

EL TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES SATELITALES PARA LA GESTIÓN DE LA FORESTACIÓN EN ÁREAS DE RIESGO DE INCENDIO

Licenciada Virginia Fernández

INTRODUCCIÓN

El estudio de los incendios forestales puede ser encarado por diversas disciplinas y desde diferentes ángulos. Pero sin duda se trata de "un fenómeno verdaderamente geográfico, puesto que sus causas están ligadas a factores eminentemente territoriales y sus efectos tienen una clara incidencia en el paisaje" (Salas-Chuvienco, 1994). Este motivo junto al interés por el conocimiento de nuevas tecnologías aplicables al análisis espacial hizo considerar oportuno encarar el tema en el ámbito del Laboratorio de Técnicas Aplicadas al Análisis Territorial del Departamento de Geografía de la Facultad de Ciencias.

En Uruguay el mayor porcentaje de incendios forestales tiene lugar en zonas costeras, las cuales tienen gran valorización por su uso turístico y/o urbano. Si bien aquí no hay grandes áreas con explotaciones forestales de producción, la misma puede ser estudiada para en trabajos sucesivos extrapolar la experiencia, y mejorar sus resultados.

El clima del área de estudio, localizada en el sureste del país, es subtropical húmedo con verano cálido. La humedad relativa suele ser alta y las precipitaciones y las evapotranspiraciones intensas, con variaciones estacionales bien acusadas. Esta zona se caracteriza porque promedialmente las lluvias están entre los 900 a 1000 mm. anuales, cifras un poco menores que el promedio nacional que asciende a los 1070 mm.. Mientras tanto, la temperatura media anual ronda los 16 a 17° C. situándose la media del país en los 17° 5' C.

En cuanto a las horas de sol, los días más largos tienen 14 horas 4 minutos mientras que los más cortos llegan a las 10 horas 12 minutos. Mientras tanto los vientos predominantes son del sector Este y Noreste con una velocidad promedio de 25 Km./h.. En cambio los vientos persistentes fuertes y moderados provienen del sector Sur. Por otro lado, esta región está sometida al régimen de variación diurna de vientos, motivados por el calentamiento diferencial de las masas de aire por irradiación de superficie continental y acuática.

Si bien esta es la zona más templada del país, sin grandes contrastes de temperatura, hay algunos datos a considerar. La existencia de máximas absolutas por encima de 30°C, la presencia casi permanente de vientos y una evapotranspiración intensa, pueden contribuir al peligro de incendio.

El relieve del área es muy heterogéneo mostrando desde formas escarpadas a planicies y formas relacionadas a la dinámica costera. En rasgos generales se identifican tres cuencas mayores; al Oeste de la Laguna del Sauce, en el centro la tributaria del Arroyo Maldonado y hacia el Este la que corresponde a la Laguna José Ignacio; éstas están separadas por la Sierra de la Ballena y la Cuchilla de Maldonado, ambas con una orientación general Norte – Sur.

La vegetación de la zona está constituida básicamente por elementos exógenos y mínimamente por elementos autóctonos: pradera, monte serrano, monte psamófilo y vegetación de bañado; sin embargo algunos de los primeros como es el caso de los pinares ya conforman parte de un paisaje apreciado desde el punto de vista escénico y como identificador del mismo. También tiene gran desarrollo las zonas forestadas con eucaliptos y las áreas donde ha invadido la acacia.

En esta zona predominan los bosques de recreo son los de más alto riesgo considerando su uso, falta de limpieza de la hojarasca y control. En el caso específico de la región Maldonado – Punta del Este allí se encuentran varios factores que son dignos de analizar; a modo de ejemplo se pueden citar: un espacio forestado con diversas especies exóticas como el Arboreto Lussich, construcciones de viviendas suntuosas en entornos densamente arbolados, la existencia de zonas de camping, etc.

METODOLOGÍA

Se utilizaron procedimientos ya desarrollados por Chuvienco y Castro publicados en el artículo "Clasificación digital de combustibles forestales a partir de imágenes de alta resolución y modelos digitales del terreno" en la revista SELPER número 10 en (1995) y adaptándolos a las características específicas del territorio en consideración.

Procesamiento de datos topográficos

Se trabajó sobre las curvas de nivel vectorizadas a partir de cartas 1:50.000 con una equivalencia de 10 metros. Estas fueron transformadas a matrices raster a través de Arcinfo adoptando las celdas el valor de las curvas o 0 (cero). Luego fueron importadas en IDRISI bajo formato de imágenes ERDAS y se realizó una interpolación lineal; a partir de allí se obtuvo un Modelo Digital de Terreno, comienzo para realizar el análisis de pendientes y el de orientación de la ladera. Es necesario aclarar que dado las dificultades y errores que se visualizaban al tratar la matriz entera, fue necesario dividirla en tramos (se hizo a partir del principal curso de agua y espejos de agua que se encuentran en el área) para hacer el tratamiento digital por sectores menores. Las matrices para estas tareas fueron hechas de 50 x 50 m, y al MDT inicial se le aplicó un filtro de 5 x 5 para suavizar la superficie de un modelo demasiado anguloso.

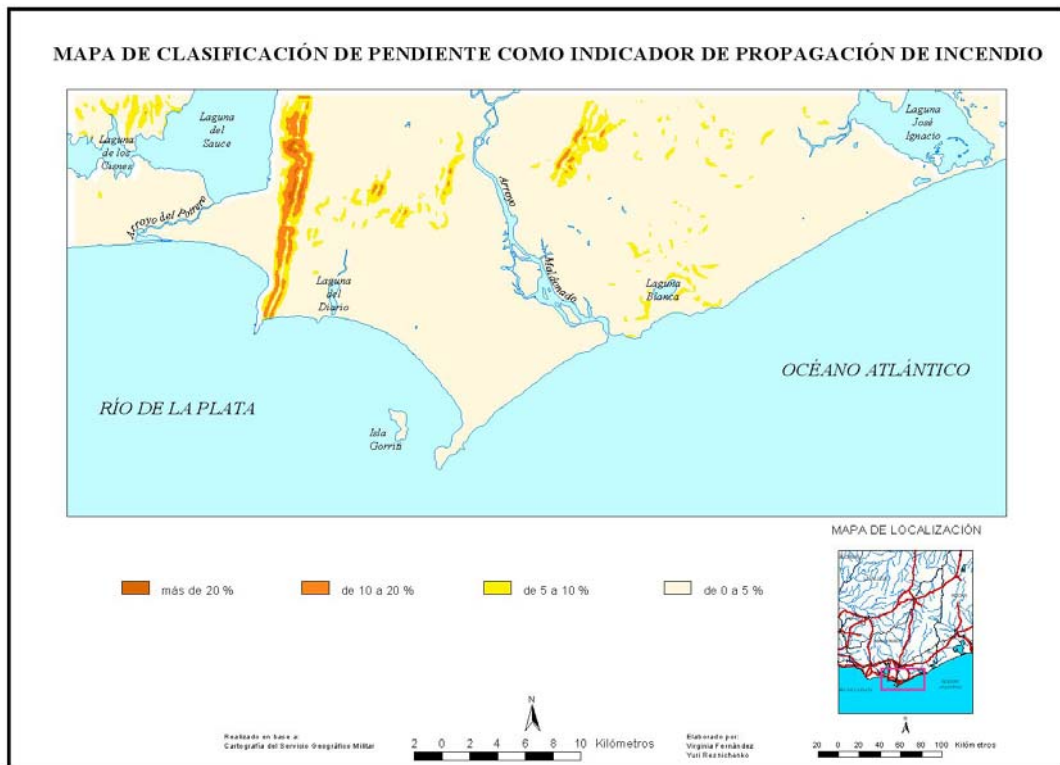
En lo relativo al análisis de pendientes se calcularon las pendientes en porcentaje; después se reclasificaron los valores atendiendo a que la topografía del Uruguay es de pendientes muy suaves, aunque en esta zona precisamente aparecen algunas muy abruptas (Ver mapa N° 1). La clasificación fue la siguiente:

Valor en %	Valor asignado
Agua	0
Menor 5	1
De 5 a 10	2
De 10 a 20	3
Mayor a 20	4

Posteriormente se volvió al MDT para obtener cartografía de orientación de ladera; las direcciones se designaron por convención con el acimut medido en grados y en el sentido de las agujas del reloj, partiendo desde el norte. De esta manera se obtuvo una matriz con datos sobre la orientación exposición de la ladera, relacionada directamente con las horas de luz solar que recibe (Ver mapa N° 2). Se realizó una reclasificación, asignando los siguientes valores:

Valor en grados	Valor asignado	Correspondencia
	-	0
		Agua
-	1	Plano
135 a 225	2	Hacia el sur
45 a 135	3	Hacia el este
225 a 315	4	Hacia el oeste
315 a 45	5	Hacia el norte

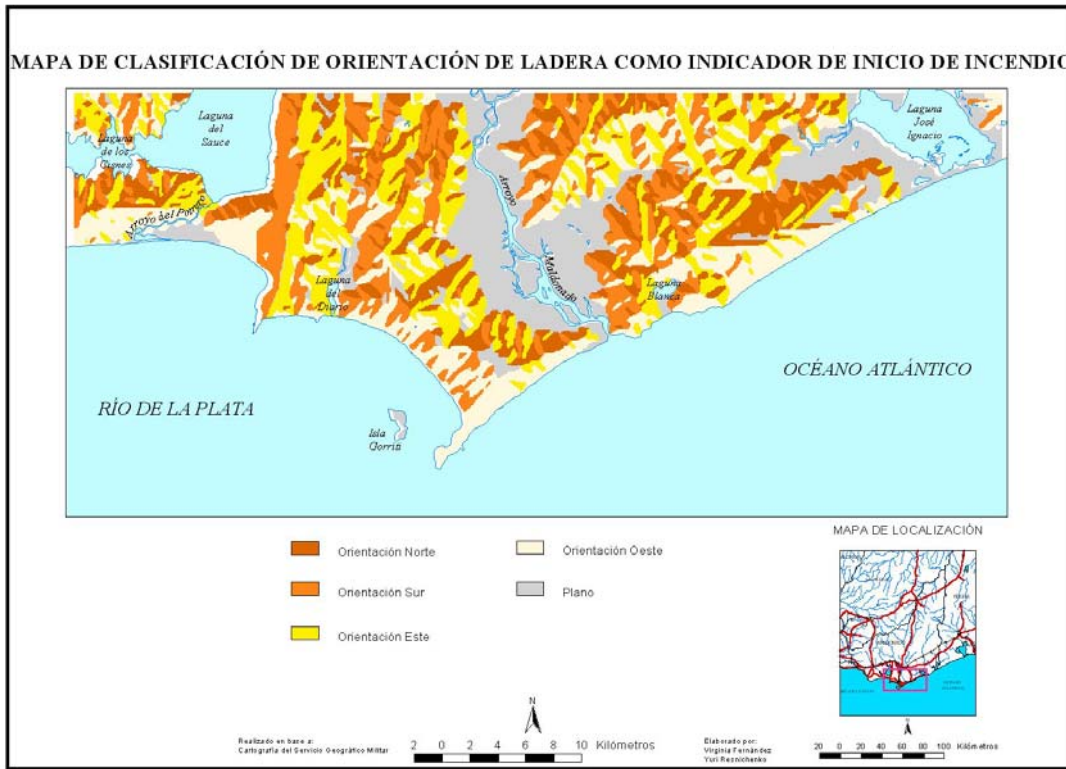
Mapa N°1



Tratamiento digital de la imagen satelital

Primeramente se hizo una corrección geométrica, seleccionando 20 puntos de distribución homogénea en la imagen; a continuación se utilizaron 19 de ellos admitiendo un error medio cuadrático (RMS) de 8.116614 m. Previamente se había realizado la transposición de la imagen y corrección a través de un archivo de correspondencia entre los puntos referidos en fila, columna y las coordenadas cartográficas x, y (Proyección Gauss – Meridiano de contacto 62°). A continuación se creó una subimagen que contenía 1333 columnas y 667 filas con un tamaño de pixel de 30 metros.

Mapa 2



Seguidamente se analizó el histograma de cada una de ellas y se realizaron diversos ajuste de contraste. Observando los resultados fue elegido el contraste de tipo lineal; éste ajusta el contraste de la imagen al permitido por el equipo de visualización. Los valores de nivel digital que se redistribuyeron fueron:

Número de banda	Niveles digitales
1	De 40 a 60
2	De 15 a 30
3	De 12 a 37
4	De 40 a 72
5	De 75 a 105

Se aplicaron clasificaciones supervisadas y no supervisadas mediante diferentes métodos. Sin embargo el resultado de este tratamiento fue muy magro en cuanto a la posibilidad que ofrecía de identificación de áreas con diferentes especies arbóreas o en fases de crecimiento distintas.

Frente a esta situación y ante buenos resultados visuales de la imagen falso color en cuanto a la definición de áreas arboladas de diferente densidad y con otros usos del territorio, y teniendo en cuenta que:

- en el área las especies predominantes (Pinos y eucaliptos) se encuentran formando una composición mixta
- en la bibliografía consultada no aparecieron diferencias entre la combustibilidad de una y otra especie

Se optó por una identificación visual apoyada en la corroboración mediante fotografía aérea y las salidas a terreno.

Desde el punto de vista del incendio más que las especies concretas resulta crítico conocer la disposición y asociación entre comunidades, según los estudios realizados por Anderson (1982) y Burgan, y Rothemel (1984) y citados por Chuvieco (1994), lo que implica conocer la cantidad disponible de combustible para la ignición, su densidad, compactación, inflamabilidad, etc. determinantes de su comportamiento al fuego y posibilidad de ignición.

En el proyecto de investigación "Diagnóstico de los ecosistemas de bosques costeros del Uruguay" de Sarasola, M. et al. (1999), se realiza un estudio sobre los bosques costeros donde se tuvo en cuenta la densidad de arboles y arbustos, especie, porte y cantidad de aporte de combustible superficial fino acumulado para evaluar el riesgo o peligro de incendio forestal. En él se distinguen los pinares, el

eucaliptal y el acacial con los siguientes índices de combustibilidad:

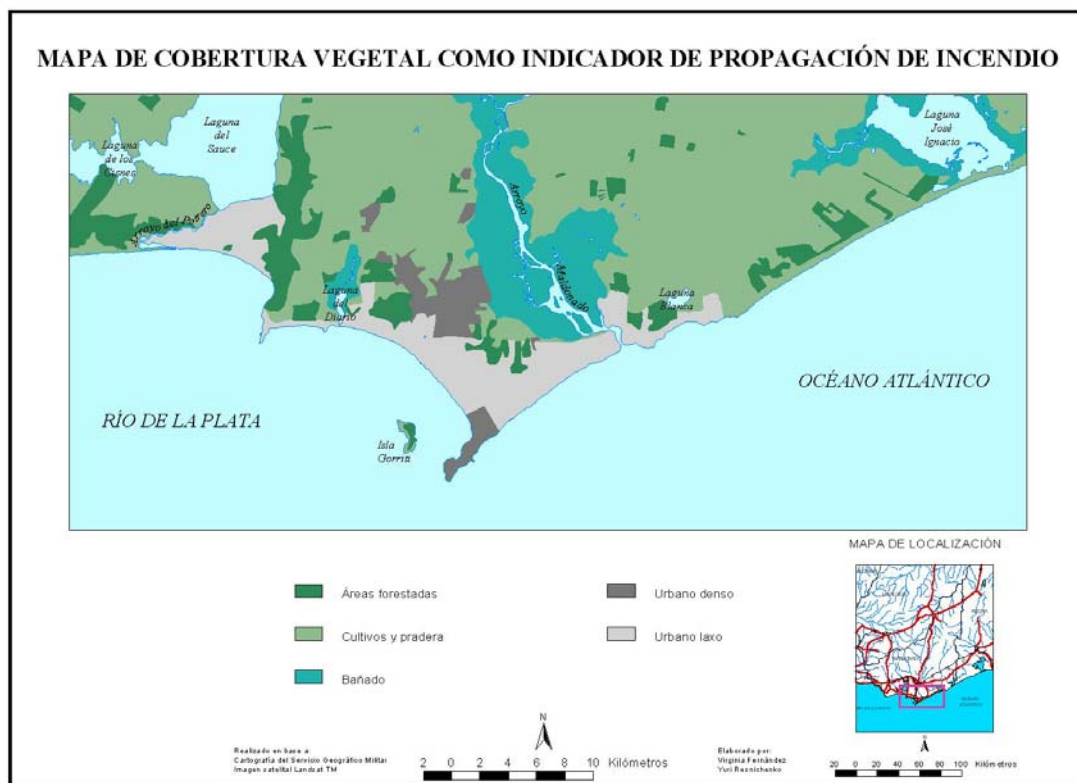
Pinares de alta densidad	10 a 23 ton/ha de combustible fino acumulado
Pinares de baja densidad	5 a 21 ton/ha de combustible fino acumulado
Acaciales	7 ton/ha de combustible fino acumulado
Eucaliptales	16 ton/ha de combustible fino acumulado

Considerando las posibilidades que brindaba la herramienta con la que se trabajó y los niveles de combustibilidad y densidad de los bosques se realizó la siguiente zonificación (Ver mapa N° 3):

DEFINICION DEL AREA	PESO ASIGNADO
Áreas de bosques densos, incluye matorrales altos (acaciales)	9
Áreas de cultivos y praderas, incluye chircales y matorrales muy bajos	6
Áreas de urbanización laxa con entorno muy arbolado	4
Áreas de bañados	1
Áreas densamente urbanizadas (vegetación casi inexistente)	0

Una vez definidas las zonas fueron digitalizadas, identificadas y transformadas a formato raster para su posterior integración al análisis realizando una ponderación de las coberturas vegetales que respaldado en estudios hechos referentes a los ecosistemas costeros actuales.

Mapa N° 3



Análisis del procedimiento y determinación de criterios e índices a emplear

El procedimiento integró el flujo de información proveniente del sensoramiento remoto a otras variables tanto físicas como humanas con el objetivo de realizar una cartografía que identificara las áreas críticas relacionadas a los incendios forestales. Salas y Chuvieco utilizan una metodología que combina variables asociables al peligro de inicio de incendio y variables asociables al riesgo derivado del comportamiento del fuego, considerando su propagación.

En los procesamientos realizados por Chuvieco fueron considerados los siguientes factores: especies de la vegetación arbórea, altura del terreno, pendiente, exposición de ladera y distancia a caminos y rutas. En el presente estudio algunos de estos factores fueron considerados de la misma forma, otros fueron modificados (no fueron consideradas especies sino estructura de la vegetación) y otros desechados (como el caso de la altura dado que la escasa altitud de nuestro territorio no incide en el comportamiento del fuego).

Las variables se valoraron de acuerdo a los siguientes criterios:

1. En cuanto a lo relacionado con el inicio del incendio

- Ponderación de la ladera según su orientación: se asignó un peso a las laderas acorde a las horas de insolación que influyen a su vez sobre la cantidad y humedad del elemento combustible.
- La variable relativa a la actividad antrópica se vinculó a través de la identificación de rutas, carreteras y caminos, así como lugares de camping y zonas urbanizadas. Específicamente se construyó un buffer o corredor de influencia de 150 m en torno a las vías de tránsito en el área no urbana, al límite urbano y al perímetro de las zonas de camping. El área de influencia creada y el área urbanizada fueron ponderadas con un valor mayor que el resto del área (Ver mapa N° 4).

Mapa N° 4



2. En cuanto a lo relacionado con la propagación del incendio

- 3.**
- Ponderación de la pendiente: acorde a la clasificación realizada se asignó un peso mayor a las pendientes más empinadas debido a su incidencia en la determinación de la propagación del incendio; "la inclinación del terreno hace que las llamas estén más próximas al frente de desecación, lo que aumenta la transferencia de calor, acelerando la propagación del fuego" (Chuvienco, 1995).
 - Identificación de áreas según su ocupación: fueron reconocidas dos zonas, una urbana que a su vez se subdividió en urbana densa (con vegetación casi nula) y urbana laxa (con alta presencia de forestación), y otra no urbana donde se discriminaron tres categorías (áreas forestadas, cultivos y praderas y por último bañados).

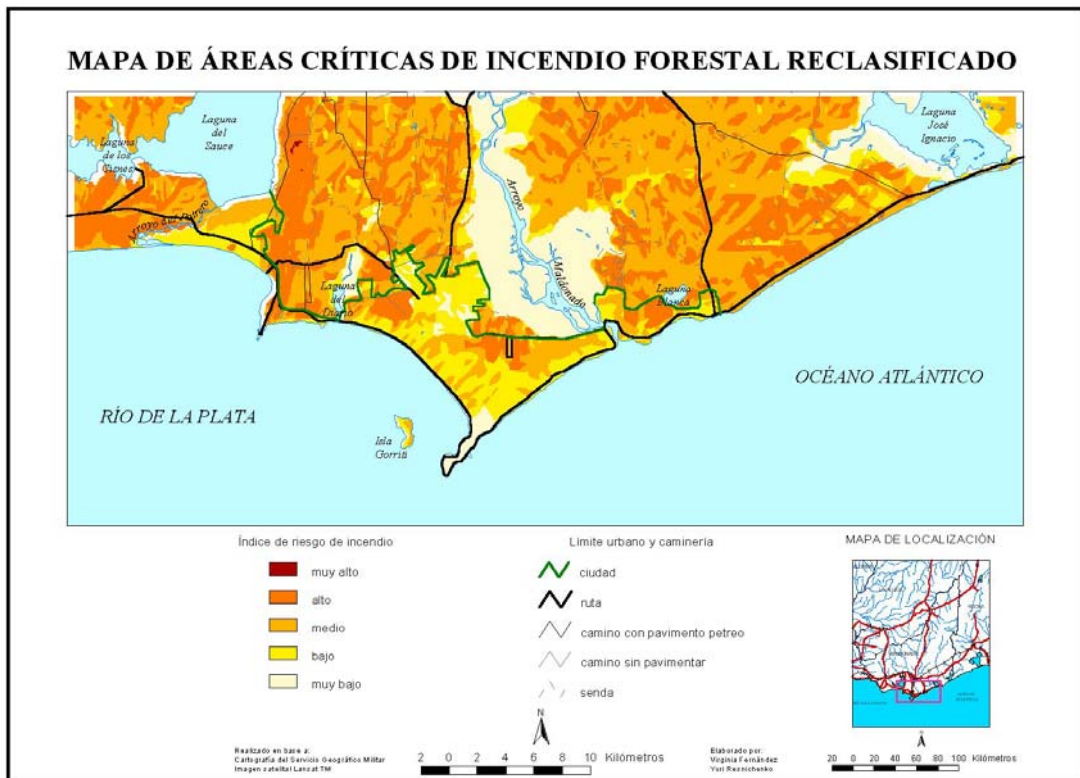
El tratamiento de estas variables dio origen a una serie de cartas temáticas (Mapa de indicadores de incendio por proximidad a actividades humanas, Mapa de clasificación de iluminación de ladera como indicador de inicio de incendio, Mapa de clasificación de pendiente como indicador de propagación de incendio y Mapa de cobertura vegetal como indicador de propagación de incendio) que fueron llevadas a formato raster para que luego de su ponderación pudieran ser superpuestas hasta llegar a una carta resumen.

RESULTADOS

Del tratamiento de las variables anteriormente citadas se obtuvo un conjunto de imágenes raster que funcionaron como matrices ponderadas que fueron sumadas para concluir en un valor total de riesgo de incendio forestal para cada pixel de 50 x 50 metros en una puntuación que varió del 1 al 19; esta información fue reclasificada en 5 categorías de riesgo: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo (Ver mapa N° 5).

Al analizar las áreas, y en especial aquellas que se localizan en zonas con indicador más elevado, surgen las siguientes puntualizaciones:

El área en su totalidad corresponde a un espacio altamente valorizado ya como espacio urbano o como lugar de actividad turística pues capta el 25% del turismo que ingresa al país y casi el 50% de las divisas generadas por ese sector de actividad. Relacionado entonces a estos aspectos se observa que las áreas que tienen una mayor densidad de ocupación de suelo urbano (densidad de viviendas) son las que menor riesgo poseen; en algún caso como en la capital departamental (Maldonado), esta situación coincide con una alta densidad de población. Lo que podría interpretarse que el riesgo de incendio no involucra directamente el peligro de vidas humanas.



Por otro lado el turismo desarrollado en la región, en especial en las últimas dos décadas ha generado una ocupación del espacio muy extendida con construcción de dimensiones considerables, de gran valor económico y con un espaciado importante entre las construcciones. Este tipo de paisaje construido va acompañado por la permanencia de una forestación exótica bastante densa que se localiza en zonas de riesgo medio y alto (por ejemplo las construcciones sobre la Sierra Ballena). Un agravante de esta situación es la alta densidad de rutas y caminos, así como la intensidad de tránsito cada vez más fuerte. Estas zonas podrían evaluarse como del alto riesgo con la posibilidad de importantes pérdidas económicas.

Otro punto de interés surge de la presencia de algunos espacios altamente valorizados como el Arboreto Lussich constituido por 2000 hectáreas con 350 especies exóticas y unas 70 autóctonas, considerada la 7ª reserva forestal en el mundo y 2ª en Sudamérica localizado también en zona de alto riesgo. Existen además otros ecosistemas que son destacables al considerar la permanencia de un paisaje variado en la zona, también de valor turístico y ecológico, como el bañado de la desembocadura del Arroyo El Potrero, el Bañado del Arroyo Maldonado, la zona de las Sierras, que deben ser protegidos de una acción agresiva del fuego sobre ellos.

CONCLUSIÓN

Mediante el empleo de esta tecnología se pudo arribar a una caracterización del área que nos lleva a hacer las siguientes apreciaciones sobre la distribución espacial del evento estudiado:

- Los bañados y las zonas densamente urbanizadas tienen los valores menores en índices de riesgo de incendio forestal
- Las zonas forestadas sobre la Sierra Ballena poseen los valores más elevados de índice de riesgo de incendio forestal
- La zona urbana laxa posee un valor bajo pero contiene zonas de mayor valor debido a la influencia de la iluminación de la ladera y a núcleos forestados aislados
- La zona de cultivos y praderas corresponde a valores que varían de moderados a altos indicando también la presencia de forestaciones más o menos aisladas

RECOMENDACIONES

Por último se quiere hacer referencia a algunas situaciones que nos parece importante atender:

- La presencia de un área de viviendas de alto nivel económico asentada en una zona de alto riesgo de incendio forestal pone de relevancia la necesidad de encarar un plan de gestión del territorio que incluya la discusión sobre la conveniencia de las especies a preservar y a implantar.
- La permanencia de la identidad paisajística, como la que se ha desarrollado hasta ahora basada en la forestación con especies exógenas altamente combustibles pone en peligro la existencia de los pocos representantes de ecosistemas autóctonos así como la de la propia vegetación implantada (dado que el régimen de incendios no es idéntica al de las zonas de origen de esas especies). De querer preservarse este paisaje, considerando que ya ha adquirido valor escénico y económico, debería implementarse un plan para su preservación o sustitución por especies menos combustibles.
- En una etapa inmediata se haría imprescindible la elaboración de un plan de manejo de bosques que incluya labores de limpieza y erradicación de plantas invasoras en el sotobosque. En forma concomitante sería necesario incluir la limpieza y raleado de la vegetación aledaña a las vías de tránsito vehicular en forma programada. Estas tareas deberían ser ejecutadas por intermedio de los gobiernos municipales por ser éstos quienes tienen un mayor contacto con las realidades locales.
- Si bien la tecnología de sensoramiento remoto y sistemas de información geográfica tiene puntos débiles en la caracterización y evaluación de estos fenómenos, parecen ser un punto de apoyo interesante para continuar su estudio. La contribución de modelos matemáticos que integren información de variables meteorológicas como el viento junto al avance de estas técnicas podrían ser de gran ayuda en la prevención de los siniestros y al momento de la toma de decisiones sobre la forma de ocupación del territorio.

BIBLIOGRAFÍA

- Carta geológica 1:500.000 (1980), 2ª Edición
Carta del Servicio Geográfico Militar 1:50.000 Hoja E 29 José Ignacio
Carta del Servicio Geográfico Militar 1:50.000 Hoja F 29 - 30 San Carlos - Punta del Este
Carta del Servicio Geográfico Militar 1:50.000 Hoja G 29 Piriápolis
J. BOSSI, R. NAVARRO. *Geología de Uruguay*, Tomo I, Universidad de la República, Montevideo (1991)
BOSSI, Jorge y NAVARRO, Rosa (1991). *Geología de Uruguay*, Tomo II, Universidad de la República, Montevideo
DURÁN, Artigas (1991). "Los suelos de Uruguay", Editorial Hemisferio Sur, 2ª Edición, Montevideo
Ministerio de Agricultura y Pesca - Dirección de Suelos y Fertilizantes (1979). "Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay", Tomo III Clasificación de suelos, Montevideo.
R. CASTRO, E. CHUVIECO "Clasificación digital de combustibles forestales a partir de imágenes de alta resolución y modelos digitales del terreno". Revista SELPER, 10 (1-2): 8-15, (1995).
J. SALAS, E. CHUVIECO "Aplicación de imágenes Landsat-TM a la cartografía de modelos combustibles". Revista de Teledetección, 5: 18-28, (1995).
M.P. MARTÍN, E. CHUVIECO "Cartografía y evaluación superficial de grandes incendios forestales a partir de imágenes de satélite". Ecología, 9: 9-21, (1995).
KLAVERL, JAQUELINE, KLAVERL, ROBERT y BURGAN, ROBERT Using GIS to Assess Forest Fire Hazard in the Mediterranean Region of the United States
M. SARASOLA, H. VERA "Diagnóstico de los ecosistemas de bosques costeros del Uruguay". DI.NA.MA. (1999)