

## Control de la deforestación de la Mata Atlántica mediante CLASlite

Juan Jorge<sup>(1)</sup> y Antonio Carlos Ferreira Jr.<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Departament de Física Aplicada, Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa, Universitat Politècnica de Catalunya, Avda. Bases de Manresa, 61-73, 08242 Manresa, España. Email: joan.jorge@upc.edu

<sup>(2)</sup> Universidade Estadual de Campinas. Email: antoniounicamp2009@gmail.com

**Resumen:** La Mata Atlántica es un bioma brasileño a proteger. Para el sur de la microrregión Presidente Prudente (Estado de Sao Paulo, Brasil), se plantearon iniciativas de desarrollo rural que contemplaban la reforestación. La detección de ésta se ha tratado de llevar a cabo mediante la aplicación de la tecnología semi-automática CLASlite, desarrollada en la Carnegie Institution for Science. Se han podido detectar cambios en la cubierta forestal de la zona, a nivel de pérdida de bosque, pero no el aumento neto de superficie boscosa, obtenida a partir de una clasificación supervisada. También se han comparado los resultados obtenidos con los correspondientes a la base de datos Global Forest Change (GFCD, de la Universidad de Maryland), sobreestimando estos últimos la superficie deforestada.

**Palabras clave:** deforestación, Mata Atlántica, CLASlite, GFCD, Pontal do Paranapanema

### *Control of deforestation in the Atlantic Forest by CLASlite*

**Abstract:** The Atlantic forest is a Brazilian biome that needs to be protected. Some rural development initiatives for the south of the Presidente Prudente micro-region (State of Sao Paulo, Brazil) were contemplated, including reforestation. We have attempted to detect reforestation by applying the semi-automatic CLASlite technology, developed at Carnegie Institution for Science. It was possible to detect changes in forest cover in the area, at the level of forest loss, but not the net increase in forest area obtained from a supervised classification. We also compared the CLASlite results with those from the Global Forest Change Database (GFCD, University of Maryland), which overestimate the deforested area.

**Keywords:** deforestation, Atlantic forest, CLASlite, GFCD, Pontal do Paranapanema

### 1. INTRODUCCIÓN

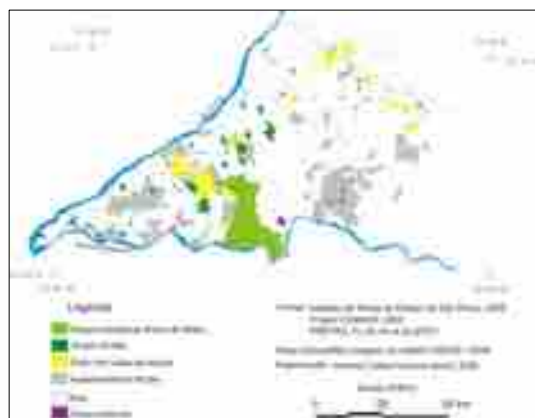
La historia de la ocupación de la región del Pontal do Paranapanema (PdP), zona sur de la microrregión Presidente Prudente (Estado de Sao Paulo, Brasil), ha estado envuelta en un proceso conflictivo de ocupación de tierras de dominio público, grandes fraudes en el dominio de titularidad ("grilagem"), prácticas violentas, talas de bosques indiscriminadas, prácticas agrícolas poco interesadas en la conservación de los recursos naturales, y desobediencia a la legislación ambiental, junto a un proceso acelerado de urbanización (Fernandes y Ramalho, 2001).

Todos estos procesos alteraron el paisaje, reduciendo los bosques a simples islas de vegetación natural, salvo la reserva natural Morro do Diabo. En 2004 y 2008 se aprobaron sendos programas de desarrollo rural bajo el paradigma de la sostenibilidad, con medidas encaminadas a la recuperación ambiental, contemplando la reforestación, entre otras acciones. Estas medidas se tienen que hacer compatibles con el crecimiento del sector productivo de la elaboración de alcohol a partir de la caña de azúcar.

El seguimiento de esta ocupación de la tierra, incluido el deseado proceso de reforestación, se puede realizar mediante imágenes satelitales. Freitas y Spavorek (2006) se basaron en imágenes CBERS-2 para confeccionar un mapa de la situación del Pontal, distinguiendo entre áreas cultivadas con caña de azúcar, áreas urbanas, asentamientos rurales, áreas verdes y la reserva estatal Morro do Diabo. La figura 1 muestra una adaptación de las unidades del paisaje obtenidos por dichos autores con objeto de poder ser comparadas al final. Los

asentamientos rurales son un conjunto de fincas independientes, o parcelas, entregadas a familias para su explotación, con áreas y espacios comunes e incluso de preservación ambiental (Ferreira Jr., 2015).

Otras dos muestras del uso de la teledetección en esta zona son los trabajos de Rudorff *et al.* (2010), que aplican las imágenes Landsat a la cartografía de la caña de azúcar, y de Ferreira Jr. *et al.* (2014) que han detectado cambios en la superficie forestal. La variedad de sistemas de teledetección actualmente existentes permite hacer hoy día un seguimiento de los bosques a diferentes escalas espacial y temporal, y testimoniar un progreso sostenible (Kim *et al.*, 2014).



**Figura 1.** Unidades de paisaje presentes en el Pontal do Paranapanema a partir de información CBERS-2.

La deforestación, entendida como remoción de bosques, es fácilmente observada desde el espacio, mientras que cuando los bosques permanecen como bosques pero

perdiendo biomasa y cobertura del dosel, lo que llamaremos perturbación, es mucho más difícil de observar.

Recientemente han visto la luz en teledetección dos nuevas metodologías para el seguimiento de los bosques (CLASlite y GFCD), y están pensadas para ser aplicadas por personal poco experto. Lui y Coones (2015) presentan una comparación interesante de ambas técnicas. Ahora bien, los resultados deben ser analizados con cuidado ya que hay unos aspectos críticos en el monitoreo de bosques que pueden pasar desapercibidos. Por ejemplo, más del 30% de todos los eventos de deforestación son de un tamaño menor de 25 ha y se producen en zonas geográficas de 20 a 30 veces mayores que aquéllos, y más del 90% de todos los eventos de perturbación son menores a 1 ha.

El Sistema de Análisis Landsat de Carnegie –lite (CLASlite) es un paquete de software para monitoreo de bosques, que ofrece identificación semi-automatizada de la deforestación y degradación de bosques a partir de imágenes de satélite (Asner *et al.*, 2009).

El segundo producto emergente para conocer la extensión y los cambios (pérdidas y ganancias) del bosque es el Global Forest Change dataset (GFCD). Se trata de una base de datos a escala global, con píxeles de 30 m para el intervalo 2000-2012 (Hansen *et al.*, 2013), obtenida a partir del análisis espectral de 654.178 escenas Landsat en la época de crecimiento de la vegetación, y la comparación con productos de otros sensores. Debe quedar claro que ninguna de estas dos tecnologías es óptima para otras aplicaciones.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Zona de estudio

El Pontal do Paranapanema se sitúa al sudoeste del estado de Sao Paulo (Brasil), en la microrregión Presidente Prudente; limita al oeste con el río Paraná y el Estado de Mato Grosso do Sul, y al sud con el río Paranapanema y el estado de Paraná (Figura 2). Sus características socio-económicas son las siguientes: tiene una extensión territorial de 18,441 km<sup>2</sup>; está formado por 32 municipios con una población conjunta por encima de los 570.000 habitantes, unos 55.000 en la zona rural, con unos 12.300 agricultores y cerca de 6.000 familias en asentamientos rurales. Las principales actividades agropecuarias se basan en el ganado vacuno (carne y leche), la caña de azúcar, huevos, soja, maíz, maní, papa dulce y goma.

En cuanto a la caracterización geofísica de la zona, cabe referir que la región del Pontal es parte de la cuenca sedimentaria del Paraná, con un predominio de rocas sedimentarias del Mesozoico y también del Cenozoico. La formación geológica predominante es arenisca-Caiuá. El suelo predominante es latosol, derivado de rocas sedimentarias y muy susceptible a la erosión, con presencia de riachuelos y quebradas, bajo en fertilidad natural, bastante permeable y de drenaje excesivo. La región se encuentra en el clima Zona tropical (Cwa-mesotermal en la clasificación de Koppen), con dos estaciones bien definidas (inviernos secos y veranos calurosos).

La vegetación original de bosque semicaducifolio "Mata Atlántica de interior" ha pasado de unas 247.000 hectáreas a tan sólo 46.000 hectáreas en la actualidad (12.000 ha en fragmentos forestales y 34.000 en la reserva del Morro do Diabo).



Figura 2. Pontal do Paranapanema.

### 2.2. Imágenes del satélite Landsat

La tecnología CLASlite está diseñada especialmente para imágenes de la serie Landsat, aunque puede utilizar otros tipos de imagen (SPOT, ASTER). La resolución espacial de 30 m se considera adecuada para la caracterización de las pautas del paisaje (Townsend *et al.*, 2009). Dada la facilidad de disponer sin coste de imágenes Landsat, a través del archivo del U.S. Geological Survey, se han descargado las escenas que figuran en la tabla 1, ya que el Pontal do Paranapanema se sitúa en el centro de un mosaico formado por cuatro escenas. Se han elegido escenas con fechas muy próximas (la misma para el mismo path), y todas ellas en una época de escasa presencia de nubes (y poca precipitación).

Al aplicar la técnica CLASlite se ha procedido escena a escena y finalmente se ha construido el mosaico con los resultados.

Tabla 1. Escenas Landsat utilizadas (L5: Landsat 5 TM, L7: Landsat 7 ETM+, L8: Landsat 8 OLI+TIRS).

		Path	
		223	222
Row	075	L7: 12 Mayo 2000	L5: 13 Mayo 2000
	076	L8: 22 Abril 2013	L8: 1 Mayo 2013



### 2.3. Método de clasificación CLASlite

Son cuatro las funciones claves de CLASlite: (1) calibración de imágenes brutas a reflectancia aparente de

la superficie; (2) análisis espectral de los datos de reflectancia, mediante la aplicación el modelo “Automated Monte Carlo Unmixing” (AutoMCU), para determinar la cobertura fraccional de suelo desnudo de vegetación, de vegetación fotosintéticamente activa y de vegetación fotosintéticamente no activa; (3) clasificación de los datos de cobertura fraccional en un mapa de cubierta boscosa (superficie ocupada con más del 10% por copas de árboles y con un área de más de 0,5 ha), y en un mapa de perturbación (disminución difusa del dosel del bosque), y (4) detección de cambios con datos multitemporales de la cubierta fraccional y, finalmente, elaboración del mapa de deforestación y perturbación del bosque.

Se ha procedido a seguir los cuatro pasos anteriores, manteniendo por defecto los valores umbrales que se utilizan en algunos casos para la toma de decisiones.

### 3. RESULTADOS

La figura 3 muestra los productos intermedios derivados de cada uno de los cuatro pasos de CLASlite, para un trozo del mosaico de las dos escenas más occidentales correspondientes a 2013, en donde se observa una parte de la reserva natural Parque do Diabo. Se representan los mapas en falso color RGB de las bandas 5, 4 y 3, respectivamente, (a) de la imagen bruta y (b) del mapa de reflectancias. También se muestra un falso color RGB correspondiente a (c) las tres primeras bandas del mapa de cubiertas fraccional que se obtiene, es decir, suelo desnudo (S), vegetación fotosintéticamente activa (PV) y vegetación no activa (NPV), respectivamente, y en cuarto lugar, (d) la cubierta forestal en grises.

Sobre esta técnica cabe señalar que en los procesos intermedios se aplican correcciones radiométrica y atmosférica de forma automática. Para ello, después de agrupar todas las bandas, se procede a una corrección por neblina aplicando el método de Carlotto (1999). Para la corrección atmosférica se aplica el modelo 6S de transferencia radiativa (Vermote *et al.*, 1997), considerando los valores medios medidos en el mes de la imagen procesada. También se elabora una máscara de nubes y cuerpos de agua; para ello se consideran unos valores umbrales por defecto combinando la banda térmica, las bandas brutas, las bandas de radiancia y las de reflectancia.

#### 3.1. Método de clasificación GFCD

De la base de datos Global Forest Change se ha descargado el archivo raster KJ2122, y de él se ha enmascarado la zona correspondiente al PdP. De los siete archivos disponibles, sólo se ha utilizado el correspondiente a la pérdida de la cubierta forestal 2000-2013, para compararlo con los datos elaborados mediante CLASlite.

#### 3.2. Método de clasificación supervisada

Se ha realizado una clasificación supervisada por el criterio de máxima similitud, discriminando la superficie

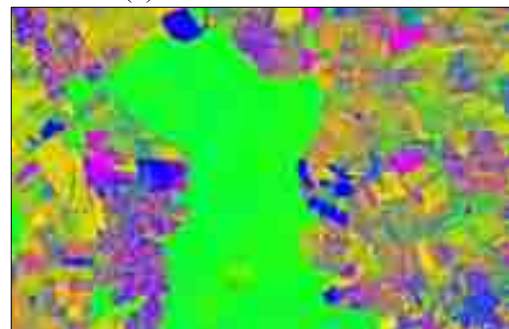
forestal del resto de cubiertas, más para comparar la tendencia a la deforestación que a tener un análisis cuantitativo pormenorizado.



(a) Imagen Landsat bruta.



(b) Producto de reflectancias.



(c) Producto mapa fraccional de cubiertas.



(d) Producto cubierta forestal.

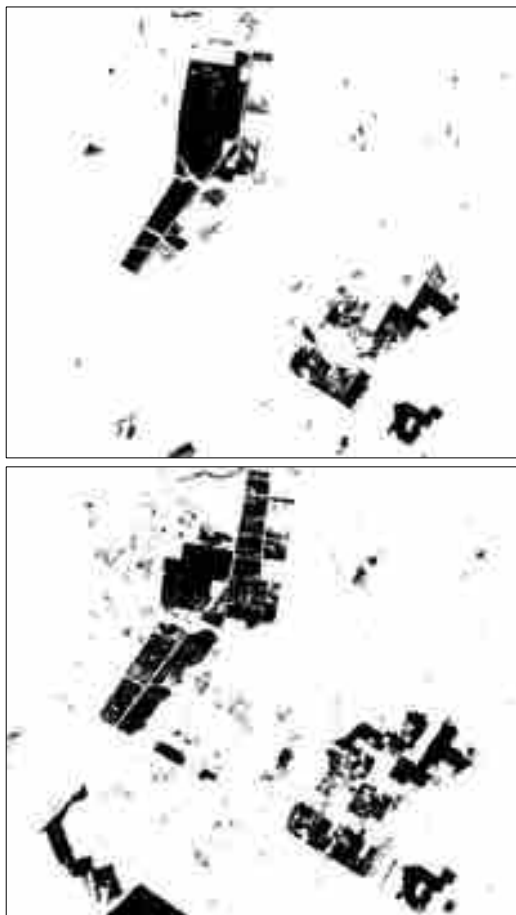
**Figura 3.** Productos intermedios de la cadena de pasos de CLASlite. Combinación RGB de las bandas 5, 4 y 3 (a) de la imagen bruta, (b) del mapa de reflectancias. (c) de las capas S, PV y NPV de la cubierta fraccional y (d) cubierta forestal.

Una vez elaborado el producto de cambios por deforestación aplicando CLASlite para el período 2000-2013 en la zona del Pontal, se observan en él cambios muy reducidos, y prácticamente sólo en la zona oriental,

casi siempre en forma lineal, que pueden interpretarse como alargamiento de islas de bosque existente (observable visualmente en el faso color), es decir, como reforestación.

El producto GFCD muestra muchas más pérdidas de bosque que CLASlite, como se observa en el detalle de ambos productos equivalentes en la figura 4.

La clasificación supervisada ha mostrado que en el periodo 2000-2013 hubo un aumento del 0.65% en la superficie con vegetación.



**Figura 4.** Pérdida (en negro) de bosque de la misma área según CLASlite (arriba) y GFCD (abajo).

#### 4. DISCUSIÓN

Las técnicas CLASlite y GFCD son sencillas de aplicar para conocer las variaciones de la cubierta forestal amazónica, pero los mapas que proporcionan requieren de un análisis pormenorizado para detectar reforestación, y así verificar el éxito o no de los planes de desarrollo rural, requiriendo un trabajo adicional.

Tal vez se ha pretendido abarcar una zona muy extensa en este trabajo, que con el uso de otros sensores de mejor resolución espacial no haría más que aportar mucho más ruido a los resultados.

La consideración adicional de algunos indicadores de la fragmentación del paisaje podría mejorar la clasificación que se obtiene mediante las técnicas presentadas.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- Asner, G.P., Knapp, D.E., Balaji, A. & Páez-Acosta, G., 2009. *Automated mapping of tropical deforestation and forest degradation: CLASlite*. Journal of Applied Remote Sensing, 3, 033543.
- Carlotto, M.J., 1999. *Reducing the effects of space-varying, wavelength-dependent scattering in multispectral imagery*. Int. J. Remote Sensing, 20:17, 3333-3344.
- Fernandes, B.M. & Ramalho, C.B., 2001. *Luta pela terra e desenvolvimento rural no Pontal do Paranapanema (SP)*. Estudos avançados, 15:43.
- Ferreira Jr., A.C., Carmo, M.S. do & Jorge, J., 2014. *Uso de sensoriamento remoto em acompanhamento de projetos de recuperação ambiental no Pontal do Paranapanema-SP, Brasil*. In Memorias del XVI Simposio Internacional SELPER 2014, SP-1.
- Ferreira, Jr. & A.C., 2015. *Abordagem Territorial nas Ações e Políticas de Desenvolvimento do Pontal do Paranapanema-SP*. (Tese de Doutorado), FEAGRI-UNICAMP.
- Freitas, F. L. M. & Spavorek, G., 2006. *Avaliação dos efeitos da entrada da cana-de-açúcar em áreas de assentamentos da região do Pontal do Paranapanema – SP*. Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ/USP, Brasil.
- Hansen, M.C., Potapov, P., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S.V., Goetz, S.J., Loveland, T.R., et al., 2013. *High-resolution global maps of 21<sup>st</sup>-century forest cover change*. Science, 342, 850-853.
- Kim, D., Sexton, J.O., Noojipady, P., Huang, C., Anand, A., Channan, S., Feng, M. 6 Townshend, J.R., 2014. *Remote Sensing of Environment Global, Landsat-based forest-cover change from 1990 to 2000*. Remote Sens. Environ.; 155, 178-193.
- Lui, G.V. & Coomes, D.A., 2015. *A comparison of novel optical remote sensing-based Technologies for forest-cover/change monitoring*. Remote Sensing, 7, 2781-2807.
- Rudorff, B.F.T., Aguiar, D.A., Silva, W.F., Sugawara, L.M., Adami, M. & Moreira, M. A., 2010. *Stuides on the rapid expansion of sugarcane for etanol production in São Paulo state (Brazil) using Landsat data*. Remote Sensing, 2, 4:1057-1076.
- Townsend, P.A., Lookingbill, T.R., Kingdon, C.C. & Gardner, R.H., 2009. *Spatial pattern analysis for monitoring protected areas*. Remote Sens. Environ.; 113: 1410-1420.
- Vermote, E.F., Tanré, D., Deuzé, J.L., Herman, M., and Morcrette, J.J., 1997. *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: an overview*. IEEE T. Geosci. Remote, 35, 675-686.