

ANÁLISIS DEL RIESGO Y VULNERABILIDAD CONTRA INCENDIOS FORESTALES EN ÁREAS DE INTERFAZ, PROVINCIA DE VALPARAÍSO*

Miguel Castillo S.

Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile
migcasti@uchile.cl

Víctor Quintanilla P.

Facultad de Ingeniería Geográfica. Universidad de Santiago de Chile
victor.quintanilla@sach.cl

Guillermo Julio A.

Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile
gjulio@uchile.cl

Proyecto FONDECYT 1095048

RESUMEN

Se estudia la relación espacio temporal existente entre la ocupación del suelo para fines habitacionales en áreas de interfaz urbano rural en el colinaje costero del Gran Valparaíso, y la ocurrencia de incendios forestales acaecidos en los últimos 23 años en estas áreas. A base del estudio de la vegetación combustible, el deterioro del paisaje vegetal afectado por recurrentes fuegos, y los antecedentes históricos acerca de la causa de los incendios, superficie y localización de ellos, fue posible establecer áreas sensibles de riesgos, junto con la caracterización de la conflictividad de ellos especialmente en territorios urbanos afectados por la propagación descontrolada del fuego.

Se espera que estos resultados permitan apoyar los actuales programas y planes de ordenación municipal del territorio, que deben contemplar entre sus actividades, los mecanismos por los cuales se debe programar y coordinar la expansión de terrenos para habitación, cautelando el control del factor de riesgo que representa la iniciación y propagación de incendios forestales, y la promoción a la recuperación de espacios naturales afectados por incendios forestales.

Palabras clave: Incendio forestal, interfaz, riesgo.

RESUMO

Análise de risco e vulnerabilidade contra incêndios florestais em áreas de interface, província de Valparaíso. Estuda-se a relação espaço temporal existente entre a ocupação do solo para fins habitacionais em áreas de interface urbano rural nas colinas costeiras da Grande Valparaíso, e a ocorrência de incêndios florestais dos últimos 23 anos nestas áreas. Com base no estudo da vegetação combustível, na deterioração da paisagem vegetal afectada pelos incêndios recorrentes, e nos antecedentes históricos relativos às causas dos incêndios, sua superfície e localização, foi possível estabelecer áreas sensíveis de riscos, juntamente com a caracterização da respectiva conflitualidade, especialmente em territórios urbanos afectados pela propagação descontrolada do fogo.

Espera-se que estes resultados permitam apoiar os actuais programas e planos de ordenamento municipal do território, que devem contemplar, entre outras actividades, os mecanismos através dos quais se deve programar e coordenar a expansão urbana dos terrenos para habitação, acautelando não só o controlo do factor de risco que representa a ignição e propagação de incêndios florestais, mas também a promoção da recuperação dos espaços naturais afectados por incêndios florestais.

Palavras chave: Incêndio florestal, interface, risco.

* Comunicação apresentada ao V Encontro Nacional e I Congresso Internacional de Riscos.

RÉSUMÉ

Analyse des risques et vulnérabilité contre les incendies de forêt dans les zones d'interface, province de Valparaíso. Dans cet article on étudie la relation entre l'utilisation des terres par fonctions résidentielles dans les zones d'interface urbaine-rurale sur la côte de Valparaíso et les incendies de forêt survenus au cours des 23 dernières années dans ces domaines. Une base d'étude de la végétation carburante, la détérioration du paysage de végétation touchée par les incendies récurrents, et le contexte historique de la cause des incendies, on a eu la possibilité d'établir des aires sensibles pour le risque, ainsi que de caractériser la conflictualité en particulier dans les zones urbaines touchées par la propagation incontrôlée du feu.

Il est à espérer que ces résultats peuvent soutenir les programmes existants et les plans de gestion du territoire communal, qui devraient inclure, parmi ses activités, les mécanismes par lesquels ils doivent planifier et coordonner l'expansion des terres pour l'habitation, et de protéger le contrôle des facteurs de risque qui représentent l'ignition et la propagation des incendies de forêt, et aussi de favoriser la récupération des zones naturelles touchées.

Mots-clé: Risque, incendie de forêt, interface.

ABSTRACT

Vulnerability and risk analysis of fire in forest areas of interface, province of Valparaíso. A temporal space relationship between different land uses was studied in urban interface areas, in coastal hills, both at Gran Valparaíso, and the occurrence of wildfires in the last 23 years in these areas. Based on the study of vegetation fuel, the damage of vegetation affected by recurrent fires, and the historical background about the cause of fires, area and location of them, it was possible to determine areas susceptible to risks, together with the characterization of magnitude of them, especially in urban areas affected by the uncontrolled spread of fire.

These results are expected to support existing programs and management plans of the municipal territory, which should include among their activities, the mechanisms by which they must plan and coordinate the expansion of land for housing, taking care of the control of risk factors that represents the initiation and spread of wildfires, and promoting the recovery of burnt wild areas.

Keywords: Forest fire, interface, risk.

Introducción

La Región de Valparaíso en Chile Central, en particular las áreas periurbanas y rurales que rodean a las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar, concentran cerca del 18% de los incendios de vegetación que se producen anualmente, preferentemente atribuidos a causas ligadas a la actividad humana. Desde el punto de vista de la distribución geográfica de los siniestros, la mayoría son reportados en áreas vecinas a cerros y quebradas en donde las condiciones de peligro por propagación del fuego son elevadas. Situación similar se produce en las vías de conexión hacia los centros urbanos, en donde es posible verificar patrones de recurrencia mediante el análisis geográfico de los focos de inicio de cada incendio.

Adicionalmente a lo expuesto, la Quinta Región de Chile presenta las más altas tasas de concentración de incendios por unidad de superficie, superando a otras regiones en donde se reportan mayor cantidad de focos pero distribuidos en áreas rurales más extensas. Este es un fenómeno territorial que ha ocasionado graves impactos en la Región, si se considera que anualmente se producen en promedio unos 1.050 eventos, muchos de ellos en condiciones de extrema dificultad para el combate y con cuantiosas pérdidas económicas, ambientales y sociales (CASHLO, 2006).

La creciente demanda por espacios para habitación, el crecimiento inorgánico que ha experimentado el sector periurbano a Valparaíso y Viña del Mar, junto a un débil control de los planes de ordenamiento comunal, han ocasionado un desorden en la dinámica del uso del suelo, junto al aumento en la vulnerabilidad de extensas áreas pobladas colindantes a cerros y quebradas con alta carga de vegetación combustible.

El Riesgo contra incendios forestales se expresa en los factores relacionados a la presencia humana en el área. Esto se traduce en el estudio de la ocurrencia histórica y causas de los incendios, en las actividades que se desarrollan y que repercuten en acciones con riesgo potencial de focos. Otro factor relevante es el efecto espacial de las vías de comunicaciones por cuanto la trayectoria de ellas es un predictor comprobado de la distribución de incendios para este territorio.

A su vez, la vulnerabilidad se califica como el efecto combinado del factor riesgo, y el peligro que representa la vegetación combustible como atributos de velocidad de propagación y la resistencia al control que presenta frente a tareas de combate. El efecto de la pendiente y la accesibilidad son también dos factores relevantes que inciden en el peligro de

incendios, y que en muchas ocasiones determinan el grado de conflictividad en la propagación del fuego.

Estos dos aspectos, sumados a los efectos generados por el daño postfuego, se integran para poder calificar la vulnerabilidad que pueda presentar un territorio frente a la probabilidad de inicio de un siniestro.

Área de estudio

Las comunas estudiadas corresponden a Valparaíso y Viña del Mar, que en conjunto abarcan una superficie aproximada de 48 mil hectáreas de suelo urbano y áreas de interfaz (fig. 1). Las condiciones topográficas dominantes corresponden a cerros y laderas con altas pendientes, con especies leñosas que conforman formaciones adultas de bosque y matorral esclerófilo mediterráneo a distintas densidades según orientación en laderas de cerros. Se presentan altas concentraciones de vegetación densa dispuestas en fondos de quebradas cercanas a casas (fig. 2). Respecto al clima los vientos dominantes derivan del Sur Oeste, y son los que en ocasiones, cuando la velocidad sobrepasa los 30 km/hora, se constituyen en un factor importante para la propagación del fuego.



Fig. 1 - Área de estudio Quinta Región de Valparaíso. Chile.



Fig. 2 - Extracto mosaico de fotos satelitales para área de interés. Quinta Región de Valparaíso. Chile.

Metodologia

Se recopilaron 14.555 registros históricos de incendios para un período de 23 años (1986 – 2008), proporcionados por la Unidad de Manejo del Fuego de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), siendo validados y adaptados para su análisis en un Sistema de Información Geográfica. Para cada dato, se consideró la localización espacial, la temporada en que ocurrió, la causa de origen y los daños directos ocasionados por la propagación del fuego. Este proceso se realizó mediante la creación de capas vectoriales en ArcGis, con referencia WGS-84 huso 19 Sur.

Posteriormente los registros acumulados fueron traspasados a formato raster (GRID) para la aplicación de operadores de tendencia y vecindad (*focalmean* y *focalstatistics*), con el propósito de suavizar las diferencias espaciales presentes en el análisis píxel a píxel. De este modo, utilizando celdillas de 1 km² fue posible estimar las áreas de mayor ocurrencia de incendios, para de esta manera establecer la relación espacial de ellos con las áreas

presentaron en cada registro, lo que sumado al apoyo satelital, permitieron identificar y calificar áreas de expansión urbana ligadas a la ocupación ligadas a la ocupación de terrenos con alto riesgo.

Adicionalmente se identificaron áreas de paisaje vegetal que fueran recurrentemente afectadas por fuegos. Ello permitió la identificación de áreas sensibles, lo que sumado a la interpretación satelital en multiperíodo (mediante análisis por componentes principales), permitió calificar áreas vulnerables a la presencia y propagación del fuego.

Resultados y discusión

Los incendios de vegetación se concentran preferentemente en áreas de conectividad caminera y sectores dominados por profundas quebradas. Conforme a los datos obtenidos, se han reportado recurrencias de hasta 252 eventos en 1 km², y en 23 años de datos (fig. 3), lo cual ocasiona efectos directos en la degradación de comunidades vegetales y un deterioro de la calidad de vida de las poblaciones inmersas en áreas de alto riesgo.

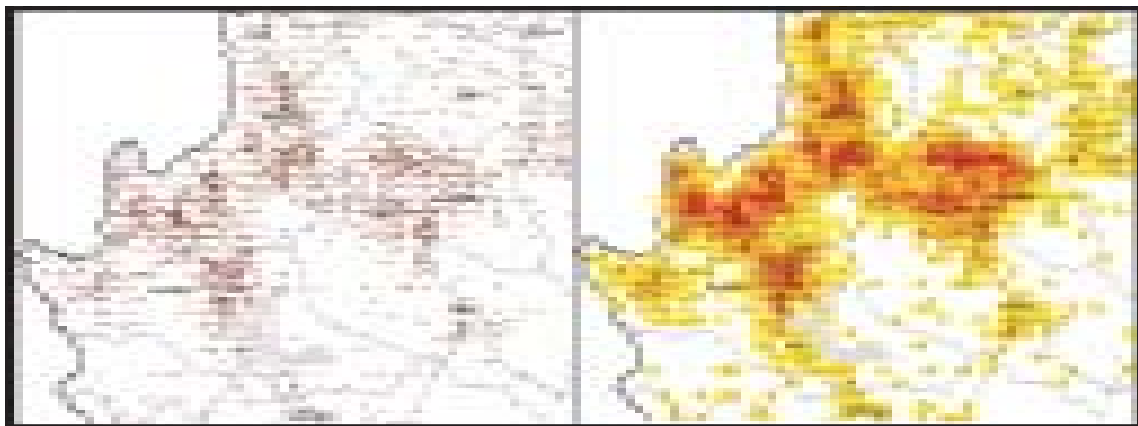


Fig. 3 - Distribución espacial de incendios en 23 años (figura izquierda), y tendencias espaciales (figura derecha), representadas por el número de incendios presentes en cada celdilla (1 km²).

de interfaz urbano-rural, presentes en el área de estudio. Se aplicó un indicador de densidad de incendios, que determina el número de eventos de fuego ocurridos en una superficie de 1 km², y en un año. De este modo se eligió una clasificación basada en la desviación estándar mínima, que permitió identificar áreas críticas de ocurrencia, sobre las cuales se ejecutó la discusión de resultados considerando la relación de ellas con las áreas de interfaz.

En forma complementaria, se identificaron aquellos incendios que en el período de análisis hayan superado las 100 hectáreas quemadas, como asimismo los niveles de alerta que se aplicaron para la atención de emergencias. Se evaluaron las condiciones topográficas y de vegetación que se

El Riesgo de incendios en el área presenta ejes de expansión limitados preferentemente por la topografía de cerros, pero con un aumento progresivo en la densidad de casas, ocupando áreas de interfaz que en los últimos 5 años no han variado sustantivamente. Ello influye en la tendencia espacial de la ocurrencia de focos y en los niveles de gravedad de los incendios por el aumento de la conectividad de casas desde el punto de vista de la combustibilidad y propagación del fuego. En condiciones meteorológicas extremas – 30 grados de temperatura y sobre 35 km/hora de vientos de componente sur-sureste – se han reportado tasas de propagación que superan los 2.000 m²/minuto, como ocurrió en un incendio ocurrido en enero de 2008 en el área de estudio, consumiendo en



Fig. 1. - Síntica del sector sur de Valparaíso, que muestra un eje de expansión ocupando áreas de quebradas y partes altas de cerros en donde se presenta altas densidades de incendios.

escasos minutos más de 119 casas y dejando pérdidas humanas y materiales.

Analizando la serie temporal de incendios, y apoyado en interpretación satelital, se aprecian importantes superficies quemadas en la temporada de incendios 1986/1987 en áreas de alto riesgo de incendios. De acuerdo a los datos estadísticos, sus localizaciones o lugares de inicio de ambos siniestros, se ubicaban en sectores de alta pendiente y muy próximo a la ruta 68 que conecta Santiago con Valparaíso, al norte de la localidad de Placilla.

Por ejemplo, en el desarrollo del segundo incendio (fig. 4), el fuego se propagó hacia el norte bajo condiciones de vientos favorables al avance del fuego y altas pendientes a orilla de camino. Este incendio cruzó la carretera, afectando a más de 250 hectáreas entre arbolado nativo, pastizales y fragmentos de plantaciones exóticas.



Fig. 2. - Ocupación de terrenos en sectores de altas pendientes y vegetación densa. Los espacios utilizados caen fuera de aquellas áreas legalmente habilitadas para uso urbano.

Para ambos casos se aplicó el indicador NDVI para estudiar la actividad fotosintética y grado de recuperación de la vegetación a escasas semanas del paso del fuego. Lo anterior se traduce en bajos valores del índice, sumado a las condiciones de baja humedad de los combustibles y alta inflamabilidad, aspectos propios de la vegetación mediterránea costera en meses cálidos de verano.

La temporada 1988-1989 se registra como una de las más severas en términos de los daños ocasionados por el fuego a la vegetación nativa localizada en ejes de expansión urbana. En el área de estudio, se identifican dos grandes incendios (fig 5) localizados en quebradas del sector sur de Valparaíso (quebradas El Pajonal y El Vergel) y otro en cerros aledaños a Viña del Mar Alto, en áreas densamente pobladas por casas de material ligero. La presencia de formaciones leñosas densas en las quebradas antes señaladas, sumado a las altas pendientes contribuye a que estos sectores sean recurrentemente afectados por el fuego, y por lo tanto, calificados como de alto riesgo de incendios.

El efecto de la actividad vegetal para estos tres incendios puede verificarse con la revisión de la imagen satelital de diciembre de 1995, en donde es posible

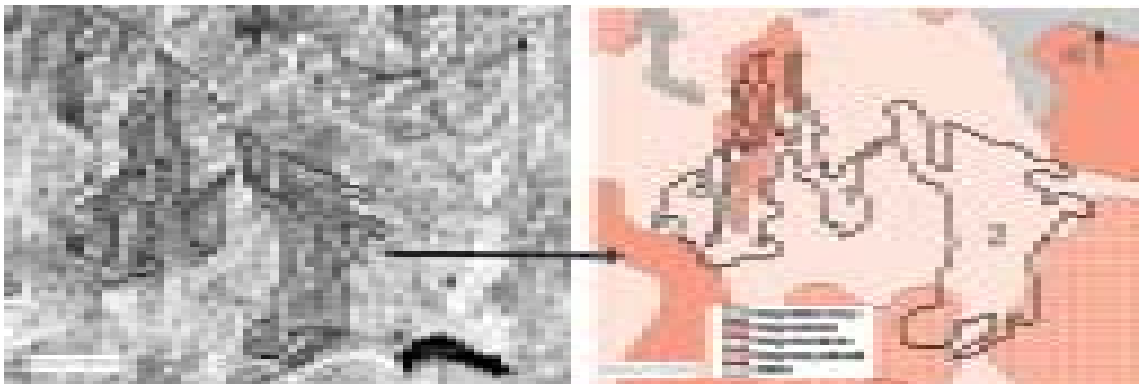


Fig. 4 - Recopilación de tamaño y forma para dos grandes incendios ocurridos en áreas de interfaz para la temporada 1986/1987.

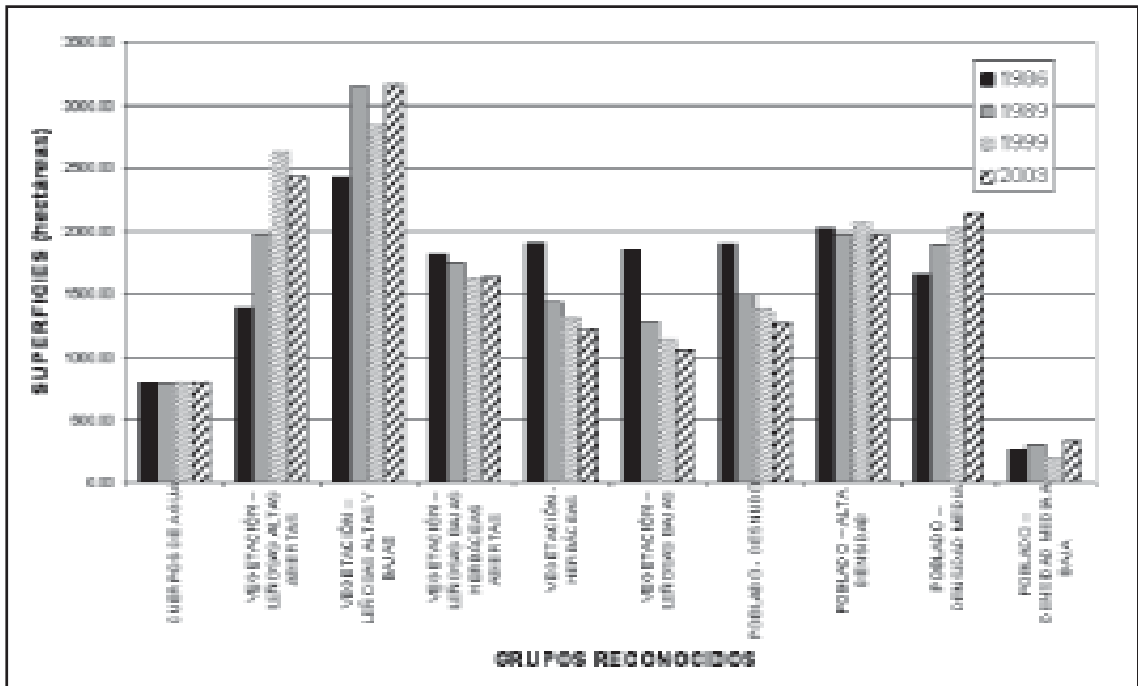


Fig. 5 - Cambios en las grandes formaciones vegetales reconocidas en la serie de imágenes satelitales, en un área de estudio aproximada de 16 km².

verificar una cicatrización de los cerros afectados, aumentando considerablemente los valores NDVI para el período de verano en las áreas antes quemadas.

El borde del estero Marga-Marga es otro sector que ha demostrado una acelerada ocupación del suelo para uso habitacional, según los antecedentes derivados del análisis de componentes principales indicados más adelante en el texto. Los antecedentes de frecuencia de incendios indican que los sectores aledaños a las quebradas de El Salto y Jardín Botánico se han quemado 10 veces en los últimos 15 años. La calificación de alto riesgo junto a la alta frecuencia de incendios, impide la recuperación de la vegetación, quedando detenida a estados de matorral degradado y leñosas altas abiertas. Estos resultados ratifican los estudios ejecutados por QUINZANILLA (1998, 2000) quien estudió los cambios regresivos de la vegetación nativa para esta misma área de trabajo.

La imagen satelital de diciembre de 1999 señala incendios superiores a 30 hectáreas localizados al norte del fundo Las Cenizas, a la salida Norte de Placilla y en sector de El Manzano a orilla del acceso sur a Valparaíso. Estos sectores han sido calificados en categorías de riesgo moderado y elevado, de acuerdo a la clasificación de QUINZANILLA (1998). Los valores NDVI muestran una actividad moderada a baja a diciembre de 1999, y mayores índices a febrero de 2003. La recurrencia de fuegos para los sectores quemados indica valores de 12 a 15 siniestros de tamaño inferiores a 10 hectáreas, generando

fragmentos de vegetación joven entremezclados con leñosas altas y bajas del matorral degradado.

La imagen de febrero de 2003 señala un incendio de 36 hectáreas localizado al norte de Rodelillo, y muy cercano a sectores poblados. Se trata de lomajes suaves a moderados que han sido afectados por más de 12 incendios en los últimos 15 años, en áreas calificadas como de riesgo muy elevado y con un rápido avance en la ocupación habitacional. El valor NDVI identifica áreas recientemente quemadas caracterizadas por un valor cercano a cero, con fragmentos de vegetación invasora y escasa actividad fotosintética. En estos cerros es evidente la fragmentación del paisaje vegetal pues es posible apreciar una baja conectividad entre los parches de vegetación calificados como leñosas altas y bajas. La vegetación dominante corresponde a matorral nativo entremezclado con especies invasoras.

Con el apoyo de las bandas no correlacionadas (componentes principales), fue posible identificar con mayor claridad las áreas asociadas a los centros poblados (expansión) para el período 1986-2003 (fig. 6), manteniéndose una tendencia a aumentar en densidad más que a nuevas áreas de expansión a contar del año 2004. En tal sentido, el primer componente (97,5%) de varianza explicada permite identificar una consolidación del espacio periurbano del sector sur de Valparaíso Metropolitano, junto a una rápida ocupación del suelo en las inmediaciones del Estero Marga-Marga. El colinaje costero representado en el fundo Hacienda

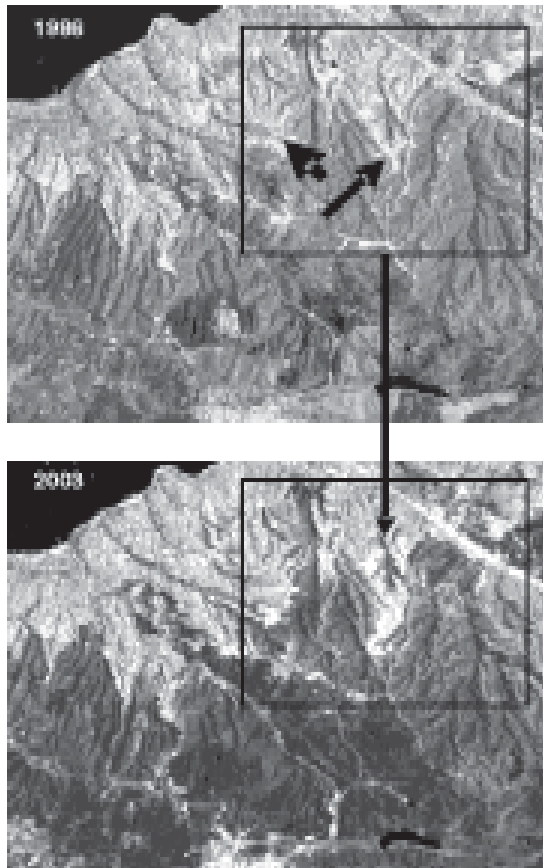


Fig. 6 - Cambios espaciales en la ocupación del suelo mediante la interpretación de componentes principales. El primer componente (grupos espectrales ortogonales) muestra la consolidación de los cascos urbanos de Valparaíso y Viña del Mar, junto al avance de la ocupación del suelo por viviendas aledañas a las quebradas del colinaje interior. Los cuadrantes señalan los cambios espaciales, en el sector local del incendio analizado (irradiaciones del Fundo Hacienda Siete Hermanas).

enda Siete Hermanas y cerros aledaños, muestran un cambio importante en el uso del suelo, coincidiendo con las áreas de mayor riesgo de incendios.

En definitiva, el reconocimiento de patrones vegetacionales y sus características espaciales (tamaño y forma de los parches), a base de la interpretación de celdas de 30 metros (imágenes satelitales), de la cartografía de combustibles de QUINANILLA (1998), y de los componentes principales, permitió determinar los cambios en la serie de tiempo estudiada, para el estudio de la vegetación (Cuadro I).

Conclusiones

De acuerdo a los 14.555 registros de incendios analizados, la gran mayoría de ellos se agrupan en áreas claramente identificadas como zonas críticas de ocurrencia, medidas y calificadas en categorías de acuerdo al indicador de densidad (número de incendios ocurridos en 23 años, en una superficie de 1 km²).

Las áreas en donde ocurren los incendios más conflictivos desde el punto de vista del combate de ellos y de los valores amenazados, ocurren en sectores de quebradas y áreas no contempladas para el desarrollo de nuevos proyectos inmobiliarios. La ocupación de terrenos responde más bien a una expansión inorgánica sin un claro programa de ordenamiento del territorio, aún cuando existen las políticas para el control del uso del suelo.

Se verifica que el cambio en el paisaje vegetal para el período estudiado se expresa en el aumento de especies del matorral degradado dominado por leñosas medias y bajas, junto al progresivo deterioro de poblaciones de palma chilena localizadas a lo largo de todo el paisaje y áreas de interfaz.

CUADRO I - Formaciones homogéneas (patrones espectrales), reconocidas en las imágenes. Superficies expresadas en hectáreas.

	AÑO			
	1986	1989	1999	2003
Cuerpos de Agua	803.78	803.78	803.78	803.78
Vegetación – Leñosas Altas Abiertas	1394.11	1978.28	2636.08	2441.17
Vegetación – Leñosas Altas Y Bajas	2432.65	3153.97	2847.68	3164.53
Vegetación – Leñosas Bajas Herbáceas Abiertas	1817.50	1743.06	1623.98	1637.00
Vegetación - Herbáceas	1907.44	1433.39	1311.62	1225.41
Vegetación – Leñosas Bajas	1847.19	1285.11	1147.37	1064.22
Poblado - Desnudo	1899.69	1499.95	1383.87	1273.30
Poblado – Alta Densidad	2035.94	1984.73	2074.61	1977.93
Poblado – Densidad Media	1664.31	1884.48	2036.68	2142.27
Poblado – Densidad Media A Baja	263.01	298.86	199.95	336.00

Aún cuando se han reportado graves incendios forestales en áreas de interfaz, no se aprecian cambios sustantivos en la conducta de la población en términos de la causalidad de los incendios que se originan, y en el control del uso del suelo, pues la demanda por espacios para la ocupación de viviendas, lejos de disminuir en áreas de alto riesgo y vulnerabilidad, ha aumentado.

Se efectuaron visitas de terreno durante el mes de abril de 2009. A esa fecha, se verificó que los ejes de expansión experimentarán considerables aumentos por la apertura de nuevos caminos, junto a la ayuda de los municipios en términos de proporcionar servicios básicos a viviendas en áreas de alto riesgo y vulnerabilidad. Este aspecto sin dudas requiere de un profundo análisis y reflexión política por parte de las autoridades encargadas de cautelar la seguridad de la población.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer el apoyo otorgado por la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT), materializado a través de la ejecución del Proyecto FONDECYT 1095048. De igual forma se agradece a la Corporación Nacional Forestal (CONAF) Oficina Central, por proporcionar las planillas de ocurrencia de incendios que sirvieron para implementar el SIG y posterior análisis espacial de los daños.

Referencias Bibliográficas

- CASILLO, M. (2006) - *El cambio del paisaje vegetal afectado por incendios en la Zona Mediterránea Costera de la Quinta Región de Chile*. Tesis Magíster en Geografía. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad de Chile. 155p.
- QUINPILLA, V. (1998) - "Los incendios de vegetación en el Cordón Costero de Chile Central. El apoyo de la cartografía para su gestión en la prevención y análisis. Caso de estudio". En: *Contribuciones científicas y tecnológicas*. Universidad de Santiago de Chile. Área Ingeniería y Tecnología. Año XXVI. N°120. 27p.
- QUINPILLA, V. (1999) - "Modificaciones por efecto del fuego en el bosque esclerófilo de quebradas húmedas de Chile Central y su incidencia en la Palma chilena". En: *Revista Terna Australis*. Instituto Geográfico Militar. N°44, 7-18.