

Teledetección

de especies forestales a partir de imágenes satelitales

Por Rubens Ferreira*

El uso de imágenes satelitales en Uruguay se encuentra aplicado a los recursos naturales desde hace pocos años, y no existe experiencia en el análisis de las imágenes de los satélites chino-brasileños. Un trabajo de investigación desarrolla una metodología para identificar en ellas diferentes especies forestales.

Inventario Forestal

En los últimos 10 años Uruguay ha surgido como importante país exportador de madera y pulpa de celulosa en el mundo, gracias a una atractiva política forestal que, mediante subsidios del Banco Mundial (devolución de las inversiones realizadas) y del propio estado (exoneración del impuesto de contribución inmobiliaria rural y otros impuestos), permitió incrementar el área forestada a expensas del área pastoril y agrícola.

La superficie forestada bajo proyectos (1) era de ochocientos doce mil hectáreas en el año 2008 calculándose a fines de 2010 en aproximadamente un millón. Las exportaciones de madera según datos de la Dirección Forestal del Ministerio de Ganadería y Agricultura (MGAP) (2), pasaron de 85 millones de dólares en el año 2000 a 500 millones en el 2008, a partir de esa fecha comenzaron las exportaciones de pulpa de celulosa que sobrepasaron 1.000 millones de dólares en el año agrícola 2009-2010. La fábrica de pasta de celulosa, UPM-Uruguay exportó en el 2010, 1.100.000 toneladas de celulosa. (3)

Estos números indican que se trata de un área en pujante desarrollo, por lo que toda la información que se pueda obtener de la misma, un inventario forestal por ejemplo, será de gran utilidad para la toma de decisiones.

Según datos de la Dirección Forestal la distribución de las especies era, en el 2007, de 38% para *Eucalyptus globulus*, 24% para *Eucalyptus grandis*, 20% *Pinus taeda*, 8% *Pinus eliottii*, y el resto varias especies (4). Los porcentajes de las diferentes especies fueron obtenidos, entre varias fuentes, de la interpretación de imágenes del satélite Landsat 5 *Thematic Mapper* (TM) (5) lanzado por la Agencia Espacial estadounidense, NASA. La imagen analizada es del año 2006.

En particular en Uruguay el uso de imágenes satelitales Landsat se encuentra aplicado a los recursos

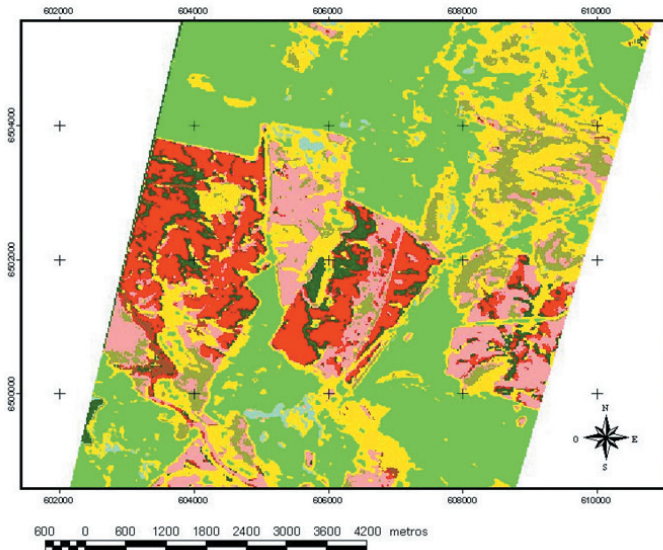
naturales desde hace muy pocos años, no existiendo todavía experiencia en el análisis de las imágenes de los satélites chino-brasileños de observación de la Tierra, CBERS (*China–Brazil Earth Resources Satellite*) (6) que se lanzan al espacio desde 1999, ni por parte de organismos públicos ni de privados. No se utilizan para determinar áreas forestadas, ni a los efectos de medir las áreas de soja o arroz o el estado de desarrollo de los cultivos. Esta información sería de enorme utilidad para la implementación del plan de uso del suelo del MGAP en el cual se viene trabajando desde principios de año.

Por consiguiente se decidió realizar un trabajo para validar el uso de las imágenes satelitales chino-brasileñas con cámara fotográfica CCD (7) y el software de procesamiento de imágenes "ERDAS Imagine 8.7" de un área de la cuenta del Arroyo Tres Cruces plantada



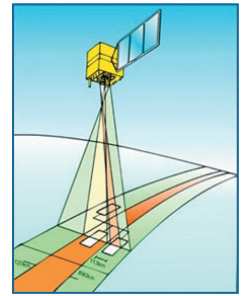
Concepción artística del CBERS-2 en órbita
Fuente: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Clasificación supervisada de imagen CBRS2 utilizando áreas de entrenamiento



Ultima_supervimg

- Unclassified
- Pino Taeda
- Eucalipto globulus maidenii
- Afloramientos Rocas
- Campo Natural (pastura)
- Suelo Desnudo (postcosecha)
- Agua
- Pino Elliottii
- Eucaliptus Grandis
- Monte indigena



Signature Editor (pasomanco.sig)

#	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count	Prob.
1	Pino Taeda		1.000	0.000	0.000	1	1	72	1.000
2	Eucalipto globulus maidenii		0.498	1.000	0.000	2	2	40	1.000
3	Afloramientos Rocas		1.000	1.000	0.000	3	3	54	1.000
4	Campo Natural (pastura)		0.000	1.000	0.000	4	4	132	1.000
5	Suelo Desnudo (postcosecha)		0.572	0.910	0.777	5	5	25	1.000
6	Agua		0.000	0.000	0.000	6	6	4	1.000
7	Pino Elliottii		0.953	0.367	0.390	7	7	42	1.000
8	Eucaliptus Grandis		0.000	0.392	0.000	8	8	54	1.000
9	Monte indigena		0.627	0.322	0.176	9	9	9	1.000

con diferentes especies forestales, en particular diferentes especies de eucaliptos y pinos, desarrollando una metodología que se pueda utilizar para todos los bosques artificiales y para determinar el uso del suelo en Uruguay.

Teledetección

En teledetección, el sensor del satélite explora linealmente la superficie terrestre, adquiriendo a intervalos regulares la radiación que proviene de los objetos situados en ella. El sensor detecta la radiación media de una parcela de terreno equivalente al tamaño del píxel (8), el Landsat toma imágenes con 900 m² de tamaño de píxel, la cámara CCD del CBERS tiene mejor resolución espacial, 400 m². Este valor medio se traduce a un valor numérico, denominado valor espectral, que debe ser interpretado.

El proceso de interpretación de los diferentes valores espectrales que componen la imagen es conocido como reconocimiento espectral de patrones. Tradicionalmente, se han seguido dos métodos para hacer dicho reconocimiento, el método supervisado y el no supervisado, según el nivel de participación del usuario en el proceso.

En el método supervisado es necesaria la incorporación de un conjunto de muestras con las que se define cada una de las categorías que pretenden discriminarse en la imagen. Esto supone un entrenamiento del clasificador que es el encargado de escoger manualmente el conjunto de muestras inicial que se han seleccionado como representativas de las clases que se quieren estudiar. A esta información a priori, se le llama "verdad terrestre".

El método no supervisado no requiere el conocimiento previo. En este último, la máquina es la encargada de generar la agrupación del conjunto de datos a través

de un procedimiento de clasificación de los píxeles en clases por medio de un algoritmo. El usuario solamente tiene que indicar el número de clases que pretende distinguir en la clasificación.

Algoritmos de clasificación

En las últimas décadas se han desarrollado un gran número de algoritmos de clasificación con el propósito de obtener diferentes métodos para asignar cada uno de los píxeles de la imagen a una categoría determinada, en función del valor espectral.

En este trabajo se utilizaron dos algoritmos diferentes. El clasificador no supervisado "isoseg" o "isodata", basado en el cálculo de mínima distancia para producir, automáticamente clusters o clases, entre los datos o píxeles y luego asignar un nuevo píxel como perteneciente a una de esas clases que el algoritmo produjo.

El otro es el clasificador de "máxima verosimilitud" (maximum likelihood) basado en la teorema de Bayes, (9) para asignar la probabilidad de que un píxel pertenezca a una clase en particular; éste es un clasificador que fue entrenado previamente en forma supervisada, asignando datos a clases efectivamente conocidas.

Trabajo realizado

El estudio se realizó analizando en imágenes satelitales una plantación de la Empresa Cono Sur S.A., actualmente Montes del Plata S.A., en la cuenca del Arroyo Tres Cruces con gran diversidad de especies. Se trata de un área superior a las 1500 hectáreas, que está comprendida entre las coordenadas geográficas longitud1 W 57°, latitud1 S 33° y longitud2 W54° 19', latitud2 S 30° 42' (UTM Datum WGS84). (10)

Una de las ventajas que tenía este lugar era que incluía



una muestra representativa de: *Eucaliptus globulus*, *Eucaliptus grandis*, *Pinus taeda*, *Pinus eliottii* y además porque se contaba con los datos del bosque, época de siembra, detalle de especies y manejos silviculturales, tipo de suelos y pendientes.

Para la clasificación supervisada el primer paso fue la delimitación de los campos de entrenamiento, en este caso se delimitaron 9 zonas o áreas de “verdad ter-

restre” en el lugar de estudio. Estas fueron las siguientes: Agua, *Eucaliptus globulus*, *Eucaliptus grandis*, *Pinus eliottii*, *Pinus taeda*, pasturas, afloramientos rocosos o suelos superficiales de basalto, suelo desnudo luego de la cosecha de eucaliptos y monte nativo ribereño sobre las márgenes del Arroyo Tres Cruces.

Para lograr este objetivo se tuvo que visitar todos los rodales (11) de la plantación, o sea todos los conjuntos de plantas que pueblan el terreno y se diferencian de los colindantes, y medir sus áreas con equipos GPS (*Global Positioning System*). El segundo paso fue superponer los datos de la “verdad terrestre” a la obtenida luego de usar el algoritmo de máxima similitud a los datos de la imagen obtenida. Solo se detectaron problemas con la clase de *Pinus eliottii*. Como fue plantada en una zona de bañados, estaba invadido por matorrales y pastizales, en ese caso los valores espectrales de los píxeles de esa clase estaban mezclados con los de otras clases, por lo que no fueron correctamente clasificados.

Imagen

En esta investigación se utilizó una imagen satelital CCD/CBERS-2b del 2 de enero del 2007, cuyas coordenadas espaciales (órbita/punto) eran 161/135, siendo las bandas espectrales las 2 (verde), 3 (rojo) y 4 (infrarrojo próximo). Se eligió la de menor cobertura nubosa.

Para la corrección geométrica y registro de las imágenes, es decir el empalme de unas con otras para ubicar correctamente zonas geográficas, se utilizaron puntos de control identificados en el terreno y otros obtenidos de imágenes satelitales con las coordenadas ya corregidas. Para que una imagen satelital tomada con la curvatura de la tierra pueda ser representada en un plano o carta geográfica de la manera más exacta posible se utilizan diferentes sistemas de proyección, en Uruguay se utiliza un sistema diferente al de las imágenes CBERS de modo que es necesario convertir un sistema de proyección a otro.

Como base de referencia se utilizó una carta topográfica del Servicio Geográfico Militar; J-11 - Bañado de Rocha, a escala 1:50.000 publicada en 1989, datum yacaré.

Para establecer las clases (bosque artificial, nativo, pas-

tizales, agua, etc.) se utilizó la metodología descrita por E. Chuvieco en su libro “Teledetección Ambiental, Edición del año 2002”. Para la “verdad terrestre” se utilizó un GPS Garmin que mapeó las áreas de interés o verdad terrestre, de las diferentes especies forestales de la plantación.

Resultados

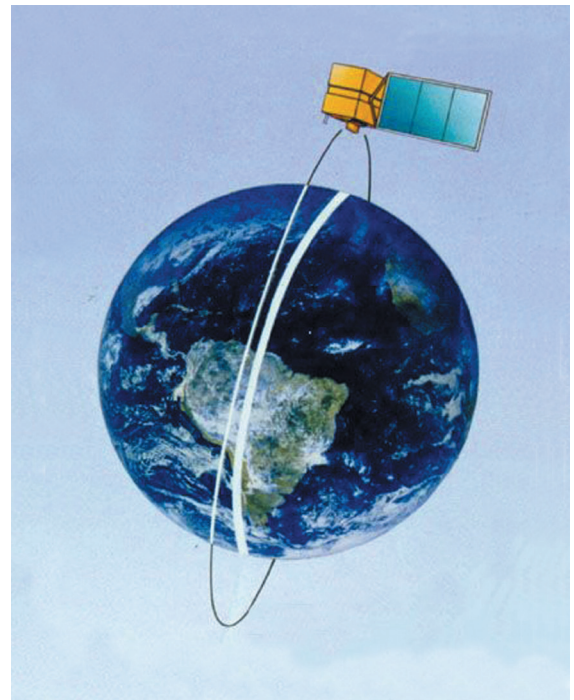
La clasificación digital no supervisada utilizando el algoritmo de “*isodata*” no fue capaz de separar las especies *Pinus taeda* de *Eucaliptus grandis* jóvenes, pero si lo diferenció del *Eucaliptus globulus* con más de 15 años de edad y tampoco separaba áreas de *Pinus eliottii* asociado a matorrales.

Con dicho algoritmo se puede separar muy bien pasturas, suelo superficial y monte indígena, pero no es posible separar Eucaliptus de Pino cuando las plantaciones son jóvenes.

Cuando se utilizó una clasificación supervisada basada en más de 10 sitios de entrenamiento, 9 clases y el algoritmo de “máxima similitud”, fue posible separar los géneros y las especies de bosques forestales artificiales. Se logró diferenciar en clases homogéneas a *Pino taeda* y *elliottii*, *Eucaliptus grandis* y *globulus* así como bosque nativo y pastizales entre otras clases con una significación superior al 5%.

Cada una de las especies forestales quedó perfectamente diferenciada de las otras. Los píxeles que quedaron sin clasificar fueron muy pocos y no afectan la validación del método estadístico.

Se concluyó que quedó validado el uso de estas imágenes las que seguramente serán de gran utilidad y difusión en un futuro a los efectos de obtener información reciente a nivel predial del uso del suelo.



Concepción artística del CBERS-2 en órbita
Fuente: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Notas

1. La "superficie forestada bajo proyecto" incluye, además de la superficie ocupada por los árboles, las áreas destinadas a caminería, cortafuegos y áreas de protección de cuencas. En realidad, lo que efectivamente se cultiva con árboles no es más del 70% de ese total.

2. Dirección General Forestal MGAP-FAO. Estadísticas. Exportaciones en Valor (en <http://www.mgap.gub.uy/Forestal/Exportacionvalor.xls>)

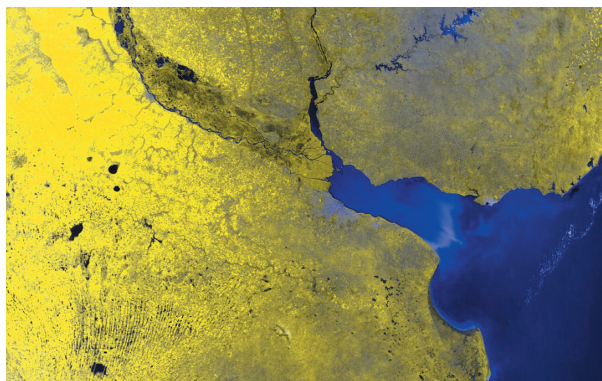
3. Agenda Forestal 2011, pag 69.

4. Monitoreo de los recursos forestales. Inventario Forestal Nacional. Resumen de Resultados. Proyecto UNJP/URU/027/UNJ. Agosto 2010.

5. Entre los satélites existentes para observar la superficie de la Tierra, los de la familia LANDSAT, han estado observando el planeta desde el inicio de la década de los 70. Sobrevuelan el mismo punto del planeta cada 16 días captando imágenes en seis diferentes bandas de luz, tres visibles y tres infrarrojas cercanas, todas con una resolución espacial de 30 metros (900 metros cuadrados).

6. Brasil inició el desarrollo de un satélite civil de teleobservación con la ayuda de China a finales de la década de 1980. Esta cooperación ha lanzado tres satélites con éxito. Uno de los principales aspectos del Programa CBERS es la política de datos adoptada después del lanzamiento de CBERS-2. Brasil aprobó la política de distribución gratuita de datos de CBERS cuando se solicitan los datos en formato electrónico. Inicialmente aprobado para usuarios brasileños se extendió por los países vecinos y, a continuación, por todo el mundo. Actualmente, todos los datos CBERS recogidos en la estación de Cuiabá, la estación en tierra brasileña, se distribuyen gratuitamente a cualquier persona. www.dgi.inpe.br/CDSR

7. El CCD (charge-coupled device, dispositivo de carga acoplada) es un sensor de luz formado por diminutas células fotoeléctricas que registran la imagen en las cámaras fotográficas y de video digitales. Un CCD es a menudo considerado como la versión digital de una película fotográfica. La resolución de esta cámara (tamaño del píxel) es de 400 metros cuadrados en la tierra, superior a las imágenes que toma la cámara TM del Landsat de la NASA.



8. Píxel, abreviatura de Picture Element, ("elemento de imagen") es la menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital, ya sea esta una fotografía, un fotograma de vídeo o un gráfico.

9. En la teoría de la probabilidad, el teorema de Bayes es un resultado enunciado por Thomas Bayes en 1763 que vincula la probabilidad condicional de un evento aleatorio A dado B con la probabilidad de B dado A. Es decir que sabiendo la probabilidad de tener un dolor de cabeza dado que se tiene gripe, se podría saber -si se tiene algún dato más-, la probabilidad de tener gripe si se tiene un dolor de cabeza. Fuente: Wikipedia.

10. UTM es una proyección cartográfica conocida como Universal Transversal Mercator, en la cual se proyectan cilindros en forma transversal a la Tierra, generándose 60 husos, con una anchura de 6 grados de longitud.

11. Rodal: "una porción del bosque definida sobre la base de un conjunto de criterios asociados a uno o más objetivos de manejo".

*Rubens Ferreira trabaja en la Dirección de Recursos Naturales Renovables del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (RENARE-MGAP) Regional Norte, Tacuarembó. Obtuvo un Diploma de Estudios Avanzados de la Universidad Internacional de Andalucía, un Diploma de Procesamiento de Imágenes satelitales y Spring en el Instituto de Pesquisas Espaciales de Brasil y recientemente el diploma universitario de "Sistemas de Información Geográfico" de la Universidad Internacional de Andalucía sede Iberoamericana de La Rábida. rferreira@mgap.gub.uy

Los días 7, 8 y 9 de noviembre de 2011 se dictará un curso sobre

"Sistemas de Información Geográfico y teledetección"

En el Centro de Barrio N° 3 de Tacuarembó

Costo:

100 dólares por persona, por los materiales.

Materias:

Teledetección, Sistemas de Información Geográfico, Geodatabases, Sistemas de Coordenadas y tipos de proyecciones, Redes, Arc Gis, Arc Catalog, Arc Tool Box, Modelos digitales de terreno, Manejo de GPS.

Profesores:

Ing. Agr. MsC Rubens Ferreira; Ing. Agr. Mario Pereira; Ing. Geomatico, Universidad Federal de Santa María RGDS: Luiz Fernando Chimelo Ruiz; Ing. Geomático, Universidad Federal de Santa María RGDS: Bruno Depra

Mandar Solicitudes e información sobre conocimientos previos a pasolivindo@hotmail.com o mariope@adinet.com.uy

Ing. Agr. Rubens Ferreira - Telefono: 099682212