

## **Detección en los cambios en el uso del suelo periurbano por medio de Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica**

**Daila Graciana Pombo<sup>1,2</sup>**  
**María Celeste Martínez Uncal<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Humanas – UNLPam – Coronel Gil – (6300) Santa Rosa - La Pampa – Argentina. [dailapombo@gmail.com](mailto:dailapombo@gmail.com)

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – UNLPam – Av. Uruguay – (6300) Santa Rosa – La Pampa – Argentina. [mcelemu@hotmail.com](mailto:mcelemu@hotmail.com)

**Abstract:** El objeto de la actividad urbana es el suelo, es un recurso limitado y no renovable, además de ser el marco físico donde se desarrollan los recursos naturales. Por este motivo en la Planificación Urbanística Sostenible se tienen en cuenta modelos de ocupación del suelo que eviten la dispersión en el territorio. Favoreciendo así la cohesión social, considerando la rehabilitación y renovación del suelo urbano, la preservación de los sistemas tradicionales de las áreas rurales y consolidando un modelo de territorio globalmente eficiente. Desde esta perspectiva, algunas de las premisas orientan la planificación teniendo prudencia en las transformaciones, ordenando los usos del suelo con la debida protección del espacio y los elementos ambientales como valores relevantes. Estos elementos constituyen unidades determinantes del modelo territorial con patrones de sostenibilidad eficientes, siendo así posible corregir y reconducir las pautas de estructuración de las ciudades y de utilización del territorio. El *objetivo general* de este trabajo consiste en el desarrollo de una metodología basada en la detección y ponderación de los usos del suelo realizados en torno a una vía de circulación y de conexión de importancia entre la capital de la provincia, Santa Rosa, y la ciudad de Toay, donde se produce la expansión de la primera ciudad, desarrollándose y extendiéndose el área periurbana de la misma. En este trabajo se utilizará una metodología recurriendo al uso y análisis de imágenes de satélite integrándolas a un Sistemas de Información Geográfica para calcular la superficie que se ha analizado en dicho estudio.

**Keywords:** Image Processing, Suburbs, Classifications, Spectral signatures.

## **1. Introducción**

La expansión del uso del suelo urbano en las periferias de ciudades importantes constituye uno de los cambios paisajísticos más sobresalientes que se han venido produciendo en las últimas décadas. En consecuencia, uno de los aspectos a considerar en los análisis que se han desarrollado sobre las franjas rururbanas, ha sido el estudio de los cambios en los usos de suelo y el consumo de espacio para usos urbanos.

La planificación del territorio se plasma en políticas de reparto de actividades y de utilización del suelo, muchas veces a través de modelos de localización y siempre con la intención de suprimir las disparidades y mejorar las condiciones de vida y la protección del medio ambiente. En este contexto, los usos del suelo constituyen una variable básica a ser considerada para elaborar políticas de gestión del territorio; su inventario y cartografía constituyen una información indispensable, más aún cuando existe la posibilidad de actualización en un período relativamente corto de tiempo a través de las imágenes de satélite.

Este trabajo se enmarcaría dentro de varias iniciativas de realización de estudios para un mejor conocimiento de lo que ha venido siendo en los últimos años el proceso de cambio en la franja rururbana de la ciudad de Santa Rosa, La Pampa. Se pretende con este trabajo ofrecer un avance de los resultados de un aspecto parcial, el consumo de uso de suelo urbano, del conjunto de fenómenos que informan el complejo proceso territorial de las periferias.

El ámbito de estudio se reduce al área de crecimiento y expansión que se extiende sobre la vía de circulación que conecta dos ciudades, la primera y de mayor importancia, la capital de la Provincia de La Pampa, Santa Rosa localizada en el departamento Capital y la ciudad de Toay emplazada en el departamento del mismo nombre. Su selección se ha realizado teniendo en cuenta criterios utilizados a la hora de establecer límites en las zonas de influencia de la ciudad, tales como evolución de la población, porcentaje de población activa ocupada en el sector primario, movilidad de la población, volumen de construcción, etc.

Además hay que considerar el emplazamiento actual de la ciudad de Santa Rosa, que mantiene como elemento dominante la Laguna Don Tomás, cuenca centrípeta hacia la que drenan las aguas pluviales de toda el área circundante. Su superficie ha oscilado, aumentando o disminuyendo hasta casi desaparecer, pero constantemente ha sido un inconveniente en múltiples aspectos de la vida urbana: es un obstáculo para el crecimiento horizontal de la ciudad; por muchos años existió en su borde este un barrio de viviendas precarias posteriormente erradicado; por haber estado conectado con el campo de derrame de líquidos cloacales, fue fuente de malos olores; esto, unido a riesgo de inundaciones, se había convertido en un área degradada que la población eludía para la construcción de viviendas planteando así numerosos problemas de costosa solución.

La superficie edificada de la ciudad se extiende en terrenos ondulados donde las mayores alturas se encuentran en el este: allí aparecen dos pequeñas mesetas relictuales ubicadas a 200 m.s.n.m. Este borde se observa también al norte, con alturas de hasta 195 m. alrededor del hospital de la zona. Desde aquí el relieve desciende hacia el oeste y el sud, con pendientes que en algunos sectores son pronunciadas, ya que superan el 3%. El sector sudoeste es la zona más baja y menos ondulada. Allí la altura es de 167 m.s.n.m. Los médanos han sido prácticamente enmascarados por la edificación y las aguas abundantes han desaparecido.

Durante las últimas décadas la ciudad sigue un sostenido proceso de expansión y aquí confluyen factores regionales, nacionales e internacionales. Es así que la provincialización, la Segunda Guerra Mundial, la industrialización, ayudan para que Santa Rosa duplique en 13 años su población. Hay que destacar que ahora la ciudad no sólo se expande en nuevos terrenos, sino que empiezan a erigirse edificios de propiedad horizontal, invadiendo el espacio aéreo.

Desde 1960 hasta la actualidad la ciudad de Santa Rosa se ha extendido y la población ha aumentado considerablemente. Hasta el momento y salvo en contados períodos, la expansión de la ciudad, el tipo de parcelamiento, el diseño y ubicación de los edificios, el uso del suelo y el destino de las edificación se realizada de acuerdo a iniciativas de particulares, con los consiguientes trastornos funcionales.

A través de los distintos períodos analizados es posible asegurar que la evolución de Santa Rosa estuvo influida por el emplazamiento de instalaciones que en su momento actuaron como polo de atracción, como la estación del Ferrocarril, el Hospital Regional, la Escuela Hogar, el Centro Cívico, etc. Pero también hay que destacar que en su extensión y compactación jugaron un papel preponderante los propietarios de las “quintas” periféricas a las zonas urbanas, ya que la carencia de normas que reglamentaran las subdivisiones facilitaban la venta de cualquier sector, creándose muchas veces grupos aislados de edificaciones. Este crecimiento sin control urbanístico originó una expansión arbitraria.

## 2. Metodología

Con el fin de estudiar cómo ha ido expandiéndose la mancha urbana de Santa Rosa hacia el espacio rural, cambiando así los usos del suelo, se realizó una clasificación no supervisada y supervisada de una imagen satelital, en este caso, se seleccionó una imagen Landsat TM 5, tomada en 1986 y otra del año 2010, de 30 metros de resolución espacial. A su vez se tomaron las bandas 2 (verde), 3 (roja) y 4 (infrarroja cercana), ya que la combinación de las mismas permite conseguir una buena diferenciación entre las diferentes cubiertas vegetales ya que el infrarrojo cercano es muy sensible a la clorofila.

Ambos tipos de clasificación no se contraponen sino que se complementan, ya que se sirven el uno del otro para ir ajustando resultados hacia un objetivo final cual es el mapa digital.

El primero de ellos la **Clasificación No Supervisada** permite explorar, a nivel de aproximación, el comportamiento de los ND (niveles digitales). Es una estrategia a partir de la cual se complementa el análisis visual primario de una escena a partir de los diferentes falso color y compuestos específicos como por ejemplo los índices verdes. Esta clasificación es un método ideal para efectuar una aproximación al conocimiento de las clases presentes en una imagen, su posición, su dispersión y su grado de mezcla.

En los diagramas de dispersión realizados con algunas de las bandas de la imagen satelital de la zona de la ciudad de Santa Rosa del sensor TM pertenecientes al programa Landsat 5, en los mismos se pudo observar la correlación entre las bandas elegidas pudiéndose detectar la conveniencia de que bandas utilizar para la clasificación de las diferentes cubiertas.

En estos casos seleccionados se puede determinar que las bandas 4 (IRC), 3 (roja) y 2 (IRM) no poseen una excelente correlación aunque esto no signifique que sea lo ideal. Esto nos podría indicar si podemos excluir alguna de ellas o, en caso contrario, que nos de información de relevancia. Igual por lo que se explicó anteriormente (por el comportamiento de las mismas) fue la elección de la combinación de las bandas (Figura N° 1).

El análisis es complejo y está dado por la cantidad de clusters deseados. Esto se debe a un incremento en la posibilidad de mezcla de clases, en la medida que se requiera de una menor o mayor complejidad.

Otra de las variables que intervienen es la selección de un análisis genérico o amplio (*broad*) o de uno más detallado (*fine*). En este caso se seleccionaron las tres bandas que se analizaron anteriormente (B4, B3, B2), y se obtuvieron las siguientes imágenes correspondientes a una **CLASIFICACIÓN NO SUPERVISADA**.

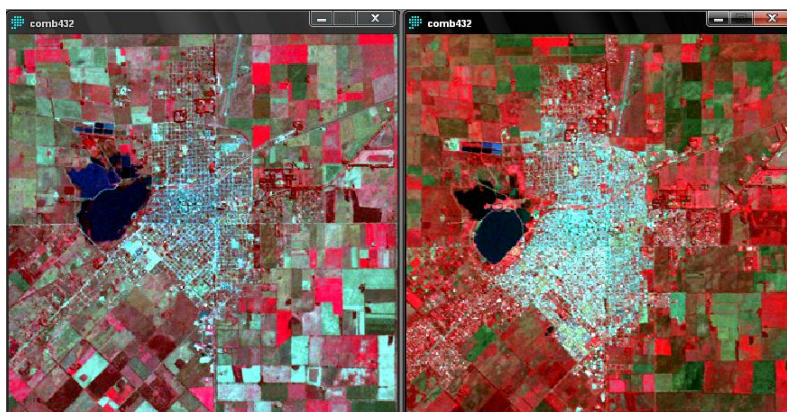
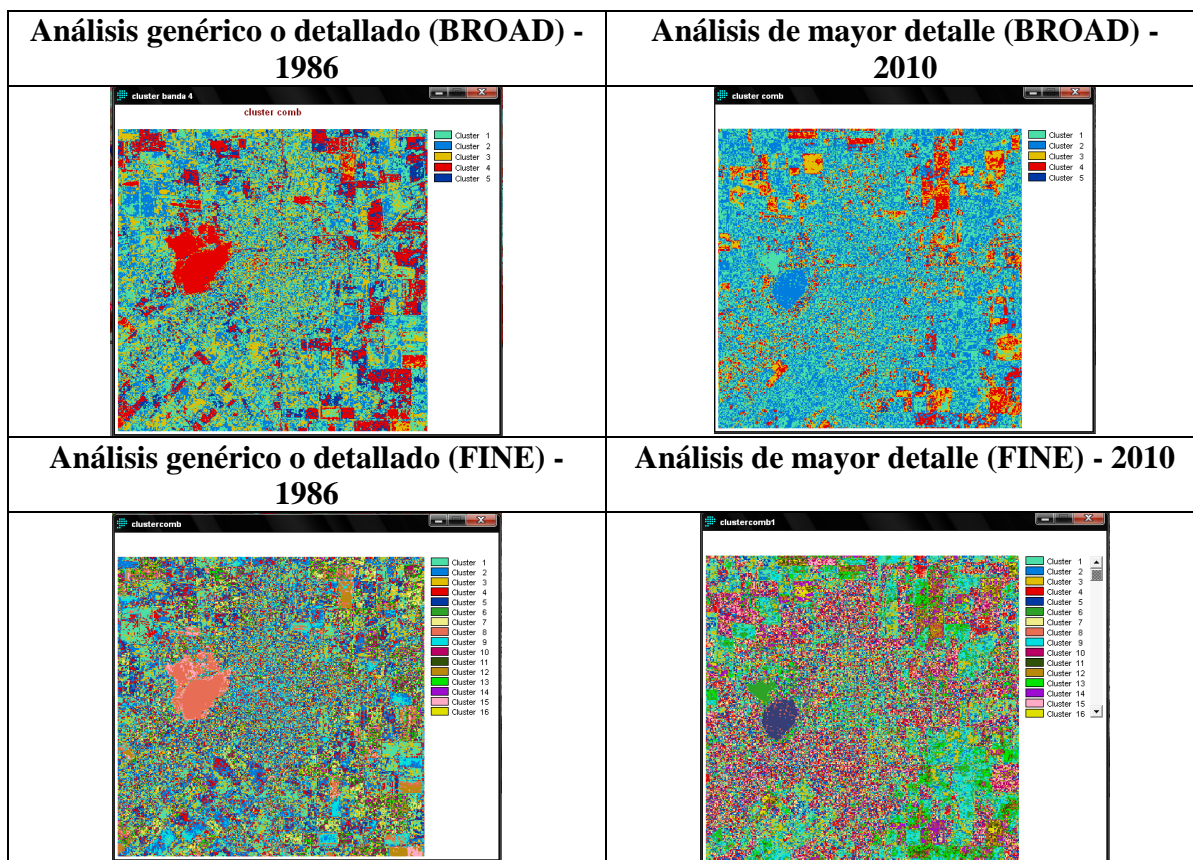


FIGURA N° 1: Imagen Landsat TM 5 Comb. 432 – 1865/ Imagen Landsat TM 5 Comb. 432 - 2010.

En el análisis de imágenes, se trata de un agrupamiento o racimo de datos que se da en torno a características espectrales similares y que es la consecuencia estadística de la existencia de distintas clases espectrales en una imagen.



Una de las formas de efectuar la definición de los *clusters* presentes en una imagen es dividir el conjunto en conglomerados definidos por la presencia de *picos* en el histograma de cada banda, como se observan en el cuadro anterior correspondientes a la clasificación automática que realiza Idrisi. De esta manera determina, el software, las clases que identifica en la imagen.

En los clusters el conjunto se divide en función de tales picos que el programa detecta en el histograma y genera **una clase** por cada pico. Las clases resultan divididas unas de otras en el punto medio del espacio comprendido entre dos picos consecutivos. El análisis está dado por la cantidad de clusters deseados. Este va a ser también el motivo de un incremento en la posibilidad de mezcla de clases, en la medida que se requiera que tal complejidad sea mayor.

En cuanto a la **CLASIFICACIÓN SUPERVISADA** se realiza siguiendo los pasos del muestreo, en este caso el muestreo espectral, según las rutinas de todo el proceso de análisis, cartografiado, corroboración y corrección. En análisis digital, la clasificación supervisada consiste en muestrear clases espectrales y el **sitio** de extracción de muestras es la imagen.

El proceso de clasificación supervisada consiste en localizar diferentes clases espectrales, representativos de usos del suelo, estado del suelo o tipo de cubierta del mismo, extraer muestras espectrales de ellos, analizar las muestras para obtener los ámbitos espectrales de ocurrencia de las clases en cada banda espectral y clasificar la imagen en función de las clases identificadas.

Podría entonces esquematizarse la secuencia de clasificación supervisada según las siguientes fases:

**Fase A: Procesamiento digital de imágenes:** Esta fase consiste en la selección del sensor y de las escenas de fecha específica. Geo-rreferenciación de las escenas elegidas. Generación de los falso colores y productos de base adicionales.

**Fase B: Interpretación asistida por computadora:** consiste en la detección de unidades espectrales. Identificación de unidades espectrales y su interpretación temática.

**Fase C: Generación de cartografía digital de base:** consiste en la caracterización temática de las unidades espectrales identificadas generando los vectores correspondientes.

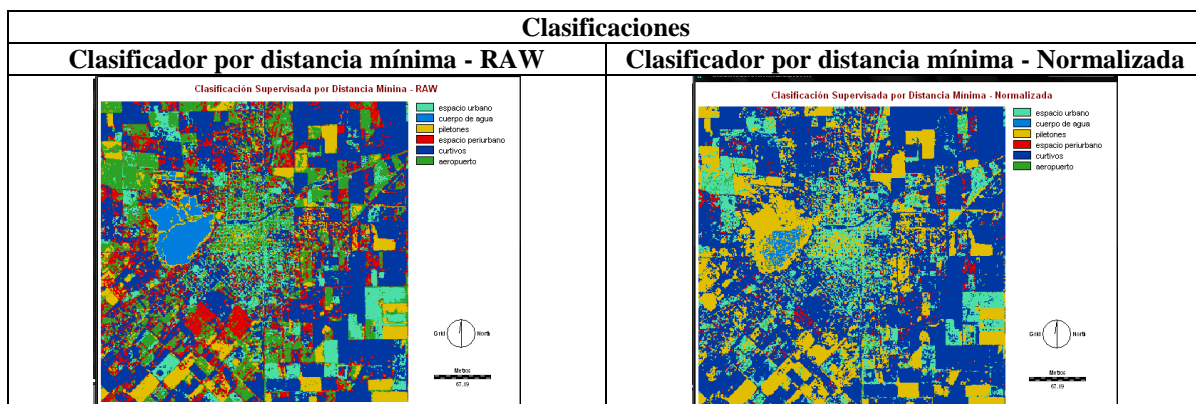
**Fase D: Clasificación:** consiste en la aplicación de los métodos de clasificación seleccionados con la evaluación de los resultados.

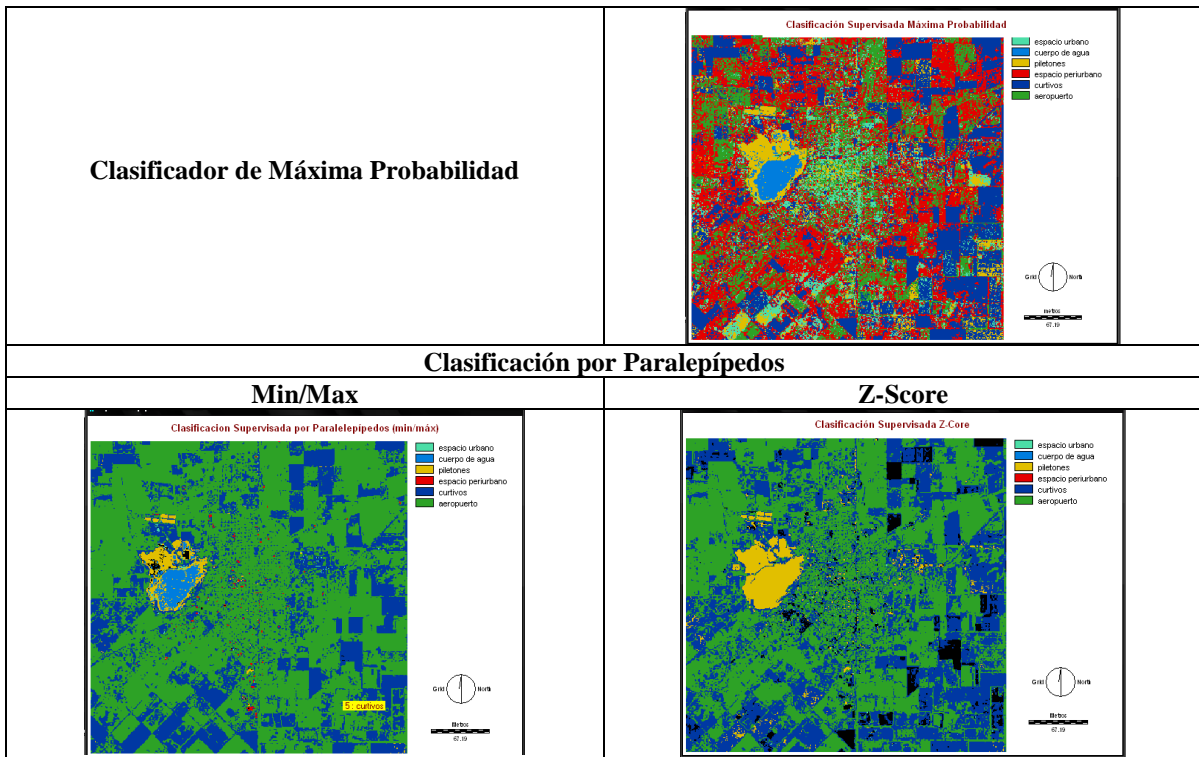
1º Extracción de firmas espectrales de las clases

2º Visualización de las firmas espectrales de las clases detectadas, ya que nos da la posibilidad de distinguirlas.

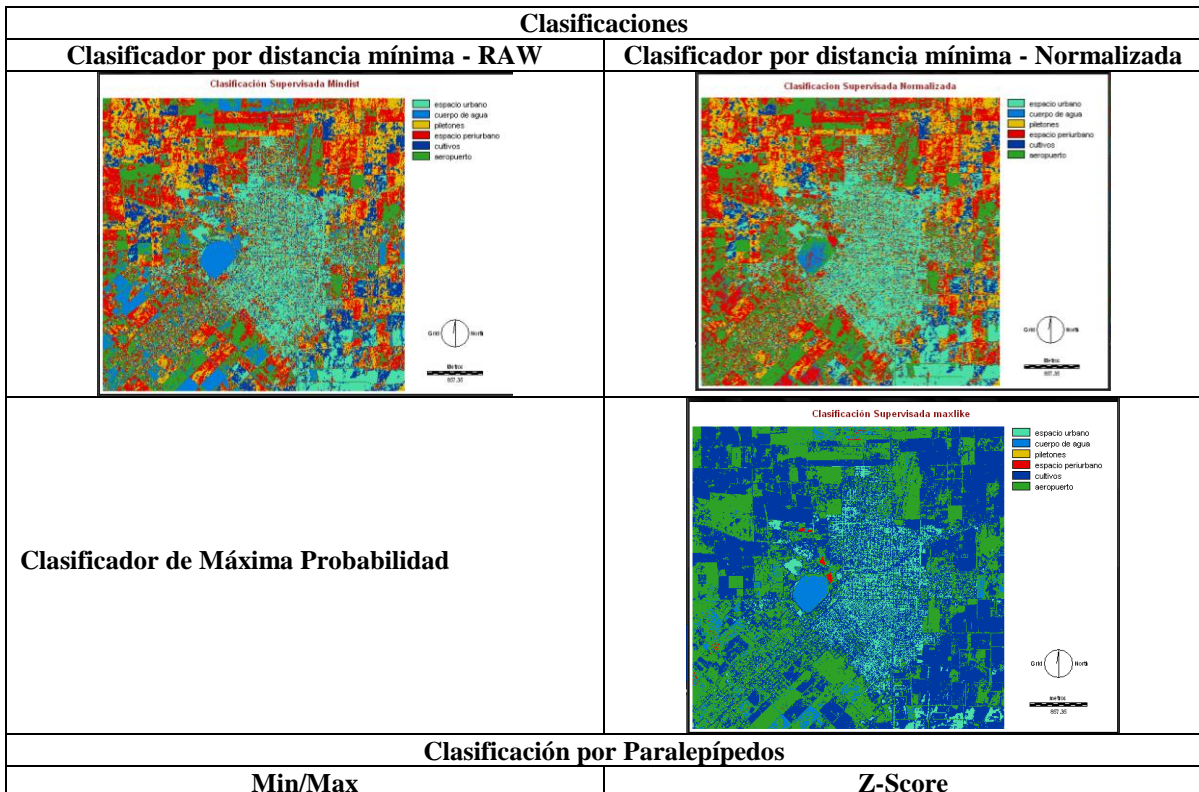
3º Si no se pueden diferenciar las clases determinadas se puede utilizar los Histogramas correspondientes, analizando así los picos que se presentan en cada una de las bandas utilizadas para el correspondiente análisis.

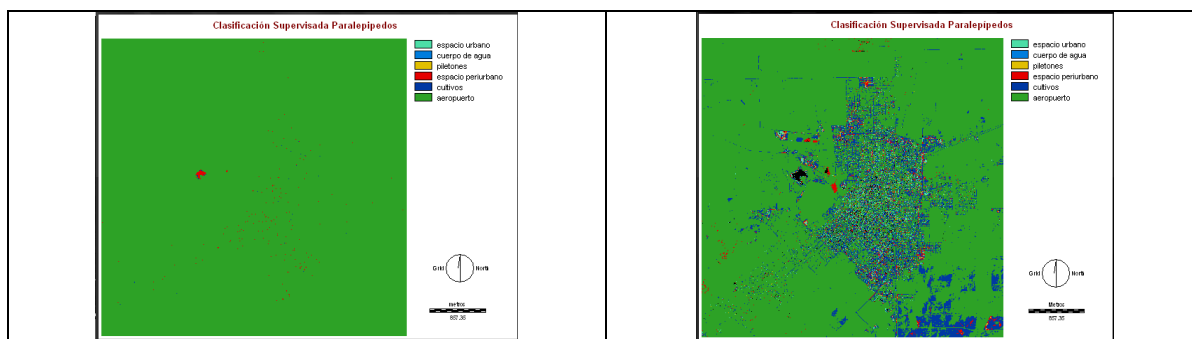
4º Empleo de los clasificadores, en este caso para la imagen Landsat TM 5 del año 1986 combinación falso color 432:





Clasificaciones realizadas a la imagen Landsat TM 5 combinación Falso color 432 correspondiente al año 2010:





### 3. Resultados y Discusión

La consecuencia de la acelerada expansión de las grandes ciudades, y en este caso de una ciudad intermedia, como es el caso de Santa Rosa, sobre las áreas rurales, en detrimento de la pérdida de suelo para la producción se ha acelerado en las últimas décadas.

El entorno de Santa Rosa ha sufrido el crecimiento acelerado de la misma, un crecimiento que se ha dado de forma horizontal ya que a pesar que por muchos años se ha considerado la existencia de bloqueos al mismo, como la Laguna Don Tomás hacia el Oeste, el Aeropuerto hacia el Norte, la zona Industrial hacia el Sur y el Área Penal hacia el Este; han sido sobrepasados como se observan en las imágenes.

En el trabajo se han realizado varios tipos de clasificaciones, tanto No Supervisadas como la Supervisadas. Se ha podido observar que ambas se complementan y es así que se puede ir simplificando la realidad a partir de la eliminación de grupos menores concentrándose así en los más afines intercalando así las diferentes clasificaciones para llegar así a una síntesis final.

En la Clasificación Supervisada se identificaron 6 (seis) grandes clases: espacio urbano, cuerpo de agua, piletones, espacio periurbano, cultivos, aeropuerto; que se han reconocido respectivamente en la imagen. De esta forma se genera la cartografía general de base y se extraen las firmas espectrales de las clases seleccionadas.

Cuando se comprueba que los sitios de muestreos seleccionados son los correctos, se procede a emplear los diferentes clasificadores. El primero de ellos que se utilizó fue el de Distancia Mínima, tanto Distancia Euclídea como Normalizada. Comparando ambas clasificaciones, con imágenes de ambos años, se puede observar que en ambos casos se han clasificado áreas que no corresponden, como por ejemplo las áreas urbanas y los cultivos.

El segundo clasificador que se utilizó fue el **Clasificador de máxima probabilidad**, el cual evalúa la situación en función de la teoría estadística bayesiana, la cual trabaja sobre la probabilidad de que un pixel pueda pertenecer a una determinada categoría, clasificándolo según la categoría con mayor probabilidad de pertenencia.

Con este clasificador se puede observar que las áreas seleccionadas han sido correctamente determinadas (digitalizadas), pero se debe concluir que se necesitaría establecer nuevamente el espacio periurbano que es el único que no ha sido correctamente clasificado.

Por último se procedió con el clasificador **por paralelepípedos** que se basa en la generación de volúmenes, de esa forma encerrando los valores de reflectancia comprendidos entre el máximo y el mínimo de cada clase, de acuerdo con el muestreo. Si un pixel se encuentra contenido dentro de los límites del paralelepípedo, resulta asignado a esa categoría. En este caso, sucede lo mismo que en el primer método, ya que clasifica erróneamente algunas de las clases.

### 4. Conclusiones

Mediante el estudio que se realizó en el presente trabajo, se considera de fundamental importancia el continuo estudio de las problemáticas urbanas a partir de su crecimiento constante y acelerado. Se puede concluir que:

El análisis y registro de los usos y los cambios en los usos del suelo urbano y periurbano es útil para la planificación y gestión de los diferentes sectores de la sociedad.

En los últimos años, en la ciudad de Santa Rosa, se han producido cambios importantes, en ciertas áreas de la misma, como por ejemplo, se han revalorizado áreas y desvalorizado otras. La zona de la Laguna Don Tomás que históricamente no se habitaba porque era un obstáculo para el crecimiento de la ciudad ahora se ha reconvertido, y los valores del suelo urbano se han elevado convirtiéndose en un área con altos valores de ventas tanto de terrenos como de viviendas. Esto ha sido causado porque la zona circundante ha cambiado su funcionalidad ya que se ha establecido la ciudad Judicial.

Esto último hizo que todo el corredor que va de la ciudad de Santa Rosa-Toay también creciera en importancia y se densificara en edificaciones ya que ha aumentado la población que habita en esa zona.

Por último se puede concluir que a través de un uso adecuado y responsable de la Teledetección y los SIG se obtiene información relevante, en el tiempo, de los cambios que se generan en el espacio. Estas nuevas tecnologías dan una visión más general del medio y permiten planificar y plantear posibles soluciones a los problemas que actualmente se presentan en el lugar donde vivimos.

## **Bibliografía**

ABRIL, Ernesto (2010) *“La clasificación en imágenes de sensores remotos”*. Laboratorio de Geotecnia – Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Área de Sensores Remotos. Córdoba.

BOSQUE y ESCOBAR (1994) *“Sistemas de Información Geográfica: Prácticas con PC ARC/INFO e IDRISI”*. Ed RA-MA. USA.

BUSAI, G. y BAXENDALE, C (2006) *“Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica”*. Ed Lugar. GEPAMA. Buenos Aires.

CHUVIECO SALINERO, Emilio (2002) *“Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio”*. Ariel Ciencia. España.

COVAS, Ma. Regina; TOURN, Gladys Mabel y PEREZ, Elpidio O. (1986) *“Santa Rosa. Geografía Histórica”*. Universidad Nacional de La Pampa – Fundación Chadileuvú. Buenos Aires.

DILLON y COSSIO (2009) *“Población y Ciudades. Dinámicas, problemas, localizaciones y representaciones en los espacios geográficos contemporáneos”*. Ed-UNLPam – Libros de Texto para estudiantes Universitarios – Santa Rosa – La Pampa.

MOREIRA, Ma. De Lourdes; ZERDA, Hugo Raúl (2000) *“Caracterización Ecológica de Ambientes Urbanos y Periurbanos Mediante la Percepción Remota y SIG”*, en XI Congreso Nacional de Fotogrametría y Ciencias Afines. Universidad Católica de Santiago del Estero. Santiago del Estero.