

DETERMINACIÓN DE UNIDADES HOMÓGENAS DE VEGETACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PRE-DELTA (ARGENTINA)

Aceñolaza P.¹; Sione, W. F.²; Serafini M. C.² M. E. Antes^{2,3}

1 - CICyTTP-CONICET, UNER-FCA

acenolaza@gmail.com

2 - Universidad Nacional de Luján
Depto. de Ciencias Básicas - Proditel

proditel@mail.unlu.edu.ar

3 - Centro de Sensores Remotos (CSR).

Fuerza Aérea Argentina (FAA)

buecoser@faa.mil.ar

RESUMEN

La cobertura y distribución de la vegetación representa la historia de uso de un área y la variación de sus condiciones medioambientales. La teledetección ha demostrado ser eficiente en la cartografía vegetal a nivel regional. El análisis de cobertura y la detección de cambios son herramientas centrales en la planificación de áreas naturales. El objetivo del presente trabajo es evaluar el resultado de la clasificación de un área natural utilizando la técnica de segmentación. Para la generación de los mapas de cobertura vegetal se utilizó una imagen Landsat 7 ETM+ del 14 de Julio de 2001 que comprende el Parque Nacional Pre-Delta, en la llanura de inundación del Río Paraná. El trabajo de campo constó de la evaluación de las unidades resultantes y su descripción florística. Se clasificaron 7 unidades de las cuales 5 corresponden a vegetación: “Bosques de barranca (U4)”, “Bosques mixtos de albardones internos (U6)”, “Bosques simples de albardones marginales (U5)”, “Vegetación lacunar (U9)” y “Unidades de ambientes intermedios (U10)”. Entre las unidades de fisonomía boscosa, los de barranca y los mixtos de albardones internos se corresponden con las unidades más ricas en especies, mientras que los simples de albardones marginales son menos diversos. La vegetación lacunar corresponde a una serie de asociaciones vinculadas a sistemas lóticos o lénticos, con vegetación flotante libre, arraigada y vegetación de borde de laguna con anegamiento periódico. Las Unidades de ambientes intermedios corresponden a una diversidad de comunidades vegetales que se encuentran entre la zona baja (lacunar) y la alta (albardones). La diferenciación de asociaciones vegetales por medio de la clasificación en esta zona no fue posible, aunque tampoco es clara a nivel florístico, esto podría estar ligado al dinamismo vegetal asociado al pulso de inundación. La metodología utilizada logra un resultado mejorado sobre las clasificaciones espectrales, fundamentalmente si se utiliza la vinculación con unidades vecinas y los patrones de forma de las unidades.

Key words: Unidades de Vegetación, Landsat 7 ETM+, Clasificación orientada a objeto, Parque Nacional Pre-Delta.

1- INTRODUCCIÓN

La descripción de paisajes sobre la base de unidades homogéneas de vegetación es el primer paso, crítico, para la planificación del manejo de los ecosistemas. Sin embargo resulta una incógnita para muchos ecosistemas de la Argentina, algo de lo cual la llanura aluvial del Río Paraná no es excepción.

Debido a la compleja génesis de esta llanura podemos encontrar, aparte de los cauces principales, cauces secundarios, temporarios, diferentes tipos de lagunas y albardones que permiten generar ambientes lóticos, lénticos, semiléníticos y terrestres que le confieren al valle una gran heterogeneidad ambiental (Iriondo, 1972; Francheschi *et al*, 1979) y edáfica (Passeggi, 2000). El régimen hídrico de estas islas está condicionado por el régimen del río y no por el de las precipitaciones locales. El patrón pulsátil de inundación (Neiff, 1996; Aceñolaza *et al*, 2003) produce impacto sobre las características geomorfológicas y biológicas de las islas, sumándole a la heterogeneidad geomorfológica, temporalidad ecológica, lo cual se refleja en la vegetación.

Parte de esta variabilidad ambiental fue descrita en informes y trabajos relacionados al Parque Nacional Pre-Delta (PNPD) (Malvárez, *et al*. 1992; Aceñolaza, *et al*, 1999; Zanello *et al*. 2001; APN, 2003, Aceñolaza op cit) o a la dinámica de la vegetación en su área de influencia (Lewis *et al*, 1979).

Existen pocos trabajos sobre las características de distribución de la vegetación en la porción superior del delta del Río Paraná. A los ya mencionados pueden agregarse aportes de Morelo (1949) y Lewis *et al*. (1979). Salvo algunas descripciones regionales, no existen trabajos publicados donde se estudie la distribución de unidades homogéneas de vegetación para el Parque Nacional Pre-Delta y su área de influencia.

En tal sentido, el objetivo general de este trabajo fue realizar un mapa temático de patrones de cobertura vegetal y evaluar el resultado de la clasificación de un área natural utilizando la técnica de segmentación.

2- MATERIALES Y METODOS

2.1 Área de Estudio

El área de estudio se encuentra situada en la provincia de Entre Ríos, Argentina, en la porción superior del Delta del Río Paraná, que incluye al Parque Nacional Pre-Delta a cargo de la Administración de Parques Nacionales (APN) desde 1991 (Lat. S. 32° 03' Long. O. 60° 38', **Figura 1**). El mismo está constituido por una serie de islas de diferente tamaño que se constituyen en un ambiente representativo del valle de inundación en su tramo bajo.

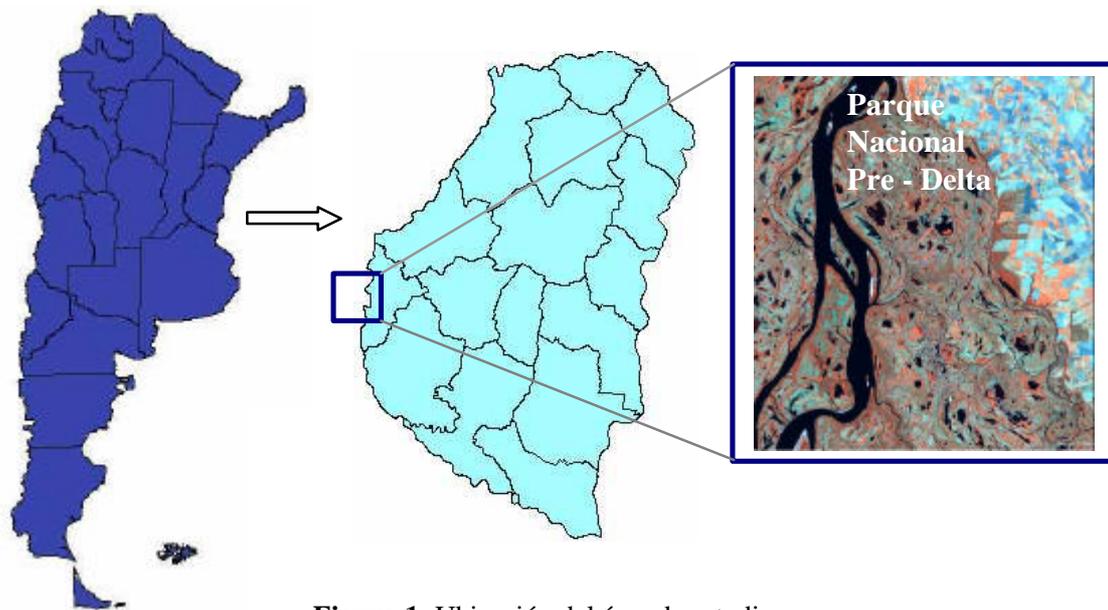


Figura 1: Ubicación del área de estudio

El paisaje regional es el resultado primordial del accionar de procesos fluviales, con diferentes intensidades y modalidades, confiriéndole una gran heterogeneidad. Zamboni, (2003) indica que la llanura de inundación del Paraná representa un sistema donde las características de los procesos fluviales permiten mantener una estructura de hábitat diversos, y dinámicos, tanto temporal como espacialmente.

Los suelos son de origen fluvial, poseen texturas limo-arcillosas, areno-limosas o arenosas (de grano medio a fino), presentando escasa estructuración y desarrollo en sus perfiles. Si bien existe gran variación, esta puede sintetizarse en dos gradientes principales: a) geomorfológico, donde la diferencia de altura entre albardón y bajo establece las diferencias entre tipos de suelo (sobre todo en la aparición de los suelos hidromorfos), y b) vinculado a la energía relativa del agua, que se traduciría como “distancia al cauce principal” (Passeggi, 2000).

Las características climáticas del área la ubican dentro de un clima templado/cálido húmedo. Las temperaturas medias anuales se encuentran cercanas a los 19°C. El régimen pluviométrico es de 900 mm, con precipitaciones que se registran principalmente en el período de octubre a abril (73%) (Rojas *et. al*, 1987). El patrón hidrológico se corresponde con un régimen pulsátil anual de inundación. La época de estiaje (bajante) se produce en agosto-septiembre, mientras que el pulso de inundación suele darse sobre fines del verano principios del otoño.

Una de las características del tramo bajo del Paraná, es la variedad de ambientes que presenta y por lo tanto de comunidades que sostiene (Malvárez, *op cit*; Zanello *op cit*; APN *op cit*). Esto se debe en gran parte a la compleja dinámica hidrológica, ya que constantemente se producen procesos constructivos y destructivos que alteran su superficie, creando y cerrando diferentes “biotopos” (Francheschi *op cit*). Esa variedad y dinámica de ambientes, influye directamente en la diversidad de especies.

Fitogeográficamente, la región estudiada forma parte de la Provincia Paranense (Cabrera, 1994) y constituye, un corredor biológico de gran extensión latitudinal.

2.2 Cartas, fotografías aéreas e imágenes utilizadas:

El trabajo se realizó sobre la imagen del sensor Landsat 7 ETM+, Path/Row 227/82, del 14 de julio del 2001. Para el apoyo en las actividades de campo y control de resultados se utilizaron fotografías aéreas escala 1: 25.000 de 1989 y 1: 20.000 del 1 de diciembre de 1997.

Se utilizaron cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar (IGM): Diamante (3360-2-2), Diamante Sur (3360-2-4) a escala 1:50.000. Se trabajó con el mapa preliminar de vegetación (Aceñolaza op cit) realizado a partir de las fotografías aéreas. También se tuvo en cuenta el mapa de unidades ambientales (Malvarez, op cit) y sus modificaciones (Zanello op cit; APN, op cit).

En una primera etapa se elaboró la base cartográfica digital. Se realizó el escaneado y georreferenciación de las fotografías aéreas de 1989 y 1997.

Una ventana de la imagen Landsat 7 ETM+, correspondiente al área de estudio, fue corregida geoméricamente y georreferenciada a partir de puntos obtenidos de cartas topográficas arriba mencionadas. El método de asignación utilizado fue el de vecino más cercano para preservar los valores originales de la imagen.

Con estos datos, se diseñó el trabajo de verificación a campo y se identificaron los sitios de muestreo.

2.3. Identificación de unidades de vegetación

2.3.1 Clasificación por segmentación de objetos:

En una primera etapa, para la identificación de los modelos, se segmentó la imagen Landsat 7 ETM+. En el proceso de segmentación fueron consideradas las características espaciales, espectrales y de forma de los grupos de píxeles que definen áreas relativamente homogéneas.

Para la segmentación en un primer nivel se incluyeron las bandas del Verde, Rojo, Infrarrojo Cercano e Infrarrojo Medio de Onda Corta. Se utilizó la opción "Multiresolution Segmentation", que realiza la extracción automática de objetos homogéneos. La cantidad de los objetos a crear, parámetro relacionado con la resolución de las imágenes, la escala de trabajo y la heterogeneidad de los datos, fue de 10. Los criterios para la segmentación son: "Color", "Smoothness" y "Compactness". Para la mayoría de los casos "color" es el más importante y el que tiene mayor peso en la definición de los objetos. El criterio de color tiene en cuenta el porcentaje de homogeneidad espectral. Sin embargo la forma y su homogeneidad resultan también importantes en la extracción de los objetos. Los criterios

para la segmentación de las bandas de la imagen, fueron de 0.8 para color y 0.2 para forma y dentro de forma se consideró 0.8 para “Smoothness” y 0.2 para “Compactness”.

Los datos de campo recolectados y la información auxiliar disponible permitió la definición de muestras para cada una de las clases.

Posteriormente se procedió a la clasificación de los objetos generados por segmentación y al establecimiento de reglas para su asignación a las diferentes categorías temáticas. En la **Figura 2** se presenta el esquema de las categorías generadas, su organización jerárquica y los criterios y reglas de asignación.

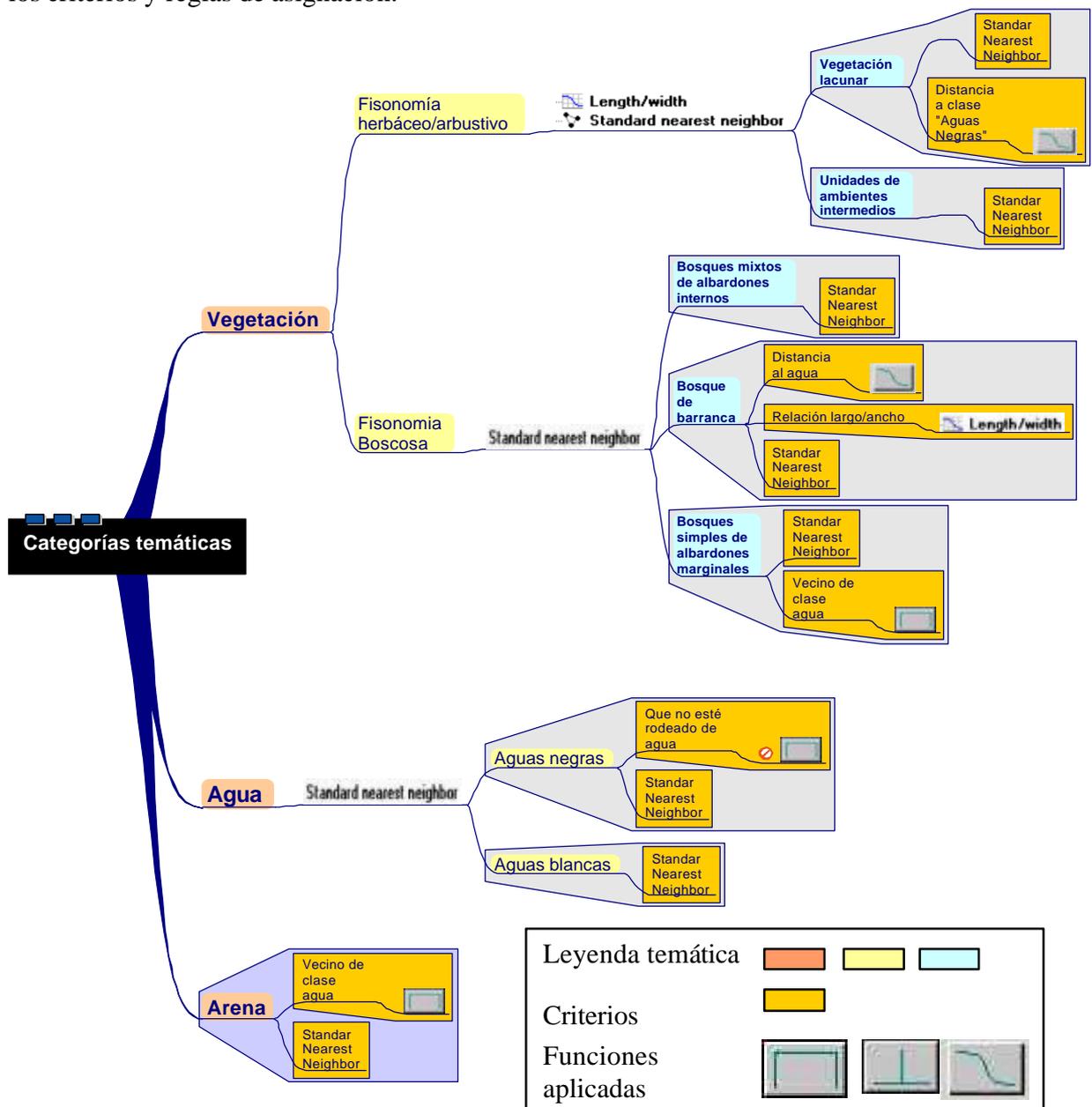


Figura 2: Esquema de las clases temáticas, organización jerárquica, criterios y reglas de asignación

2.3.2 Descripción de vegetación

Las unidades de vegetación que se detectaron por clasificación de objetos creados por segmentación fueron evaluadas a campo y descritas en su fisonomía y composición florística.

El error de asignación de las unidades resultantes fue calculado en base a 100 puntos de muestreo distribuidos con un criterio combinado de aleatorización y estratificación.

3- RESULTADOS Y DISCUSION DISCUSIÓN

3.1 Unidades de cobertura

Del análisis de los resultados de la clasificación y de la comparación con el mapa de vegetación obtenido por fotointerpretación o interpretación visual (Aceñolaza *et al.* 1999) y corroboración a campo, se agruparon los resultados en 5 categorías de tipos de vegetación: Bosques de barranca (U4), 2) Bosques simples de albardones marginales (U5), 3) Bosques mixtos de albardones internos (U6), 4) Unidades de ambientes intermedios (U10) y Vegetación lacunar (U9) (**Figura 3**).

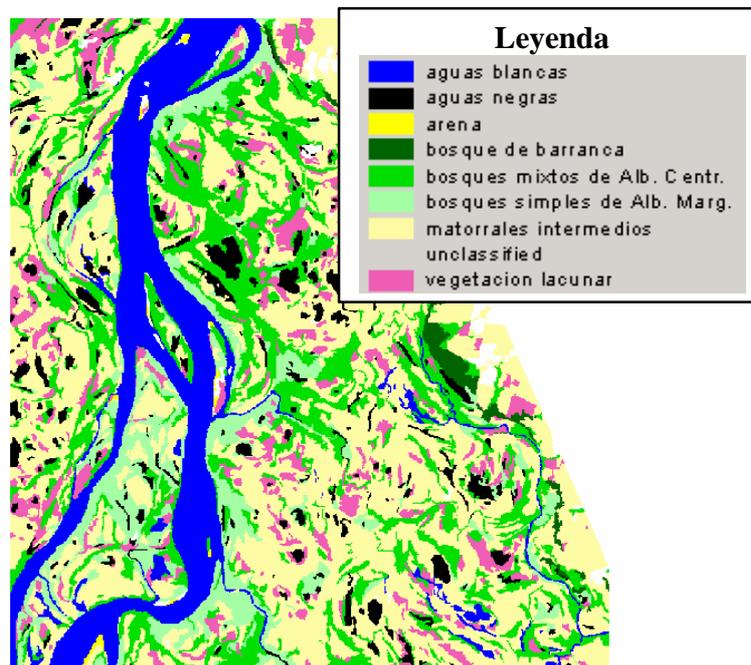


Figura 3: Resultado de la clasificación de las unidades de cobertura

3.2 Descripción de la vegetación

En la **Tabla 1** se presentan los errores de asignación a cada unidad de ambiente:

	U4	U5	U6	U9	U10	U12	U13	U14	% acierto
U4	4								100
U5		8	2	1	2				62
U6		2	9		4		1		56
U9		3	3	9	6	2			39
U10			5	2	18				72
U12						3	1		75
U13							10		100
U14								5	100

Tabla 1: Tabla de Confusión. Bosque de barranca (U4); Bosques simples de albardones marginales (U5); Bosques mixtos de albardones internos (U6); Unidades de ambientes intermedios (U10); Vegetación lacunar (U9), Superficies cubiertas por el agua: Aguas claras (U13); Aguas negras (U12); Arena (U14).

Bosque de barranca (Unidad U4):

A esta unidad corresponde un bosque con un importante número de especies de linaje subtropical que llegan a esta área gracias a las condiciones ambientales creadas por el Río Paraná. Fisonómicamente se corresponde con un bosque alto, cerrado y mixto, con 2 a 3 estratos. Entre las especies que conforman el estrato arbóreo superior encontramos *Ruprechtia laxiflora*, *Phytolacca dioica* y *Myrsine laetevirens*. Entre las que conforman el arbóreo inferior *Fagara hyemalis*, *Coccoloba argentinensis* y *Celtis sp.* Los estratos arbustivo y herbáceo son ricos en especies y junto con los **Bosques** mixtos de albardones internos (U6) son los más diversos.

Como puede observarse en la **Tabla 1**, el 100% de los sitios de muestreo se adjudicaron correctamente a la unidad 4 (Bosque de barranca). Esta unidad no presenta inconvenientes en su identificación por teledetección debido no solo a sus características espectrales sino también por su ubicación y patrón de forma. En este último parámetro de clasificación, la relación largo/ancho juega un papel importante en la determinación ya que debido a la utilización del área lindante superior para cultivo y la inferior como zona inundable, queda delimitada a una estrecha faja boscosa que recubre el cambio de pendiente (**Figura 3**).

Bosques simples de albardones marginales (Unidad U5)

Esta unidad corresponden los bosques de *Salix humboldtiana* y *Tessaria integrifolia* que se encuentran colonizando albardones sobre el Río Paraná o arroyos principales.

Se caracterizan por ser bosques monoespecíficos o de baja diversidad arbórea, con un solo estrato, altos y abiertos. Estos bosques son de riqueza intermedia, aunque se pueden encontrar algunos de baja diversidad en áreas de reciente colonización.

Los estratos arbustivo y herbáceo son ricos en especies, encontrando *Hyptis mutabilis*, *Baccharis salicifolia* y *Lippia alba* entre las arbustivas más frecuentes y *Paspalum notatum*, *Cynodon dactylon*, *Panicum dichotomiflorum* entre las herbáceas más frecuentes.

El resultado de la clasificación por segmentación, logra un 62% de acierto en la asignación de las unidades (**Tabla 1**). Si bien los bosques maduros y los juveniles se diferencian en su composición específica (Marchetti, 2004), no ocurre lo mismo en la clasificación mediante técnicas de teledetección de estas áreas, las cuales se presentan como una misma unidad.

Otros clasificadores utilizados como distancia al cauce del río o arroyo son de importancia debido a la estrecha vinculación de estas comunidades con los cauces de mayor importancia y energía.

Del análisis de la Tabla de Confusión (**Tabla 1**), se detecta que existe alguna dificultad de clasificación en aquellos sitios donde, por su topografía, el bosque se vuelve abierto, de baja densidad convirtiéndose prácticamente en una sabana. En estas áreas la clasificación se vuelve confusa ya que incluye indistintamente comunidades de bosques simples de albardones con comunidades propias de ambientes intermedios e incluso en algunas oportunidades vegetación del tipo hidrófila lacunar. También se detectaron algunos bosques de este tipo que fueron clasificados erróneamente como bosques mixtos de albardones internos.

Bosques mixtos de albardones internos (Unidad U6)

Son bosques con una alta relación largo/ancho. Se distribuyen en los albardones internos de las islas. Florísticamente pueden corresponder a diferentes comunidades (Marchetti, 2004) y estar constituidos por *Albizia inundata*, *Nectandra falcifolia* o *Sapium haematospermum*, y por lo general con dominancia de una de ellas.

Estos bosques se cuentan entre las comunidades más ricas en especies en el ambiente insular del parque, solo comparable con número de especies que se encuentran en bosque de barranca, aunque con composición diferente. El estrato arbustivo posee una cobertura variable y esta dominado por *Teucrium vesicarium*, *Urera aurantiaca* y *Cestrum guaraniticum*. El estrato herbáceo es rico en especies y con coberturas cercanas al 100%. *Iresine difusa*, *Vigna adenantha* y *Panicum sabulorum* se encuentran entre las especies más frecuentes.

Estos bosques se distribuyen siguiendo los albardones internos de las islas, por lo tanto poseen una alta relación largo/ancho. Sin embargo, rara vez poseen más de 20 metros de ancho, por lo que se dificulta su correcta determinación mediante teledetección con imágenes Landsat. Esto se observa en la **Tabla 1**, donde prácticamente la mitad de los sitios de control fueron ubicados erróneamente.

Unidades de ambientes intermedios (Unidad U10)

A esta unidad de cobertura corresponden una serie de comunidades herbáceas y algunas arbustivas difíciles de separar mediante imágenes Landsat; estas se distribuyen en las áreas

intermedias en las “medialomas”, entre la zona alta (albardones boscosos) y la baja (lagunas).

Encontramos en la misma pajonales de *Panicum prionitis*, arbustales de *Baccharis* spp., arbustales de *Mimosa pigra* (carpinchera) o de *Sesbania virgata* y de *Thalia geniculata* (achira)

Los pajonales se distribuyen sobre los lados de las lagunas constituyendo una comunidad herbácea alta con coberturas de suelo del 100%. Acompañan a *Panicum prionitis*, *Paspalum notatum*, *Cynodon dactylon*, *Cyperus* sp. y numerosas enredaderas como *Mikania cordifolia*, *Solanum amygdalifolium* o *Funastrum clausum*.

Los arbustales se corresponden por lo general con ambientes modificados por la presencia, actual o pasada, de ganado y que han sufrido un proceso sucesional del tipo secundario. Los matorrales de *Baccharis salicifolia* pueden poseer una alta cobertura, y en ese caso con la presencia dominante de un solo estrato. Los arbustales de *Mimosa pigra* son de menor altura pero poseen un estrato herbáceo con alta cobertura.

En cuanto a su estructura de distribución espacial, poseen diversas formas geométricas donde no existe por lo general una relación largo/ancho que defina la unidad con claridad.

Vegetación lacunar (Unidad U9)

En esta unidad de clasificación, se incluyen una serie de comunidades vegetales herbáceas en mayor medida asociadas a ambientes acuáticos, donde la baja reflectancia del agua y de suelos saturados juega un papel importante en el patrón de reflectancia y se constituye como el determinante de la clasificación. En ese sentido, la utilización de distancia a ambientes acuáticos constituye un patrón importante en la clasificación.

La vegetación acuática arraigada o flotante esta constituida por especies que poseen una dinámica temporal ya que son altamente dependientes del nivel del agua, entre ellas, *Myriophyllum* sp., *Hydrocotyle bonariensis*, *Enhydra anagallis*, *Salvinia herzogii*, *Victoria cruziana* (irupé), y *Eichhornia crassipes* y *E. azurea* (camalotes) que cubren los cuerpos de agua temporales o permanentes como las lagunas y los madrejones. También se encuentran saetales dominados por *Sagittaria montevidensis* o verdolagales de *Ludwigia peploides*.

En cuanto a la geometría de estas unidades, es por lo general semilunar irregular. Los madrejones, antiguos cursos de agua colonizados por plantas acuáticas, junto con los canutillares y cataizales, son las únicas unidades con alta relación largo/ancho. Pero a su vez, rara vez poseen un ancho mayor a 15 metros por lo que se dificulta su clasificación espectral utilizando estos parámetros. Esto se ve reflejado en los altos niveles de error en la asignación (**Tabla 1**).

Cuerpos de agua (Unidades U12 y U13)

El resto de la imagen se encuentra cubierto por cuerpos de agua, que según la presencia de sedimentos en suspensión, se clasificaron como *Aguas blancas* (aquellas con abundantes sedimentos como ríos y arroyos) y de *Aguas negras* (aquellas con baja cantidad sedimentos, lagunas).

La clasificación en ambos casos no presentó dificultad, básicamente por la respuesta espectral diferencial de ambas superficies (**Tabla 1**).

4- CONCLUSIONES

Existen importantes variaciones espaciales de las comunidades que conforman el ambiente insular. Estas variaciones se producen en gradientes pronunciados de pocos metros lo que genera el reemplazo de fisonomías en cortas distancias, y un cuadro de alta diversidad paisajística que dificulta la correcta asignación de una clasificación con imágenes tipo Landsat.

Exceptuando los Cuerpos de agua y los Bancos de arena, únicamente las unidades de Bosque de barranca (U4) y simples de albardones marginales (U5) pudieron ser clasificadas con cierta precisión con estas imágenes. Para la primera de ellas, la relación largo/ancho juega un papel importante en la definición.

La técnica de segmentación utilizada es mejoradora de las clasificaciones realizadas exclusivamente por reflectancia debido a la incorporación de otros criterios de clasificación como el patrón de forma y la distancia a unidades vecinas.

Imágenes con mayor resolución espacial podrían mejorar sensiblemente los resultados de la clasificación por segmentación en estos ambientes de alta diversidad ambiental.

5- AGRADECIMIENTOS

Administración de Parques Nacionales, GPN Reynaldo Zanello, Parcialmente financiada por PID-UNER 025/04, Programa de Biodiversidad del Litoral y PICT-Agencia 11928.

A la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) por la sesión de la Imagen.

6- BIBLIOGRAFÍA

Aceñolaza, P. G.; de Dios Muñoz, J. y R. Zanello. 1999. Flora y vegetación del Parque Nacional Pre Delta. Reuniones de comunicaciones de la Asociación Biológica del Litoral. Santa Fe.

Aceñolaza, P. H.; Povedano, A.; Manzano, J.; de Dios Muñoz, J.; Areta y A.L. Ronchi Virgolini. 2003. Biodiversidad del Parque Nacional Pre-Delta. Serie Misc. INSUGEO 12: 169-184

- Administración de Parques Nacionales (APN).** 2003. Plan de uso público, Parque Nacional Pre Delta. 28 pp. Bs.As. (Informe inédito).
- Cabrera, A. L.** 1994. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Fascículo 1. Editorial ACME S.A.C.I. Buenos Aires.298 pp
- Francheschi E. A. y J. P. Lewis.** 1979. Notas sobre la vegetación del valle santafecino del Río Paraná (R. Argentina). *ECOSUR* 6: 55-82
- Iriondo, M. H.** 1972. Mapa geomorfológico de la llanura aluvial del Río Paraná desde Helvecia hasta San Nicolás, República Argentina. *Revista Asociación Geológica Argentina* 27: 155-160
- Lewis J. J. y E. A. Francheschi.** 1979. Notas sobre la dinámica de la vegetación del valle del río Paraná. *ECOSUR.* 6:145-163.
- Malvarez, A.; Kandus, P. y J. A. Merler.** 1992. Evaluación y diagnóstico del Parque Nacional "Pre-Delta La Azotea". Informe Inédito UBA-APN 22 pp.
- Marchetti, Z.** 2004. Estudio fitosociológico de la isla Chapeton, (Dpto. Paraná Entre Ríos). Trabajo final de graduación, Facultad de Humanidades y Ciencias UNL.
- Morelo, J.** 1949. Las comunidades vegetales de las islas cercanas al puerto de Rosario. Tesis del Museo N° 133.
- Neiff, J.** 1996. Large rivers of South América: toward the new approach. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26: 167-180.
- Passeggi, E.** 2000. Caracterización sedimentológica del material parental de los suelos asociados a los depósitos de cauce del tramo medio del Río Paraná. Tesis doctoral. Universidad Católica de Santa Fé. 216 pp.
- Rojas A. E. y J. H. Saluso.** 1987. Informe Climático de la Provincia de Entre Ríos. Publicación Técnica N° 14. EEA. Paraná, Entre Ríos.
- Zamboni, L. P.** 2003. Dinámica de materia orgánica en tres bosques de la llanura de inundación del Río Paraná. Tesina de Licenciatura en Biodiversidad. FHC-UNL. Santa Fe. 69 pp.
- Zanello R., de Dios Muñoz, J; Aceñolaza, P; Balabusick, A y L. Raffo.** 2001. Unidades homogéneas de ambiente y zonificación en el Parque Nacional Pre-Delta. II Congreso Nacional y I Latinoamericano de Agentes de Conservación, Malargue, Mendoza