

CARACTERIZACIÓN DE INCENDIOS A TRAVÉS DE IMÁGENES SATELITALES DE MEDIANA Y ALTA RESOLUCIÓN EN LA RESERVA DE RECURSOS MANEJADOS SAN RAFAEL Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO, REGIÓN ORIENTAL, PARAGUAY¹

Sonia Elsa Rocio Delphin Perez ²

Jorge Pinazzo ³

Hugo Huespe Fatecha ⁴

Stella Mary Amarilla ⁵

ABSTRACT

The main objective of the work had to characterize the fires occurrence using two types of satellites images: the Landsat images and the Modis images of high and medium spatial resolution respectively. The study was realized during the months: june to december of the period 2002-2004. The quantity of fire occurrence presented a significant increase, the total registered during the period 2002-2004 was 415 hot spots corresponding 80 hot spots to the year 2002, 156 to the year 2003 and 179 to the year 2004. The areas of burned zones totalized 33.575,49 ha corresponding the 42%, that means, the 14.391,72 ha to the year 2004, getting this last year the most significant period. The earth cover and use most affected were the natural grassland and the agricultural areas with 20.189,7 ha and 11.200,6 ha respectively. A map that shows the sequential development of the fire occurrence during the analyzed period reveals the final result of the study. In a particular zone and in a specific period of time the fires could be characterize qualitatively and quantitatively using medium and high resolution satellite images.

RESUMEN

El objetivo principal del trabajo fue caracterizar los incendios y quemados por medio dos tipos de imágenes satelitales: las imágenes Landsat y Modis, de alta y mediana resolución espacial, respectivamente. El estudio abarcó los meses de junio a diciembre del periodo 2002-2004. El número de ocurrencia de incendios presentó un incremento significativo, y el total registrado durante el periodo 2002-2004 fue de 415 incendios, de los cuales 80 correspondieron al año 2002, 156 al 2003 y 179 al 2004. Las superficies quemadas totalizaron 33.575,5 ha de las cuales 14.391,7 ha (42%) correspondieron al año 2004 convirtiéndose el mismo en el periodo más significativo. Las coberturas y usos de la tierra más afectados fueron los pastizales y las áreas agrícolas con un total de 20.189,7 ha y 11.200,6 ha respectivamente. El resultado final del trabajo está representado por un mapa que muestra el desarrollo secuencial de los incendios durante el periodo analizado. Los incendios pueden caracterizarse cualitativa y cuantitativamente a través de las imágenes satelitales de mediana y alta resolución en una determinada zona y en un cierto periodo de estudio.

Key words: Forest fire, remote sensing, Landsat images, Modis images, San Rafael Reserve of Managed Resources

Palabras clave: Incendio forestal, sensores remotos, imágenes Landsat, imágenes Modis, Reserva de Recursos Manejados San Rafael

1 Trabajo de investigación realizado como parte de Tesis para optar por el título de Ingeniero Forestal, FCA-UNA.

2 Ing. Forestal, egresada de la Carrera de Ingeniería Forestal, FCA-UNA.

3 Prof. Ing. For. (M. Sc.), Docente investigador a tiempo completo, Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, CIF-FCA-UNA.

4 Ing. Agr. Hugo Huespe, Consultor Ambiental y Forestal, ex Director de la Carrera de Ingeniería Forestal, FCA-UNA

5 Prof. Ing. For. (M. Sc.), Docente investigadora a tiempo completo, Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, CIF-FCA-UNA.

INTRODUCCIÓN

Los incendios constituyen una de las principales amenazas para los bosques, ya que producen una serie de efectos negativos. Fors (1967) hace referencia a la pérdida de la biodiversidad y de especies forestales de gran valor genético o en peligro de extinción, la destrucción de semillas de alto potencial reproductivo, la destrucción de los componentes del suelo forestal, como las hojas secas y el humus, migración de la fauna silvestre por pérdida de hábitat. Belward & Valenzuela (1991) mencionan que la biomasa quemada produce el aumento de la concentración del CO₂ atmosférico y por consecuencia ocurren cambios en el equilibrio de la temperatura de la tierra.

Los estudios de teledetección son cada vez más utilizados en todas las disciplinas; las cuestiones climatológicas, ecológicas y medioambientales son actualmente apoyadas por estudios efectuados con datos de satélite. El estudio de los incendios no escapa a esta nueva tecnología debido a que los mismos pueden ser observados claramente desde las alturas de la órbita terrestre por un sensor orbital que puede detectar el calor de los incendios a través del humo y las emisiones infrarrojas emitidas por las propias llamas.

Zerda (2003) se refiere a este mismo punto destacando que mediante los programas informáticos de procesamiento de imágenes pueden realizarse las denominadas combinaciones de color, producto de seleccionar dos o tres bandas espectrales del total que provee cada sensor remoto y combinarlas de diversas formas para incrementar la percepción de objetos, áreas calcinadas u otros fenómenos.

Según los resultados de la Evaluación Ecológica Rápida (EER) llevada a cabo en el año 2003, la Reserva de Recursos Manejados San Rafael (RRMSR) contiene una masa compacta de bosque de la Ecorregión del Bosque Atlántico Alto Paraná (BAAPA) que posee una gran diversidad biológica; de ahí la importancia de su conservación a través de un adecuado manejo que debe incluir también aspectos relacionados a incendios forestales y quemas ya que estos constituyen un problema de significativa importancia para la zona.

La hipótesis planteada en la investigación fue que los incendios pueden caracterizarse cualitativa y cuantitativamente a través de imágenes satelitales de mediana y alta resolución espacial.

El objetivo general del presente trabajo fue por tanto, caracterizar la localización geográfica y la ocurrencia multitemporal de los incendios a través de imágenes de mediana y alta resolución espacial en la RRMSR y su zona de amortiguamiento. Además se pretendió identificar los períodos y zonas de mayor ocurrencia de incendios, determinar los tipos de coberturas y usos de la

tierra más afectados por las quemas producidas en la zona y comparar las imágenes satelitales Landsat y Modis por medio de la determinación de sus ventajas y desventajas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

- Imágenes LANDSAT de los años 2000-2004. Fechas: 07/09/00, 01/08/01, 08/01/02, 03/05/03, 19/11/03, 23/02/04, 23/11/04,
- Imágenes MODIS de los años 2002-2004. Fechas: 14/05/02, 28/06/02, 14/07/02, 31/08/02, 26/09/02, 7/10/02, 26/11/02, 28/12/02, 29/01/03, 10/05/03, 22/06/03, 18/07/03, 19/08/03, 22/09/03, 28/10/03, 20/11/03, 6/12/03, 16/01/04, 10/05/04, 20/06/04, 31/07/04, 30/08/04, 17/09/04, 28/10/04, 22/11/04, 31/12/04
- Ortofotos digitales año 1994,
- Programas (Erdas Imagine 8.5, Arcview 3.2, Microsoft Word y Excel)

Lugar de realización del estudio

El estudio fue realizado en la Reserva de Recursos Manejados San Rafael y su zona de amortiguamiento, ubicada en la Región Oriental del país, más específicamente al sur del Departamento de Caazapá y al norte del Departamento de Itapúa, abarcando los distritos de Tavaí, San Juan Nepomuceno, Yuty, San Rafael del Paraná, Tomás Romero Pereira, Edelira, Itapúa Poty, Alto Verá y San Pedro del Paraná. El área de estudio abarca una superficie total de 410.577,3 ha, de las cuales 73.000 ha corresponden a la RRMSR y 337.577,3 ha a la zona de amortiguamiento.

Período de estudio

Abarca los meses de junio a diciembre de los años 2002-2004. Fueron considerados sólo estos meses debido a que corresponden a la época seca de la zona y por lo tanto, la misma presenta una mayor predisposición para la ocurrencia de incendios.

Método

a) Corrección geométrica de imágenes satelitales: fue realizada por medio de la herramienta *Geometric correction* del programa Erdas Imagine 8.5, a fin de que en el análisis multitemporal todas las imágenes al ser superpuestas coincidan perfectamente en todos los puntos como menciona Chuvieco (1995).

b) Interpretación de las imágenes: para la identificación de las superficies quemadas; primeramente fue llevada a cabo la visualización de la imagen completa para detectar probables áreas de incendios y quemas. Este método es recomendado por varios autores como: Browne et al. (2002), Adamoli et al. (1982) y Costa et al. (1990).

Fueron utilizadas las imágenes Modis debido a su gran capacidad para discriminar áreas quemadas y su alta resolución temporal como menciona Resnikowski (2004). Para la confirmación de las superficies afectadas fueron realizados diferentes procedimientos digitales como: el análisis multitemporal mediante la comparación de imágenes actuales con imágenes anteriores para identificar los cambios producidos en la zona a causa de los incendios; análisis espectral para determinar el comportamiento radiométrico de las coberturas en diferentes bandas; la superposición con imágenes Landsat y ortofotos apoyados de informaciones de curvas de nivel e hidrografía.

En el caso de las imágenes Modis la combinación de bandas que mejor resultó para la identificación de incendios fue la 721 (RGB) en la cual la banda 7 corresponde al infrarrojo medio, la 2 al infrarrojo cercano y la 1 al visible. La banda 2 es especialmente sensible a la hora de discriminar áreas quemadas de otros tipos de coberturas que se encuentran en la superficie terrestre. Generalmente el agua posee similitudes espectrales bastante elevadas con espacios recientemente quemados, pero la banda 7 del Modis permitió realizar esta diferenciación.

Con relación a las imágenes Landsat la combinación de bandas que mejor resultó para la discriminación de los incendios fue la banda 654 (RGB), en donde la banda 6 corresponde a la termal, la 5 al infrarrojo medio y la 4 al infrarrojo cercano. En esta combinación de bandas las coberturas que presentan temperaturas elevadas se destacan en color rojo debido a la utilización de la banda termal. También permite realizar la diferenciación del agua y los incendios.

Esta interpretación de imágenes fue realizada por medio de la extensión *Image Analysis* del programa Arcview 3.2.

c) Mapeo de superficies o cicatrices quemadas: se realizó la digitalización de las superficies quemadas por medio de *Seed Tool* de *Image Analysis*, que realiza una digitalización automática de las áreas de interés.

d) Cuantificación de las superficies quemadas: la cuantificación de las superficies quemadas fue realizada por medio de la herramienta *Measurement Tool* del programa Erdas.

e) Impresión de mapas secuenciales: los resultados del análisis multitemporal además permitieron determinar los distintos comportamientos en la zona por periodo en cuanto a la ocurrencia de incendios. Fueron reflejados en mapas temáticos que señalan el desarrollo secuencial de los incendios durante el periodo de estudio.

f) Comparación de las imágenes Landsat y Modis: se realizó la comparación entre los tipos de imágenes satelitales utilizados en esta investigación determinando las ventajas y desventajas de dichas imágenes para la

caracterización de incendios en el área de estudio. Para el efecto fueron considerados los siguientes parámetros: la resolución espacial, la resolución temporal y la resolución espectral en ambas imágenes, la disponibilidad de las imágenes, el área de cobertura, la presencia de nubes y el costo de adquisición de las mismas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis del número de ocurrencia de incendios y quemas

En la Tabla 1 se pueden apreciar los datos correspondientes al número de incendios y quemas en la zona de estudio, el mismo presenta los totales por mes y año registrados durante el periodo de estudio.

Tabla 1. Número de ocurrencia de incendios y quemas durante el periodo de estudio.

Años	Meses							Total/año	% TOTAL*
	J	J	A	S	O	N	D		
2002	8	15	12	7	9	20	9	80	19,3
2003	28	17	23	27	21	23	17	156	37,6
2004	21	24	31	43	14	32	14	179	43,1
Total/mes	57	56	66	77	44	75	40	415	100

* % con relación al número total de incendios y quemas registrados durante los 3 años

Durante el periodo de estudio se registraron 415 incendios y quemas, la mayoría correspondiente al año 2004. En el año 2002 se registraron 80 incendios y quemas, sin embargo en el siguiente año los mismos incrementaron su valor prácticamente al doble totalizando 156 y en el año 2004 el número total asciende a 179, constituyéndose este último en el año con mayor ocurrencia de incendios y quemas cuyo valor representa el 43,1% del total de los 3 años. Se puede notar que a partir del año 2003 las quemas e incendios aumentaron considerablemente, por lo tanto la tendencia de ocurrencia es ascendente. Considerando los valores totales por mes durante los 3 años que abarca el estudio se puede mencionar que los meses de mayor ocurrencia resultaron ser setiembre (77), noviembre (75) y agosto (66).

Análisis de las superficies quemadas

Las superficies quemadas durante el periodo de estudio totalizaron 33.575,5 ha. En el año 2002 las superficies quemadas totalizaron 6.670,1 ha representando apenas el 19,9% del total de la superficie quemada durante los 3 periodos, sin embargo en el año 2003 se produjo un incremento considerable y el valor pasó a 12.513,7 ha representando el 37,2% de la totalidad y el año 2004, que fue el periodo en el que se registraron mayores superficies quemadas que alcanzaron 14.391,7 ha, constituyendo este valor el 42,9% del valor total (Figura 1).

Teniendo en cuenta la totalidad de los incendios y quemas durante los años 2002-2004, los meses que presentan mayores superficies quemadas son agosto, noviembre y setiembre. Estos meses también fueron los que

presentaron mayor número de incendios registrados (Figura 2).

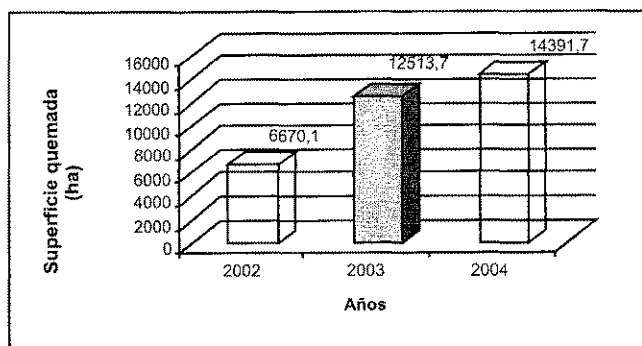


Figura 1. Total de superficies quemadas por año.

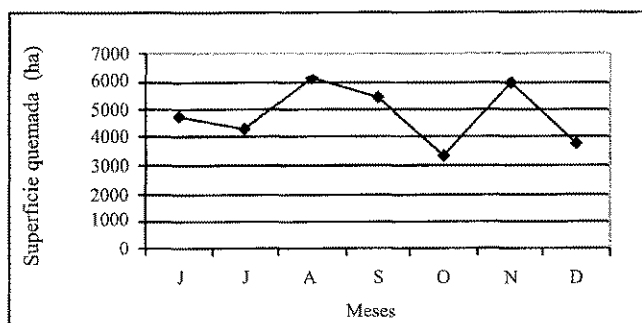


Figura 2. Superficies quemadas considerando los valores totales por mes (2002-2004)

Cabe destacar que existen varios incendios que son recurrentes, por lo tanto no todos pueden considerarse como «nuevos incendios». En la Tabla 2 se presentan los valores totales por año sin considerar las superficies de los incendios y quemas que se repiten año tras año. Considerando los incendios recurrentes se puede notar que, a pesar de esto, el año 2004 fue el periodo con mayores superficies quemadas.

Tabla 2. Superficie de incendios recurrentes

PERIODO	Superficie quemada	Superficie de incendios recurrentes	%	Nuevas superficies quemadas
2002	6,670.1	0	0	6,670.1
2002-2003	12,513.7	1,599.8	12.8	10,913.9
2002-2004	14,391.7	2,754.3	19.1	11,637.4

(ha)

Análisis de superficies quemadas considerando tipos de coberturas y usos de la tierra

En la Figura 3 se puede notar que los pastizales constituyeron ampliamente la cobertura más afectada durante el periodo 2002-2004 totalizando una superficie de 20,189.7 ha que corresponde al 60,1% de la superficie total quemada. En segundo lugar se encuentran las áreas agrícolas con una superficie de 11,200.6 ha que corresponde a un 33,4%, seguidas de las pasturas con 1,559 ha representando el 4,6%. Con relación a los bosques,

resultaron los menos afectados por los incendios, contrariamente a lo que se cree, totalizaron 626,1 ha quemadas, es decir, sólo el 1,9% del total.

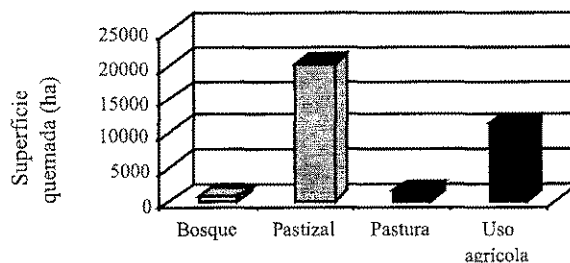


Figura 3. Superficie afectada según coberturas y usos de la tierra

Como resultado del análisis de las superficies quemadas, en el año 2002 los pastizales fueron los más afectados, al igual que en los demás años del periodo. En el año 2003, los bosques y las pasturas obtuvieron mayores superficies quemadas con relación a los años 2002 y 2004, totalizaron 444,6 ha y 739,4 ha, respectivamente. Con relación a las áreas agrícolas, alcanzaron el mayor valor de superficie quemada en el año 2004 donde totalizaron 5,332,5 ha, esto es comparado con los años 2002 y 2003.

Desarrollo secuencial de los incendios y quemas

El desarrollo secuencial de los incendios durante el periodo 2002-2004 fue el resultado del análisis multitemporal realizado con las imágenes Modis; el mismo puede observarse en el mapa de secuencia de ocurrencia de incendios y quemas, periodo 2002-2004 en la Figura 4. Se obtuvieron mapas correspondientes a cada año que abarca el estudio, en los que también se determinan la zonas de mayor ocurrencia de incendios y quemas para cada año.

En el año 2002 fueron identificadas tres zonas de mayor ocurrencia o puntos críticos; en la primera, ubicada en el sector este en la zona de amortiguamiento, la constante ocurrencia de incendios y quemas podría deberse a que en esa zona se encuentra un asentamiento campesino cuya actividad principal es la agricultura, sobre todo, cultivos de soja. Por lo tanto, como la quema constituye el método más económico para la preparación del terreno, es muy utilizado en esa zona.

En la segunda zona, ubicada en el sector suroeste de la RRMSR, la causa de los incendios podría ser la preparación del terreno para cultivos de arroz y soja. Con respecto a la tercera zona ubicada en el sector suroeste, en la zona de amortiguamiento las causas podrían ser: la renovación de campos naturales para alimento del ganado y la expansión de las áreas agrícolas.

En el año 2003 se observaron cuatro puntos críticos: el primero ubicado en la parte noroeste en la zona de amortiguamiento cuya causa principal podría ser la preparación de terrenos para cultivos agrícolas. La segunda, ubicada en la parte este de la zona de amortiguamiento,

corresponde a la misma registrada en el año 2002, donde se encuentra ubicado el asentamiento campesino. Con respecto a los puntos críticos número tres y cuatro ubicados en el sector sur de la RRMSR y suroeste de la zona de amortiguamiento respectivamente, son los mismos identificados en el año 2002.

Con relación al año 2004, fueron identificados tres puntos críticos, correspondientes al sector noroeste de la

zona de amortiguamiento, la parte suroeste de la RRMSR y de la zona de amortiguamiento al igual que en el año 2003.

Los puntos críticos que se repiten durante los tres periodos son: el sector suroeste de la RRMSR y el correspondiente a la zona de amortiguamiento, este último punto sufrió un considerable aumento de ocurrencia de incendios, sobre todo a partir del año 2003.

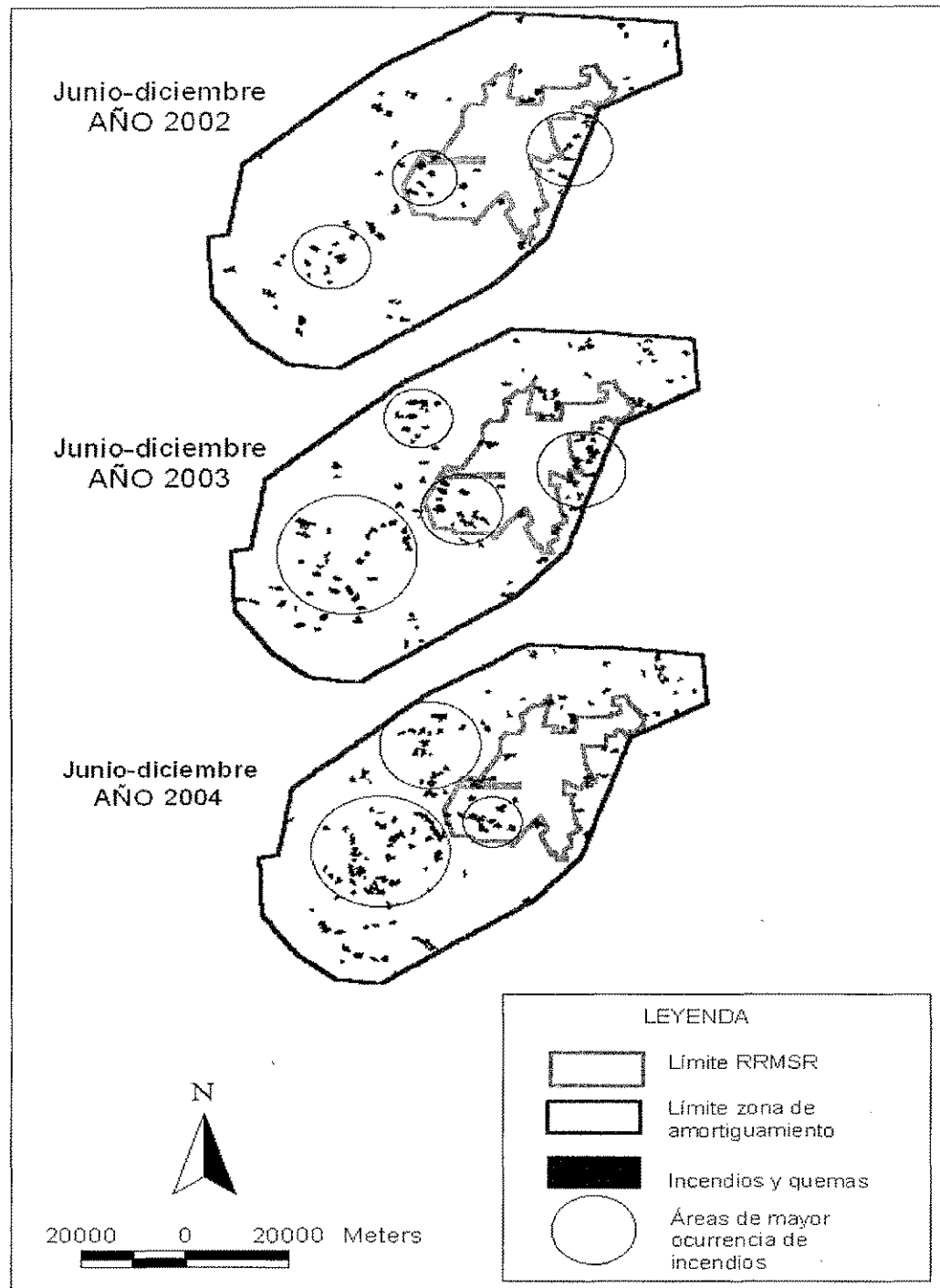


Figura 4. Mapa de la secuencia de los incendios y quemas correspondiente al periodo 2002-2004

Comparación de las imágenes Landsat y Modis

En la Tabla 3 se encuentra un resumen de las ventajas y desventajas de las imágenes Landsat y Modis con relación a su aplicación en estudios de incendios. El resultado de la comparación de ambos tipos de imágenes arrojó aspectos positivos y negativos para las dos. Lo ideal sería complementar las imágenes Modis con las imágenes

Landsat porque si bien las primeras están más capacitadas para discriminar áreas quemadas debido a sus bandas espectrales, las Landsat como poseen una resolución espacial alta, deberían ser utilizadas para determinar el tipo de vegetación afectada por los incendios o quemas para lo cual deben superponerse a las imágenes Modis y además para realizar la digitalización por medio de polígonos la zona afectada y por consiguiente la cuantificación arrojaría resultados más precisos.

Tabla 3. Determinación de las ventajas y desventajas de las imágenes Landsat y Modis

Criterios	Landsat		Modis	
	Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
1. Resolución espacial	✓			✓
2. Resolución temporal		✓	✓	
3. Resolución espectral	✓		✓	
4. Disponibilidad		✓	✓	
5. Área de cobertura		✓	✓	
6. Presencia de nubes		✓		✓
7. Costo		✓	✓	

CONCLUSIONES

Los sensores remotos constituyen una alternativa válida y prometedora para la caracterización de los incendios y su utilización para esta finalidad ha crecido considerablemente en los últimos años en la mayoría de los países.

El número de ocurrencia de incendios y quemas presenta un incremento significativo en el periodo de estudio, especialmente a partir del año 2003. El año 2002 registra 80 incendios, el año 2003 registra 156 incendios y 179 incendios en el año 2004, este último año se convierte en el periodo de mayor ocurrencia de incendios y quemas. Las superficies quemadas presentan un comportamiento similar al del número de ocurrencia, es decir, se produce un aumento significativo sobre todo a partir del año 2003. Las superficies afectadas totalizan 33.575,49 ha de las cuales el 19,8% (6.670,1 ha) corresponden al año 2002, el 37,2% (12.513,7 ha) al 2003 y el 42,8% (14.391,7 ha) al 2004. El mes de agosto registra el mayor valor de superficies quemadas considerando los tres años, sin embargo el mayor número de ocurrencia corresponde al mes de setiembre.

Al analizar las coberturas y usos de la tierra afectados por los incendios y quemas, los pastizales totalizan 20.189,7 ha, seguidos de las áreas agrícolas con 11.200,6 ha afectadas y las pasturas con 1.559 ha. Resulta importante destacar que los bosques ocupan el último lugar representando sólo el 1,9 % del total de superficie quemada.

La comparación de imágenes realizada permite contar con información sobre las ventajas y desventajas de ambas para estudios relacionados a incendios y quemas. La hipótesis planteada en la investigación se acepta, es decir los incendios en la RRMSR y su zona de amortiguamiento pueden caracterizarse cualitativa y

cuantitativamente por medio de imágenes satelitales de mediana y alta resolución espacial.

LITERATURA CITADA

- ADAMOLI, J.; FUKUHARA, M.; DA SILVA, J. 1982. Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto no estudo de queimas em pastagens nativas da Região dos Cerrados. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DO SENSORIAMENTO REMOTO (2, 1982, Brasília, BR.). Anais. São José dos Campos, SP: Gráfica INPE. p. 811-820.
- BELWARD, A.; VALENZUELA, C. 1991. Remote Sensing and Geographical Information Systems for Resources Management in Developing Countries. Dordrecht, HO: Kluwer Academic Publishers. 506 p.
- BROWNE, D.; CARBONELL, M.; KEMPKA, D. (Ed.). 2002. Meeting of the Upper Paraguay River Basin GIS Database Pilot Project I: Presentation and Discussion of the Draft Final Report. Memphis, US: Ducks Unlimited, Inc. 106 p.
- CHUVIECO, E. 1995. Fundamentos de teledetección espacial. 2ª ed. Madrid, ES: Rialp. 453 p.
- COSTA, M. da; AMARAL, S.; ZERBINI, N.; SETZER, A. 1990. Estimativa da área total de queimada no Parque Nacional das Emas com o uso de imagens da banda 3 do AVHRR: Comparação com estimativas do TM-Landsat. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DO SENSORIAMENTO REMOTO (6, 1990, Manaus, BR.). Anais. São José dos Campos, SP: Gráfica INPE. p. 302-306.
- FORS Y REYES, A. 1967. Manual de Silvicultura. 4ª ed. La Habana, CU: Instituto Nacional de Desarrollo y Aprovechamiento Forestales. 251 p.
- RESNIKOWSKI, H. 2004. Dinámica de cambios en el paisaje del Parque Nacional Otuquis por quemas, variaciones de la biomasa, fluctuaciones en las superficies de inundación y caminos entre 1988, 1997, 1998 y 1999: Proyecto Trinacional-SIG Piloto Pantanal (en línea). Santa Cruz, BO. Consultado 18 setiembre 2004. Disponible en <http://mob.conae.gov.ar/redlatif/T046.pdf>
- SEAM (Secretaría del Ambiente, PY). 2003. Evaluación Ecológica Rápida Reserva San Rafael. Asunción, PY. 83 p.
- ZERDA, H. 2003. Percepción remota y SIG para el estudio del fuego. In: KUNST, C.; BRAVO, S.; PANIGATTI, J. (Ed.). Fuego en los ecosistemas argentinos. Santiago del Estero, AR: INTA. p. 315-326