

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INCENDIOS EN LA COBERTURA VEGETAL DE LA CUENCA DEL RÍO GUALEGUAY, ENTRE RÍOS, ARGENTINA

Ignacio **Quignard**¹, Walter Fabián **Sione**², Francisco Darío **Maldonado**³

(1 - Universidad Autónoma de Entre Ríos – UADER, CEREGEO, Oro Verde, Entre Ríos, AR, ignacio.quignard@gmail.com . 2- Universidad Nacional de Luján - Luján, PRODITEL, Buenos Aires, AR, wsione@gmail.com. 3 - Comisión Nacional de Investigaciones Científicas – CONICET, CICTTP, Entre Ríos, AR. francisco.dario.maldonado@uader.edu.ar)

Resumen: El objetivo de este trabajo fue analizar la distribución espacial y temporal de los incendios en la cuenca del Río Gualeguay y la relación de esa distribución con los tipos de cobertura del suelo. El área de estudio fue la cuenca del Río Gualeguay situada en la Provincia de Entre Ríos, Argentina. Los materiales fueron Imágenes Landsat TM y coberturas de focos de calor del Sistema de Gestión de Recursos para Manejo del Fuego - FIRMS, el software QGIS e Idrisi. La metodología articuló, en una primera etapa, clasificaciones no supervisadas, supervisada, segmentación y agrupamiento temático para obtener el mapa final de cobertura de las tierras. En la segunda etapa, la Carta de puntos de calor y el mapa de coberturas fue combinada para obtener una tabla de frecuencias y distribución anual de incendios por clases temáticas. Los resultados muestran que las clases con mayor incidencia de incendios fueron principalmente tres: "las áreas terrestres cultivadas y/o manejadas", "pajonal" y "arbórea terrestre abierto". Se recomienda el uso de esta información para el manejo del fuego, asignación de recursos y estudiar su utilidad para detección de desmontes.

Palabras clave: focos de calor, percepción remota, clasificación de imágenes, segmentación, SIG.

ANÁLISE TEMPORAL DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE INCENDIOS NA COBERTURA VEGETAL DA BACIA DO RÍO GUALEGUAY, ENTRE RÍOS, ARGENTINA

Resumo: O objetivo deste trabalho foi analisar a distribuição espacial e temporal dos incêndios na Bacia do Río Gualeguay e a relação dessa distribuição com os tipos de cobertura



das terras. A área do estudo foi a bacia do Rio Gualeguay localizada na Província de Entre Rios, Argentina. Os materiais utilizados foram Imagens Landsat TM e a Cobertura de Pontos de Calor do Sistema de gestão dos recursos para manejo do fogo - FIRMS, o Software QGIS e Idrisi. A metodologia articulou, numa primeira etapa, classificações não supervisionadas, segmentação e agrupamentos temáticos para obter o mapa final de cobertura das terras. Na segunda etapa, a carta de pontos de calor e o mapa de cobertura foram combinados para obter uma tabela de frequências de distribuição anual de incêndios por classe temática. Os resultados indicaram que as classes com maior incidência de incêndios foram principalmente três: "áreas terrestres cultivadas ou manejadas", "banhadal" e "arborea terrestre aberta". Recomenda-se o uso desta informação para o manejo do fogo, dos recursos financeiros e para estudar a utilidade desta para detecção do corte raso.

Palavras chave: pontos de calor, sensoriamento remoto, classificação de imagens, segmentação, SIG.

MULTITEMPORAL ANALYSIS OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF FIRES IN THE VEGETATION COVER OF GUALEGUAY RIVER BASIN, ENTRE RÍOS, ARGENTINA

Abstract: The objective of this study was to analyze the spatial and temporal distribution of fires in Gualeguay River basin and relationship between this distribution and types of land cover. The study area was Gualeguay River basin located in Entre Rios, Argentina. The materials were Landsat TM images and Data layers of Hot Spots provided by Resource Management System (FIRMS), software QGIS and Idrisi. The methodology of this study, in the first stage, combine unsupervised and supervised classification, segmentation techniques and thematic clustering to obtain the final map of land cover classifications. In the second stage, the hot spot information and land coverage map were combined to obtain a frequency table and annual fire distribution in thematic classes. The results show classes with higher incidence of heat sources, there were mainly three: "cultivated areas and/or managed lands", "pajonal" and "arboreal open lands". It is recommended to use this information to fire management, financial resource allocation and study for detection of forest clearings.

Keywords: hot spots, remote sensing, image classification, segmentation, GIS.

Introducción

Los incendios son disturbios de gran importancia ambiental y su estudio ha adquirido gran preponderancia por estar presentes en la gran mayoría de los ambientes del mundo y ser considerados una fuente importante de emisión de gases efecto invernadero (GEI). Salvo selvas muy húmedas y algunos desiertos, que no se queman por condiciones climáticas o por escasa carga de combustible, el fuego ha afectado con frecuencia variable y por miles de años casi todos los ambientes de la Tierra (BOND y VANWILGEN, 1996; PYNE, ANDREWS y LAVEN, 1996), impactando sobre los procesos ecológicos (hidrológicos, bioquímicos y atmosféricos) (CSISZAR et al., 2004; ROY et al., 2005, SIONE et al., 2009) y tanto como aspectos económicos y sociales de dichas regiones.

El incendio puede iniciarse por causas naturales o antrópicas y este puede evolucionar desde un pequeño foco que se extingue rápidamente, hasta un incendio de grandes proporciones, dependiendo de la cantidad de combustible vegetal (carga), continuidad (disposición horizontal y vertical) y características de este (fino, grueso, inflamable o no), la temperatura y humedad relativa del aire, la exposición de la pendiente y de los vientos (DEFOSSÉ et al., 2004); como así también de factores antrópicos como la presencia de vías, rutas, arroyos que actúen como calles “cortafuego” (DI BELLA, 2008). De esta conjunción de factores dependerán luego las características de cada incendio y también las consecuencias que el mismo pueda tener sobre cada ambiente (Figura 1).

Figura 1: “Pajonal” quemado. Obsérvese la vegetación afectada en diferentes grados.



Fonte: Próprio autor

El fuego es un fenómeno físico-químico producido por la combustión de un cuerpo que se caracteriza por el desprendimiento de luz y calor detectables con sensores remotos en



el espectro visible e infrarrojo termal y registrado como “foco de calor” en las imágenes producidas por los sensores MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) (CHUVIECO, et. al 2008). El producto “Focos de calor” del sensor MODIS, registra las anomalías térmicas, estas poseen una alta relación con los incendios y los cambios observados en el terreno (ROY et al., 2005), por lo que en este trabajo se utiliza, también, la palabra incendio para hacer referencia a focos de calor.

En este contexto es importante el conocimiento sobre la distribución espacial y el análisis de la evolución temporal e histórica del régimen de fuegos, su distribución y el tipo de cobertura que se quema. En Argentina, según publicado en Estadísticas Forestales, en el año 2009 hubo 10.340 incendios y se quemaron 8442 km² ese año, de ese total el 49% ocurrió en la Regiones del Parque Chaqueño y el 40% en la Región del Espinal, la región mas secas del Monte y la Estepa Pampeana, allí ocurrieron solamente el 6 y 4% respectivamente.

Situada en el Espinal, la “Cuenca del Rio Gualeguay” abarca una gran extensión agropecuaria altamente productiva, la que es afectada por diferentes tipos de incendios, es muy común el uso del fuego para la quema del “pajonal” como practica de manejo ganadero (Figura 1), aprovechando las áreas de rebrote como pastura temporaria. El fuego también es usado para limpieza de campos y como herramienta del desmonte del bosque nativo. Además de los diferentes usos del fuego en esta cuenca, debido a su disposición alargada de norte a sur, los incendios que ocurren en ella tienen una dinámica estacional variada.

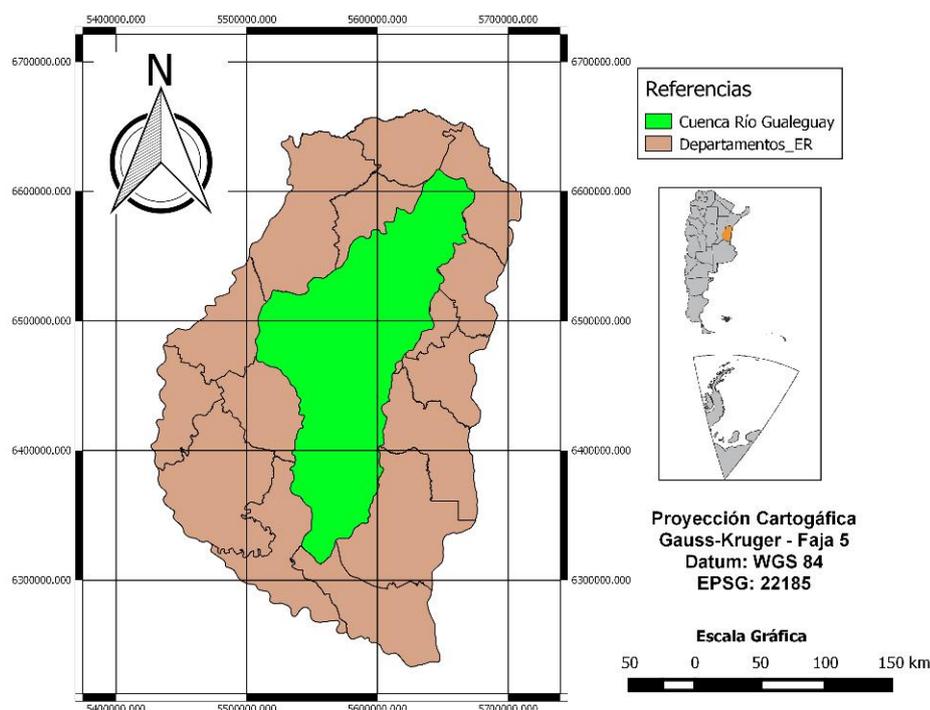
El seguimiento de los cambios en la cobertura vegetal usando Sistemas de Información Geográfica actualizados con información proveniente de Sensores remotos orbitales, es una de las más importantes aplicaciones de las tecnologías satelitales (ALLISON y HOBBS, 2006; SMITH *et al.*, 2011; MCGUIRE, 2012). Las imágenes de satélites ópticos son ideales para suplir estas necesidades por su bajo costo y características espectro-radiométricas que permiten analizar la cobertura del suelo y los cambios producidos por el uso del fuego (RICHARD y JIA, 2006; HUETE y GLENN, 2011). Sobre todo, cuando se necesita garantizar la calidad de los resultados al representar y analizar coberturas variadas producidas por la ocupación humana (MANANDHAR, ODEH y ANCEV, 2009; HENGL, NIKOLIC y MACMILLAN, 2013).

En este contexto, el objetivo de este trabajo es analizar la distribución espacio temporal de los focos de calor en la “Cuenca del Rio Gualeguay” y su relación de ocurrencia con la cobertura del suelo.

Área de estudio

La provincia de Entre Ríos abarca un área de aproximadamente 70.000 km² y el paisaje general está determinado por la morfología resultante de la acción de los ríos principales, al oeste el Paraná, al este el Uruguay y en centro el Gualeguay cuyas aguas desembocan al sur en el Delta del Paraná. El área de estudio (Figura 2) se limita a la Cuenca del Río Gualeguay localizada en una posición central de la Provincia, entre las latitudes de 28° y 32° Sur y las longitudes 58° y 60° 30' Oeste, con un área de 22.300km², casi un tercio de la provincia.

Figura 2: Cuenca del Río Gualeguay (en verde), Provincia de Entre Ríos.



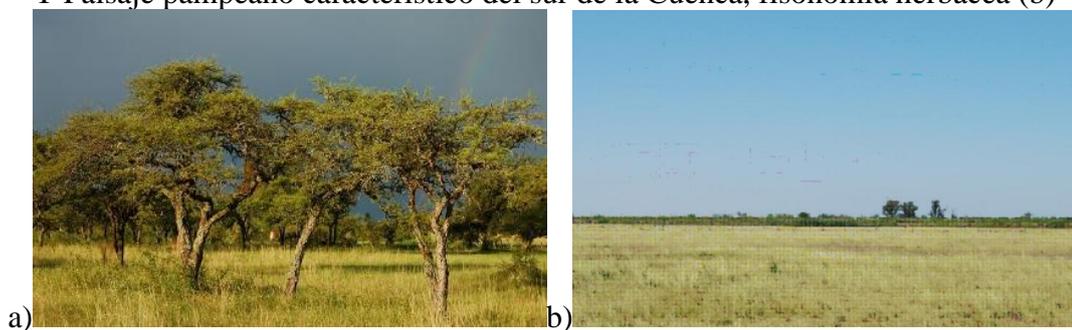
Fuente: Elaborado por los autores

El río Gualeguay divide el territorio en dos regiones: la occidental, de relieve suavemente ondulado donde la Cuchilla de Montiel cumple la función de divisoria de aguas, y la oriental, en la que la Cuchilla Grande separa la cuenca de la del Río Uruguay (Aceñolaza et al., 2007). Este río en su extensión norte-sur recorre 486 km y posee un régimen regular con crecientes que comienza en el mes de marzo y siguen hasta el mes de julio con crecidas extraordinarias que causan daños de gran magnitud. El clima es templado de llanura con temperaturas medias anuales de 19°C y un régimen de lluvias medias anuales entre 1000mm y 1600mm.

Dentro de la cuenca del río Gualeguay se encuentran variados tipos de suelos y diferentes actividades productivas, ganadera de cría al norte, forestal al centro-este y agrícola al centro-sur, donde en verano predomina el cultivo de maíz y soja. La vegetación natural se caracteriza por los bosques de especies xerófilas de un solo estrato con vegetación herbácea muy densa, se alternan con praderas y palmares. Al norte de la Cuenca, la vegetación principal es la típica formación arbórea del Espinal entrerriano sometida a la actividad ganadera extensiva (Figura 3a), este mosaico de tipos fisonómicos es también conocido como Bosque xerófito del Montiel de la Provincia Fitogeográfica del Espinal (CABRERA, 1971).

El sur del área estudiada la fisonomía característica es pampeana (Figura 3b), donde la actividad principal es actualmente agrícola y en menor medida ganadera, con cultivos de maíz, trigo, sorgo y soja. Esta región tiene una larga historia de ocupación ganadera extensiva y actualmente la actividad se ha diversificado e intensificado mediante el cercado y ordenamiento de campos para la agricultura empresarial.

Figura 3: Espinal entrerriano al norte de la Cuenca, fisonomía arbóreo-herbácea, “Parque” (a). Y Paisaje pampeano característico del sur de la Cuenca, fisonomía herbácea (b)



Fuente: Próprio autor.

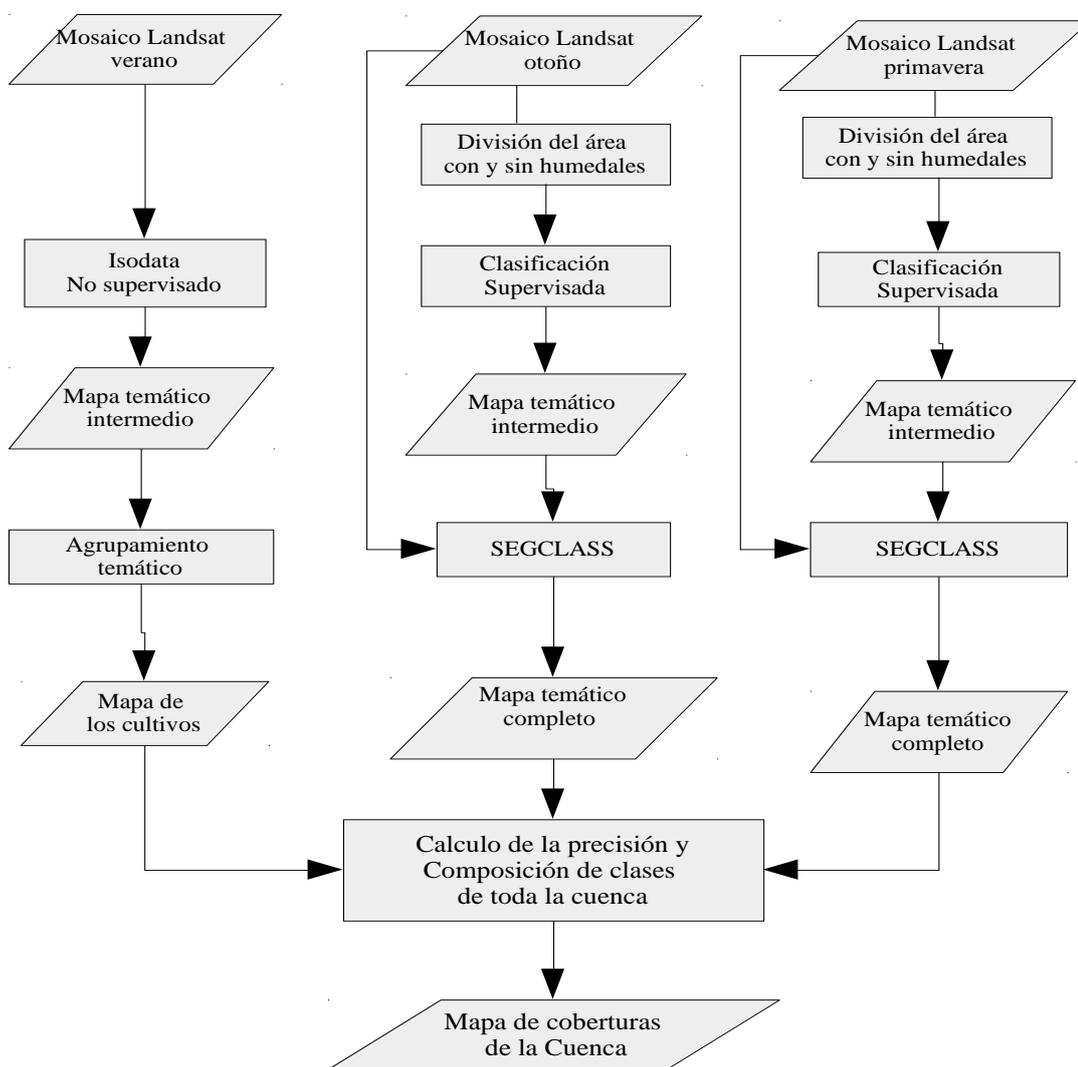
Material y métodos

Los materiales utilizados fueron imágenes Landsat TM, por sus características espectrales, radiométricas y resolución temporal, adecuadas para el estudio de la cobertura vegetal. Para abarcar el área de estudio fueron necesarias nueve escenas de la Órbita 226, puntos 081, 082 y 083, correspondientes a verano, otoño y primavera de 2011, del Catalogo de Imágenes Landsat (INPE, 2012). Plano de información Cobertura de Focos de calor del periodo febrero de 2000 a diciembre 2011, obtenidos del proyecto FIRMS - Fire Información for Resource Management System, (FIRMS, 2012) que provee datos de Focos de Calor del sensor MODIS de los satélites Aqua y Terra. El software utilizado para el procesamiento de los mapas fue QGIS 2.8 Wien (GNU public license) y para el procesamiento de las imágenes

multiespectrales se utilizo Idrisi Selva 17.02, módulo SegClass (segmentación y clasificación).

El método se dividió en dos etapas, la primera tuvo el objetivo de obtención de un mapa de clases de cobertura de las tierras (Figura 4). En una segunda etapa, la ocurrencia temporal de los focos de calor fue analizada y estratificada temáticamente su distribución espacio-temporal.

Figura 4: Diagrama de flujo de la primera etapa de la Metodología.



Fuente: Elaborado por los autores



El método se inicia con la georreferenciación de nueve imágenes, con un error cuadrático medio menor a un tercio del tamaño del pixel, para formar tres mosaicos de tres escenas, correspondientes a verano, otoño y primavera del 2011.

División de la Cuenca: Los mosaicos se dividieron en dos áreas mediante interpretación visual de texturas y patrones, por un lado el área de la cuenca que presenta un ambiente del tipo humedal con escasos cultivos y por otro el resto de la cuenca donde se encuentran las zonas sin humedal con mayor proporción de áreas cultivadas. De esta manera se minimizan las mezclas de las firmas espectrales típicas de áreas naturales de las de áreas cultivadas, para mejorar posteriores, procesos como la clasificación digital, el análisis y la asignación de clases temáticas.

Clasificación “Isodata” de Verano: Para la transformación de los datos satelitales continuos a temáticos existen distintas metodologías, la mayor parte de estas está basada solamente en las propiedades de reflectancia de los píxeles y en la utilización de algoritmos para medir las distancias radiométricas entre ellos para agruparlos según reglas definidas. La técnica aquí utilizada es la clasificación con la cual los píxeles de una imagen se asignan a categorías discretas, en base a su proximidad radiométrica con el centro de la clase temática en el espacio multispectral (RICHARD y JIA, 2006; LU *et al.*, 2011). En este método se articularon dos tipos de clasificaciones, una “supervisada” en las imágenes de la época seca, con menores variaciones de humedad en la superficie del suelo y menor confusión temática y una “no supervisada” en la imagen de la época húmeda, para obtener las clases temáticas de cobertura de las tierras (UNESCO, 1973).

En las imágenes de verano, las variaciones de humedad por efecto de la distribución irregular de las lluvias y suelos oscuros producen diferencias contrastantes en la radiometría de las imágenes, estas diferencias no tienen significado temático por lo que las técnicas supervisadas son difíciles de aplicar, por esta razón se clasificó el mosaico de verano articulando una técnica de clasificación no supervisada con una técnica de agrupamiento visual de clases. La técnica no supervisada fue ISODATA (Interactive Self-Organizing Data Analysis Algorithm) aplicada con un número de “clusters” basado en la estimación de la cantidad de clases espectrales que probablemente se encuentren a lo largo de la cuenca en la época húmeda.

La estimación del número de "clusters" se realizó considerando que el número de estos correspondientes a un solo tipo fisonómico de vegetación aumentan por las diferencias de



humedad, iluminación y color del suelo. Los "clusters" correspondientes a tipos fisonómicos herbáceos, aumentan solamente por efecto de la humedad y color del suelo, los arbustivos también por diferencias de geometría de iluminación; y los correspondientes a tipologías arbóreas además por sombreado de los estratos vegetales inferiores y de la superficie del suelo. A este número estimado, se agregaron "clusters" para las clases de uso pecuario, urbano, agrícola y cuerpos de agua. Bajo esta consideraciones el número adoptado fue de 120, el menor número que obtuvo buenos resultados en test anteriores para la época húmeda. La otra consideración tomada para la adopción de esta técnica es que los elementos de interés tienen texturas lisas, predios agrícolas, y las clases sin interés como las áreas naturales presentan texturas. La técnica Isodata fue aplicada entonces en el mosaico de verano de 5 bandas espectrales, TM2 a TM5 y TM7 (espacio 5-dimensional), con 120 "clusters", valor umbral de 98% (separación temática) y una cantidad máxima de 30 iteraciones, para extraer y agrupar, solamente los correspondientes a las áreas terrestres cultivadas y/o manejadas.

Consolidación temática por agrupamiento de clases: Esta es una técnica visual para agrupar clases y obtener un mapa temático con menos clases, solamente las de interés. La técnica se inicia asignando el color rojo a dos clases consideradas, parte de una clase temática de interés, evaluando visualmente el agrupamiento o vecindad de sus píxeles, si aparecen agrupados sus píxeles se incorpora a la misma clase temática, este proceso se repite hasta completar visualmente la clase de interés. Posteriormente, la calidad del resultado fue evaluada en forma visual según los criterios formas y regularidad de las formas, para extraer los predios de agricultura e incorporarlos al mapa final.

Clasificación supervisada y SEGCLASS: En este paso se utilizó una Clasificación supervisada para obtener una imagen temática intermedia y posteriormente el módulo SegClass de Idrisi (PAEGELOW y CAMACHO OLMEDO, 2010) para el pos-procesamiento de la imágenes clasificadas y obtener el imagen temática final. Las técnicas de clasificación supervisada fueron aplicadas para extraer las clases que mejor se diferenciaban espectralmente en cada una de las dos subareas (con humedal y sin humedal) en otoño y primavera. La localización, forma y tamaño de los sitios de entrenamiento de los clasificadores fueron obtenidos a través de datos de campo y apoyo de imágenes de alta resolución del Google Earth (CLARK *et al.*, 2010). Los clasificadores supervisados fueron algoritmos MAXLIKE (máxima verosimilitud) de IDRISI, para las áreas sin humedal y con humedal de cada mosaico.



La imagen temática intermedia fue obtenida por el Clasificador supervisado, utilizando información del muestreo de campo. Esta imagen con precisión aceptable fue procesada en una segunda instancia por el Modulo SegClass de Idrisi. Este modulo es un segmentador que asigna una etiqueta en base a una imagen temática. En una primera instancia SegClass segmenta basado solamente en la información contenida en la imagen original, espectral, forma, textura y relación con objetos vecinos. En una segunda instancia el módulo asigna una etiqueta a cada segmento en base a las proporción de pixeles de las clases de la imagen temática intermedia obtenida en la etapa anterior, dentro de cada segmento. De esta forma a los segmentos se les asigna el tema o leyenda temática de los pixel dominantes en el segmento. Se aplicó SegClass configurado para utilizar en el segmentador las bandas 3, 4 y 5, con peso de 1/3 para cada banda y un índice de similitud de 10.

Análisis de la exactitud de los mapas: Finalmente los mapas fueron validados mediante un sorteo de 490 puntos distribuidos al azar en toda la cuenca. Los puntos de mejor accesibilidad fueron visitados a campo y los de difícil acceso validados con imágenes de alta resolución espacial, próximas a la fecha del estudio de Google Earth (CLARK et al., (2010) abiertas como vector kml en Google Earth, para verificar cuales puntos fueron bien asignados y estimar la exactitud del mapa a través de la “matriz de confusión (COMBER et al., 2012), presentando cuantitativamente los resultados para la comparación entre la clasificación y la verdad-terreno, mostrando en la matriz sobre la diagonal principal los aciertos y fuera de ella los errores.

En la matriz, el error de omisión ocurre cuando un píxel que pertenece a determinada categoría, no resulta clasificado en dicha categoría y es omitido de ella, este tipo de error se plantea como riesgo del productor mapa. En cambio el error de comisión ocurre cuando un píxel resulta clasificado en una categoría y en realidad pertenece a otra, este tipo de error se plantea como riesgo del usuario. La totalidad de estos errores que se resumen mediante el índice de fiabilidad global. Este índice se calcula como el número de unidades clasificadas correctamente, sobre el número total de unidades consideradas. Se obtiene sumando los elementos de la diagonal divididos por el Total de observaciones.

Composición del mapa final: Esta etapa se inició con tres mapas temáticos y tres matrices de confusión asociadas a cada uno de ellos. La composición del mapa final se inició extrayendo la clase discriminada con mayor exactitud de los tres mapas e insertándola en el mapa final, repitiendo el proceso hasta completar la totalidad de las clases de la leyenda del



"Mapa de cobertura de suelos". La leyenda del mapa final se estableció en 9 clases, (UNESCO, 1973): 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 70%.); 3- Arbóreo terrestre abierto (Bosques formados por árboles en una cobertura entre 70% y 25%.); 4- Arbóreo terrestre disperso (Comunidades formadas por árboles en coberturas menor al 25%); 5- Pajonal; 6- Cuerpos de agua; 7- Áreas desnudas; 8- Áreas terrestres cultivadas y/o manejadas; 9- Superficies artificiales y áreas asociadas.

Finalmente en el Sistema de Información Geográfica el mapa temático obtenido en formato raster fue vectorizado e incorporado conjuntamente con los planos de información de focos de calor a la base de datos espaciales del Sistema de Información Geográfica, para realizar posteriormente operaciones booleanas entre capas y el análisis de la distribución espacial de los focos de calor.

Análisis espacial de la distribución temporal de focos de calor: Para este análisis, se utilizaron los planos de información de focos de calor del proyecto FIRMS para las fechas consideradas y cada uno de estos datos fue superpuesto al "Mapa de cobertura de suelos", para realizar los análisis temporales de la distribución espacial y su estratificación por clase de cobertura vegetal. De este modo, se generó una "Tabla de frecuencias" relacionando cuantitativamente los focos de calor con la cobertura del suelo y superficie de cada clase a lo largo del año.

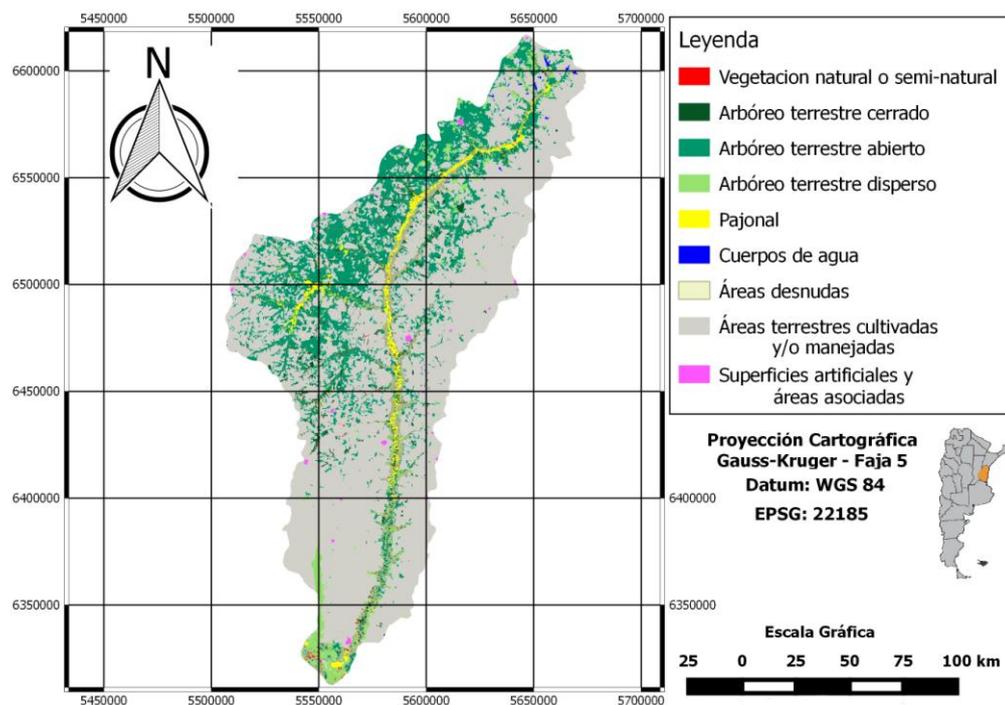
Resultados e discusión

Los principales resultados obtenidos fueron el "Mapa de cobertura de suelos" de la cuenca del Rio Gualaguay (Figura 5) y la "Tabla de frecuencias anuales de focos de calor por clase de cobertura vegetal".

En la Figura 5, 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 y en el sur de la cuenca se destaca la clase 3, "bosque abierto" principalmente en el sector occidental; en el centro y atravesando de norte a sur, en los dos tercios superiores, se distingue el "pajonal", clase 5, representado por el color amarillo. El cálculo y análisis de la exactitud del "Mapa de cobertura de suelos de la Cuenca del Río Gualaguay" se realizó a través de una matriz de confusión, mostrada en el Cuadro 1. En la matriz de confusión se

observa que la clase 1 "cultivo" posee el mayor número de muestras y el menor error de comisión debido a que es la clase menos fragmentada. Los errores ceros de las clases 7 y 8, "agua" y "áreas desnudas" respectivamente, puede deberse al bajo número de muestras. A continuación, en el Cuadro 2, se presentan los resultados del mapa de focos de calor y el mapa de cobertura de suelo de la cuenca del río Gualeguay.

Figura 5: Mapa de cobertura de suelos de la cuenca del río Gualeguay.



Fuente: Elaborado por los autores

En el Cuadro 2, 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 focos 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 focos y nos estaría dando una idea de los sitios en donde se ha producido desmontes en el año 2011. En la clase "pajonal" encontramos una gran cantidad de focos 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 focos de calor encontrados en esta clase.

Cuadro 1: Matriz de confusión. Cálculo de los Errores, Exactitud y Fiabilidad del Mapa de cobertura de suelos de la cuenca.

	Clase	Verdad terreno								Total mapa	Error de omisión (%)	Exact. productor (%)	
		1	2	3	4	5	6	7	8				
M a p a	Cultivo	1	204	2	13	3	0	0	0	0	222	7,65	92
	Monte Cerrado	2	0	42	3	0	0	0	0	0	45	6,66	93
	Monte Abierto	3	6	9	124	0	1	1	0	0	141	12,05	88
	Monte Disperso	4	2	0	3	10	1	0	0	0	16	37,5	63
	Pajonal	5	0	0	0	0	21	0	0	0	21	0	100
	Área Inundable	6	0	0	0	0	0	4	0	0	4	0	100
	Agua	7	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
	Áreas desnudas	8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	100
	Total campo		212	53	143	13	23	5	1	1	407		
Error comisión (%)		3,7	20,7	13,2	23,0	8,7	20	0	0				
Exact. usuario (%)		96,2	79,2	86,7	76,9	91	80	100	100	Fiabil 90,3 %			

Cuadro 2: Clases de cobertura con frecuencia anual y total de focos de calor y superficie de cada cobertura.

Clase	Focos 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	2	3	8	5	3	8	6	2	1	42
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	7	14	7	9	8	4	19	22	4	19	21	2	136

En relación a "áreas terrestres cultivadas y/o manejadas", una situación que nos podría explicar la número tan elevado de focos de calor puede relacionarse al desmonte de áreas linderas, ya que en esta región la estrategia del productor para ampliar la superficie de cultivo implica la eliminación a través de la quema, entonces los focos en esta clase son incendios de remanentes de vegetación natural en el área agrícola. También una cierto porcentaje de estos focos puede deberse al uso del fuego para limpieza de las banquinas de los caminos.

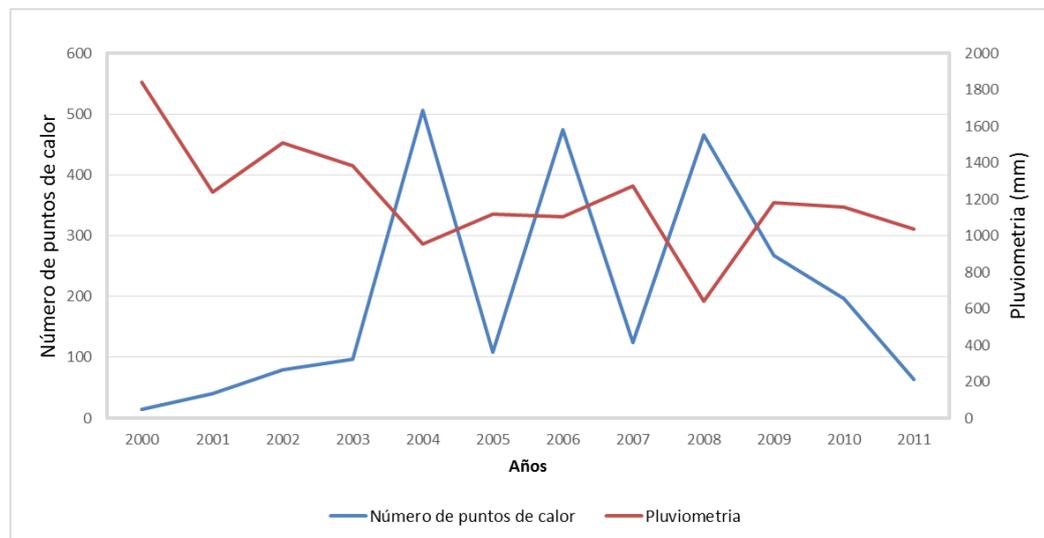
Aunque, se observa que el mayor número de focos de calor aparece en la clase 8 "áreas terrestres cultivadas y/o manejadas", en la clase 5 está el número de mayor importancia, considerando que la clase 5 tiene 20 veces menos superficie que la clase 8. En el Cuadro 3, se ponderan las proporciones de las clases y se observa que las clases 3 y 5 tienen en conjunto la mitad del total de las ocurrencias de focos de calor a pesar de ocupar el 25% de la superficie de la cuenca. En el Cuadro 3, se muestran para el análisis, las frecuencias ponderadas de focos de calor relativas a las proporciones de la superficie ocupada por cada clase.

Cuadro 3: Frecuencias ponderadas de focos de calor relativas a la superficie de las Clases de cobertura vegetal.

Clase	Superficie [Ha]	Proporción de la Superficie total [%]	Total de focos de calor	Frecuencia ponderada de Focos 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	87468	4,09	42	2,26
5- Pajonal	62591	2,92	469	17,70
6- Cuerpos de agua	4658	0,22	12	6,09
7- Áreas desnudas	16425	0,77	57	8,20
8- Áreas terrestres cultivadas y/o manejadas	1369191	63,98	1037	1,79
9- Superficies artificiales y áreas asociadas.	6072	0,28	136	52,91

Las mayores frecuencias ponderadas aparecen en las clases 5 y 10, en esta última 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 focos de calor puede estar asociada a la actividad ganadera. En la Figura 6, a continuación, se observa la ocurrencia anual de focos de calor en relación con las mediciones de los pluviómetros en la cuenca.

Figura 6: Ocurrencia anual de focos de calor en relación a los datos pluviométricos.



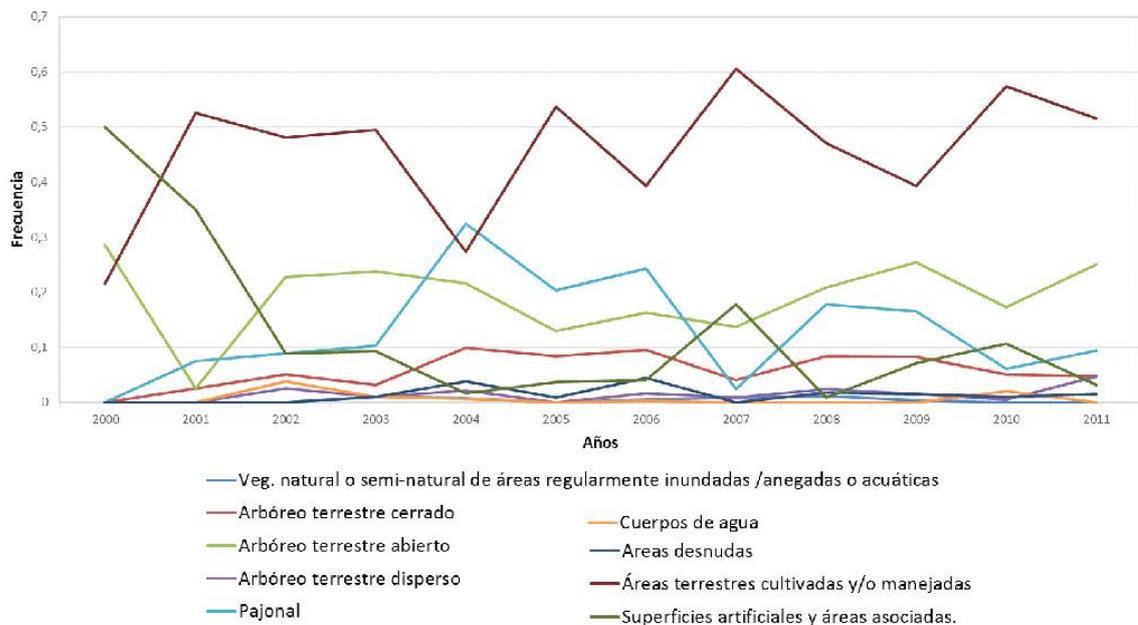
Fuente: Elaborado por los autores

En la Figura 6 se observan los primeros años, del 2000 al 2003 altos valores pluviométricos por encima de 1400mm y correspondientemente, pocos focos de calor, en el año 2004 los valores pluviométricos fueron menores a los 1000mm y los focos de calor fueron los máximos del periodo estudiado, posiblemente debido a la acumulación de combustibles a lo largo de los años anteriores. También se observa claramente un patrón bianual de aumento de los focos de calor, medianamente relacionado con la pluviometría.

En la Figura 7, a continuación se muestran la distribución de focos de calor en todas las clases temáticas. En la Figura 7, se destaca un patrón bi-anual con mayor cantidad de focos de calor en los años 2004, 2006 y 2008 en las clases 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. En la clase Áreas terrestre, después del periodo húmedo 2002 y 2003,

el número de focos de calor aumento en 2004 posiblemente debido a la acumulación de combustible en el "pajonal", así el 3% de la superficie presento el 60% de los focos de calor durante el año 2004.

Figura 7: Frecuencia anual ponderada de focos de calor por clase temática del Mapa de cobertura del suelo.



Fuente: Elaborado por los autores

Conclusiones y recomendaciones

- A partir de los resultados se puede concluir que existen tres clases de coberturas con alta incidencia de focos de calor "áreas terrestres cultivadas y/o manejadas", "pajonal" y "bosque abierto". Por otra parte si se tiene en cuenta la superficie de las clases, toman mayor relevancia las clases, "Superficies artificiales y áreas asociadas" y "Pajonal".
- En lo que se refiere a la cantidad de focos de calor de cada clase por año, la mayoría tuvo un número bajo de focos de calor, pero como se observa 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 intranuales, como temperatura, precipitación y humedad.

- Se recomienda utilizar este método de análisis para la gestión del fuego en la Cuenca del río Gualaguay, 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. También, se recomienda estudiar los focos de calor en áreas agrícolas y de bosque natural como indicadores del momento de la conversión de clases de uso o desmonte.

Agradecimientos

Al Ing. Fernando Raúl Tentor. CONICET Beca Doctoral. Proyectos PIDA2014/UADER y PIDT2013/UADER. Dirección de Ambiente del Gobierno de la Provincia de Entre Ríos.

Referencias

- ACEÑOLAZA, F. G. Geología y Recursos Geológicos de la Mesopotamia Argentina. **Revista del Instituto Superior de Correlación Geológica**, n. 22, p.149-155. 2007.
- ALLISON, H.; HOBBS, R. J. *Science and policy in natural resources management. Understanding System Complexity*. Cambridge: Cambridge Univ Press. 267 pp. 2006.
- BOND, W. J.; VAN WILGEN, B.W. Fire and plants. New York: Chapman. 300p. 1996.
- CABRERA, A. L. Fitogeografía de la República Argentina. **Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica**, n. 14, p. 1-42. 1971.
- Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales - INPE. Catálogo de Imágenes , Disponible en: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>> Acceso 1 junio 2012.
- CHUVIECO, E.; OPAZO, S.; SIONE, W.; DEL VALLE, H.; ANAYA, J.; DI BELLA, C.; CRUZ, I.; MANZO, L.; LOPEZ, G.; MARI, N.; GONZALEZ-ALONSO, F.; MORELLI, F.; SETZER, A.; CSISZAR, I.; KANPANDEGI, J. A.; LIBONATI, R. Global Burned-Land estimation in Latin America using MODIS composite data. **Ecological Application**, v. 18, n. 3, p. 64-79. 2008.



- CLARK, M. L.; MITCHELL, T. A.; GRAU, R. H.; RINER, G. A scalable approach to mapping annual land cover at 250m using MODIS time series data: A case study in the Dry Chaco ecoregion of South America. **Remote Sensing of Environment**, n. 114, p. 2816-2832. 2010.
- COMBER, A.; FISHER, P.; BRUNSDON, C. y KHMAG, A. Spatial analysis of remote sensing image classification. **Remote Sensing of Environment**, n. 127, p.237-246. 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. 340 pp. 2004.
- DEFOSSÉ, G.; ROSTAGNO, C.; DEL VALLE, H. F. y DENTONI, M. El fuego en la porción austral de la región Monte. En: KUNST, C.; BRAVO, S. y PANIGATTI, J. (Orgs.) *Fuego en los ecosistemas argentinos*. Santiago del Estero: Ediciones INTA, 167-179 pp. 2004.
- DI BELLA, C. M.; POSSE, G.; BEGET, M. E.; FISCHER, M. A.; MARI, N. y 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 Information for Resource Management System. Disponible en: <<http://firefly.geog.umd.edu/firms/>> Acceso 20 Junio 2012.
- HENGL, T.; NIKOLIC, M. y MACMILLAN, R. A. Mapping efficiency and information content. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, n° 22, pp. 127-138. 2013.
- HUETE, A. R; GLENN, E. P. Remote sensing of ecosystem structure and function. In: WENG, Q. **Advances in Environmental Remote Sensing. Sensors, Algorithms and Applications**. Boca Raton: CRC Press, 602 pp. 2011.
- LU, D.; WENG, Q.; MORAN, E.; LI, G, y HENDRICK, S. Remote Sensing Image Classification. En: WENG, Q. **Advances in Environmental Remote Sensing. Sensors, Algorithms, and Applications**. London: CRC Press, 600 pp. 2011.
- MANANDHAR, R.; ODEH, I. O. A.; ANCEV, T. Improving the Accuracy of Land Use and Land Cover Classification of Landsat Data Using Post-Classification Enhancement. **Remote Sensing**, vol. 1, n° 3, pp. 330-344. 2009.



- MCGUIRE, C. J. *Environmental decision-making in context. A toolbox*. London: CRC Press. 202 pp. 2012.
- PAEGELOW, M. y CAMACHO OLMEDO, M, T. Modelos de simulación espacio-temporal y teledetección: el método de la segmentación para la cartografía cronológica de usos de suelo. **Serie Geográfica**, vol.16, pp.19-34. 2010.
- PYNE, S., ANDREWS, P., LAVEN, R. *Introduction to wildland fire*. 2° Edition. New York: Wiley. 1996.
- RICHARD, J. A; JIA, X. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Berlin: Springer-Verlag. 454 p. 2006.
- 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.; ACEÑOLAZA, P. G.; ZAMBONI, L. P.; DEL VALLE, H. F.; SERAFINI, C. y GALLARDO LANCHO, J. F. *Aplicaciones de la teledetección en la estimación de las emisiones de CO2 a quemadas 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, 255-272p. 2009.
- SIONE, W.F.; ACEÑOLAZA, P. G.; ZAMBONI, L. P.; DEL VALLE, H. F.; SERAFINI, C. y 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, p.1-16. CD-ROM. 2008.
- SMITH, G. F.; O'DONOGHUE, P.; O'HORA, K. y DELANEY, E. *Best practice guidance for habitat Survey and Mapping*. Ireland: The Heritage Council, 342 pp. 2011.
- UNESCO. *International Classification and Mapping of Vegetation*. Paris: UNESCO, 70 pp. 1973.