to an acute concentration of the population, generating new urban systems to the interior of each country and even in the regions. In order to be able to understand and to evaluate the consequences of these processes it is necessary to investigate the changes of the use of the ground in great metropolitan areas; to evaluate the impacts of these changes in the ecosystems and regional resources; to apply technologies for the monitoring, analysis and prediction of rates, patterns and impacts of changes of the land as a result of natural and human causes. Taking care of these necessities this investigation like integral part of a macro project was conceived which raised, as main training target to quantify and to delimit the growth of the region of the Great Mendoza, from the use of techniques of visual interpretation of satellite images LANDSAT TM of different dates under techniques from statistical and multitemporal analysis. The used methodology was based on the visual classification of the images, segmenting the areas of training in groups of pixels with certain related radiometric and statistical patterns to the type of consolidation of the urban uses. Later I correlate the result with the data validated in field and I analyze the space variation final present through a SIG. The quantification of the urban growth by this method showed an increase of 40%, equivalent to 9513 hectares, which traditionally demonstrate the strong tendency of the abandonment of areas agriculturists by new urban establishments, representing basically by an economic and educative distinguishing social class.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo forma parte del proyecto de cooperación internacional: "Transformaciones territoriales en áreas metropolitanas del Cono Sur: Santiago de Chile y Mendoza, Argentina", en el cual trabajaron conjuntamente la Universidad Católica de Chile y la Universidad Nacional de Cuyo¹. El interés del proyecto está enfocado a estudiar dos ciudades muy próximas y ligadas al Corredor bioceánico Atlántico-Pacífico que cumplen funciones diferenciadas, pero que pueden llegar a complementarse en algunas actividades que demanda el comercio internacional: Mendoza, metrópoli regional del oeste argentino y Santiago de Chile, capital nacional y puerta de entrada a la cuenca del Pacífico. Comparando los tipos y formas de expansión presentes en las grandes urbes latinoamericanas, observamos que una de las

¹Ing. Forestal. Especialista en Sensores Remotos y SIG aplicado a ambientes costeros. Especialista en Procesamiento Digital de Imágenes de Satélite

características más notables del proceso de asentamiento humano en América Latina y el Caribe ha sido la tendencia cada vez mayor a la urbanización. Esto conllevó obviamente, a una aguda concentración de la población, generando nuevos sistemas urbanos al interior de cada país e incluso en las regiones². Para poder entender y evaluar el impacto producido en el territorio de cada país por este tipo de sucesos, y a su vez hacer comparativos los resultados obtenidos, es necesario contar con una serie de procedimientos, técnicas y herramientas que permitan dar solución a estos interrogantes con miras a:

- ✓ Entender el cambio de uso del terreno en áreas metropolitanas grandes;
- ✓ Evaluar los impactos de estos cambios en los ecosistemas y recursos regionales;
- ✓ Aplicar tecnologías para el monitoreo, análisis y predicción de tasas, patrones e impactos de cambios del terreno como consecuencia de causas naturales y humanas³

Con este propósito, se estableció como objetivo general de la investigación la cuantificación y delimitación del área de crecimiento de la región del Gran Mendoza, a partir del empleo de técnicas de interpretación visual y digital de imágenes satelitales Landsat TM de diferentes fechas (1986 y 1999) a partir de análisis estadístico de los patrones radiométricos presentes para usos urbanos y su integración con un Sistema de Información Geográfica.

ÁREA DE ESTUDIO

Comprende la zona de influencia del Gran Mendoza, oasis norte de la provincia de Mendoza, comprendido entre las siguientes coordenadas geográficas: 32° 43' 10.71" a 33° 06' 32.38" Latitud Sur y 68° 58' 03.06" a 68° 29' 35.66" Long itud Oeste (figura 1). Es una región caracterizada por temperaturas muy elevadas en el verano y muy bajas en el invierno, el clima mendocino es semiárido. Las precipitaciones apenas superan los 250 mm anuales. De aquí la importancia que ha ejercido la presencia del hombre en conformar una región invaluable verdor otorgado por la irrigación de sus suelos. Cuenta en la actualidad con 1.412.481 habitantes. Sólo el 8,6% de los habitantes reside en el departamento donde se encuentra la capital. El crecimiento demográfico anual es del 16 %, la densidad es de 9,5 hab/km². Las principales actividades económicas están centradas en la vitivinicultura, la actividad olivícola, la fruticultura y por supuesto el turismo, en donde el desarrollo de actividades deportivas como el andinismo, rafting, esquí, etc. han marcado una interesante foco de concentración de turistas extranjeros y nacionales.

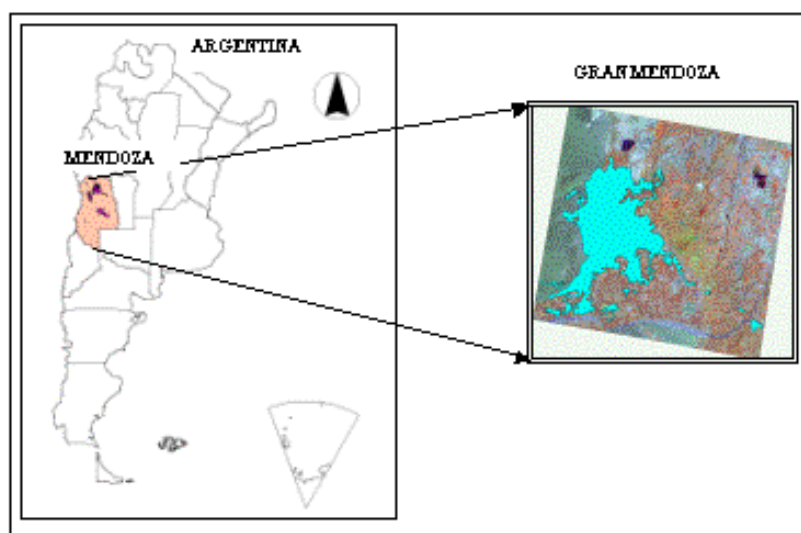


Figura 1. Área de localización

² Anales de la Universidad de Chile, Sexta Serie, N° 5, Octubre de 1997

MATERIALES EMPLEADOS

La investigación utilizó la siguiente información e infraestructura:

1. Datos raster (Imágenes Landsat TM años 1986 y 1999, 7 bandas);
2. Datos vectoriales (shapefiles de vías, parcelario urbano catastral, límites departamentales, etc.);
3. Bibliografía temática;
4. Computador x86 Family 6 Model 8 AT/AT Compatible;
5. Erdas Imagine;
6. ArcView versión 3.2;
7. Plotter Hewlett Packard C650;
8. Impresora Hewlett Packard Laserjet 5MP;
9. Escaner;
10. Lecto-escritora de CDROM.

MÉTODO

Para el estudio de la dinámica urbana se realizó un diseño metodológico, el cual integró las técnicas de procesamiento digital de imágenes de satélite y los Sistemas de Información Geográfica (figura 2).

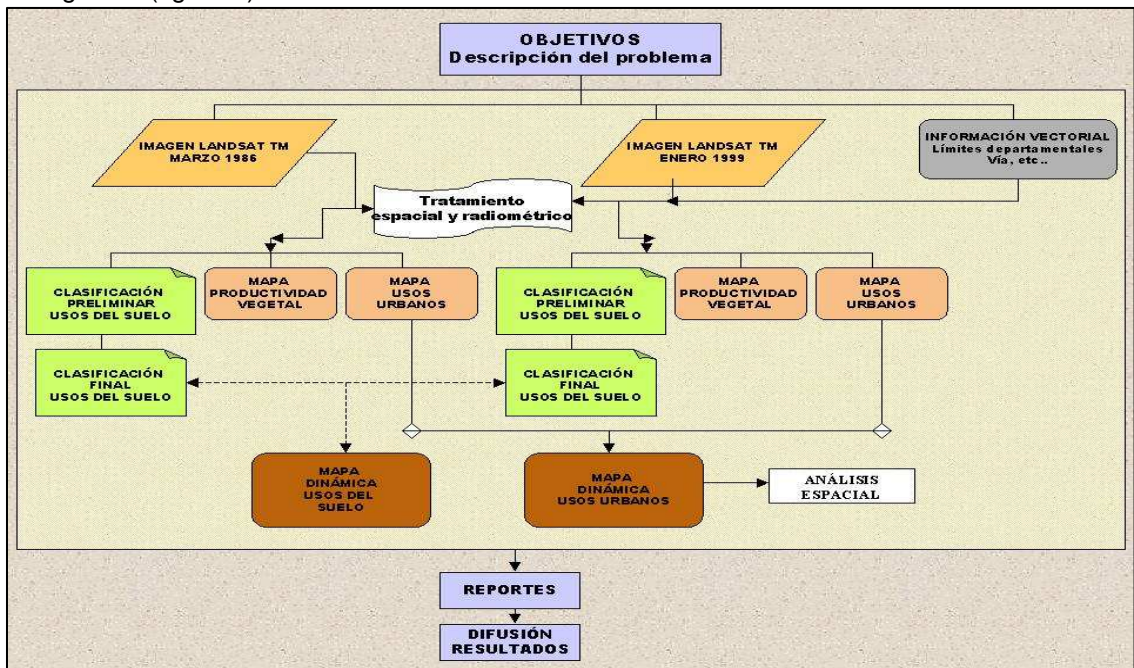
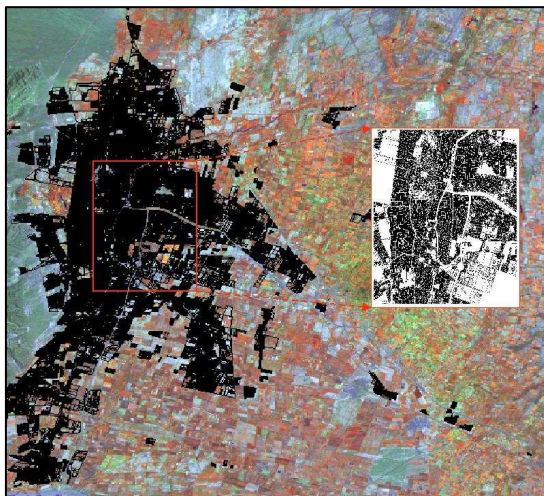


Figura 2. Flujo metodológico

Etapa de preparación de la información. Se comenzó el estudio indagando acerca de la disponibilidad de información básica y/o temática existente y sobre la calidad de la misma. La información seleccionada concerniente a imágenes satelitales, fue analizada y almacenada en un banco temporal de imágenes donde se indicó toda aquella información posible que permitiera evaluar su estado, origen, calidad, fecha adquisición, estado, etc. En el caso de información de tipo vectorial, se procedió a seleccionar aquella que realmente cumpliera con los requisitos de estándares impuestos para una transparente y lógica transferencia de la información espacial y temática a producir y confrontar con los investigadores colegas de Chile. Esta información estuvo referida a la última actualización disponible producida por la Dirección Provincial de Catastro en cuanto a los amanzanados de los departamentos del Gran Mendoza; arterias viales; límites departamentales, etc. También se revisó información temática relacionada a glosarios y conceptos generales sobre tópicos relacionados a los usos urbanos.

Finalizada esta etapa, se procedió a realizar la adecuación geométrica y radiométrica de la imagen, para la identificación precisa en el terreno de los usos a clasificar. En una primera instancia se analizaron visualmente las imágenes con el objetivo de detectar errores radiométricos ocasionados por defectos del sensor; y/o perturbaciones atmosféricas (nubes, niebla, etc). Al encontrar las imágenes libre de defectos tales como ruido, bandeamientos o bruma, se decidió proseguir con la georreferenciación de las imágenes. Este proceso fue desarrollado teniendo en cuenta el Sistema Internacional de referencia aplicado en Argentina, denominado POSGAR (Posiciones Geodésicas argentinas), según las normas establecidas por el Instituto Geográfico Militar Argentino (IGM). La corrección de la imagen se apoyó en el amanzanado catastral correspondiente al oasis norte de Mendoza (figura 3).

Los puntos de entrada y de referencia fueron centrados sobre los cuatro píxeles vecinos más cercanos al punto que representaban en la imagen vectorial con miras a promediar el error medio cuadrático. Con este procedimiento se obtuvo un error medio cuadrático total de 0.7104, el cual fue considerado aceptable para posteriores procesos de interpretación y análisis multitemporal.

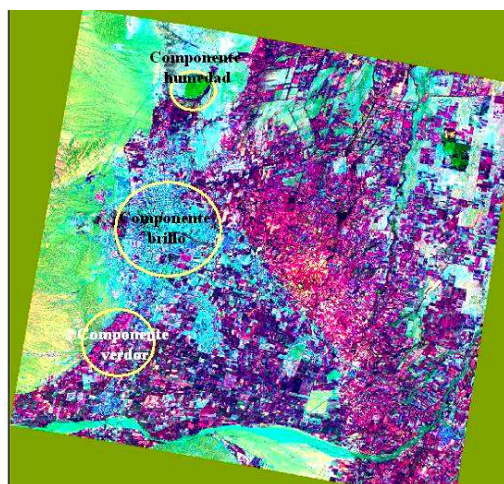


El método de remuestreo utilizado fue el de convolución cúbica, ya que se requería una alta precisión espacial en las imágenes de salida y no interfería con el proceso posterior de interpretación visual de las imágenes.

Finalizada esta etapa, se evaluó aplicar mejoramientos espaciales a partir de filtros de bordes para resaltar características lineales y así lograr un efecto lineal que permitiera remarcar las fronteras radiométricas correspondientes a aspectos antrópicos tales como construcciones, suelos descubiertos y vías de comunicación, lo que facilitaría la

Figura 3. Amanzanados por departamento del Gran Mendoza

interpretación visual de los usos propiamente urbanos. Complementariamente a este proceso, se realizó un Análisis de Componentes Principales con el objetivo de observar con mayor énfasis aspectos inherentes a fronteras espectrales y características radiométricas relacionadas con aspectos inherentes a humedad, brillo y verdor de la vegetación.

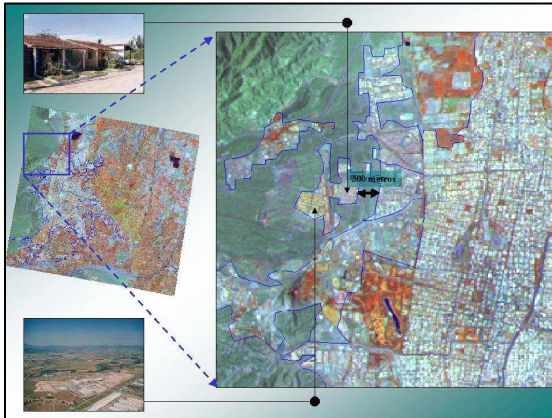


Estos aspectos resultaron muy importantes para identificar y discriminar las coberturas correspondientes a usos urbanos (componente de brillo) y a coberturas vegetales (componente de verdor) tales como pastizales, arbolados, etc., ya que son fácilmente asociables con áreas de tipo suburbanos (por ejemplo, barrios y countries parqueizados, centros recreacionales, etc., figura 4).

Figura 4. Análisis Componentes Principales (años 1986 y 1999)

Etapa de Interpretación temática. Identificadas las áreas con una adecuada representación espacial de las usos urbanos, se procedió a la interpretación visual de las imágenes satelitales con miras a obtener el Mapa de usos del suelo a escala semidetallado (1:100.000)

Este proceso se realizó a partir de la digitalización sobre pantalla de los usos urbanos. Para ello se debió establecer a priori, un criterio de distancia externa a la unidad interpretada, Este criterio fue incorporado de la siguiente manera: Para áreas consolidadas la frontera urbana es de 700 hasta 1500 metros de distancia para el periodo 1999-2003 y de 500 metros para el periodo 1986-1995 (figura 5).



Paralelamente se tuvieron en cuenta para la delimitación de los usos urbanos externos al área correspondiente al Gran Mendoza y/o que superaban el límite anteriormente establecido, una serie de patrones visuales que fueron interpretados como tal y que conformaron elementos poligonales denominados "islas urbanas" (ejemplo las cabeceras distritales de distintos departamentos y/o nuevos barrios consolidados).

Figura 5. Criterios de límites urbanos (año 1999)

Los aspectos más importantes que se tuvieron en cuenta al momento de delimitar cada tipo de uso urbano fueron:

1. el patrón radiométrico observado en la imagen;
2. el patrón visual que caracteriza este tipo de áreas (con base en aspectos de asociación espacial, tono, textura, color, disposición, etc.) y
3. el entorno que conforman las pequeñas unidades consolidadas (construcciones pertenecientes a nuevos barrios, áreas industriales, comerciales, etc.)



En cuanto al patrón radiométrico se determinó que las áreas urbanas consolidadas contuvieran un porcentaje de píxeles radiométricamente equivalentes a construcciones (residencias, áreas comerciales, administrativas, recreativas, etc.) igual o superior al 75%. En el caso de áreas suburbanas el patrón radiométrico debería determinar una notable asociación de píxeles cuyos niveles digitales denotaran la presencia de construcciones (se estimó como mínimo un 25% de dichos píxeles) bordeadas de coberturas de tipo vegetativas como lo son los parques, arboledas (densas y/o abiertas), cuerpos de agua (piletas de natación), canchas, áreas de recreación e infraestructura vial consolidada.

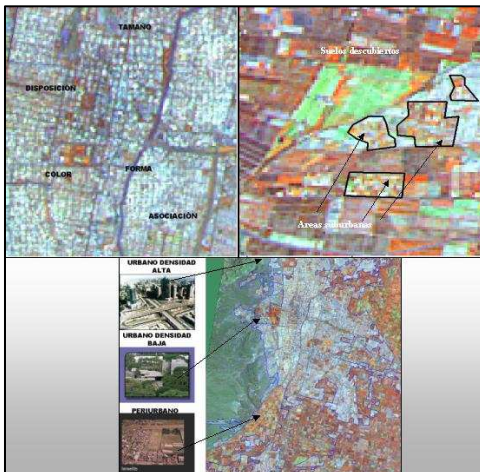


Figura 6. Patrones de interpretación visual

El patrón visual (figura 6). permitiría distinguir características visuales propias de cada uso urbano, particularmente definidas pro el tipo de dominancia

de cubiertas antrópicas presentes. Es decir, para áreas urbanas consolidadas, la superficie cubierta con construcciones, su forma geométrica, las redes viales presentes y el grado de asociación con otros aspectos urbanos tales como plazas, centros comerciales, zonas destinadas a estacionamientos, etc, y vincularlo estrechamente con el aspecto radiométrico considerado en le punto anterior. Estos aspectos también estuvieron estrechamente correlacionados con el análisis del entorno, Por ejemplo, en la zona sudoeste del Gran Mendoza existe un avance urbano de tipo periférico que está representado por un tipo particular de barrios (del tipo de las ciudades jardines de Estados Unidos), los cuales están

inmersos en grandes parquizales, con exuberantes arboledas, tal como lo constituye el distrito de Chacras de Coria. En esta zona, los usos urbanos están enmascarados por el entorno. De allí que resulta muy importante analizar minuciosamente la repuesta que los distintos patrones están denotando. Una vez identificados los patrones a interpretar, se procedió a la digitalización en pantalla, de acuerdo a la leyenda general establecida

Etapas de Análisis Multitemporal. Para evidenciar la tendencia de cambios encontrados en la zona del Gran Mendoza, se incorporó el resultado de la interpretación visual a ArcView y a través de un simple cálculo de sustracción se determinó el cambio ocurrido exclusivamente para los usos urbanos. Esto permitió no solo cuantificar sino también espacializar la información resultante.

RESULTADOS

La interpretación visual de las imágenes satelitales de los años 1986 y 1999 evidencia un significativo aumento de superficie ocupada por el uso urbano entre estas dos fechas. La superficie resultante para cada año, puede observarse en la tabla 1, y en la figura 7.

Tabla 1. Superficie cubierta para los usos urbanos de los años 1986 y 1999

CLASE	AREA	
	1986	1999
PERIURBANO	1750,594	4548,943
URBANO DENSIDAD BAJA	879,4107	3111,51491
URBANO DENSIDAD MEDIA	583,3859	797,527
URBANO DENSIDAD ALTA	11504,039	15772,584
TOTAL	16703	26229,5689

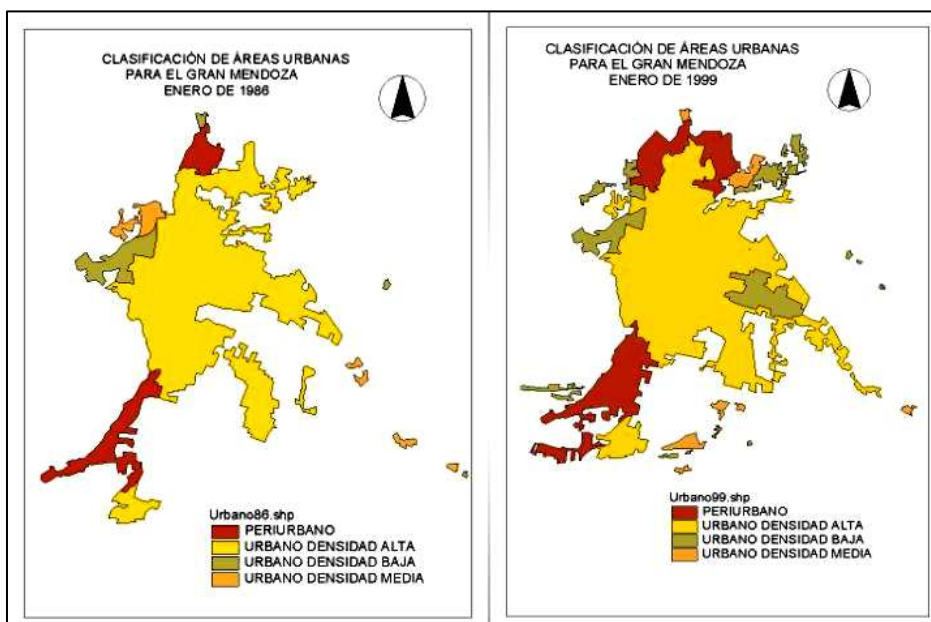


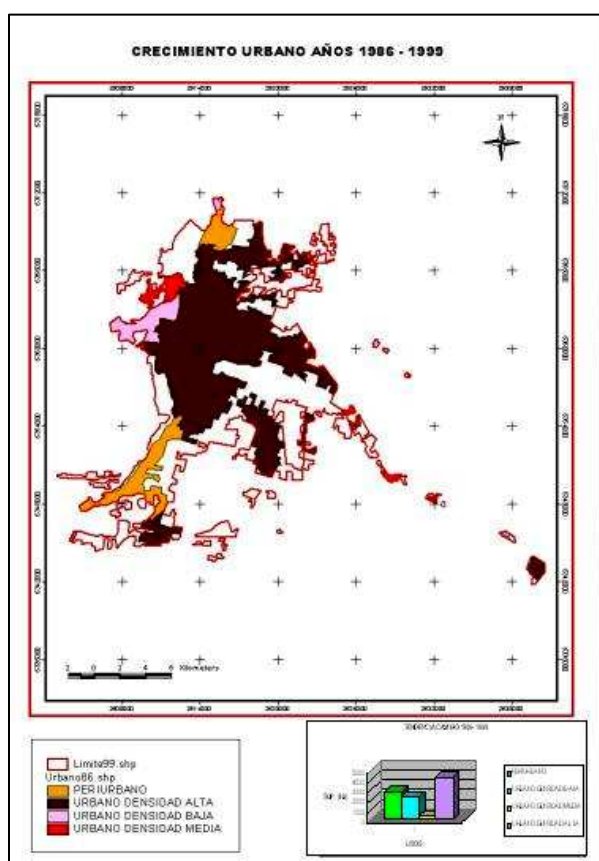
Figura 7. Mapa de Usos urbanos Años 1986 y 1999

Los procesos realizados utilizando técnicas de análisis multitemporal permitieron realizar análisis estadísticos englobando los cambios más abruptos en cuanto a las áreas urbanas con distintos niveles de densidad de construcción. (tabla 2 y figura 8). Es muy interesante observar como el cambio más abrupto se detecta en la clase denominada "Urbano densidad alta", la cual muestra un incremento del 17,6% del área (correspondiente a 4268,5 hectáreas), las cuales hablan de áreas que comenzaron a consolidarse en la década del 80 y que, en este momento evidencian una notable consolidación. Como ejemplo podemos mencionar a barrios construidos en los departamentos de Maipú, Guaymallén, Godoy Cruz y Capital. La clase

correspondiente “Urbano densidad baja” sufrió también un incremento significativo del 9% (2232 hectáreas) y esto se observa en el margen oeste del área de estudio, en el borde del piedemonte, donde han comenzado a radicarse nuevos asentamientos urbanos en su mayoría pertenecientes a estratos socio-económicos bajos (departamentos de Godoy Cruz y Capital) y en menor medida a estratos medios a altos (Capital y Las Heras).

Tabla 2. Análisis de cambio detallado por usos urbanos

CLASE	AREA				Sup. cambio	%
	1999	%	1986	%		
PERIURBANO	4548,943	18,7735708	1750,594	11,8946993	2798,349	11,5488374
URBANO DENSIDAD BAJA	3111,51491	12,8412788	879,4107	5,97530088	2232,10421	9,2119348
URBANO DENSIDAD MEDIA	797,527	3,29140848	583,3859	3,96391161	214,1411	0,88376423
URBANO DENSIDAD ALTA	15772,584	65,093742	11504,039	78,1660882	4268,545	17,6163631
TOTAL	24230,5689	100	14717	100	9513,13931	39,2608995



Una vez establecidas estas diferencias, se generalizaron los resultados, obteniendo un cálculo representativo para los usos propiamente urbanos y los periurbanos. (tabla 3 y figura 9)

Figura 10. Análisis de cambio en los usos urbanos

Tabla 3. Análisis de cambio global

CLASE	1986	1999	SUP-CAMBIO	%
PERIURBANO	1750,594	4548,943	2798,349	11,5488374
URBANO	12966,8356	19681,6259	6714,79031	27,7120621
TOTAL	14717,4296	24230,5689	9513,13931	39,2608995

Este nuevo análisis permitió observar que las áreas periféricas sufrieron un incremento del 11,5% (2798 hectáreas), las que se ubican principalmente en la zona norte y sur del Gran Mendoza. El uso urbano se incrementó en un 27,7% (6714,7 hectáreas) distribuidas en los alrededores de las áreas consolidadas de las cabeceras municipales, principalmente.

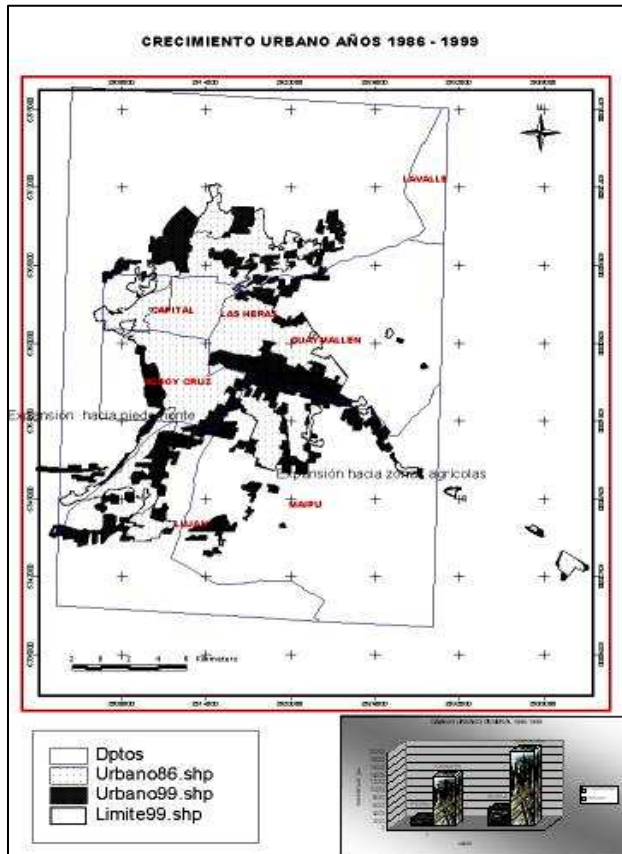


Figura 16. Análisis de cambio global

CONCLUSIÓN

Es interesante observar tres grandes tendencias de cambio relacionadas a un fuerte incremento del tipo lineal en dirección:

1. sudeste al Gran Mendoza, el cual incluye los departamentos de Luján, Maipú y Guaymallén, de manera casi paralela a los grandes corredores viales correspondientes a la ruta nacional N^a 40 y a la ruta Nacional N^a 7. Estas nuevas urbanizaciones están destinadas a viviendas de estratos socioeconómico medios, destinados a viviendas permanentes
2. Oeste-sudoeste, paralelo al corredor del oeste. Aquí se presentan una serie de nuevas urbanizaciones relacionadas a estratos socioeconómicos medios a altos, dedicadas a viviendas de tipo permanentes y en menor medida, recreacionales; Pertenecen al departamento de Luján
3. Noroeste.sudoeste, aquí se presentan nuevas urbanizaciones relacionadas a estratos socioeconómicos medios a altos (sector noroeste) y propiamente medios (sector noreste). Pertenecen a los departamentos de Las Heras y Guaymallén.
4. Se pone de manifiesto que esta tendencia responde a avances de tipo irregulares y no sistemáticos, pero que evidencian un fuerte concentración de la población en esta región en los últimos 10 años.
5. El análisis estadístico de los patrones radiométricos utilizados en la identificación de los usos urbanos permitió precisar el uso presente con un nivel de confianza acorde a las expectativas del trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

FURLANI DE CIVIT, M. ;GUTIÉRREZ DE MANCHÓN, M.; MOLINA DE BUONO, G.; LOTFI , V. (1999). Producción de lo urbano en un área de oasis. <http://www.argiropolis.com.ar/mundourbano/anteriores/Cinco>.

CHUVIECO, E. (2000) Fundamentos De teledetección. Ediciones RIAL, S.A. Madrid, España. 4ª. Edición. Friedrich m., Wahl. Digital Image Signal Processing. Artech House, Inc., Norwood, MA 1987.

GRAY DE CERDÁN, N.; ALVAREZ, A.; RUIZ DE LIMA, G. ET. AL. (1986) Propuesta de desarrollo urbano para el Gran Mendoza. Instituto de Geografía. Facultad de Filosofía y letras. Universidad Nacional de Cuyo. 211 p.

GUDIÑO DE MUÑOZ, M., TRIFIRO DE MARTÍNEZ, M., Y GUEVARA, M. (1999). Atlas socioeconómico de los departamentos del Gran Mendoza. Reporte final. Facultad de Filosofía y Letras. Departamento de Geografía, CIFOT.

HOWARD, J.A. 1991. Remote Sensing of Forest Resources. Theory and Application. Chapman & Hall. London.

JENSEN, J. R., (1986) Introductory Digital Image Processing. Prentice Hall, Engewood Cliffs, New Jersey

JENSEN, J. R., Introductory Digital Image Processing: A remote sensing perspective, 2nd Edition. NJ: Prentice-Hall, pp. 17-24. 1996.

LILLESAND, T. M., R. W. KIEFER, Remote Sensing and Image Interpretation, 3rd Edition. John Wiley & Sons, Inc., 23 p. 1994.

Richards, John A. Remote Sensing Digital Image Analysis. Springer – Verlag. Berlín Herdelberg, 1986.

ROBINSON, A., MORRISON H., MUEHRCKE P., KIMERLING A., GUPTILL, S Elements of Cartography, 6th Edition, John Wiley & Sons, Inc., pp. 190-192. 1995.

SABINS, FLOYD. Jr. Remote Sensing, Principles and Interpretation Second Edition. W.H. Freeman and Co., New York, 1987.

SALVATIERRA, H.C. (2001). Análisis multitemporal del cambio del ecosistema de manglar en la costa del departamento del Atlántico (Colombia). Revista Cartografica IPGH (Instituto Panamericano de Geografía e Historia). N°73 Julio-Diciembre de 2001. 48 pp.

SALVATIERRA, H.C (2004) "Valoración de indicadores geográficos en las evaluaciones de impacto ambiental en los planes de Ordenamiento Territorial". Proyecto 06/G204. Colaboradora. IX Jornadas Cuyanas de Geografía. Editorial FFYL-UNC. Capitulo Ambiente, Riesgos. Publicación en CDROM. ISBN 987-1024-25-8

SALVATIERRA, H.C (2005) "Identificación de nuevos emprendimientos vitícolas" Memorias de las 4tas. Jornadas Interdisciplinarias De Estudios Agrarios Y Agroindustriales. Buenos Aires- e.

SCHOWENGERDT, R. (1988) Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing.