

## Estratificación de plantaciones de *salix sp.* mediante el uso combinado de imágenes Landsat e imágenes ASTER.

Baridón Esteban <sup>12</sup>; Ruiz Fernández Luis <sup>3</sup>; Recio Recio Jorge <sup>3</sup>; Gebhard Jorge <sup>1</sup>; Marlats Raúl<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata.60 y 122 s/n, 1900 La Plata (Argentina)

[jbaridon@ceres.agro.unlp.edu.ar](mailto:jbaridon@ceres.agro.unlp.edu.ar)

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata.60 y 119 s/n, 1900 La Plata (Argentina).

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia (España)

---

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue la identificación de distintos estratos en plantaciones de *Salix sp.* mediante el uso de imágenes Landsat y ASTER, en la zona litoral de Berisso (Buenos Aires, Argentina). Se utilizaron las bandas 1,2,3,4,5 y 7 de Landsat, y 1 a 9 de ASTER. Se identificaron 7 clases de plantaciones: 3 pertenecientes a plantaciones en producción y 4 a plantaciones abandonadas. En campo se evaluó: especies, estado sanitario, altura total, diámetro a la altura del pecho, diámetro de copa; se calculó área basal y biomasa forestal. El uso combinado de imágenes Landsat y ASTER, permitiría la discriminación de estratos en plantaciones monoespecíficas y con presencia de especies invasoras, de *Salix sp.*

Palabras clave: Clasificación espectral, análisis multivariado.

---

### ABSTRACT

The objective of this work was the identification of different classes from plantations of *Salix sp.* by analysis of images Landsat TM and ASTER in the coastal strip of Berisso (Buenos Aires, Argentina). Bands 1.2.3.4.5 and 7 of a Landsat image, and 1 to 9 of the ASTER were used. 7 classes of plantations were identified: 3 of them belonging to plantations in production and 4 to abandoned plantations. In the field, were evaluated: species, sanitary state, total height, diameter at breast height, crown diameter; basal area calculated and forest biomass. The combined use of information of Landsat and ASTER images allows the discrimination of classes in monospecific plantations and with presence of invading species of *Salix sp.*

Key words: Spectral classification, multivariate analysis.

---

### Introducción

Es frecuente que el crecimiento y desarrollo de la actividad socioeconómica de un área se de sin bases de planificación previas que contemplen la evaluación y afectación de los recursos naturales. Existen zonas en las que este crecimiento y desarrollo implica fuertes

cambios en las actividades productivas, que puede llevar a un uso inadecuado del suelo, contribuyendo a la degradación progresiva del entorno. Tal es el caso de la zona litoral sur del Río de La Plata en la cual, las principales actividades, reducidas fuertemente en las últimas décadas, eran el aprovechamiento forestal (principalmente de *Salix sp.*), junto con algunos emprendimientos fruti-hortícolas de

carácter familiar. En estas situaciones, resulta útil la evaluación del estado actual de las actividades productivas, de forma que se evidencien las tendencias y puedan preverse actuaciones básicas en cuanto a la ordenación territorial y la gestión de los recursos naturales. La aplicación de técnicas de teledetección que utilizan en forma combinada información de diferentes sensores puede contribuir al diagnóstico del estado actual de algunas de las actividades productivas de la zona, como por ejemplo la actividad forestal.

El objetivo de este trabajo fue la identificación de distintos estratos en plantaciones de *Salix sp.* mediante el uso de imágenes Landsat y ASTER, en la zona litoral de Berisso (Buenos Aires, Argentina).

## **Materiales y métodos.**

### **Caracterización del área de trabajo:**

El área de trabajo comprendió 4.600 ha ubicadas en el litoral costero del Partido de Berisso, Provincia de Buenos Aires, Argentina, en la posición geográfica 34° 55' 30" Sur y 57° 45' Oeste. Las mismas se encuentran enmarcadas entre la Ruta Provincial N° 15 y el Río de la Plata. El clima de la zona es templado húmedo sin estación seca. La temperatura media anual es de 15,8 °C, la humedad relativa media del 76%, la velocidad media del viento 12km/hora y la precipitación media anual es de 1.076 mm. Los suelos dominantes en el área, Fluvaquents e Hidraquents (Soil Taxonomy) se han originado a partir de la ingresión marina del Querandínense. Desde el punto de vista geomorfológico es una "llanura aluvional" con cotas que no superan los 2,5 m. snm.. La vegetación comprende especies leñosas y herbáceas. La vegetación leñosa, está formada tanto por especies nativas y naturalizadas, como implantadas, como por ejemplo: *Eritrina cristagalli* (ceibo), *Celtis spinosa* (tala), *Jodina rhombifolia* (sombra de toro), *Ligustrum lucidum* (ligustro), *Sáliz spp.* y *Pópulus spp* entre otras. Entre las especies herbáceas se encuentran: *Juncus sp.*, *Cyperus sp.*, *Scirpus sp.*, *Thiphetum sp* (totora) y *Masilea concinna* (trébol de agua).

### **Preprocesamiento de la información de sensores remotos.**

Se trabajó con una imagen de verano del año 2000, de Landsat 7 y una imagen de verano de 2002 de ASTER. Los programas de trabajo utilizados fueron Idrisi Kilimanjaro y ENVI 4.0. Sobre la escena Landsat, se realizó una ventana correspondiente al tercer cuadrante. La apariencia visual se mejoró mediante la aplicación de técnicas de operadores puntuales y modificación del histograma. La georreferenciación y corrección de imágenes se efectuó con 21 puntos de control. Las coordenadas en campo fueron determinadas mediante navegador satelital (14 puntos) y posicionador geodésico (7 puntos). Se trabajó en la proyección plana de Gauss-Krüger, utilizando como datum de referencia "WGS 84". La georreferenciación de las imágenes se llevó a cabo mediante un remuestreo bilineal con función cuadrática. La imagen Landsat se remuestreó a 15m de resolución mediante la fusión con la imagen ASTER. Posteriormente se extrajo el área de interés: litoral costero del partido de Berisso. En principio, la información de cada sensor fue tratada individualmente como "niveles digitales", ND, sin realizar correcciones radiométricas.

### **Determinación de la Cobertura del suelo y aislamiento de la vegetación leñosa:**

Se llevó a cabo una clasificación supervisada usando el método de "máxima probabilidad", a partir de la cual se determinaron las coberturas: Cuerpos de agua; Praderas; Urbano-Industrial; Humedal y Vegetación leñosa. El mapa temático obtenido fue evaluado a través de una matriz de errores o matriz de confusión. Posteriormente se utilizó en la creación de una máscara para la cobertura de vegetación leñosa, la cual se aplicó mediante una operación entre imágenes, del tipo:

$$K \times n$$

Donde **K** = constante (imagen máscara) y **n** = cada una de las bandas de información

### **Identificación y aislamiento de las plantaciones de *Salix sp.*:**

Sobre la cobertura de vegetación leñosa se definieron dos Áreas Piloto, de aproximadamente 300 ha cada una sobre las cuales se realizaron los muestreos de

vegetación. Se efectuó una clasificación no supervisada, reteniendo todos los cluster con una significancia areal > 1 %, determinándose la existencia de seis grupos. A partir de estos se realizó un análisis de "isocluster", utilizando la totalidad de las bandas de la imagen Landsat. Cada cluster fue considerado un estrato, en el cual se distribuyeron al azar, seis puntos de muestreo. En cada punto se instaló una parcela circular de 5 m de radio en donde se determinó: especies leñosas presentes, número de pies, diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total, diámetro de copa, estado sanitario (E.S) y posición del individuo en el estrato. Las muestras de vegetación fueron analizadas mediante "análisis discriminante" (Johnson, 1998), utilizando como variables indicadoras de homogeneidad a: densidad de población (árboles/ha), altura total de los árboles dominantes: índice de Diversidad (D) de Simpson y estado sanitario. Las plantaciones de *Salix sp* identificadas fueron aisladas mediante la utilización de imágenes booleanas.

#### **Estratificación de las plantaciones de *Salix sp.* :**

Se utilizó el NDVI (índice de diferencias de vegetación normalizado) como punto de partida para el análisis de las plantaciones de *Salix sp.*. La posibilidad de individualizar estratos en las mismas, se evaluó a través de un análisis de NDC, número de clases diferentes, (Murphy, 1985), trabajando con cuadros de 3x3 píxeles y el método del vecino más próximo. El análisis se llevó a cabo mediante el comando "Pattern" del software Idrisi Kilimanjaro (Eastman R., 2003). La información de los valores de ND correspondientes a las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 de imagen de verano del 2000 (ETM), la primera componente, del análisis de componentes principales y los resultados estandarizados del NDVI fueron exportados al programa Statistica. A la información importada se le aplicó un método de agrupamiento no jerárquico (k-means), para el análisis de los posibles estratos señalados por el NDC. La información del agrupamiento fue reingresada al software Idrisi Kilimanjaro. Sobre cada estrato resultante se distribuyeron 5 puntos al azar sobre la imagen y mediante GPS se localizaron en el terreno,

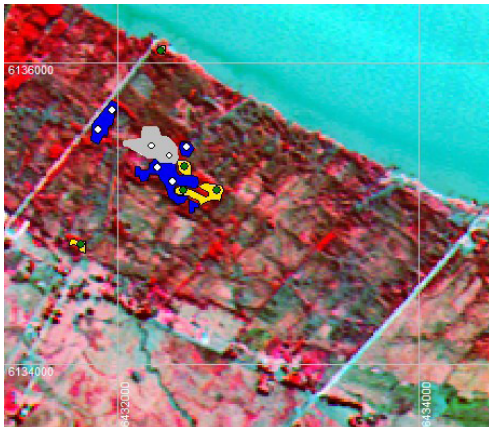
efectuándose la segunda fase del muestreo de vegetación. En esta, los datos relevados fueron: especies, estado sanitario, altura total (Ht), DAP y diámetro de copa; se calculó área basal y se estimó la biomasa forestal a partir de la ecuación de Brown, Gillespie y Lugo (1989). Hasta aquí, la separación de estratos en plantaciones de *Salix sp*, se basó en el tratamiento estadístico de información digital Landsat. El análisis de las firmas espectrales de estos estratos y su separabilidad hizo necesario ampliar el detalle de la respuesta espectral de los mismos, lo cual se logró mediante la incorporación de datos de las bandas: 1, 2, 3N, 4, 5, 6, 7, 8, y, 9 de la imagen ASTER. Los ND de las imágenes Landsat y ASTER fueron transformados a valores de reflectancia. La validación de los estratos determinados se realizó a través de la contrastación de las variables biofísicas de la vegetación mediante el Test de comparación de medias de Tukey.

#### **Resultados y discusión.**

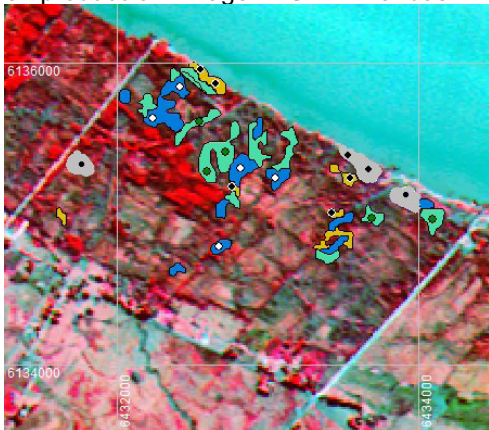
El análisis de las muestras de vegetación obtenidas a partir de isocluster permitió distinguir dos clases de plantaciones de *Salix sp.* :

- 1- Plantaciones de *Salix sp* (sauces) abandonadas (PSa).
- 2- Plantaciones de *Salix sp* en producción (PSp).

PSa son antiguas plantaciones de sauces con diferentes niveles de degradación e invasión de otras especies leñosas, principalmente "ligustro". PSp, en cambio, son plantaciones monoespecíficas de sauces en producción. La determinación de posibles estratos, realizada a través del NDC en base a la información espectral de imágenes de verano de Landsat (bandas 1,2,3,4,5,y7) junto a las transformaciones lineales de la primera componente principal y el NDVI, indicó 4 estratos PSp y siete estratos en PSa. El análisis de cluster señaló la existencia de diferencias significativas en los valores de las bandas 4,5,7, primera componente y NDVI. Aún cuando el NDVI, tal como lo señalase Lu (*op. cit*), mostró diversos resultados.



**Imagen 1.** Estratos de Plantaciones de Salix en producción. Imagen ASTER Bandas 1-2-3



**Imagen 2.** Estratos de Plantaciones de Salix abandonadas. Imagen ASTER Bandas 1-2-3

El muestreo en campo de estos estratos y la comparación de los valores obtenidos mostró que, por ejemplo en PSp sólo tres mostraban diferencias significativas (Tabla 1), (Imagen 1) En forma análoga para PSa se establecieron diferencias significativas entre 4 de los estratos analizados (Imagen 2)

**Tabla1.** Comparación de variables biofísicas en estratos de PSp. Test de comparación de medias de Tukey.

Variable	Subclases de PSP		
	1	2	3
N° de pies	Uno	Más	Más
(uno/más)			
Altura total	15 a	11 c	12,7 b
(m)			

DAP (cm)	13 a	14,4 b	11 c
AB (m <sup>2</sup> /ha)	28,9 a	20,7 b	15,7 c
Diámetro	3 a	2,95 a	4 b
de copa (m)			
E.S.	1,1 a	1,4 b	1 a
Densidad	2180 a	1273 c	1656 b
(árboles/ha)			
Biomasa T.	152,9 a	80,7 b	81,6 b
(Mg/ha)			

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p > 5\%$ )

La mayor separabilidad de las firmas espectrales se logró en la banda 4 de Landsat, primera componente principal y banda 9 de ASTER.

### Conclusiones.

El uso combinado de imágenes Landsat y ASTER, permitiría la discriminación de estratos en plantaciones monoespecíficas y con presencia de especies invasoras, de *Salix sp.*

### Bibliografía citada.

- **Brown, S.**, Gillespie, A.J., Lugo, A.F.; 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. For.Sci., 4, 881-902.
- **Eastman Roland, J.**; 2003. Idrisi Kilimanjaro. Guide to GIS and Image Processing. Clark University. USA. 328 pp.
- **Johnson, Dallas E.**; 1998. "Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos", Análisis Discriminante, Internacional Thomson Editores, Méjico. 217-285.
- **Lu, D.**, Mausel, P., Brondizio, E., Morán, E.; 2004. "Relationships between forest stand parameters and Landsat spectral responses in the Brazilian Amazon Basin". Forest Ecology and Management 198:149-167.
- **Murphy, D.L.**, 1985. Estimating Neighborhood Variability with a Binary Comparison Matrix. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51, 6, 667-674.