

Estimación indirecta de emisiones de CO₂ a partir de información satelital en áreas quemadas de ambientes insulares del delta del río Paraná (Argentina)

Sione, W.^{1,2}, P. Aceñolaza^{1,3}, L. P. Zamboni¹, C. Serafini², H.F. del Valle⁴
y J. F. Gallardo Lancho⁵.

1 CEREGEO-UADER, Urquiza 980 (3100) Paraná, Entre Ríos Argentina. 2 PRODITEL-UNLU, Ruta 5 y 7 (6700) Luján, Buenos Aires, Argentina. 3 CICyTTP-CONICET y FCA-UNER, Materi y España (3105) Diamante, Entre Ríos, Argentina. 4 CENPAT-CONICET. (U9120ACF) Puerto Madryn (Chubut), Argentina. 5 IRNASA-CSIC. C/Cordel de Merinas, 40-52. Salamanca. E-37008 España. sione@ceregeo.org.ar, acenolaza@gmail.com, pamelazamboni@gmail.com, proditel@mail.unlu.edu.ar, juanf.gallardo@irnasa.csic.es

RESUMEN

Los incendios en ambientes insulares del Delta del Río Paraná (R. Argentina) presentan recurrencia, controlada por factores antropogénicos, climáticos y topográficos. Como consecuencia, se producen variaciones en las emisiones de gases de efecto invernadero, añadido a consecuencias de escala local (degradación de la vegetación, erosión del suelo, impactos en la salud humana) o global (contaminación atmosférica, clima). El Delta del Río Paraná cubre una superficie aproximada de 17.500 km², conformando una planicie inundable caracterizada por pulsos de inundación y sequías, asociados a sistemas fluviales y mareales. Esta situación produce una estructuración ambiental compleja; dominan formaciones boscosas en la parte Norte y de herbáceas en las áreas internas del Complejo y en la zona deltaica distal. En toda el área el fuego se utiliza, recurrentemente, como parte de la práctica de manejo ganadero, sin considerar en la mayoría de los casos las interacciones de otras variables ambientales (v. g.: clima). Durante el período marzo/junio de 2008 se produjeron una serie de incendios que afectaron principalmente pastizales y juncales del Delta. El objetivo de este trabajo fue estimar las emisiones de CO₂ que se produjeron durante el período de quema de las comunidades herbáceas del Complejo Deltaico del río Paraná. Para ello, se caracterizaron las unidades de vegetación a partir de una clasificación no supervisada del índice EVI (Enhanced Vegetation Index), producto MOD13Q1, en una serie anual de compuestos de 16 días de imágenes MODIS (año base: 2007). Se determinaron 10 unidades de cobertura, de las cuales 4 correspondieron a vegetación herbácea. El área quemada se determinó mediante la aplicación del índice BAI (Burnt Area Index) a partir de las bandas del infrarrojo cercano (2) e infrarrojo medio (7) del mismo compuesto. Las estimaciones de las emisiones de CO₂ se realizaron sobre la base de datos de biomasa herbácea propios, de datos de campo y bibliográficos, utilizando un modelo paramétrico que incluye como variables la proporción de biomasa quemada (0,6), la relación de C total (Ct)

fijado en biomasa (0,46) y la relación Ct/CO₂ (3,67). Los incendios del Complejo Deltaico del Río Paraná produjeron emisiones de CO₂ cercanos a los 20 Mg C ha⁻¹ para las praderas de juncales y pajonales, mientras que para las áreas del pre - Delta se calcularon emisiones entre 18 y 34 Mg C ha⁻¹ para canutillares y cortaderales. Las emisiones estimadas para el período evaluado, y considerando la extensión de las unidades de vegetación quemadas, son superiores a 7,7 Tg C-CO₂. Estos niveles de emisión de CO₂ son comparables a lo anualmente producido por una ciudad argentina de unos 2.000.000 de habitantes.

Palabras clave: Emisiones de carbono, área quemada, humedales, índice de área quemada, teledetección, MODIS

ABSTRACT

Fires in island environments in Delta del río Paraná (Argentina) have recurrence controlled by anthropogenic, climatic and topographic factors. As a result, variations in the emissions of greenhouse gases are produced, added to local consequences (vegetable degradation, soil erosion, impacts on human health) or global consequences (air pollution, climate).

Delta del río Paraná covers an area of approximately 17.500 km², conforming a food plain characterized by pulses of flooding and droughts, associated to tidal and fluvial systems. This situation leads to a complex environmental structuring; dominate forest formations in the northern part and herbaceous in the distal portion in the Delta. In this last area, fire is applied recurrently as part of practice of handling livestock, without considering in most cases the interactions of other environmental variables (climate). During the period March/June 2008 there were a series of fires which affected mainly grassland and rushes in the Delta. The aim of this study was to estimate indirectly CO₂ emissions that occurred during the period of burning of herbaceous plant communities in Delta del río Paraná. To do so, vegetations units were characterized from an unsupervised classification of the EVI index (Enhanced Vegetation Index), product

MOD 13 Q1, in an annual series of compounds of 16 days of MODIS images (base year: 2007). Ten pieces of coverage were identified; four of them corresponded to herbaceous vegetation. The burnt area was determined by applying the index BAI (Burnt Area Index) from bands from near infrared (2) and middle infrared (7) of the same compound. Estimates of CO₂ emissions were made based on data from own herbaceous biomass, bibliographic and field data, using a parametric model that includes as variables of proportion of burnt biomass (0,6), the relation of C (Ct), total set in biomass (0,46) and the relation Ct/CO₂ (3,67). Fires in Delta del Paraná produced CO₂ emissions close to 20 Mg C ha⁻¹ for grasses and rushes prairies, while for the pre-Delta areas the emissions were estimate between 18 and 34 Mg C ha⁻¹ for canutillares and cortaderas. Estimated emissions for the evaluated period are higher than 7,7 Tg C -CO₂. These levels of CO₂ emissions are comparable to the annually produced by an Argentinean city with 2.000.000 inhabitants.

Keywords: carbon emission, burned area, wetland, remote sensing, burn area index, MODIS

INTRODUCCIÓN

El C del planeta se almacena en cinco grandes compartimentos; las reservas geológicas, los océanos, la atmósfera, los suelos, y la biomasa vegetal. Los sistemas terrestres acumulan muy diferente cantidad de C orgánico edáfico (COS), dependiendo fundamentalmente de las diferentes condiciones climáticas (que, a su vez, afectan a la actividad de los microorganismos del suelo responsables de la descomposición de los restos vegetales y de la materia orgánica del suelo (MOS)), independientemente de la cantidad de biomasa vegetal (García Oliva et al., 2006).

En el C total del suelo (CTS) se puede considerar tanto el COS como el C inorgánico (CIS; presente en los sistemas semiáridos y áridos; Gallardo y Merino, 2007). Dentro del suelo se pueden contemplar diferentes subcompartimentos de COS, delimitando los horizontes húmicos (Ah) y minerales (B, C). A los anteriores hay que añadir otro compartimento diferente que es el C orgánico del mantillo forestal (o necromasa; se le suele denominar horizonte L u O) (Bravo et al., 2007).

Entre los agentes de cambios ambientales el fuego es uno de los principales, que impactan tanto localmente, como regionalmente en el uso del suelo, productividad, capacidad de traslado, y biodiversidad. Globalmente impacta sobre los procesos hidrológicos, bioquímicos y atmosféricos (Csiszar et al., 2004; Roy et al., 2005). Desde la década del 80, los incendios han sido reconocidos como una de las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (Seiler y Crutzen, 1980; Andreae et al., 1998; Crutzen y Andreae, 1990).

La concentración atmosférica del gas de efecto invernadero más importante, el dióxido de carbono (CO₂) pasó de 280 partes por millón en volumen

(p.p.m.v., antes de la revolución industrial) hasta 379 p.p.m.v. en el año 2005, superando las cifras más elevadas de los últimos 650 mil años (IPCC, 2007). En algunos trabajos se indica que la principal causa de este aumento ha sido el uso de combustibles fósiles y, en menor medida, el cambio de uso de la tierra (fundamentalmente la transformación de los bosques en terrenos agrícolas). Autores como Liusse et al., en 2004 menciona que gran parte de las emisiones ocurren en los trópicos, donde confluyen presión humana, nivel de desarrollo, clima y disponibilidad de combustible y en esta región los aportes de gases efectos invernadero debido a la quema de biomasa es mayor que la contribución que realizan los combustibles fósiles.

El efecto inmediato de la quema es la producción y liberación a la atmósfera de gases y partículas resultantes de la combustión de biomasa. Los productos de la combustión instantánea de la vegetación quemada incluyen dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, hidrocarburos distintos a metano, óxido nítrico, cloruro de metilo y varias partículas. En consecuencia, las quemadas tienen impactos a corto y a largo plazo sobre el presupuesto global del dióxido de carbono.

La teledetección constituye una herramienta que puede proporcionar un inventario rápido y preciso de las superficies incendiadas, así como su posterior dinámica. La estabilidad orbital de los satélites de observación de la tierra permite el seguimiento exhaustivo de las características de la vegetación (composición, estado), previo y posterior al incendio. La información que aportan estos sensores sobre regiones no visibles del espectro (infrarrojo cercano, medio, térmico y microondas), resulta de gran valor para una evaluación precisa del área quemada así como del proceso de recuperación de la misma tras el fuego, comparando las situaciones previas y posteriores al suceso. (Martín et al., 1998; Martín et al., 2005; Pereira 1999; Zamboni y Aceñolaza, 2005).

La cartografía de áreas quemadas a partir de la teledetección se ha desarrollado notablemente en los últimos años, gracias al creciente interés por obtener una evaluación global de las áreas afectadas por incendios (Ahern et al., 2001; Chuvieco et al., 2004). Con este enfoque global, el sensor más utilizado ha sido el NOAA-AVHRR, gracias a su resolución espectral, bandas seleccionadas y frecuencia temporal. En los últimos años se han introducido nuevos sensores, como el ATSR, que ha sido la base del atlas mundial de incendios elaborado por Piccolini et al. (2000), y más recientemente han sido incorporados estudios realizados con observaciones del MODIS. (<http://modis-fire.gsfc.nasa.gov/>).

Estudios recientes sugieren mejores resultados en la determinación del área quemada con compuestos de imágenes MODIS en comparación a resultados obtenidos con imágenes NOAA-AVHRR, debido a la mejora comparativa de la resolución espectral, radiométrica y espacial del primer sensor respecto del segundo y a que las bandas del MODIS están mejor adaptadas a las características radiométricas de las

áreas recientemente quemadas. (Chuvieco et al., 2002 y 2006; Sione, 2006; Opazo et al., 2007)

En la provincia de Entre Ríos, con el avance de la frontera agrícola por sobre áreas históricamente ganaderas de la región, se ha incrementado la presión ganadera sobre ambientes de islas, en la región del Complejo Deltaico del Paraná. Esto ha causado profundas transformaciones en el uso de la tierra en sistemas sensibles, convirtiéndolos en sistemas, donde los procesos naturales y sociales son alterados y degradados. En estos ambientes el fuego es utilizado como práctica de manejo ganadero, para mejorar la palatabilidad y diges-tibilidad de ciertas especies.

En este marco deben diferenciarse dos tipos de fuego: los prescriptos, considerados como una práctica de manejo bajo condiciones definidas y controladas para reducir la densidad, cobertura y biomasa de comunidades vegetales, mejorar la palatabilidad y digestibilidad de ciertas especies, entre otros aspectos y los accidentales causados por factores humanos derivados de la imprudencia.

Debemos remarcar que desde el punto de vista ecológico, el fuego puede ser considerado como un disturbio que no es ni positivo ni negativo (Grime, 1977 ; White y Pickett 1985; Barbour et al., 1999). Si bien con su acción se destruye biomasa vegetal, al mismo tiempo se crean espacios abiertos donde pueden establecerse nuevos individuos que darán paso a las diversas etapas sucesionales de las comunidades vegetales y animales (Defossé et al., 2004 a y b).

A nivel regional y particularmente en estos ambientes de islas es deficiente aún el conocimiento sobre el régimen histórico de ocurrencia de incendios, y de cómo esto se ha modificado actualmente debido al incremento de la presión ganadera y de la construcción, en un sector del área de estudio, del puente Rosario -Victoria. La determinación de área quemada, distribución temporal de los incendios, del tipo de coberturas presentes y de las mas afectadas por efecto del fuego en la región de islas del bajo Paraná es un aspecto que no ha sido suficientemente estudiado y que constituye un aporte de importancia en línea a determinar las implicancias de este suceso en las emisiones de gases de efecto invernadero y realizar una correcta valoración regional y global del impacto ambiental que este fenómeno tiene.

Durante el período Marzo /Junio de 2008 se produjeron una serie de incendios que afectaron principalmente pastizales y juncales del Complejo Deltaico. El objetivo de este trabajo fue estimar indirectamente las emisiones de CO₂ que se produjeron durante el período de quema de las comunidades herbáceas a partir de información satelital y de terreno.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de trabajo abarca unos 17.500 km² de la llanura de inundación del Río Paraná ubicada entre los 32° 00' y los 34° 28' de Latitud Sur y los 60° 55' y los 58° 20' de Longitud Oeste. (Figura 1) El Complejo

Deltaico corresponde al tramo final del río Paraná, hasta su desembocadura, donde se conjugan estructuras fluviales con geoformas sedimentadas durante los últimos ingresos y egresos del mar durante el Holoceno. La llanura fluvial propiamente dicha, es la que está vinculada al efecto directo de la dinámica fluvial, y está constituida por un sector de islas que presentan una morfología propia, con los bordes externos (albardones marginales) más elevados y bajos inundables en su zona interna, con zonas intermedias de transición (media loma). Asociados a cauces que disectan internamente estas islas se encuentran los albardones internos. Estos gradientes topográficos se corresponden con gradientes texturales en el sustrato, encontrándose las granulometrías más arenosas asociadas a las zonas más bajas, muy influenciadas por los impulsos y cambios de niveles del río (Aceñolaza et al., 2005).

En el tramo superior y medio del Complejo Deltaico, los albardones marginales encontramos los bosques simples de *Tessaria integrifolia* Ruiz y Pav. (aliso de río) y *Salix humboldtiana* Willd. (sauce criollo). Los bosques de albardones internos están dominados por *Albizia inundata* (Mart.) Barneby & J.W. Grimes (timbó blanco), *Inga verna* Willd. subsp. *affinis* (DC.) T.D. Penn. (Ingá) y/o *Nectandra angustifolia* (Schrad.) Nees & Mart. Ex Nees (laurel del río) constituyendo, en algunos casos, bosques mixtos, que presentan mayor riqueza específica. La densidad de arbolado es muy variable en estos bosques según la etapa sucesional considerada y la posición topográfica en la planicie de inundación (Casco, 2004), encontrando, para etapas maduras, unos 800 individuos ha⁻¹ en los alisales/sauzales y los 1000 individuos ha⁻¹ en los timbozales (Aceñolaza et al., 2005). Etapas juveniles pueden superar ampliamente estos valores de densidad. La porción inferior del Complejo, los albardones se encontraban originalmente cubiertos por los llamados "monte Blanco" (Burkart, 1957) y que fueron reemplazados prácticamente en su totalidad por plantaciones de Salicáceas (Kalesnik, 2001; Kalesnik et al. 2007.).

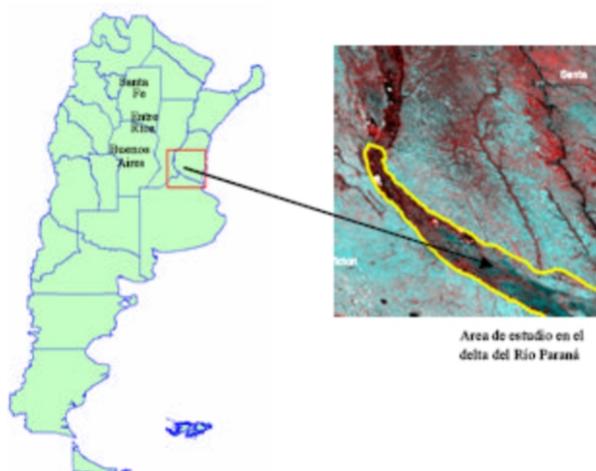


Figura 1: Ubicación del área de estudio.

El régimen hidrológico del sistema del Paraná presenta , en su poción con influencia fluvial, un pulso anual de inundación (unimodal), generalmente en los meses de otoño (Abril a Junio, esto es, cuando comienza la época seca) seguido de un período de estiaje en verano (Neiff, 1996; Zamboni y Aceñolaza, 2004). A medida que nos acercamos al delta propiamente dicho, la dinámica adquiere mayor influencia mareal con flujo bidireccional (Malvárez, 1997).

La mayor parte de las especies que conforman a la vegetación fluvial se distribuye en un amplio rango de condiciones de hábitat. Las fisonomías herbáceas presentan una tendencia de distribución de mayor frecuencia en posiciones topográficas más baja. La vegetación leñosa se distribuye más frecuentemente en zonas más elevadas, asimismo, cada especie puede tener curvas de distribución diferentes en tanto el sitio tenga suelos formados por sedimentos pelíticos o arenosos (Casco, 2004).

Las comunidades con fisonomía boscosa, se distribuyen casi con exclusividad en las áreas altas de albardones, mientras que en las medias loma y bajos, la fisonomía dominante es la herbácea (Aceñolaza et al, 2004).

En las medias lomas se encuentran pajonales de *Panicum prionitis* Nees, arbustales de chilca (*Baccharis* spp.), de *Mimosa pigra* L. o de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers.. Los pajonales se constituyen como una comunidad herbácea de alta riqueza específica con amplia cobertura del suelo.

Hacia el centro de la isla se encuentran zonas más bajas (bajos) con vegetación lacunar donde se observan una serie de comunidades vegetales herbáceas en mayor medida asociadas a ambientes acuáticos, como los canutilares-verdolagales dominados por *Panicum elephantipes* Nees ex Trin. y *Ludwigia peploides* (Kunth) P.H. Raven subsp. *peploides* (Aceñolaza et al ., 2005). El régimen hidrológico del sistema del Paraná presenta un pulso anual de inundación (unimodal), generalmente en los

meses de otoño (Abril a Junio, esto es, cuando comienza la época seca) seguido de un período de estiaje en verano (Neiff, 1996; Zamboni y Aceñolaza, 2004). Los juncales (*Schoenoplectus californicus* y *Cyperus giganteus*) adquieren mayor importancia en las pociones distales del Complejo.

El clima es templado / cálido y húmedo, la temperatura media anual ronda los 19°C. El régimen hidrológico presenta anualmente un pulso de inundación (unimodal) generalmente en los meses de otoño, seguido de un período de bajante que alcanza los meses de verano. Las precipitaciones se registran en los meses de verano, aunque en los últimos años se ha registrado mayor frecuencia en otoño (Rojas y Saluso, 1987; APN, 2003).

METODOLOGÍA

A. Adquisición de imágenes y pre-tratamiento

En este trabajo se utilizaron datos del sensor MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer), instrumento a bordo de los satélites Terra y Aqua que adquieren datos cada 1-2 días en 36 bandas del espectro ubicadas entre los 0.4 μm y los 14.4 μm , y con diferentes resoluciones espaciales: 250m, 500m y 1000m.

Para la clasificación de cobertura de suelo y la estimación de área quemada se utilizaron productos de 16 días (MOD13Q1) y 250 m de resolución nominal, generados a partir de compuestos estándar de reflectividad, (MOD09Q1) (MODIS -TERRA), que fueron provistos por EOS Data Gateway (EOS, 2004) (Tabla 1) . Estos compuestos incluyen píxeles que tengan las mejores condiciones de observación en cuanto a ausencia de nubes y sombras, aerosol, un bajo ángulo de visión y una amplia cobertura. Los datos se ofrecen escalados en tantos por 10.000 (esto es, la reflectividad se ha multiplicado por 10000) y tienen una proyección Sinusoidal.

Tabla 1: bandas incluidas en los compuestos MOD13Q1

Banda	Resolución (mts)	SET DE DATOS (HDF Layers) (12)	UNIDADES
1	250	16 días NDVI	NDVI
2	250	16 días EVI	EVI
3	250	16 días VI Quality detailed QA	Bits
4	250	16 días	Reflectancia (Banda del Rojo (Banda 1 de MODIS - 620-670 nm))
5	250	16 días	Reflectancia (Banda del Infrarrojo Cercano (Banda 2 de MODIS - 841-878 nm))
6	250	16 días	Reflectancia (Banda del Azul (Banda 3 de MODIS - 459-479 nm))
7	250	16 días	Reflectancia (Banda del Infrarrojo medio (Banda 7 de MODIS - 2105-2155 nm))
8	250	16 días	Grados (ángulo de visión zenital)
9	250	16 días	Grados (ángulo solar zenital)
10	250	16 días	Grados (ángulo azimutal relativo)
11	250	16 días	Días Julianos del año
12	250	16 días	Ranking de calidad

Para la clasificación de cobertura de suelo en ambientes de islas se utilizó una composición

multitemporal de bandas del EVI correspondientes al año 2007, (Tabla 2).

Tabla 2: Compuestos de imágenes MODIS utilizados para la clasificación de cobertura de suelo

Día Juliano	Fechas
1	01/01/07 – 16/01/07
17	17/01/07 – 01/02/07
33	02/02/07 – 17/02/07
49	18/02/07 – 05/03/07
65	06/03/07 – 21/03/07
81	22/03/07 – 06/04/07
97	07/04/07 – 22/04/07
113	23/04/07 – 08/05/07
129	09/05/07 – 24/05/07
145	25/05/07 – 09/06/07
161	10/06/07 – 25/06/07
177	26/06/07 – 11/07/07
193	12/07/07 – 27/07/07
209	28/07/07 – 12/08/07
225	13/08/07 – 28/08/07
241	29/08/07 – 13/09/07
257	14/09/07 – 29/09/07
273	30/09/07 – 15/10/07
289	16/10/07 – 31/10/07
305	01/11/07 – 16/11/07
321	17/11/07 – 02/12/07
337	03/12/07 – 18/12/07
353	19/12/07 – 31/12/07

El índice EVI (Enhanced Vegetation Index) fue desarrollado e incorporado dentro de los productos MODIS (Huete et al., 2002). El EVI incluye en su cálculo la banda del Infrarrojo cercano (MODIS 841-876 nm) la banda del rojo (MODIS 620-670 nm), la

banda del azul (MODIS 459-479 nm), los coeficientes de corrección del suelo L=1 y para la corrección de efectos de dispersión atmosférica C1= 6 y C2=7.5 y un factor de ganancia G=2.5, según:

$$EVI = G \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + C_1 \rho_{red} - C_2 \rho_{blue} + L}$$

Este índice permite registrar las variaciones estacional es del dosel vegetal incluyendo el índice de área foliar LAI (leaf area index), tipo y arquitectura del dosel y fisonomía de la planta. EVI fue desarrollado para optimizar la señal de la vegetación con sensibilidad mejorada para altas densidades de

biomasa, lográndose esto al separar la señal proveniente de la vegetación y la influencia atmosférica (Huete et al., 2002). Para la determinación de área quemada se utilizaron los compuestos correspondientes al período enero/junio de 2008 (Tabla 3).

Tabla 3: fechas de los compuestos MODIS utilizados para la determinación de área quemada

Día Juliano	Fechas
1	01/01/08 – 16/01/08
17	17/01/08 – 01/02/08
33	02/02/08 – 17/02/08
49	18/02/08 – 04/03/08
65	05/03/08 – 20/03/08
81	21/03/08 – 05/04/08
97	06/04/08 – 21/04/08
113	22/04/08 – 07/05/08
129	08/05/08 – 23/05/08
145	24/05/08 – 08/06/08
161	09/06/08 – 24/06/08

Para la validación de resultados se utilizaron imágenes CBERS 2B del año 2008 (Tabla 4).

Tabla 4: imágenes CBERS 2B utilizadas para la validación del cálculo de área quemada sobre compuestos MODIS

Orbita	Fecha
164-137	10 de junio de 2008
164-138	10 de junio de 2008
165-137	12 de mayo de 2008
165-138	12 de mayo de 2008
166-136	9 de mayo de 2008
166-137	9 de mayo de 2008

B. Estudio de cobertura de suelo

B.1- Descripción de las clases de cobertura presentes

Prácticamente la totalidad de las unidades descriptas, poseen una alta heterogeneidad, asociada a su variabilidad interna, (como ser florística, fisonómica, y de tamaño, forma de las unidades) como así también por la escala de trabajo (píxel de 250 x 250 metros). Esto, asociado a los cambios en los regímenes fluviales, trae aparejado la delimitación de clases más vinculada a una zonificación ecológica que a una respuesta exclusiva de la vegetación. Así los factores intervinientes para caracterizarlas, varían según la zona, el origen, la posición topográfica, el predominio de la actividad fluvial sobre la mareal (o viceversa), la geomorfología, el uso y por último los procesos geológicos asociados a las intrusiones marinas del Holoceno.

Se definieron 10 clases de las cuales, la mayoría se corresponde con patrones de paisajes que poseen fisonomías de vegetación que las caracterizan adaptando los criterios y trabajos previos de Burkart, 1957; Bonfils, 1962; Franceschi y Lewis 1979; Malvárez 1999; Kalesnik, 2001; Kandus et al 2002; Aceñolaza et al. 2004; Iriondo, 2004; Kalesnik y Kandel, 2004; Aceñolaza et al 2005; Kalesnik et al. 2007.

Clase 1: Esta unidad posee una distribución asociada a los cursos de agua de alta energía, y se visualiza en la clasificación en los tramos superiores y medios del Complejo Deltaico. Se corresponde a fisonomías de bosques que se intercalan con arroyos y madrejones. En esta zona se superponen patrones de zonas altas (albardones) cubiertos por bosques de sauce (*Salix humboldtiana*) y aliso de río (*Tessaria integrifolia*). Asociado en las porciones medias, se distribuyen pajonales.

Clase 2: Unidad que se distribuye en el área de influencia fluvial del Complejo Deltaico, ubicada sobre las zonas medias a bajas. Areas mas o menos planas con drenaje lento que forma parte de los ambientes de avenamiento impedido. Incluye praderas gramíneas altas de *Panicum prionitis*, y

praderas de herbáceas latifoliadas como *Polygonum* spp, *Ludwigia* spp y *Alternanthera philoxeroides*.

Clase 3: Vinculada casi exclusivamente a cuerpos de agua abierto, con baja a nula cobertura vegetal y, dado la resolución de trabajo, corresponden a superficies de escalas medias a grandes. Por este motivo se visualizan importantes cuerpos de agua en la porción centro norte: Complejo Coronda y lagunas de áreas con avenamiento impedido. La escasa vegetación corresponde a formas de vida acuática flotante con predominio de *Eichornia* spp., *Salvinia* sp. y *Azolla* sp..

Clase 4: Unidad que se distribuye en una matriz de lagunas, cauces y praderas con vegetación herbácea baja, graminiforme con latifoliadas, con escaso drenaje y en parte constituyendo un paisaje de llanura de drenaje impedido. Asociada a suelos que se inundan con regímenes fluviales.

Clase 5: Asociada a respuestas de suelo desnudo o con baja cobertura vegetal. Dichos suelos por lo general presentan una pradera gramínea baja que puede estar intercalada con algunos bosquecillos de *Acacia caven* y la presencia de especies halófilas asociadas a salinidad subsuperficial.

Clase 6: Corresponde a una respuesta particular de una pequeña área a la cual se le realizaron trabajos de drenaje y canalización para su explotación.

Clase 7: Corresponde a una fisonomía herbácea que cubre una antigua llanura de mareas. Los procesos geológicos actuales han modelado el paisaje estuárico introduciendo algunos patrones fluviales con red de canales que alimentan amplias zonas semiplanas inundadas de manera semipermanente. Las áreas mas bajas están dominadas por cataizales de *Polygonum* y *Ludwigia* mientras que en las áreas más elevadas se presentan pajonales de *Cyperus giganteus* y *Panicum prionitis*.

Clase 8: Esta clase posee una distribución en geoformas similares a la de la Clase 7, pero con un régimen hidrológico de contacto entre el fluvial y el mareal. Esto, sumado a las amplias extensiones de bañados, producen una cobertura con importancia de juncos (*Schenoplectus californicus*) y *Cyperus giganteus*.

Clase 9 y 10: Pastizales y bosques del Delta. Estas dos unidades, se distribuyen sobre las islas del Delta del Río Paraná cuyo patrón morfológico es similar al de las islas del cauce descriptas anteriormente (Clase 1); este patrón también asocia unidades de bosque ligadas a los albardones (Clase 10) y porciones bajas praderas herbáceas (Clase 9). La característica sobresaliente de esta unidad es que la misma está sometida a la acción mareal del Río de la Plata, y la presenta de un régimen hidrológico de flujo bidireccional. Esto es una de las principales diferencias con las islas de la porción norte del Complejo Deltaico. Sus suelos están permanentemente húmedos. La clase 9 está ligada a las porciones mas internas de las islas, con suelos permanentemente húmedos y cubiertos por praderas de *Schenoplectus californicus* y *Cyperus giganteus*. La Clase 10 corresponde principalmente a

las áreas de albardones que inicialmente se encontraban cubiertas por Monte Blanco y que fueron casi totalmente reemplazadas por plantaciones de Populus y Salix. Dentro de esta clasificación quedaron comprendidas, por fuera del área de Delta, una serie de praderas y sabana con bosquecillos de Acacia caven y Prosopis formando isleta en la zona de una antigua laguna litoral entre las localidades de Medanos y Ceibas. Lo mismo ocurre con las praderas vinculadas a la localidad de Ibicuy.

B.2- Clasificación de compuestos multitemporales de EVI

A partir de los productos MODIS de 16 días se generó composición de imágenes EVI para el período 1 de

enero al 31 de diciembre de 2007. En la composición se incluyeron los 23 índices EVI correspondiendo cada banda a un período de 16 días. A partir de esta composición multitemporal se evaluó la variación estacional del EVI para cada píxel y se procedió a identificar coberturas de suelo.

Se realizó una clasificación no supervisada (ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) del compuesto de 23 bandas del EVI. Se definieron 60 clases. Luego de la clasificación se procedió a la asignación de estas clases a tipos de cobertura de suelo, en base a información de terreno disponible, datos del Google Earth, imágenes CBERS y Landsat TM disponibles (Figura 2).

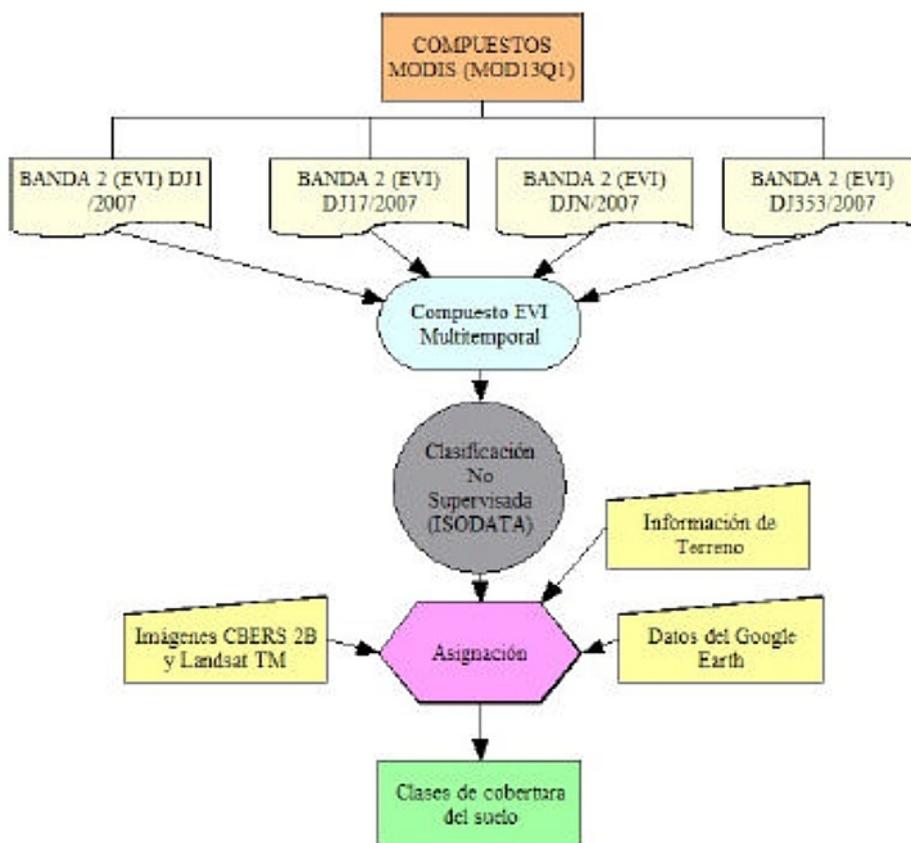


Figura 2: modelo cartográfico empleado para la determinación de cobertura de suelo

C. Índice de área quemada BAI (Burn Area Index) para determinación de área quemada

Para la determinación de área quemada se utilizó el índice de área quemada BAI (Burnt area index), definido específicamente para imágenes AVHRR

(Martín et al., 1998) a partir de las bandas infrarrojo cercano y rojo. Para imágenes MODIS, se propuso una variante del BAI que tenía en cuenta las bandas del NIR y el SWIR (Martín et al., 2005)

$$BAI = \frac{1}{(Pc_{SWIR} - \rho_{SWIR})^2 + (Pc_{NIR} - \rho_{NIR})^2}$$

Donde:

ρ_{NIR} = Banda 2, compuesto MODIS

ρ_{SWIR} = Banda 7, compuesto MODIS

Pc_{NIR} = Límite de convergencia para la señal del carbón en la banda del Infrarrojo Cercano (0,08)

Pc_{SWIR} = Límite de convergencia para la señal del carbón en la banda del Infrarrojo Medio (0,2)

En la figura 3 se incluye el modelo utilizado para el cálculo.

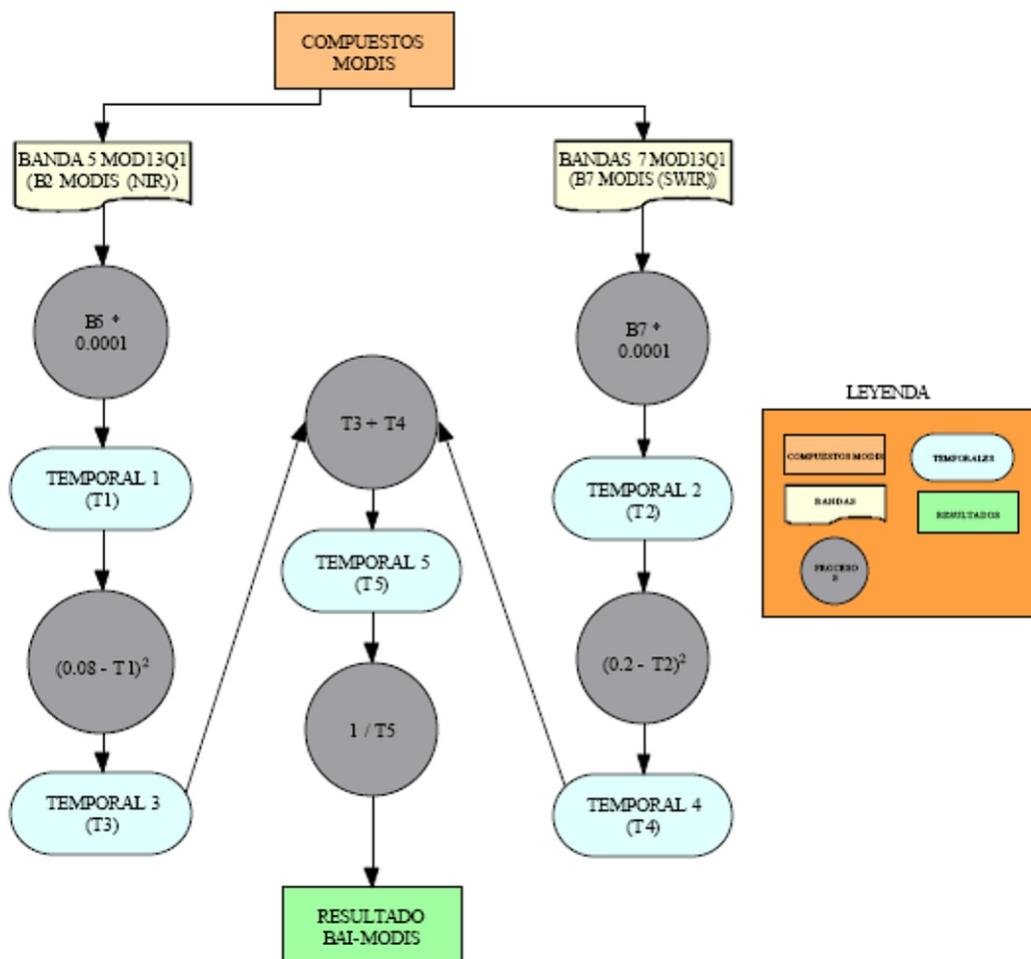


Figura 3: modelo del algoritmo aplicado para el cálculo del BAI

Para la identificación de las áreas quemadas se procedió al cálculo de un umbral para el índice BAI. Se utilizaron para ello imágenes CBERS 2b órbita 165/137 del 12 de mayo de 2008 sobre las que se procedió a realizar interpretación visual y digitalización de polígonos de área quemada. Esos polígonos se utilizaron como máscara para analizar

los valores de BAI calculado a partir de los compuestos MODIS (Figura 4). Cabe destacar que para este análisis se procedió a recortar los límites del área de estudio, por lo que estos umbrales son aplicables sólo para el tipo de ambiente y área bajo análisis.

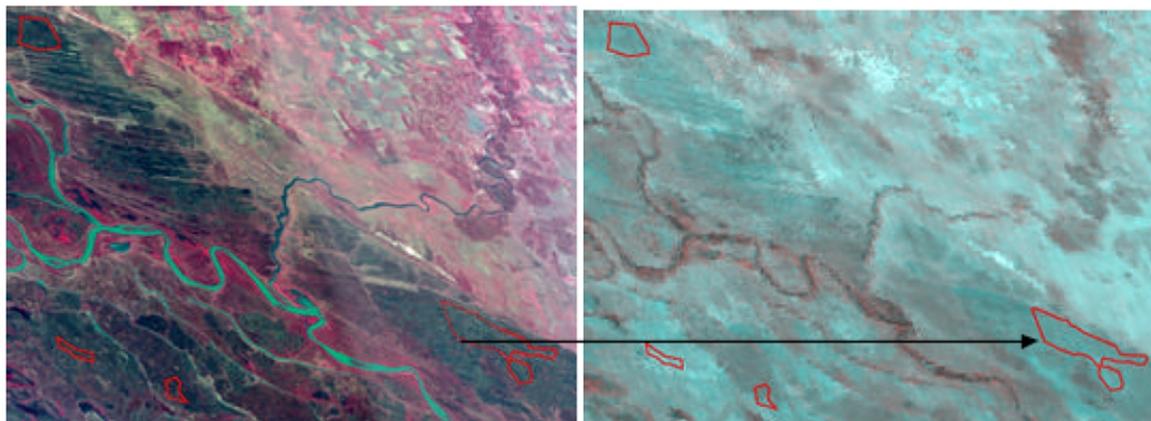


Figura 4: Izquierda: Selección de píxeles quemados sobre imagen CBERS 2b, órbita 165/137 del 12 de mayo de 2008 – Derecha: compuesto MODIS, correspondiente al período 24/05/08 – 08/06/08.

Sobre una muestra de valores de BAI para áreas quemadas en ambientes de islas, de 981 píxeles se procedió al cálculo del percentil del 5 % que sería

utilizado como umbral de corte para la determinación de área quemada. (Figura 5). El criterio aplicado fue:

$$BAI_{MODIS} > 85$$



Figura 5: modelo de selección aplicado para la identificación de áreas quemadas, con valores de umbrales utilizados

D. Estimación de emisiones

Una vez identificadas y cuantificadas las unidades de vegetación, fue posible integrar información correspondiente al contenido de carbono, a fin de estimar las emisiones de CO₂ producidas por la quema en cada unidad. La metodología de obtención de los datos ha sido utilizada en trabajos previos (Aceñolaza et al., 2006; Zamboni y Aceñolaza, 2004; 2005b; Bravo et al., 2007B). En el presente trabajo se presentan datos propios y obtenidos por otros autores (Vicari et al., 2006).

En una primera instancia se obtuvieron valores de

materia orgánica seca (MS) para cada tipo de ambiente a partir de valores de biomasa, expresados en Mg MS ha⁻¹. Se han incorporado, datos correspondientes a valores anuales de recolección de mantillo, expresados en Mg MS ha⁻¹ (Zamboni y Aceñolaza, 2005 a, b), correspondientes al horizonte 0. Los datos de C orgánico del suelo (COS) para estas mismas unidades, no han sido incorporados en la presente contribución debido a que se asume que dadas las características de los incendios ocurridos, el contenido de C del suelo así como la biomasa de raíces, no se ven alterados, por lo tanto la estimación

de la emisión de CO₂ no requiere de estos datos. La metodología utilizada para la obtención de valores de C (Mg C ha⁻¹) a partir de datos de MS, consiste en aplicar un factor de transformación igual a 1,84 (a los valores de MS) bajo el supuesto de que el contenido de C es de aproximadamente el 46 % de la MS (Bravo et al.; 2007). A partir de los valores de C (Mg C ha⁻¹), se obtuvieron los valores en CO₂, se multiplicando el valor de C por 44/12 (3,67) (Bravo et al., 2007 A.). La proporción de biomasa quemada durante el incendio se asumió como el 60% del total de la biomasa en cada unidad de vegetación. Otros autores indican que cerca del 20% del carbono que forma parte de la biomasa aérea se libera durante el

incendio (emisión inmediata) esencialmente en forma de CO₂ (Seiler y Crutzen, 1980), mientras que para la biomasa de residuos, se estima el porcentaje de esta emisión en un 60 por ciento (CORINE-AIRE, 2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio de cobertura de suelo

El compuesto de imágenes EVI para el año 2007 permitió discriminar 10 clases de coberturas de suelo en ambientes de islas en base al comportamiento de este índice en el periodo. (Figura 6)

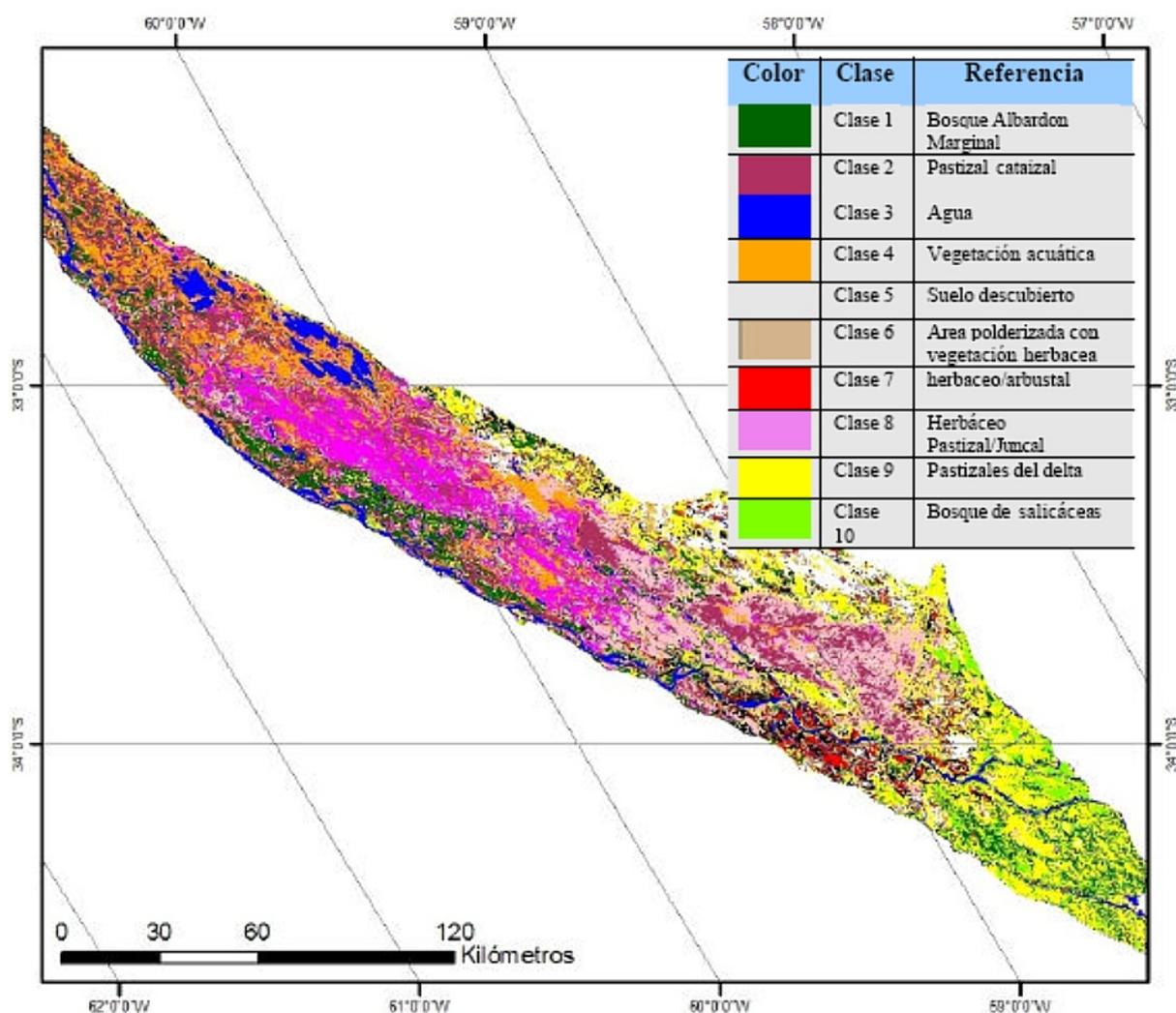


Figura 6: Coberturas de suelo

Del total del área bajo análisis se determinó que el 12,9 % corresponde a vegetación de tipo arbóreo, el 2,1 % corresponde a estrato arbustivo y el 69,4 % a estrato herbáceo, según el detalle presentado en la tabla 5.

Tabla 5: Coberturas de suelo en el área de estudio

Referencia	%
Bosque Albardón Marginal	10,3
Pastizal cataizal	25,9
Agua	7,6
Vegetación acuática	11,8
Suelo descubierto	8,0
Área polderizada con vegetación herbácea	0,6
Herbáceo/arbustal	2,1
Herbáceo Pastizal/Juncal	13,3
pastizales del delta	18,0
Bosque de salicáceas	2,6

Evaluación de exactitud de la clasificación:

Para el análisis de exactitud de la clasificación se utilizaron imágenes de mayor resolución (Landsat TM y CBERS de fechas coincidentes con el período analizado), otras clasificaciones disponibles para el área (Salvia et al., 2007), imágenes de Google Earth y datos de terreno. Las clases de cobertura se agruparon en estrato herbáceo/arbustivo (Clases 2, 6, 7, 8 y 9), Arbóreo (Clases 1 y 10) y otras clases de cobertura que no presentan incendios (Clases 3, 4 y 5). Se procedió al sorteo de 50 puntos y se evaluó la exactitud de la clasificación a nivel de estratos para lo cual se obtuvo un resultado superior al 60 % Determinación de área quemada Se determinó que el área afectada por incendios desde inicios de enero hasta el 9 de junio de 2008 fue de 4879 Km2. En el gráfico 1 se presentan las estimaciones de área quemada por tipo de cobertura. En el gráfico 2 se presenta la superficie quemada por período.

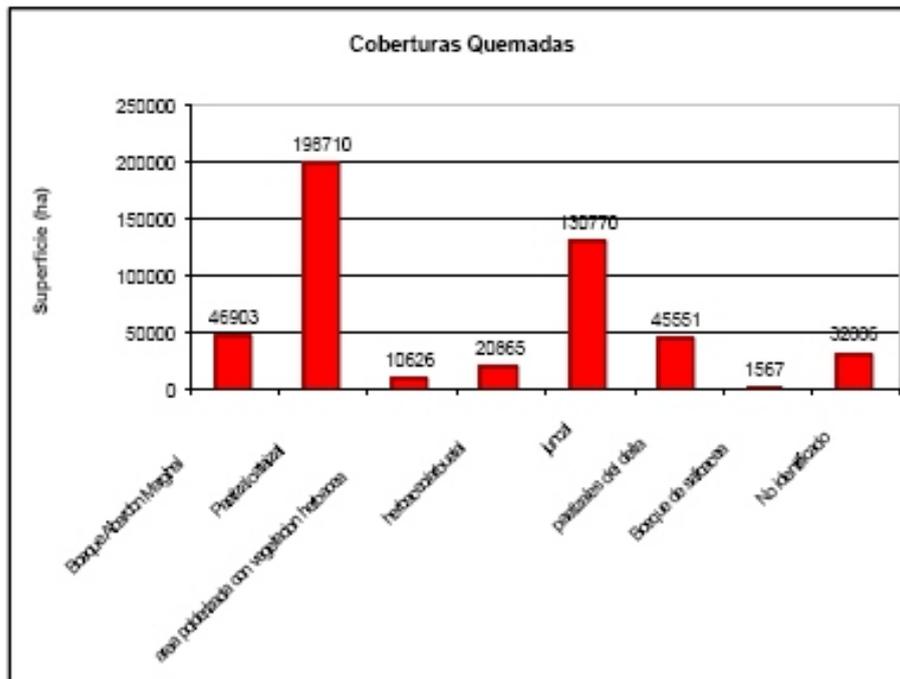


Gráfico 1: Detalle y proporción de coberturas quemadas en el período Enero -Junio de 2008

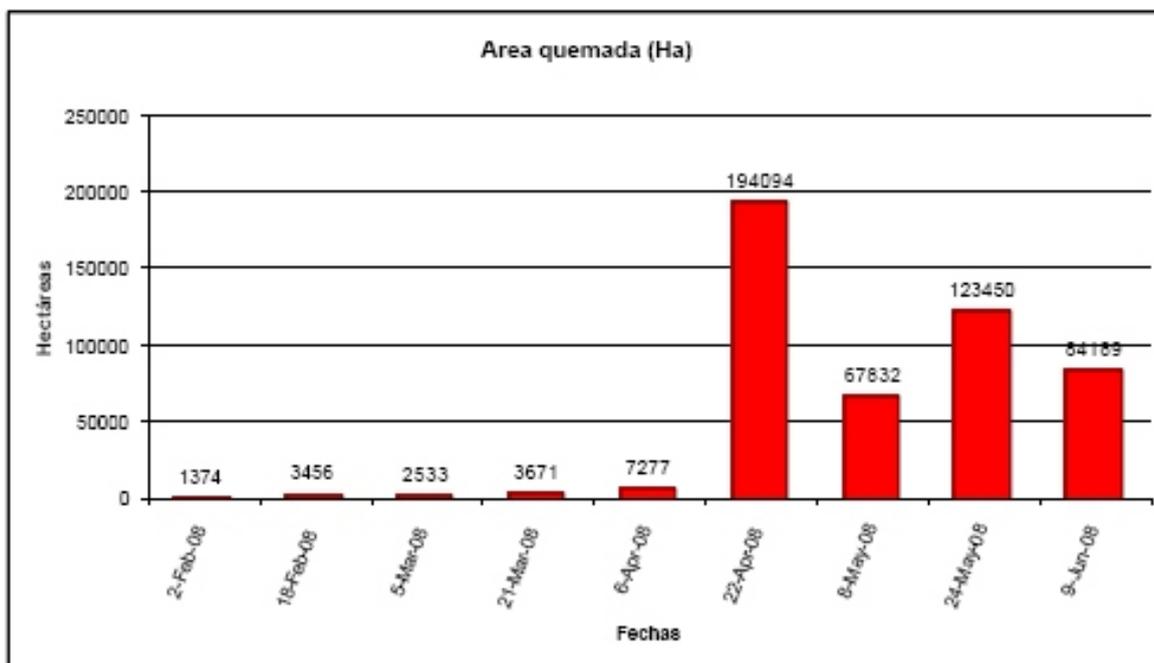


Gráfico 2: Superficie quemada por periodo

Evaluación de exactitud del cálculo de área quemada

Teniendo en cuenta la dificultad de acceder a la información de campo sobre áreas quemadas en un

territorio tan extenso, se decidió utilizar como base para la validación la interpretación visual de imágenes del sensor CBERS 2B. (Figura 7).

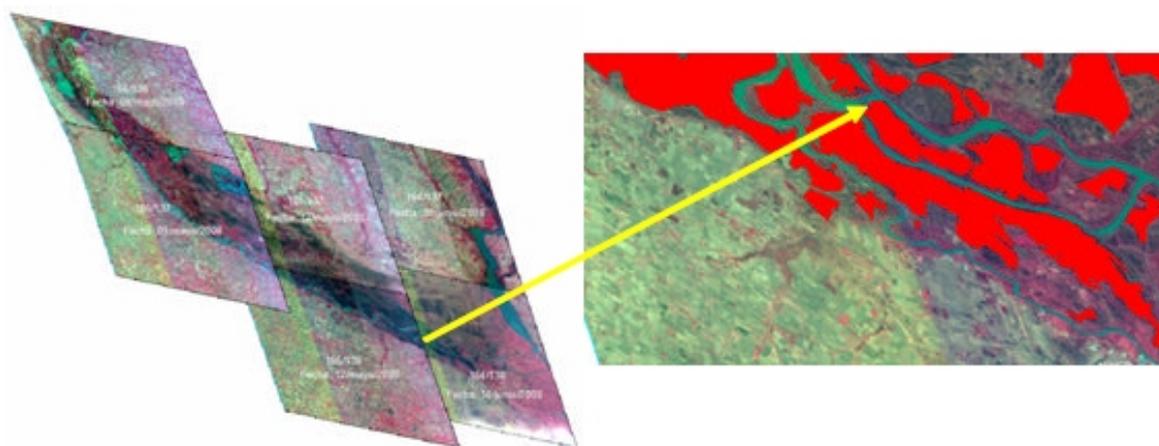


Figura 7: Izquierda: Mosaico de imágenes CBERS 2B. Derecha: polígonos de área quemada sobre imágenes CBERS 2B

El criterio de interpretación visual ha sido utilizado por diversos autores para validar productos de área quemada a escala regional y global (Roy et al. 2005), ya que la señal quemada es bastante evidente visualmente (color, textura, emplazamiento), sobre todo cuando se dispone de una imagen previa al

incendio.

Se realizó un sorteo de 100 puntos de verificación para la cuál se evaluó la presencia/ausencia de área quemada en las imágenes CBERS 2B y el producto de área quemada calculado a partir del compuesto MODIS. (Figura 8)

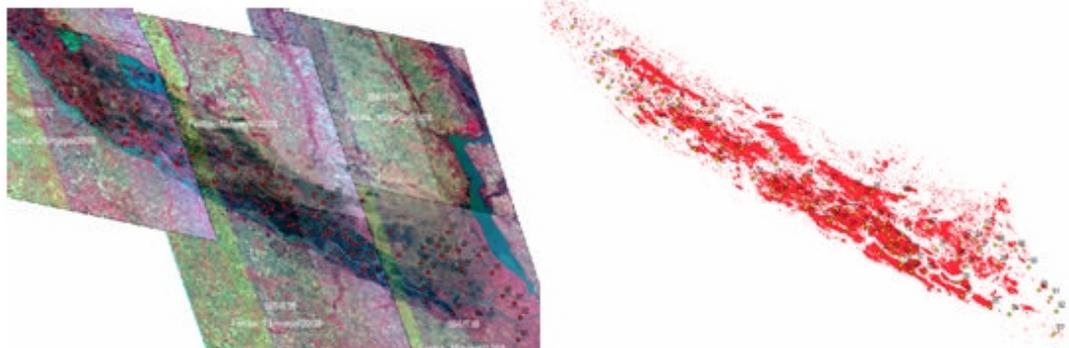


Figura 8: Izquierda: puntos de verificación sobre Mosaico de imágenes CBERS 2B. Derecha: área quemada total para el período, detectada sobre el compuesto MODIS.

A partir del análisis de las áreas quemadas para los compuestos MODIS y CBERS 2B se calcularon los

errores de omisión y comisión obteniéndose una exactitud del 82 % . (Tabla 6)

Tabla 6: reporte de errores en la estimación de área quemada

CBERS 2b	Puntos que presentaban incendios según Imágenes CBERS 2b	Puntos que NO presentaban incendios según Imágenes CBERS 2b	Total de Puntos	% Error de omisión	% Exactitud del productor
BAI/MOD13					
Puntos que presentaban incendios según Índice sobre comp. Modis	44	8	52	15,4	84,6
Puntos que NO presentaban incendios según Índice sobre comp. Modis	10	38	48	20,8	79,2
Total de puntos	54	46	100		
% Error de comisión	18,5	17,4			
% Exactitud del usuario	81,5	82,6			

Estimación de emisiones

En la tabla 7 se presentan las estimaciones de emisión por tipo de cobertura.

Tabla 7: estimaciones de emisiones totales de CO₂/Ha -1

Referencia	Área representada por la unidad (%)	Has quemadas por unidad	h. Has Quemadas por unidad	Unidades muestreadas	Biomasa Mg Ms/ha ⁻¹	Biomasa quemada Mg Ms/ha ⁻¹	C Mg C/ha ⁻¹	CO ₂ Mg CO ₂ /ha ⁻¹	Emisiones Totales CO ₂ Mg CO ₂ /ha ⁻¹	Fuentes
Bosque Abandonado Marginal	10,3	4693	10,3	Bosque Abandonado Marginal	226	135	67,5	248	11619068	datos propios
Pantanal catácual	25,9	19871	43,7	Salix humboldtiana comunitar	52	9,6	4,8	18	3500475	
Área de transición con vegetación herbácea	0,5	10526	2,3	ad	ad	ad	ad	ad	ad	
Herbácea arbustal	2,1	20885	5,5	ad	ad	ad	ad	ad	ad	(Wcan et al., 2006)
Juncal	13,3	13077	29,7	SC Sorpus cusaneus	16	10,3	6,1	20	2640745	
Bosque de salicáceas	2,6	1567	0,3	SC Salenoplatus californicus	59	11,1	6,3	21	193205	
Pantanal de sauce	2,6	1567	0,3	Plantación de sauce	115	63	34,5	127	193205	
Pantanal del Este	13	46551	10,0	Pantanal	23	16,1	9,2	31	1537934	datos propios
agua	7,6	0	0,0	nc	nc	nc	nc	nc		
vegetación acuática	11,6	0	0,0	nc	nc	nc	nc	nc		
suelo descuberto	6	0	0,0	nc	nc	nc	nc	nc		
total	100	111991	91,5							
ad sin datos nc no corresponde										
										Emis. Totales Emis. c/herbacea Emis. c/arboorea
										1953696 Mg CO ₂ /ha ⁻¹ 7719244 Mg CO ₂ /ha ⁻¹ 1181745 Mg CO ₂ /ha ⁻¹

Si se tiene en cuenta la proporción de área representada por cada unidad (tabla 5) y la cantidad de Has quemadas (grafico 1) se puede expresar que las unidades mas afectadas son las herbáceas, el pastizal representa el 26% del área estudio, y un 44 % del área quemada; los juncuales representan el 13 % y un 29% del área quemada; mientras que las áreas polderizadas con vegetación herbácea y las de vegetación herbácea /arbustal representan en conjunto menos del 3 % del área estudiada y conforman menos del 7 % del área total quemada.

Por otro lado las fisonomías boscosas (albardones marginales y bosques de salicáceas (plantaciones)) representan en conjunto menos del 15%, y una superficie quemada de 10%.

Lo anterior indica que las características del paisaje, interpretado en términos de las unidades de vegetación identificadas en el presente trabajo, tienen efectos diversos, en cuanto a la respuesta a eventos como los incendios, posiblemente asociado a la alta heterogeneidad y variabilidad característica de regiones deltaicas.

Los incendios del Delta del Río Paraná produjeron emisiones de CO₂ cercanos a los 20 Mg C ha⁻¹ para las praderas de pastizales/juncuales y pajonales, mientras que para las áreas del pre-Delta se calcularon emisiones entre 18 y 34 Mg C ha⁻¹ para canutillares y cortaderales. Las emisiones estimadas para el período evaluado, y considerando la extensión de las unidades de vegetación quemadas, son superiores a 7,6 Tg C-CO₂, para la vegetación de tipo herbáceo. Si en los cálculos incluimos también las emisiones correspondientes a la quema de la cobertura arbórea, tenemos más de 19,5 Tg C-CO₂.

De acuerdo a datos publicados por Naciones Unidas 2007, en el sitio Millennium Development Goals Indicators, las emisiones de CO₂ para Argentina hasta el año 2004 eran de aproximadamente 3,7 Toneladas métricas per cápita.

Sólo la emisión de CO₂ producida durante la quema de la cobertura herbácea en el período analizado es comparable a lo anualmente producido por una ciudad argentina de unos 2 Millones de habitantes. Si se incluyen también en el cálculo las emisiones totales (con coberturas arbóreas quemadas), tenemos emisiones estimadas, superiores a las de una ciudad de 5 Millones de habitantes en un año.

CONCLUSIONES

La utilización de compuestos generados a partir del

índice EVI para la clasificación de cobertura de suelo a escala regional, permite generar una cartografía fiable para este tipo de ambientes. Estos índices son una variable derivada que permite cuantificar la variación estacional de las diferentes coberturas de suelo y en base a ello discriminarlas. Para el área de estudio, es de especial interés continuar con evaluaciones para períodos mas extensos a los efectos de lograr caracterizar de manera precisa los ciclos de crecimiento y en base a ello plantear estrategias de aprovechamiento sostenible de estos ambientes que permitan conservar el recurso.

El producto MOD13Q1 resultó apropiado para la determinación de área quemada a escala regional. El umbral sobre el BAI, estimado para este ambiente, permitió discriminar de manera confiable el área quemada y su evolución para cada período. Resulta de interés explorar nuevos umbrales de corte sobre el índice BAI, para diferentes ambientes.

Las técnicas de teledetección empleadas permitieron estimar el CO₂ emitido por cada una de las unidades de vegetación identificadas en la región, posibilitando la integración de datos de campo con datos espaciales. Estas herramientas son imprescindibles para la implementación de estrategias de planificación y gestión territorial, ya que brindan información confiable sobre las características y magnitudes de los eventos que tienen lugar en estos sistemas, sobre todo si se tiene en cuenta el carácter heterogéneo de la región del Delta del Paraná.

Las emisiones de CO₂ de las unidades de vegetación identificadas son indicadores de las consecuencias de eventos como los incendios en paisajes como el del delta del río Paraná.

AGRADECIMIENTOS

Los datos MODIS utilizados en este trabajo fueron descargados desde el Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), del U.S. Geological Survey (USGS) Center for Earth Resources Observation and Science (EROS).

Los datos CBERS 2B han sido descargados desde el centro de distribución de datos del INPE.

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto "Caracterización del régimen de fuegos en ambientes de islas del bajo Paraná, mediante información satelital y de terreno (IBP-Fuego)" de la Universidad Nacional de Luján

REFERENCIAS

- Aceñolaza P., W. Sione, F. Kalesnik y M. C. Serafini. 2005. Determinación de unidades homogéneas de vegetación en el Parque Nacional Pre-Delta (Argentina). Serie Misc. INSUGEO-CONICET 14: 81-90.
- Aceñolaza, P. G.; H. E. Povedano; A. S. Manzano; J. de D. Muñoz; J. I. Areta y A. L. Ronchi Virgolini. 2004. Biodiversidad del Parque Nacional Pre-Delta. Serie Miscelánea. INSUGEO-CONICET, Tucumán, Argentina 12:169-184.
- Aceñolaza, P., L.P. Zamboni y J. F. Gallardo. 2006. Ciclos biogeoquímicos de bosques de la llanura de Inundación del río Paraná (Argentina): Aporte de hojarasca. En: J. F. Gallardo Lancho (Ed.). Medioambiente en Iberoamérica. Visión desde la Física y la Química en los albores del SXXI. Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental, Badajoz. Vol. 2: 529-536.
- Ahern, F.J., J.G. Goldammer y C.O. Justice (Eds.). 2001. "Global and Regional Vegetation Fire Monitoring from Space: Planning a coordinated international effort". The Hague. The Netherlands. SPB Academic Publishing.
- Andreae M.O., T.W. Andreae, H. Annegarn, J. Beer, H. Cachier, P. le Canut, W. Elbert, W. Maenhaut, I. Salma, F.G. Wienhold and T. Zenker. 1998. Airborne studies of aerosol emissions from savanna fires in southern Africa : 2. Aerosol chemical composition, J. Geophys. Res., 103, 32119-32128.
- Administración de Parques Nacionales (APN). 2003. Plan de uso público, Parque Nacional Pre Delta. 28 pp. Bs.As. (Informe inédito).
- Barbour, M., J. Buró, W. Pitts, F. Gillia, y M. Schwartz. 1999. Terrestrial plant ecology (Third edition). Benjamín/Cummings, Menlo Park, 649 pp. California. EEUU.
- Bonfils, C. 1962. Los suelos del Delta del Río Paraná. Factores generadores, clasificación y uso. Revista Investigación Agrícola. INTA 16(3), 257-270. Buenos Aires, Argentina.
- Bravo, F., M. J. Fernandez Nieto, S. Bogino, M. Segur, A., Bravo-Oviedo, R. y C., Ordóñez. 2007 A. Bosques y Gestión forestal, una solución al cambio climático?. En: Bravo, F. (Coord.) El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. Fundación gas natural, Barcelona, 65-112 pp.
- Bravo, F., J. A., Delgado, J. F., Gallardo, A., Bravo-Oviedo, R. Ruiz-Peinado, A., Merino, G., Montero, A., Cámara; R., Navarro, C., Ordóñez y E., Canga. 2007 B. Métodos para cuantificar la fijación de CO₂ en los sistemas forestales. En: Bravo, F. (Coord.) El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. Fundación gas natural, Barcelona, 65-112 pp.
- Burkart, A. 1957. Ojeada sinóptica sobre la vegetación del Delta del Río Paraná. Darwiniana, 11: 457-561.
- Casco, S. L. 2004. Distribución de la vegetación fluvial y su relación con el régimen de pulsos en el bajo Paraná. Serie Miscelánea. INSUGEO-CONICET, Tucumán, Argentina 12: 125-130.
- Chuvieco, E., D. Cocero, D. Riaño, P. Martín, J. Martínez-Vega, J. de la Riva y F. Pérez. 2004. "Combining NDVI and surface temperature for the estimation of live fuel moisture content in forest fire danger rating". Remote Sensing of Environment 92 (2004) 322-331
- Chuvieco, E., M.P. Martín y Ventura, G., 2002. Evaluación de imágenes NOAA-AVHRR y Terra-MODIS para cartografía regional de áreas quemadas. X Simposio Internacional SELPER. Cochabamba, Bolivia.
- Chuvieco, E., O. Sergio, H. del Valle, W. Sione, et al. 2006. "Cartografía global de áreas quemadas en América Latina: experiencias del proyecto AQL2004". XII Simposio SELPER. Cartagena. Colombia.
- CORINE -AIRE. 2.000. Inventario de Emisiones de Contaminantes a la Atmósfera CORINEAIRE 1994,1995,1996 e Inventarios Complementarios. Vol 2: Análisis por Actividades Emisoras del Grupo 11 "Naturaleza" de la Nomenclatura SNAP-97.
- Crutzen, P.J. and M.O. Andreae. 1990. Biomass burning in the Tropics : impact on atmospheric chemical and biogeochemical cycles, Science, 250, 1669-1678.
- Csiszar, I., C.O. Justice, A.D. Mcguire, M.A. Cochrane, D.P. Roy, F. Brown, et al. 2004. Land use and fires. In Gutman A., et al., (Eds.), Land change science: Observing, monitoring.
- Defossé, G., y M.F. Urretavizcaya. 2004. a. Introducción a la Ecología del Fuego. En: Kunst C.; Bravo S. y Panigatti J. (Eds.) Fuego en los ecosistemas argentinos. Ediciones INTA. Santiago del Estero, pp 17-26.
- Defossé, G., C. Rostagno, H. Del Valle y M. Dentoni. 2004. b. El fuego en la porción austral de la región Monte. En: Kunst C.; Bravo S. y Panigatti J. (Eds.) Fuego en los ecosistemas argentinos. Ediciones INTA. Santiago del Estero, pp 167-179.
- EOS. 2004. NASA Earth Observing System data

gateway Available at: <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>.

- Franceschi, E. A. y J. J. Lewis. 1979. Notas sobre la vegetación del valle Santafesino del Río Paraná (República Argentina). *Ecosur* 6: 55-82

- García Oliva, F, G. Hernández y J. F. Gallado Lancho. 2006. Comparison of Ecosystem C pools in three forest in Spain and Latin America. *Ann. For. Sci.*, 63: 519-523.

- Grime, J. 1977. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *American Naturalist*. Vol. 11, p. 1169-1194

- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E., Gao X., and L.G. Ferrira. 2002. Overview of the Radiometric and Biophysical Performance of the MODIS Vegetation Indices.. *Remote Sens. Environ.*, 83(195-213).

- IPCC. 2007. Intergovernmental Panel on climate change. The physical sciences basis (Summary for policymakers). www.ipcc.ch. Consulta junio 2007.

- Iriondo, M. 2004. The Littoral complex at the Paraná mouth. *Quaternary International*. 114. 143-154.

- Kalesnik, F. 2001. Relación entre las comunidades vegetales de los neoeosistemas de albardón y la heterogeneidad ambiental del bajo delta del Río Paraná. Tendencias sucesionales y proyección sobre la composición futura. Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

- Kalesnik, F.; P. Aceñolaza; Hurtado, M. y J. Martínez. 2007. Relación entre la vegetación de los neoeosistemas de albardón y la heterogeneidad ambiental en el Bajo Delta del Río Paraná, Argentina. *River Research and Applications*. En prensa. ISSN: 1535-1459.

- Kalesnik, F y Kandel C. 2004. "Reserva de Biosfera Delta del Paraná. Formación en educación para el ambiente y el desarrollo". Editado por UNESCO y Municipalidad de San Fernando. 255 pp. UNESCO, Francia.

- Kandus, P., F. Kalesnik, L. Borgo y A. Malvárez. 2002. La Reserva Natural "Isla Botija" en el Delta del Río Paraná: Análisis de las comunidades de plantas y condiciones ambientales.

- Liousse, C., M.O. Andreae, P. Artaxo, P. Barbosa, H. Cachier, J.M. Grégoire, P. Hobbs, D. Lavoué, F. Mouillot, J. Penner, M. Scholes, and M.G. Schultz, 2004. Deriving global quantitative estimates for spatial and temporal distributions of biomass burning emissions, In "Emissions of Atmospheric Trace

Compounds", eds. C. Granier, P. Artaxo and C. Reeves, pp. 77-120, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

- Malvárez, A. I. 1999. El delta del Río Paraná como mosaico de humedales. En: A.I. Malvárez y P. Kandus (Eds.), *Tópicos sobre grandes humedales sudamericanos*. ORCYT-MAB (UNESCO) Montevideo, Uruguay. 35-53 pp.

- Martín Isabel, M.P., y E. Chuvieco. 1998. "Cartografía de grandes incendios forestales en la península Ibérica a partir de imágenes NOAA-AVHRR. Serie Geográfica. Vol 7: 109-128. ISSN: 1136-5277.

- Martín, M. P., I. Gómez y E. Chuvieco. 2005. "Performance of a burned-area index (BAIM) for mapping Mediterranean burned scars from MODIS data". Proceedings of the 5th International Workshop on Remote Sensing and GIS applications to Forest Fire Management: Fire Effects Assessment. (J. Riva, Pérez-Cabello, F. y Chuvieco, E., Eds.). Paris, Universidad de Zaragoza, GOF-C-GOLD, EARSeL: 193-198.

- Naciones Unidas 2007. Millennium Development Goals Indicators. Carbon dioxide emissions (CO₂), metric tons of CO₂ per capita (CDIAC). <http://mdgs.un.org/unsd/mdg/SeriesDetail.aspx?srid=751&crd=>

- Neiff, J. 1996. Large rivers of South America: toward the new approach. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26: 167-180.

- Opazo Saldivia, S., y E. Chuvieco. 2007. Utilización de productos MODIS para la cartografía de áreas quemadas. *Revista de Teledetección: Revista de la Asociación Española de Teledetección*. ISSN 1133-0953, N° 27, 2007, pags. 27-43

- Pereira, J. M. C. 1999. "A Comparative Evaluation of NOAA/AVHRR Vegetation Indexes for Burned Surface Detection and Mapping". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 37 (1): 217-226.

- Piccolini, I. y O. Arino. 2000. Towards a Global Burned Surface World Atlas. *Earth Observation Quarterly*, 65: 14-18.

- Rojas, A. y J. H. Saluso. 1987. Informe Climático de la Provincia de Entre Ríos. INTA EEA Paraná, Publicación Técnica N° 14. Entre Ríos, Argentina.

- Roy D.P., Y. Jin, P.E. Lewis y C.O. Justice. 2005. Prototyping a global algorithm for systematic fire-affected area mapping using MODIS time series data. *Remote Sensing of Environment* 97:137-162

- Salvia, M., Karszenbaum, H., Grings, F., y P. Kandus. 2007. Datos satelitales ópticos y de radar para el mapeo de ambientes en macrosistemas de humedal.

XII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. Septiembre de 2007.

- Seiler, W. and P.J. Crutzen. 1980. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning, *Climatic Change*, 2, 207-247, 1980.

- Sione, W. 2006. La Teleobservación como herramienta para la generación de mapas de riesgo de incendio y monitoreo de zonas incendiadas. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Luján. Buenos Aires. Argentina.

- Vicari R., P. Kandus, P. Pratolongo y M. Burghi. 2006. Alteración en el almacenaje de Carbono por la intervención humana de los sistemas naturales en el Bajo delta del Río Paraná. Su importancia en el balance Emisión-sumidero de CO₂ atmosférico. En: Brown et al. (eds) *La situación ambiental de la Argentina Fundación Vida Silvestre Argentina*. Buenos Aires. 161 -163.

- White, P. y S. Pickett. 1985. *Vegetation of the Herat and ecological systems of the geo-biosphere*. Third edition. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg New York Tokyo.

- Zamboni P. y P. Aceñolaza. 2004. Aporte al conocimiento de ciclos de materia orgánica en formaciones boscosas de la llanura de inundación del río Paraná. Serie Miscelánea. INSUGEO-CONICET, Tucumán, Argentina 12: 5-12.

- Zamboni, L. P y P. G. Aceñolaza. 2005 a. Efectos del fuego sobre la biomasa vegetal en un área del Predelta del río Paraná. (Entre Ríos, Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 40: 141.

- Zamboni P. y P. Aceñolaza 2005 b. Aporte al conocimiento de la dinámica de materia orgánica en bosques de la porción baja de la Cuenca del Plata. Cappato y Petean (eds.) *Humedales Fluviales de América del Sur. Hacia un Manejo Sustentable*. PROTEGER 535-541 pp.