

## Análisis de la distribución espacio temporal de puntos de calor en la cuenca del Río Gualeguay, Provincia de Entre Ríos, Argentina

Ignacio Quignard<sup>1,3</sup>  
Walter Fabian Sione<sup>1,2</sup>  
Francisco Dario Maldonado<sup>1</sup>  
Sebastian Gavilan<sup>4</sup>  
Fernando Tentor<sup>1</sup>  
PABLO ACEÑOLAZA<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Entre Ríos – UADER/CEREGEO  
CP E3100 - Oro Verde - Entre Ríos, Argentina  
{ignacioquignard,francisco.dario.maldonado,wsione,fernandotentor}@gmail.com

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Luján – PRODITEL  
CP E6700 - Luján - Buenos Aires, Argentina

<sup>3</sup> Comisión Nacional de Investigaciones Científicas - CONICET/CICTTP  
CP E3105 – Diamante - Entre Ríos, Argentina.

<sup>4</sup> Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,  
Universidad Nacional de Mar del Plata.

**Abstract.** The objective of this paper was to analyze the spatial and temporal distribution of hot spots in the Rio Gualeguay basin and the relationship between hot spot distribution and ground cover types. The study area was Rio Gualeguay basin centrally located in Entre Rios province, Argentina. The research materials were Landsat TM and Hotspots images from the Fire Information for Resource Management System (FIRMS). The methodology used supervised classification and object-oriented segmentation technique and the software module SEGCLASS from Idrisi. This module produces a final Map of Land Use and Land Cover. Afterwards, we combined the information on hot spots and the thematic map to obtain a frequency table on the annual distribution of hot spots by thematic classes. Our main results were a map of land use and cover of Rio Gualeguay Basin, and a table of annual frequency of hot spots coverage. The classes with higher incidence of heat sources were mainly three: "cultivated land areas and/or managed", "pastures" and "open forest". This information is important for fire management of the Rio Gualeguay Basin, and could be used as a decision tool in allocating resources. It also provides an overview of the spatial and temporal distribution of heat sources and land cover types that are burned.

**Palabras clave:** thematic map, remote sensing, image processing, segmentation, SEGCLASS.

### 1. Introducción

El fuego es un fenómeno físico-químico que se caracteriza por el desprendimiento de luz y calor, producido por la combustión de un cuerpo. Cuando comienza un incendio, sea este debido a causas naturales o antrópicas, el hecho que el fuego evolucione desde un pequeño foco que puede extinguirse rápidamente, hasta un incendio de proporciones variables depende, entre otros factores, de la cantidad (carga), continuidad (disposición horizontal y vertical) y características del combustible vegetal (fino, grueso, inflamable o no), de la temperatura y humedad relativa del aire, de la exposición, de la pendiente, de los vientos (Defossé et al., 2004) e incluso de ciertos factores antrópicos como la accesibilidad y presencia de vías que actúen como calles “cortafuego” (Di Bella 2008). De esta conjunción de factores dependerán luego las características que tenga cada incendio y también las consecuencias que el mismo pueda tener sobre cada ecosistema en particular.

Es de gran importancia como disturbio, ya que afecta a la gran mayoría de los ecosistemas del mundo y son considerados como una fuente importante de emisión de gases efecto invernadero (GEI) (Sione et al., 2008).

Salvo para selvas muy húmedas y algunos desiertos, que no se queman por condiciones climáticas o por escasa carga de combustible vegetal, podemos afirmar que el fuego ha cubierto con frecuencia variable y por miles de años casi todos los confines de la tierra (Agee 1996, Bond y VanWilgen 1996, Pyne et al., 1996), que impacta sobre los procesos ecológicos (hidrológicos, bioquímicos y atmosféricos) (Csiszar et al., 2004; Roy et al., 2005, Sione et al., 2009) y también en factores económicos y sociales (costos de supresión y pérdidas de ingresos por turismo) de dichas regiones.

En Argentina, según la última publicación de las Series Estadísticas Forestales, en el año 2009 hubo 10.340 incendios y se quemaron 844.229 hectáreas, de ese total, las cuatro regiones fitogeográficas más afectadas fueron el Parque Chaqueño con 397.760 hectáreas, el Espinal con 323.809 hectáreas, luego la región del Monte con 52.592 hectáreas y en cuarto lugar la Estepa Pampeana con 35.384 hectáreas.

Por este motivo toma relevancia el conocimiento sobre la distribución espacio/temporal de puntos de calor, el análisis de la evolución histórica del régimen de fuego, su distribución y el tipo de cobertura que se quema.

El objetivo de este trabajo es analizar la distribución espacio temporal de puntos de calor en la cuenca del río Gualeguay y su relación con la cobertura del suelo.

## 2. Metodología del Trabajo

Área de estudio: Cuenca del río Gualeguay en el centro de la Provincia de Entre Ríos.

La provincia de Entre Ríos abarca un área de aproximadamente 70.000 km<sup>2</sup> y está localizada entre las latitudes de 28° y 32° S y entre las longitudes de 58° y 60° 30' O. El paisaje general está determinado por la morfología resultante de la acción de los ríos principales: Paraná y Uruguay, y sus tributarios entre ellos el río Gualeguay. El río Gualeguay divide el territorio en dos regiones: la occidental, donde la Cuchilla de Montiel cumple la función de divisoria de aguas, y la oriental, en la que la Cuchilla Grande cumple la misma función (Aceñolaza, 2007; Iriondo, 1998).

El río Gualeguay en su extensión norte-sur recorre 857 km y su cuenca representa casi un tercio de la provincia (fig. 1), en la que se encuentran variados tipos de suelo con diferentes actividades agrícola, forestal y ganadera, donde en verano predomina el cultivo de la soja en el centro-sur de la cuenca.

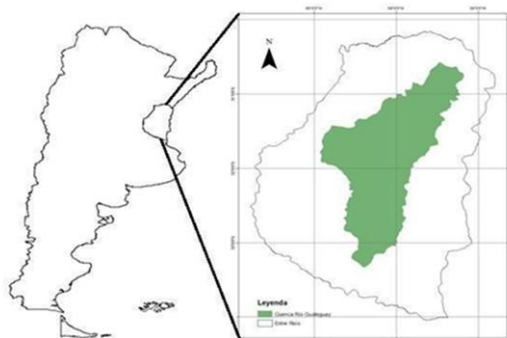


Figura 1. Cuenca de Río Gualeguay (en verde), en la Provincia de Entre Ríos, Argentina.

Para la realización del trabajo se utilizaron imágenes Landsat TM debido a sus características de resolución espectral temporal, radiométrica y a su disponibilidad. Para

abarcar el área de estudio fueron necesarias tres escenas de los path 225, row 081, 082 y 083, correspondientes a verano, otoño y primavera 2011, Catalogo de Imágenes INPE (2012).

Mapas de Puntos de calor entre las años 2000 a 2011, obtenidos del proyecto FIRMS - Fire Información for Resource Management System, FIRMS (2012) que provee datos de Puntos de Calor MODIS de los satélites Aqua y Terra.

### Imágenes

Se descargaron tres series, correspondientes a verano, otoño y primavera 2011, luego fueron georreferenciadas con un error medio cuadrático por debajo del pixel y se construyeron los mosaicos.

División de la Cuenca: Los mosaicos se dividieron en dos áreas mediante interpretación visual, por un lado el área de la cuenca que presenta un ambiente del tipo humedal y por otro el resto de la cuenca donde se encuentran las zonas con cultivos. De esta manera se evitan algunos solapamientos en las firmas espectrales que facilitan la clasificación y la asignación de clases.

### Clasificación

Para la extracción de información a partir de datos satelitales existen distintas metodologías, la mayor parte de estas está basada en las propiedades de la reflectancia espectral de las imágenes y en la utilización de algoritmos especialmente diseñados.

Un procedimiento muy común es la clasificación multiespectral. Es un método por el cual los píxeles de una imagen se asignan a categorías discretas las cuales incluyen aquellos píxeles de mayor semejanza en el espacio multiespectral (Jensen, 1996; Curran, 1985).

En este trabajo se realizaron dos tipos de clasificaciones, supervisada y no supervisada. Se clasifico el mosaico de verano a través del método no supervisado mediante el algoritmo ISODATA (Interactive Self-Organizing Data Analysis Algorithm), la cantidad máxima de cluster a identificar fue de 200 con un valor umbral de 98% y una cantidad máxima de 30 iteraciones, para extraer las áreas terrestres cultivadas y/o manejadas. Los mapas de cultivos fueron evaluados visualmente según un criterio de patrones de regularidad de las formas y homogeneidad.

Para extraer las clases que mejor se diferenciaban en los mosaicos de otoño y primavera se realizó, una clasificación supervisada a través del algoritmo MAXLIKE.

### Segmentación

La segmentación es la subdivisión de una imagen en regiones más pequeñas representadas por objetos. Los objetos obtenidos contienen la información referida a sus propias características espectrales, de forma, posición y textura; y relación con objetos vecinos. En general, por la posibilidad de incluir criterios de forma y contexto, los resultados en muchos casos superan en exactitud a los obtenidos con clasificadores convencionales (Sione et al. 2005).

Se segmentó el mosaico de verano utilizando las bandas 3, 4 y 5, otorgándoles un peso de 1/3 a cada una; y tras varios ensayos se decidió un índice de similitud de 10, el índice de similitud determina el tamaño de los segmentos y como consecuencia su número y la homogeneidad de los mismos.

En el siguiente paso se introdujo la segmentación y el mapa obtenido de los mosaicos en el modulo Segclass de Idrisi (Paegelow y Camacho Olmedo, 2010) para su procesamiento. Este modulo asigna una etiqueta a cada segmento en base al conteo de los píxeles de cada clase del mapa temático que se hallan dentro de cada segmento y le asigna a estos segmentos la categoría temática del pixel dominante.

Finalmente el mapa fue validado mediante un sorteo de 200 puntos distribuidos al azar en toda la cuenca, para luego a través de Google Earth verificar cuales puntos fueron bien asignados y estimar la fiabilidad del mapa.

#### Puntos de calor

Se utilizaron puntos de calor del proyecto Fire Información for Resource Management System, FIRMS (2012), este proyecto provee datos de Puntos de Calor MODIS, esos datos fueron superpuestos con el mapa de cobertura de suelo, para poder realizar los análisis correspondientes.

### 3. Resultados y Discusión

Los principales resultados obtenidos fueron el mapa de uso y cobertura de la cuenca del Rio Gualeguay y la tabla de frecuencias anuales de puntos de calor por clase de cobertura.

El mapa de uso y cobertura (Figura 2) fue obtenido mediante clasificación de mosaicos estacionales, correspondientes a verano, otoño y primavera; luego se unió con la segmentación orientada a objetos para su posterior procesamiento en el modulo SEGCLASS de Idrisi Y se establecieron 10 clases: 1- Vegetación natural o semi-natural de áreas regularmente inundadas/anegadas o acuáticas; 2- Arbóreo terrestre cerrado (Bosques formados por árboles en una cobertura superior al 65%.); 3- Arbóreo terrestre abierto (Bosques formados por árboles en una cobertura entre 65% y 15%.); 4- Arbóreo terrestre disperso (Comunidades formadas por árboles en coberturas menor al 15%); 5- Pajonal; 6- Cuerpos de agua; 7- Salar; 8- Áreas terrestres cultivadas y/o manejadas; 9- Pastizal; 10- Superficies artificiales y áreas asociadas.

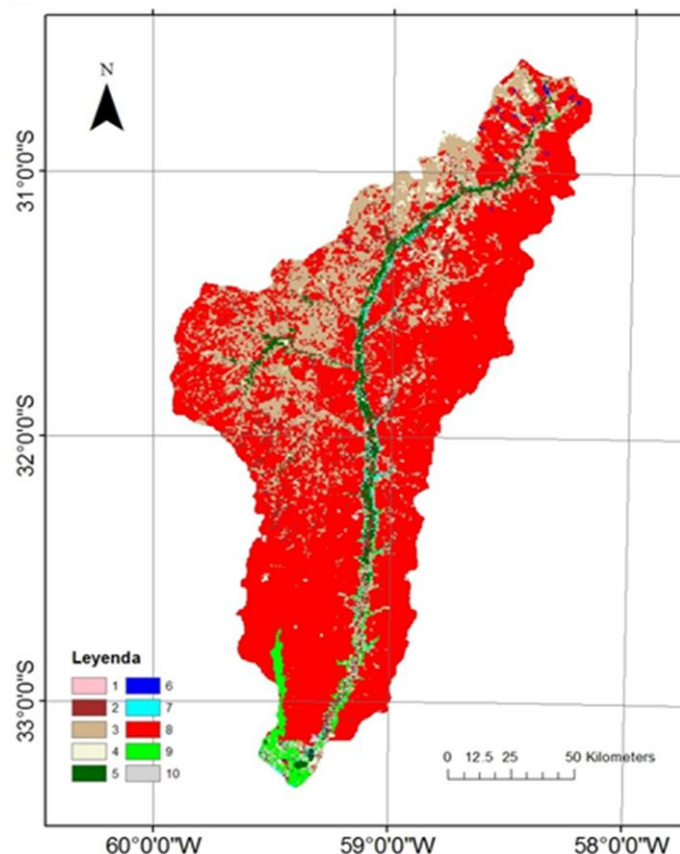


Figura 2. Mapa de uso y cobertura del suelo de la cuenca del río Gualeguay, obtenido mediante el módulo SEGCLASS de Idrisi.

Para la validación del mapa se sortearon 200 puntos al azar distribuidos en toda la cuenca, de los cuales 177 puntos estuvieron bien asignados y el resto no. Esto arroja un valor de 85% de fiabilidad.

En la figura 2 se puede observar el predominio de cuatro de las clases temáticas sobre el resto, la clase 8 que representa “áreas terrestres cultivadas y/o manejadas”. En el centro-norte de la cuenca se destaca la clase 3, “bosque abierto” principalmente en el sector occidental; en el centro y atravesando de norte a sur se distingue “pajonal”, clase 5, representado por el color verde oscuro; y en el extremo sur de la cuenca “pastizales” en color verde claro, clase 9.

A continuación, en la tabla 1, se presentan los resultados del mapa de puntos de calor y el mapa de uso y cobertura de suelo de la cuenca del río Gualeguay.

Tabla 1. Clases de cobertura con frecuencia anual y total de puntos de calor y superficie de cada cobertura.

Clase	Puntos de calor por año												Total
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	
1				1	4		2	1	5	1			14
2		1	4	3	50	9	45	5	39	22	10	3	191
3	4	1	18	23	109	14	77	17	97	68	34	16	478
4				1		8		3	1	4	2	1	23
5		3	7	10	164	22	115	3	83	44	12	6	469
6			3	1	3		1				4		12
7				1	19	1	21		8	4	2	1	57
8	3	21	38	48	138	58	186	75	219	105	113	33	1037
9			1	1	3		5		7	2			19
10	7	14	7	9	8	4	19	22	4	19	21	2	136

En la Tabla 1 se destacan las clases 3, 5 y 8 correspondientes a “bosque abierto”, “pajonal” y “áreas terrestres cultivadas y/o manejadas respectivamente”, con mayor cantidad de puntos de calor total y una diferencia marcada en los años 2004, 2006 y 2008.

Los focos hallados en el bosque abierto ocuparon la tercera posición en cuanto a cantidad de puntos y nos estaría dando una idea de los sitios en donde se ha producido desmonte en el año 2011. En la case “pajonal” encontramos una gran cantidad de puntos de calor, tradicionalmente, en esta región al igual que en muchas otras partes de mundo, los productores ganaderos queman el pajonal para que su rebrote pueda servir de alimento para el ganado, es muy probable que el uso de esta práctica sea la responsable de los puntos de calor encontrados en esta clase.

En relación a “áreas terrestres cultivadas y/o manejadas”, una situación que nos podría explicar la número tan elevado de puntos de calor podría ser el desmonte, ya que en esta región la estrategia del productor para realizar el desmonte implica la quema, para luego sobre estos terrenos realizar agricultura, entonces los sitios de esta clase con focos de calor podrían ser antiguas áreas con bosque que hoy se encuentran bajo un uso agrícola. También una cierto porcentaje de estos focos puede deberse al uso del fuego para limpieza y desmalezamiento de los límites externos de los campos.

También se observa que el mayor número de puntos de calor aparece en la clase 8 “áreas terrestres cultivadas y/o manejadas” sin embargo en la clase 5 está el número de mayor importancia, considerando que la clase 5 tiene 20 veces menos superficie que la clase 8.

En la Tabla 2, se agregan las proporciones de las clases y se observa que las clases 3 y 5 tienen en conjunto la mitad del total de las ocurrencias de puntos de calor a pesar de ocupar el 25% de la superficie de la cuenca. En la Tabla se muestran para el análisis, las frecuencias ponderadas de puntos de calor relativas a las proporciones de la superficie ocupada por cada clase.

Tabla 2. Frecuencias ponderadas de puntos de calor relativa a la superficie de las Clases de cobertura.

Clase	Superficie [Ha]	Proporción de la Superficie total [%]	Total de puntos de calor	Frecuencia ponderada de Puntos de calor
1-Veg. natural o semi-natural de áreas regularmente inundadas /anegadas o acuáticas	8396	0,39	14	3,94
2-Arbóreo terrestre cerrado	93804	4,38	191	4,81
3-Arbóreo terrestre abierto	491444	22,96	478	2,30
4- Arbóreo terrestre disperso	43995	2,06	23	1,23
5- Pajonal	62591	2,92	469	17,70
6- Cuerpos de agua	4658	0,22	12	6,09
7- Salar	16425	0,77	57	8,20
8- Áreas terrestres cultivadas y/o manejadas	1369191	63,98	1037	1,79
9- Pastizal	43463	2,03	19	1,03
10- Superficies artificiales y áreas asociadas.	6072	0,28	136	52,91

Las mayores frecuencias ponderadas aparecen en las clases 5 y 10, en es ultima posiblemente producto de la actividad de quema de residuos urbanos y la actividad industrial. En la clase 5, “pajonal”, como ya se dijo la ocurrencia de puntos de calor puede estar asociada a la actividad ganadera. En la Figura 3, a continuación, se observa la ocurrencia anual de puntos de calor.

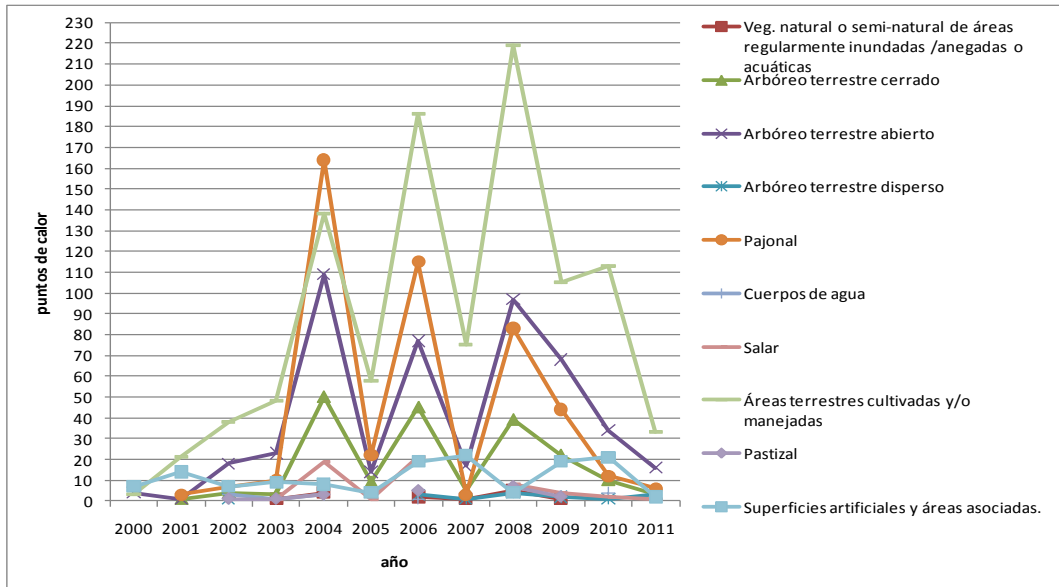


Figura 3. Ocurrencia anual de puntos de calor por clase temática del Mapa de uso y cobertura del suelo.

En la Figura 3 se destaca un patrón bianual con mayor cantidad de puntos de calor en los años 2004, 2006 y 2008 en las clase correspondientes a “áreas terrestres cultivadas y/o manejadas” (clase 8), ”pajonal” (clase 5) y “bosque abierto” (clase 3). También se presenta este patrón en los años 2004, 2006 y 2008 en la clase 2, “bosque cerrado”, aunque de forma más atenuada.

#### 4. Conclusiones

A partir de los resultados expuestos se puede concluir que existen tres clases con alta incidencia de focos de calor “áreas terrestres cultivadas y/o manejadas”, “pajonal” y “bosque abierto”. Por otra parte si tenemos en cuenta la superficie de las clases, toman mayor relevancia las clases 10, “Superficies artificiales y áreas asociadas” y 5, “Pajonal”.

En lo que se refiere a la cantidad de puntos de calor de cada clase por año, la mayoría tuvo un número bajo de puntos de calor, pero como ya se vio en los resultados, lo más notable fue el comportamiento de las clases “áreas terrestres cultivadas y/o manejadas”, “pajonal”, “bosque abierto” y “bosque cerrado”, estas clases presentaron patrones que podrían interpretarse mejor si se realizara un estudio incorporando datos meteorológicos, como temperatura, precipitación y humedad.

Esta información es de vital importancia para le gestión del fuego en la Cuenca del rio Gualeguay y puede servir como herramienta de decisión a la hora de asignar recursos ya que brinda una visión general de la distribución espacio-temporal de los focos de calor y de las clases temáticas que se queman.

#### Referencias Bibliográficas

Aceñolaza, F.G. Geología y Recursos Geológicos de la Mesopotamia Argentina. **Revista del Instituto Superior de Correlación Geológica**, n.22, p.149-155, 2007.

Agee, J.K. Achieving conservation biology objectives with fire in the Pacific Northwest. **Weed technology**, n.10, p.417-421, 1996.

Bond, W. J.; Van Wilgen, B.W. **Fire and plants**. New York: Chapman & Hall, 1996, 300 p.

Catálogo de Imágenes INPE-Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales. Disponible en:  
<<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>> Acceso 1 junio 2012.

Csiszar, I.; Justice, C.O.; McGuire, A.D.; Cochrane, M.A.; Roy, D.P.; Brown, F. Land use and fires. In: Gutman, A. (Org.). **Land Change Science: Observing, Monitoring, and Understanding Trajectories of Change on the Earth's Surface**. New York: Kluwer Academic. 2004.

Curran, P.J. 1985. **Principles of Remote Sensing**. Longman Group Limited, London, 282 pp.

Defossé, G.; Rostagno, C.; Del Valle, H.F.; Dentoni, M. El fuego en la porción austral de la región Monte. En: Kunst C.; Bravo S.; Panigatti J. (Orgs.) **Fuego en los ecosistemas argentinos**. Santiago del Estero: Ediciones INTA, 167-179. 2004.

Di Bella C.M.; Posse G.; Beget M.E.; Fischer M.A.; Mari N.; Veron, S. La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones. **Ecosistemas**, v.17, n.3, p.39-52, 2008.

FIRMS-Fire Información for Resource Management System. Disponible en:  
<<http://firefly.geog.umd.edu/firms/>> Acceso 20 Junio 2012.

Iriondo, M. Loess in Argentina: Temperate and Tropical. Excursión Guide N°3. Province of Entre Ríos. Internacional Union for Quaternary Reserch. Internacional Join Field Meeting. 1998.

Jensen, J.R. **Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective**. New Jersey: Prentice-Hall, 1986, 379 p.

Paegelow, M; Camacho Olmedo, M, T. Modelos de simulacion espacio-temporal y teledetección: el método de la segmentacion para la cartografía cronológica de usos de suelo. **Serie Geografica**, n.16, p.19-34. 2010

Pyne, S., Andrews, P., Laven, R. **Introduction to wildland fire**. 2° Edition. New York: Wiley. 1996.

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

Sione, W.F.; Acenolaza, P.G.; Zamboni, L. P.; Del Valle, H.F.; Serafini, C.; Gallardo Lancho, J. F. Aplicaciones de la teledetección en la estimación de las emisiones de CO2 a quemas de áreas insulares en el Complejo Litoral del Rio Paraná (Argentina). In: Gallardo Lancho, J. F. (Org.) Emisiones de Gases Efecto Invernadero en Ecosistemas Iberoamericanos. Madrid: Editora. 2009. p.255-272.

Sione, W.F.; Aceñolaza, P.G.; Zamboni, L. P.; Serafini, C.; Del Valle, H.F.; Gallardo Lancho, J. F. Estimación indirecta de emisiones de CO2 a partir de información satelital en áreas quemadas de ambientes insulares del delta del río Paraná (Argentina). In: XII Simposio de la Sociedad Latinoamericana de Especialistas en Percepción Remota (SELPER), 2008, La Habana. **Anales...** Cuba: SELPER, 2008. p.1-16. CD-ROM. 2008.

Sione, W. F.; Aceñolaza, P.G.; Collado A. D.; Serafini, M. C.; Angelini, M. E. Clasificación orientada a objetos e identificación de modelos combustibles a partir de imágenes MMRS/SAC-C. **Revista SELPER**, v.22, n.2, p.41-49, 2005.