

EVALUACIÓN DEL RIESGO ANTE INCENDIOS FORESTALES EN LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE, COSTA RICA

*Julio César Moraga Peralta**

Resumen

Los incendios forestales constituyen problemas que ocasionan grandes daños ambientales sobre los ecosistemas, uno de los mayores impactos en el ambiente son los efectos sobre el cambio climático, situación que acentúa los problemas globales que atentan la vida sobre el planeta. Notoriamente, se reconoce que los incendios son un agente constante de cambios sobre los paisajes naturales y por tanto su estudio reviste importancia, ya que afectan de una manera notable la vegetación, la fauna, el suelo y aumentan el peligro de desertificación, lo que conlleva a los problemas socioeconómicos. Este artículo tiene por objetivo determinar el riesgo ante incendios forestales en la cuenca del Río Tempisque en Costa Rica, a partir de variables explicativas como la proximidad a carreteras, tipos de usos de la tierra, focos de incendios, insolación y altitud sobre el nivel de mar, modeladas con técnicas de Evaluación Multicriterio (ECM) en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Dado que el concepto riesgo se refiere a una condición de probabilidad, en este artículo se recrea escenarios en donde podría tener lugar el fuego, los cuales se correlacionan con eventos que se han presentando en años anteriores. Se debe advertir que no se considera la variable viento como factor dispersor del fuego, ya que el objetivo es determinar lugares con condición favorable a incendio sin mediar los factores que contribuyen en su distribución.

Palabras claves: incendio forestal, problema ambiental, riesgo, modelaje, sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio.

Abstract

Forest fires are problems that cause environmental damage to ecosystems. One of the biggest impacts is on the atmosphere and their effects on climatic change, a situation that exacerbates global problems perpetrated on planet life. Historically, fires are recognized as a constant agent of change

*Académico e investigador de la Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional,
Costa Rica. jmoraga@una.ac.cr

Fecha recepción: 10 diciembre 2009

Fecha aceptación: 25 febrero 2010

on the natural landscape. Therefore, fire studies are important because of the significant effect of fire on vegetation, fauna and soils and the increased danger of desertification, leading to socio-economic problems.

This article has as its objective to determine the risk before forest fires on the Tempisque River Basin in Costa Rica from explanatory variables such as proximity to roads, types of land uses, fire outbreaks, isolation and altitude above sea level, using Multicriteria Evaluation (NDE) modeling techniques in a Geographic Information System.

As the term risk refers to a condition of probability, this article recreates scenarios where a fire could occur, which correlate with events that have occurred in previous years. It should be noted that the variable of wind is not considered as a fire-scattering factor since the objective of this study is to identify places with conditions already favorable to fires without a contributing factor in their distribution.

Key words: forest fire, environmental problems, risk, geographical information system, multicriteria evaluation modeling, Tempisque River Basin, Costa Rica

1. Introducción

Los incendios forestales causan daños económicos, afectan el suelo, alteran los ciclos hidrológicos, provocan serios deterioros a los ecosistemas forestales y a la biodiversidad y aportan carbono a la atmósfera, contribuyendo en el calentamiento global de la tierra. Aunque en condiciones naturales los incendios forman parte del proceso dinámico de los ecosistemas (Ferrerías, J. et al, 2001).

En la vertiente del Pacífico costarricense, durante la época seca, que se extiende desde diciembre a abril de cada año, se concentra la mayor cantidad de incendios forestales, de igual forma sucede en la zona fronteriza con Nicaragua, específicamente en el cantón de los Chiles. Según la Comisión Nacional sobre Incendios Forestales, las principales causas de incendios obedecen a vandalismo, quema de pastos, quemas agropecuarias (para sembrar frijol, por ejemplo) y quema para promover la caza (La Nación, 24 de enero de 2008). No obstante, Villalobos (2000), basado en datos de la Comisión Nacional sobre Incendios Forestales, señala que el problema real se origina por el uso descontrolado del fuego para fines agrícolas y ganaderos. Advierte que existe dificultad para determinar las causas reales de la mayoría de los incendios forestales. No obstante, expertos señalan que estos se deben a la mala utilización del fuego en actividades agropecuarias, y en menor porcentaje, por prácticas de cazadores, venganzas y negligencias. Otras causas son debidas a altas temperaturas o tormentas eléctricas sobre materiales de fácil combustión, aunque estos

ocurren de forma muy esporádica; sin embargo no dejan de ser una causa real de generación de incendios.

La cuenca del río Tempisque ha sido escenario de gran cantidad de incendios, por ello, es importante determinar su potencial a través de modelos probabilísticos según sus características geográficas analizadas con técnicas de ECM y SIG. Estos últimos constituyen un medio tecnológico que articula varias disciplinas con el fin de realizar análisis, creación, adquisición, almacenamiento, edición, transformación, visualización, distribución, etc., de información geográfica. A través de ellos se pueden desarrollar planes de prevención y vigilancia ante incendios forestales.

Para analizar dicha problemática se hace una breve descripción de los elementos y factores geográficos que configuran la cuenca hidrográfica, lo cual permite diagnosticar la incidencia y la problemática de incendios forestales, posteriormente se explican los conceptos teóricos y metodológicos, se analizan los resultados y por último se discute el impacto sobre los ecosistemas.

2. Elementos y factores de la cuenca del Río Tempisque

2.1. Localización

La cuenca del río Tempisque se localiza en la provincia de Guanacaste, en las coordenadas geográficas 10°06'36'' - 10°58'48'' norte y 85°13'48'' - 85°47'24'' oeste, o su equivalente en coordenadas métricas de la proyección CRTM05 304632-365042 y 1118368-1213833, tiene una extensión de 3386.185 km². Constituye la cuenca de mayor extensión del país, representando el 53% de la provincia y drena el 10.6% del territorio nacional. Limita al norte con las faldas del Volcán Orosí y se extiende hacia el sur, en la margen derecha del Río Tempisque, por las filas montañosas costeras, e incluye la Fila Guayabalosa y los cerros Carbonera y Vista al Mar. Se extiende en dirección este por los cerros Cardones Barra Honda y Copal, hasta Puerto Moreno en el Golfo de Nicoya. En la margen izquierda del Río Tempisque, la cuenca se extiende por la Cordillera de Guanacaste en dirección suroeste hasta el Volcán Arenal, donde baja en dirección sur hasta los cerros de Santa Elena. Su límite recorre en dirección oeste, por los cerros Cerco de Piedra y Pozas, hasta la desembocadura del Río Bebedero (Echeverría et al., 1998). Su área de influencia se extiende allende de la cuenca, ya que las aguas recolectadas son drenadas por el

Río Tempisque y sus afluentes hacia el Golfo de Nicoya, el cual es de gran importancia para la pesca artesanal y comercial nacional (Lizano, 1998).

2.2. Caracterización de la cuenca del río Tempisque

La cuenca del río Tempisque ha presentado importantes cambios en el uso de la tierra y por ende en sus ecosistemas, actualmente la gran mayoría de su cobertura original de bosques y humedales ha sido remplazada por cultivos, pastos y zonas urbanas. Esta situación motivó para que en los últimos veinticinco años aumentara la extensión de áreas protegidas. Los humedales que se encuentran dentro de la cuenca, principalmente los que se ubican en las partes bajas tienen una alta diversidad biológica y suministran numerosos beneficios a las comunidades (Mateo, 2001).

En la década de los cincuenta se presentaron políticas estatales para la diversificación agrícola y sustitución de importaciones promovidas por el Gobierno de Costa Rica, en ese lapso se dio la construcción de vías de acceso entre el Valle Central y Guanacaste, la colaboración técnica del Ministerio de Agricultura e Industrias (ahora Ministerio de Agricultura y Ganadería –MAG), incentivó el crédito agrícola y se tuvo acceso a un mercado seguro, esto conllevó a la modernización del sector agropecuario, cuyo resultado fue la intensificación de la producción de arroz, algodón, sorgo y el desarrollo de una fuerte industria ganadera que condujo a una rápida deforestación en una gran parte de la cuenca (Vargas, 1959; Proyecto Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible, 2000, citado por Mateo, 2001). Este auge agropecuario se mantuvo hasta principios de la década de los ochenta, cuando la economía del país entró en un período de crisis por causa de severos problemas en los mercados internacionales. Durante el resto de esta y la década de los noventa, la producción agropecuaria se mantuvo contraída y se notó una marcada sustitución de áreas dedicadas a la producción de cultivos tradicionales como el maíz y frijol, por cultivos de expansión como el arroz y la caña de azúcar (Castro y Villegas, 1987; SENARA – IICA, 1991; Proyecto Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible, 2000, citado por Mateo, 2001). La actividad ganadera también disminuyó considerablemente y desaparecieron actividades agrícolas como el algodón y sorgo (Mateo, 2001). En la actualidad los cultivos de arroz, caña de azúcar, melón y la ganadería son las actividades

agropecuarias que muestran dinamismo y que siguen creciendo dadas las políticas de desarrollo que ha impulsado el Estado.

2.3. La situación ambiental y fragilidad de los ecosistemas

La cuenca del río Tempisque como parte de la provincia de Guanacaste presenta una época seca de 5 meses (diciembre a abril), las temperaturas anuales promedio son de 28°C y precipitaciones medias de 1,400mm/año en las partes bajas. Esta situación genera importantes sequías y déficit de agua afectando directamente a los ecosistemas forestales y las actividades agrícolas.

Las áreas boscosas del área de estudio están representadas por el “bosque seco tropical de bajura y transición a húmedo” y el “bosque húmedo tropical de bajura y transición a premontano” los cuales se han visto gravemente afectados en las últimas décadas por la deforestación y los incendios forestales. La ubicación geográfica es elemento determinante ante la vulnerabilidad a igniciones que afecta directamente la diversidad biológica y al ambiente, causando efectos profundos sobre la calidad de vida de los habitantes de la zona.

Las áreas protegidas que se ubican dentro y en las proximidades de la cuenca presentan diferentes categorías de manejo forman parte de tres distintas áreas de conservación, según el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) del actual Ministerio de Ambiente Energía y Telecomunicaciones (MINAET); siendo estas: Área de Conservación Guanacaste (ACG), Área de Conservación Tempisque (ACT), y el Área de Conservación Arenal (ACA). Estas representan unidades muy importantes para la conservación de cuencas hidrográficas, la protección de la biodiversidad y los ecosistemas naturales, sin embargo, muchas están amenazadas por el fuego y la expansión agrícola que ha llegado prácticamente hasta los bordes de las mismas. Además existen otras privadas las cuales surgen como una alternativa de conservación y responden a la necesidad de proteger unidades naturales que el Estado no puede consolidar dado su alto costo (Alpízar et al., 1998). En el cuadro 1 se presentan las áreas silvestres protegidas según categoría de manejo y área de conservación en hectáreas.

Cuadro 1: Cuenca del río Tempisque: Áreas Silvestres Protegidas según Categoría de Manejo y Área de Conservación en hectáreas.

Nombre	Categoría	Área de Conservación	Área (Ha)
Barra Honda	Parque Nacional	Tempisque	2297,00
Bosque Nacional Diría	Refugio Nacional de Vida Silvestre	Tempisque	2951,45
Estación Experimental Forestal Horizontes	Fincas del Estado	Guanacaste	7329,52
Finca del Estado	Fincas del Estado	Guanacaste	2847,51
Finca las Delicias	Fincas del Estado	Guanacaste	1378,14
Guanacaste	Parque Nacional	Guanacaste	34651,30
Lomas de Barbudal	Reserva Biológica	Tempisque	2645,71
Mata Redonda	Refugio Nacional de Vida Silvestre	Tempisque	371,88
Palo Verde	Parque Nacional	Tempisque	18650,95
Palustrino Corral de Piedra	Humedales	Tempisque	2485,73
Riberino Zapandí	Humedales	Guanacaste - Tempisque	104,97
Rincón de la Vieja	Parque Nacional	Guanacaste	14160,63
Río Cañas	Humedales	Tempisque	655,27
Santa Rosa	Parque Nacional	Guanacaste	38655,66

Fuente: Sistema Nacional de Áreas de Conservación del Ministerio de Ambiente y Energía (SINAC2006).

Reconocidas las características y la dinámica socio-ambiental desarrollada en la cuenca es evidente el impacto sobre la diversidad biológica y el ambiente. Desde esta perspectiva es importante analizar el impacto ambiental y socioeconómico resultado del potencial de riesgo ante incendios forestales.

2.4. El Fenómeno de El Niño en los incendios forestales

En Costa Rica, durante el año 1997, los incendios forestales ocurridos en el Área de Conservación Guanacaste (ACG) fueron la resultante de condiciones favorables del clima, tales como sequía y vientos relativamente fuertes. Según Alfaro (1998) citado por Villalobos (2000) señala que en nuestro país no está comprobado la influencia de El Niño

en la propagación de incendios forestales debido a que el periodo de observación es muy pequeño, pero se advierte que los datos disponibles revelan que los años Niño es donde se han presentado mayor cantidad de incendios. En el periodo de 1990 a 1994, en que se presentó el fenómeno de El Niño más largo del siglo XX, es donde se registra el mayor número de casos de incendios, siendo el año 1994 en donde se contabilizaron 38 incendios forestales en el Área de Conservación Guanacaste, dato que no fue superado en toda la década de los noventas. En el periodo 1997-1998 la presencia de este fenómeno, pudo repercutir para que durante la época seca del año 1998 se produjeran 33 quemas descontroladas de pastos secos en el Pacífico Norte.

Según Villalobos (2000), los datos de Alfaro (1998) apuntan a que en nuestro país, las quemas de pastizales se propagaron a los bosques y humedales ocasionando un fuerte impacto debido a la destrucción de extensas áreas de fincas, tanto agrícolas como ganaderas, zonas boscosas, alteración de ecosistemas y la contaminación atmosférica por humo, que en algunos países de Centroamérica trascendió las fronteras provocando el cierre temporal de algunos aeropuertos.

Los datos oficiales sobre incendios forestales provienen de las áreas de conservación. Estos indican que entre 1998 y 1999, el 65% del área dañada por el fuego, corresponde al Pacífico Norte, específicamente al Área de Conservación Guanacaste y al Área de Conservación Tempisque.

Desde la perspectiva climática durante el Niño la precipitación decrece para la región del Pacífico Norte y existe una alta probabilidad para considerarla como seca ya que los promedios de precipitación se reducen hasta en un 26% de lo normal. De igual forma, el aumento de las temperaturas explican en un 50% los casos de incendios ocurridos en la zona.

Por lo anterior, las condiciones climáticas durante un Niño en la Vertiente Pacífica (lluvia deficitaria y altas temperaturas) producen ambientes favorables para que se dispersen fuegos con mayor facilidad, aunque los incendios forestales no siempre son el resultado de influencias climáticas ya que en ocasiones su origen se debe a inadecuadas prácticas agrícolas. No obstante, El Niño es un factor vinculante que ha transformado una situación ordinaria en una extraordinaria.

3. Marco teórico-conceptual

Con el propósito de definir una base conceptual para abordar el análisis del riesgo de incendios forestales y su problemática ambiental en la cuenca del río Tempisque, se analiza algunos temas sobre la situación de los incendios así como los conceptos teóricos metodológicos que se abordan en este artículo, para ello se consultó diferentes documentos científicos referidos al tema. El abordaje conceptual por su misma naturaleza está sujeto a interpretaciones y construcciones teóricas disciplinarias lo cual permite establecer una postura inicial para una posterior discusión de los resultados. Para ello se propone analizar cinco conceptos claves, incendio forestal, problema ambiental, riesgo, sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio.

3.1. Incendio forestal: acercamiento conceptual

Un incendio forestal se define como el fuego que se propaga, sin control sobre un sistema forestal, agrícola o pecuario el cual no estaba previsto. En algunos casos cuando ocurren sobre espacios agropecuarios no se incluyen dentro de este concepto, ya que su origen tiene controles en cuanto a su magnitud (Mascaraque Sillero A., 2003). No obstante, en Costa Rica se ha superado los límites de intervención.

Desde épocas muy antiguas la existencia de incendios forestales se ha desarrollado de forma natural o bien por causa antrópica. Las causas naturales no han cambiado ya que por condiciones naturales como la presencia de rayos, las erupciones volcánicas y las combustiones espontáneas se mantienen, mientras que las causas antrópicas han cambiado claramente a lo largo del tiempo en diversas formas, siendo las prácticas agropecuarias uno de los factores fundamentales en su inicio. Cualquiera que sea su origen no existe diferencia alguna en su desarrollo ya que el fuego se desdobra de igual forma y con igual resultado independientemente la causa de ignición.

3.2. Problemas ambientales causados por los incendios forestales

Un problema ambiental se define como una situación o configuración de factores que amenaza el bienestar humano o la integridad del ecosistema, y que es percibida como tal por la sociedad o una parte de ella

(Galdames, 2000). En el caso de los incendios forestales estos causan problemas en los diferentes ecosistemas, algunos de ellos de difíciles de recuperar ya que el medio no siempre está en condiciones para recuperarse.

Las áreas quemadas pierden calidad del suelo, lo que dificulta la regeneración de las especies establecidas ya que se afecta los primeros horizontes edáficos y se destruyen los componentes orgánicos, haciéndolos más solubles en agua. El efecto más visible después de un incendio es el arrastre de cenizas que ocurren tras las primeras lluvias, esas cenizas son parte del suelo que es arrastrado por erosión superficial hasta los diferentes drenajes de una cuenca. La pérdida de suelo es irreversible, puesto que materialmente es imposible recuperar el suelo que previamente ha sido destruido por el fuego y porque además es arrastrado masivamente por el agua (Mascaraque Sillero A., 2003). Durante una quema, el suelo se altera en su composición química y física, y sufre cambios importantes derivados por el contacto con las cenizas o el fuego. De esta forma tiene una mayor tendencia a aumentar el pH y suele perder la estructura adoptando opciones de menor capacidad de campo, menor infiltración de agua, etc., y en definitiva tiende a empobrecerse a medio plazo.

Un efecto inmediato de los incendios es la producción, liberación de gases y partículas a la atmósfera que resultan de la combustión de biomasa. Después del vapor de agua, el dióxido de carbono es el gas invernadero más importante, estimándose que su concentración está aumentando a una tasa anual promedio de 0,5%. Según Castillo (2003), los gases liberados contribuyen al calentamiento global, desencadenando en forma gradual un cambio climático a nivel planetario. No obstante, en la actualidad las emisiones de dióxido de carbono proveniente de los incendios y quemas forestales es de un 25 % del total de este gas emitido en el mundo. Otro problema generado por los incendios forestales es las pérdidas de especies de flora y fauna, algunas de ellas en vías de extinción, por ello la prevención es inminente, tal es el caso de la cuenca del río Tempisque, la cual por su condición geográfica presenta gran vulnerabilidad a este tipo de eventos, lo que pone en riesgo la vida de las diferentes especies y las actividades socioeconómicas dependientes de los mismos.

3.3. Riesgo

El riesgo se define como la probabilidad de ocurrencia de un determinado fenómeno natural, de una cierta extensión, intensidad y duración con consecuencias negativas. (Maskrey Andrew, 1993). Normalmente se acostumbra a utilizar el concepto de riesgo natural para referirse a una condición contrapuesta al riesgo tecnológico, pero ello no implica que el riesgo sea consecuencia de un fenómeno exclusivamente natural en donde el ser humano no tenga participación. La estimación del riesgo ante los incendios forestales conlleva a identificar la contribución potencial de variables e integrarlas dentro de una expresión matemática, como un índice que cuantifica el nivel de riesgo, por tanto se involucran variables que presentan mucha variación espacial, por lo que se hace necesario el uso de SIG.

3.4. SIG y Evaluación Multicriterio

Los SIG constituyen una integración organizada de hardware, software y datos geográficos, están diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar, desplegar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. En la actualidad se han convertido en poderosas herramientas para el modelaje de datos permitiendo al usuario crear consultas interactivas y analizar la información con realidad virtual. Mediante los SIG se pueden apoyar decisiones multicriterio, las cuales constituyen conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, que ayudan a la toma de decisiones a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, con base a una evaluación (expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia) de acuerdo a varios criterios: objetivos, metas, valores de referencia, niveles de aspiración o utilidad (Gómez y Barredo, 2004).

Estimar el riesgo ante incendios forestales usando técnicas multicriterio consiste en seleccionar las variables sobre la base de una revisión de la literatura y producir un modelo ponderado en un ambiente SIG. Las técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) son clasificadas de acuerdo al nivel del proceso de demanda cognitiva requerida del centro decisor y el método de agregación de puntuaciones de criterios y prioridades establecido. Según dicha clasificación, estas pueden ser técnicas compensatorias y no compensatorias (Gómez, 2004). Existen algunos problemas

importantes para el uso correcto de las EMC dentro de un SIG, en especial por el amplio número de alternativas habitualmente existentes, lo cual dificulta el empleo de muchas técnicas cuyas reglas de decisión a veces no son capaces de comparar entre sí todas las alternativas en un período de tiempo razonable. Por ello, lo habitual es utilizar reglas de decisión compensatorias (Bosque et al 2002). Entre las técnicas EMC utilizadas para la construcción de índices de riesgo de incendios estáticos tenemos el Método de las Jerarquías Analíticas (MJA) y la Técnica para el Orden de las Preferencias por Similitud a la Solución Ideal (TOPSIS). Sin embargo, “cuando el número de alternativas es muy elevado, el procedimiento de MJA terminaría en el nivel de atributo”. Las Técnicas de Punto Ideal “no plantea limitaciones en relación al número de alternativas a evaluar ni al número de criterios a ser considerados, esto le confiere excelentes posibilidades para ser incluido en un entorno SIG” (Gómez 2004), razón por la cual se justifica su uso es este estudio.

4. Marco metodológico

A continuación, se explica el modelo metodológico para abordar el problema, el mismo parte del reconocimiento de cinco variables explicativas tales como: proximidad a las carreteras, altitud sobre el nivel del mar, la insolación, focos de incendios y uso de la tierra. La base metodológica se derivó del modelo presentado por Ordoñez y Martínez (2003). La información cartográfica a priori la constituyen diferentes coberturas en formato vectorial, así como fotografías aéreas del año 2005 del proyecto Costa Rica Airborne Research and Technology Applications (CARTA) e imágenes de satélites Landsat y Aster de los años 2006 y 2008 respectivamente, las cuales son la base para generar las diferentes categorías de uso de la tierra.

La red de caminos fue obtenida del mapa base de Costa Rica del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y se complementó con la digitalización de vías a partir de la interpretación de fotografías aéreas, la resultante fue transformada en una cobertura de distancias a vías. También se contó con la cobertura de curvas de nivel con equidistancias cada 20 metros del IGN. En ellas los valores de altitud se presentan de manera discreta por lo que fue necesario realizar procesos de interpolación para generar un modelo digital de elevaciones sobre el nivel del mar. A partir del modelo digital

de elevaciones, se deriva la orientación de las laderas la cual es utilizada para analizar la insolación, esta es combinada con el registro de horas sol recibida obtenido del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) de Costa Rica. Finalmente, en el cuadro 2 se muestra la forma en que se reclasifica la orientación y las horas sol.

Cuadro 2. Clasificación de orientación de la ladera vrs horas sol

Ángulo	Orientación	Horas sol	Valor
-1	Zonas planas	6	5
0° -23°	Norte	4	1
23° - 68°	Noreste	4	2
68° - 113°	Este	7	3
113° - 158°	Sureste	5	4
158° 203°	Sur	7	8
203° - 248°	Suroeste	5	4
248° - 293°	Oeste	7	3
293° - 338°	Noroeste	4	2
338° - 360°	Norte	4	1

Fuente: Adaptado de Ordoñez Celestino y Martínez Alegría Roberto (2003).

Se contó con información referente a puntos de calor a través de Alertas Globales de Incendios de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y “MODIS Rapid Response” y “Global Fire Information Management System (GFIMS)”. El mismo se complementó con un registro de focos de incendios en formato vectorial del Ministerio del Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET). El mismo tenía observaciones desde 1 a 13 años. Para el caso de estudio se consideró incluir en el análisis aquellos focos superiores a cuatro años, con el fin de asegurar la certeza en cuanto a la presencia de un evento.

A partir de las imágenes Landsat y Aster se generó la cobertura de uso de la tierra mediante el método de clasificación supervisada, las categorías obtenidas constituyen la base para analizar sobre qué tipo de usos tienen mayor incidencia los incendios.

Definidas las variables explicativas se construye un modelo matemático que relacione las variables independientes o explicativas con una variable dependiente, para ello se realiza una regresión logística múltiple, la cual considera como dependiente una variable dicotómica, que será la presencia o no de focos de incendios. Además se incorporan las variables explicativas las cuales pueden ser de cualquier tipo, en este caso tenemos tres cuantitativas (elevaciones, insolación y distancia a carreteras) y una nominal (usos de la tierra).

Mediante una regresión logística multivariante expresada en la ecuación 1, se determina la probabilidad de que se origine un incendio en un punto cualquiera de la cuenca y establece que la variable dependiente sea igual a 1.

Ecuación 1. Regresión logística.

$$P(Y = 1) = \frac{\exp(\sum \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_3 X_3)}{1 + \exp(\sum \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_3 X_3)}$$

Siendo Y la variable dependiente y X_i las variables independientes y α y β números reales.

El modelo de regresión logística asume que se cumpla una hipótesis básica en donde P sigue una curva logística, para una única variable independiente X.

La probabilidad de incendio se expresa mediante la ecuación 2.

Ecuación 2. Determinación del mapa de probabilidad

$$\text{logit}(Y) = \ln \frac{P}{1-P} = \alpha + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n \rightarrow P = \frac{e^{\text{logit}(Y)}}{1 + e^{\text{logit}(Y)}}$$

Para obtener el riesgo final se reclasificó el mapa de probabilidad de acuerdo al cuadro 2.

Cuadro 3: Categorías de riesgo ante incendios según probabilidad

Probabilidad	Riesgo	Categoría
0 – 0,000001	1	Nulo
0,000001 – 0,25	2	Bajo
0,25 – 0,50	3	Medio
0,50 – 0,75	4	Alto
0,75 - 1	5	Muy alto

Fuente: Adaptado de Ordoñez, 2003.

A continuación se presentan los resultados obtenidos según el modelo explicado en el marco metodológico.

5. Discusión de Resultados

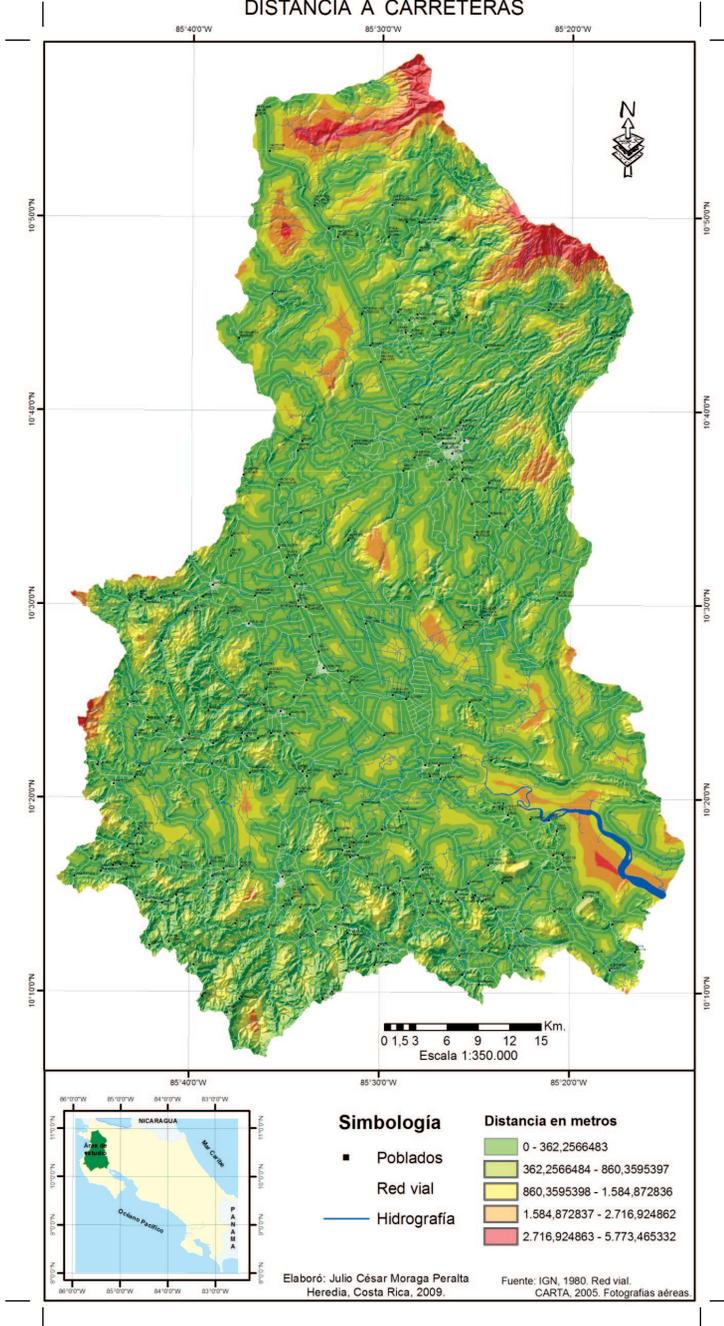
5.1. Distancia a carreteras

En la cuenca del río Tempisque, los medios de comunicación y el transporte han marcado un acelerado desarrollo en obras de infraestructura pública y privada tales como, la red vial para el transporte de personas y de mercancías. Históricamente el área de estudio gira alrededor de tres vectores; la existencia de rutas y caminos desde tiempos precolombinos y la carretera interamericana que conectó de manera eficiente la región guanacasteca con el resto del territorio nacional. Desde esta perspectiva, la cobertura de carreteras constituye un tema de líneas el cual ocupa prácticamente toda la superficie de la cuenca, presentando una menor densidad en la parte alta y en las áreas protegidas. Las mismas son consideradas un factor de riesgo de incendios ya que se asocian al tránsito de fumadores.

El análisis de distancias se derivó de la transformación del vector de red vial a raster y consistió en asignar a cada celda (raster) la distancia de la entidad más cercana del conjunto de celdas analizadas, esto se logró mediante la ayuda de un SIG. El mapa 1 muestra que las mayores distancias a partir del centro de celda se localizan en la parte alta de la misma, propiamente en las faldas de la cordillera de Guanacaste y en los espacios de protección en donde no existe la construcción de caminos. Esta situación favorece el desarrollo económico en la cuenca, pero a su vez, se convierten en un factor decisivo para disparar un incendio.

MAPA 1

CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE DISTANCIA A CARRETERAS



Al compararlas, junto a la cobertura de focos de incendios, se determina que las carreteras constituyen una variable que aporta, de forma decisiva, en la ocurrencia de incendios, ya que algunos de los focos registrados muestran una estrecha relación con estas.

5.2. Elevaciones

Las elevaciones se determinaron a partir de la interpolación de valores de altitud del mapa base de Costa Rica del IGN a escala 1:50.000, con la ayuda de SIG se realizó un proceso matemático que permitió predecir el valor de altitud transformando un número finito de observaciones en espacio de superficie continua, con ello se obtuvo un Modelo Digital de Elevaciones (MDE). Las altitudes de la cuenca oscilan desde los 10 metros hasta los 1900 msnm, las máximas elevaciones están representadas en el sector norte de la cuenca, específicamente en los límites de la cordillera de Guanacaste, una pequeña sección de estas se ubican en el límite suroeste, propiamente al sur del centro urbano de Santa Cruz en los cerros, Brujo y Cola de Gallo.

En el mapa 2 muestra que en la cuenca predominan tierras bajas, situación que determina su influencia directa en el comportamiento de las condiciones de temperatura, favoreciendo un calentamiento de la superficie por la acción del sol, lo que repercute directamente en el desarrollo de incendios.

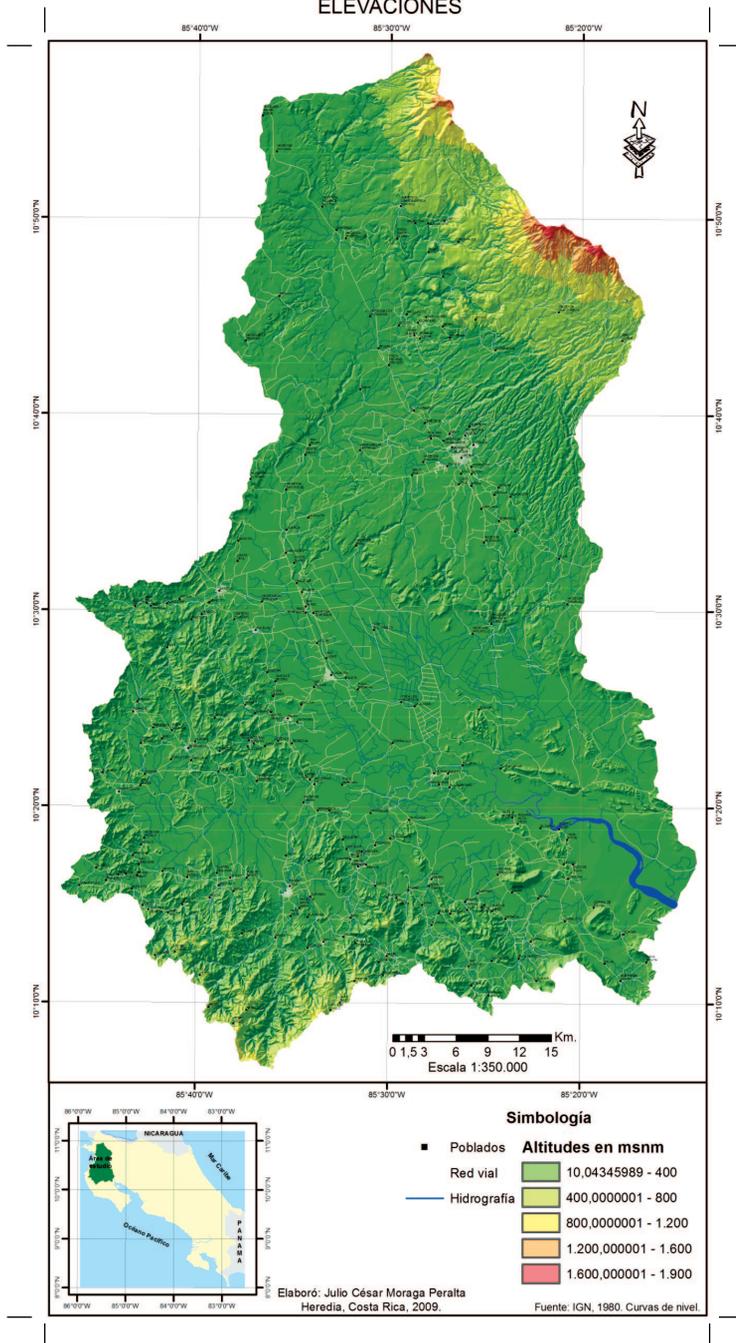
5.3. Insolación

A partir del MDE se derivó la orientación de las laderas, es decir, la exposición o dirección de la pendiente definida por una celda y sus ocho vecinos circundantes. La interpretación de este dato permitió establecer áreas en donde se pueda originar un incendio en un punto determinado.

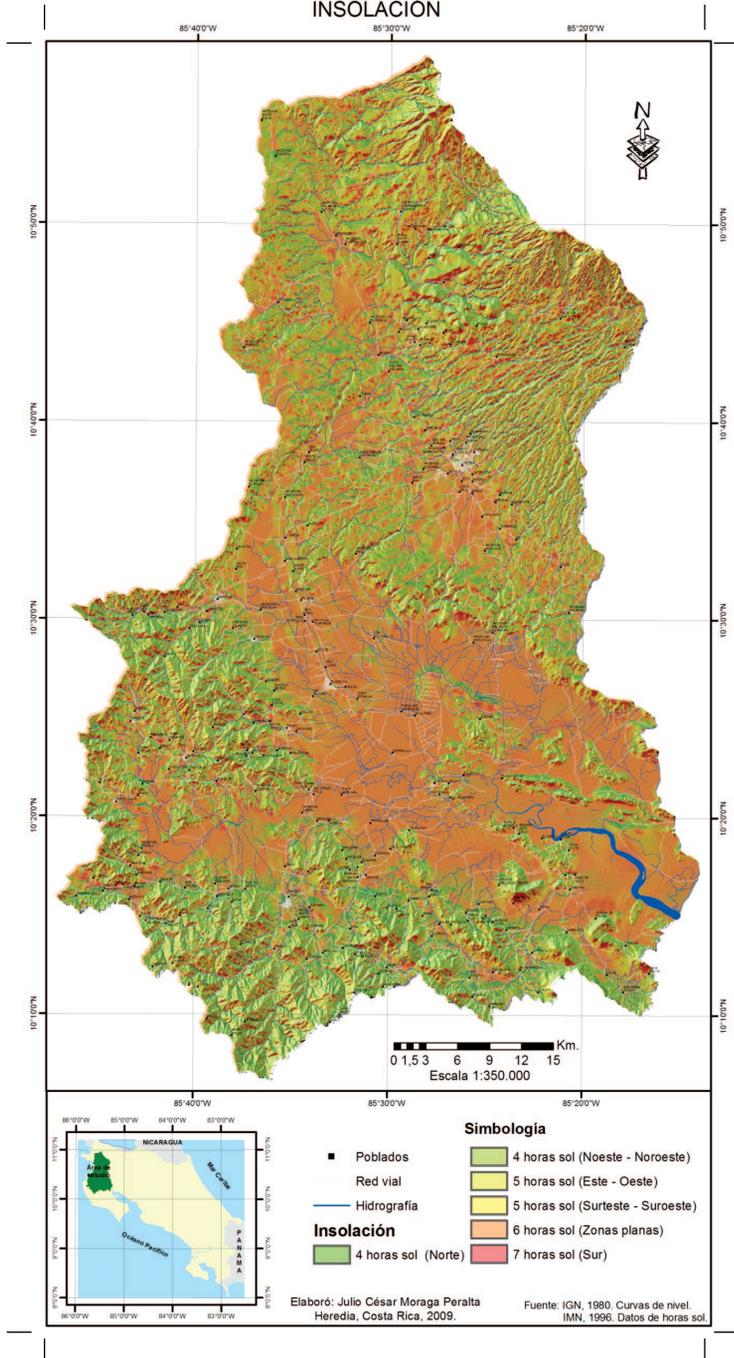
Es evidente que las áreas con orientación hacia el sur son las que están más expuestas al sol, no obstante para afianzar este criterio se correlacionó la orientación con los datos de brillo solar, y se estimó la cantidad de horas sol que reciben ciertas áreas en función a la dirección de la ladera. Con esto se determinó que la radiación solar es un factor que influye sobre estas áreas a lo largo del tiempo y por ende favorece el desarrollo de incendios forestales en la cuenca.

En el mapa 3 se observa que debido a las características geomorfológicas algunas áreas reciben hasta siete horas de sol al día, sin embargo

MAPA 2 CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE ELEVACIONES



MAPA 3 CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE INSOLACIÓN



las áreas que tiene mayor dominio son las que reciben hasta seis horas sol, su espacio es ocupado por las extensas planicies del valle del Tempisque dedicadas a las actividades agropecuarias. El patrón de uso conjugado con la cantidad de horas sol por unidad de superficie constituye un factor determinante en el disparo de incendios.

5.4. Focos e incendios

A partir del registro histórico suministrado por MINAET, se determinó la presencia de 36 focos de incendios, algunos de los cuales se alinean cerca de las carreteras, mientras que otros se conjugan con las particularidades del uso de la tierra. La importancia de esta cobertura para el estudio es la condición temporal con que ocurren las quemas en la cuenca; se constata que muchos de ellos tienen un periodo de retorno anual, principalmente durante la época seca de diciembre a abril de cada año. Durante esta época la temperatura se incrementa, unido a ciertas prácticas agrícolas que requieren procesos de quema como por ejemplo, la caña de azúcar que es incinerada para su posterior cosecha, por lo tanto, algunos de los focos de incendios observados tienen su origen en estas áreas. El mapa 4 muestra la distribución geográfica de los puntos de ignición.

5.5. Usos de la tierra en la cuenca del río Tempisque.

A partir de las imágenes de satélite Landsat y Aster se determinaron 16 categorías de uso de la tierra, siendo la categoría de pastos y pastos con árboles las que presentan mayor dominio.

El uso de la tierra constituye una variable de vital importancia para la determinación de las áreas con riesgo de incendios, para ello se analizó la relación existente entre los diferentes usos y la presencia de focos de incendio. Esto se logró mediante una tabulación cruzada, en la cual se determinó que los usos que tienen mayor incidencia a las quemas son los pastos, ya que de los 36 focos de incendios registrados al menos 23 tienen su origen en estas áreas, seguidos del charral y tacotal con 18 focos y 16 en la categoría de bosque secundario, por este motivo y dado que una gran extensión de la cuenca tiene este tipo de uso, centraremos el estudio en ellos. En la figura 1, se muestra el resultado obtenido mediante SIG, la categoría seis corresponde a pastos y es sobre ésta en donde se da la mayor propensión de los incendios.

MAPA 4 CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE FOCOS DE INCENDIOS EN AÑOS OBSERVADOS

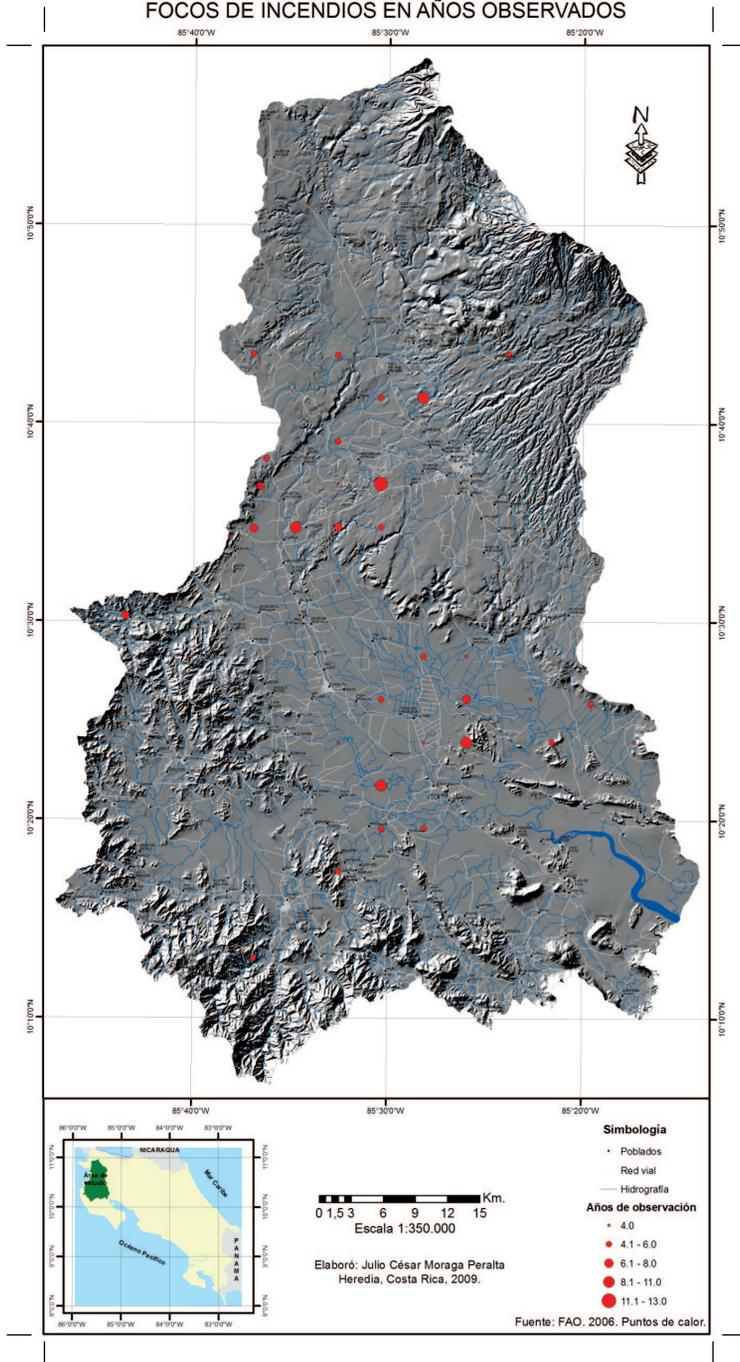


Figura N° 1

Cross-tabulation of focos_incendios (columns) against uso_tierra (rows)				
	0	1	Total	
0	3830415	0	3830415	
1	656810	5	656815	Bosque primario
2	985604	16	985620	Bosque secundario
3	96821	2	96823	Manglar
4	1009055	18	1009073	Charral y tacotal
5	4151	1	4152	Plantación forestal
6	1693574	23	1693597	Pastos
7	11989	0	11989	
8	393255	10	393265	Caña
9	630	0	630	
10	176979	6	176985	Arroz
11	3745	0	3745	
12	54	0	54	
13	277965	7	277972	Terreno descubierto
14	53014	0	53014	
15	4288	0	4288	
16	3860	0	3860	
17	41990	0	41990	
18	8775	0	8775	

Figura N° 1: Tabulación cruzada de focos de incendios versus usos de la tierra

Fuente: Elaboración propia a partir de la cobertura de uso de la tierra vrs focos de incendios.

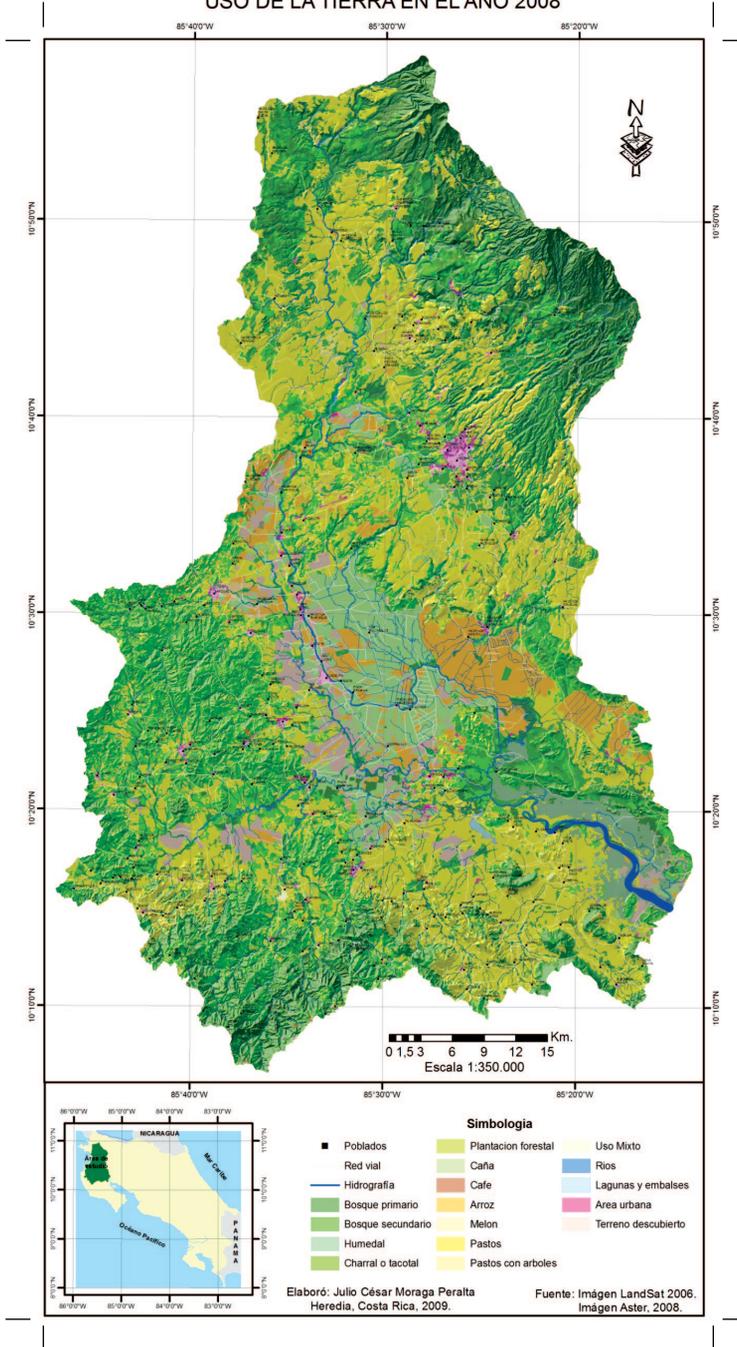
En el mapa 5 se muestra la distribución espacial de las diferentes categorías de uso, se evidencia que la categoría de pastos y pastos con árboles tienen gran representatividad espacial, por lo tanto fueron agrupadas para realizar el análisis.

5.6. Probabilidad del riesgo a incendios

Los incendios forestales constituyen una de las principales amenazas en la cuenca del río Tempisque, estos se conjugan con las características físico-geográficas y la presión humana motivada por las actividades agropecuarias. A partir de las variables analizadas se obtuvieron los coeficientes del modelo de regresión logística y se estableció la probabilidad de la variable dependiente. En dicho modelo se asume una hipótesis básica en donde la probabilidad sigue una curva logística o en forma de S, la cual es una función matemática que se utiliza para modelar la propagación de los incendios forestales.

El modelo de regresión logística fue introducido en un SIG, para ello la variable dependiente se transformó a dicotómica, es decir, la matriz de

MAPA 5 CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE USO DE LA TIERRA EN EL AÑO 2008



datos raster asumió valores entre 0 y 1, en donde 1 se refiere a los casos de igniciones observadas y 0 para puntos aleatorios en donde no se ha presentado incendios, por esta razón fue necesario construir una cobertura de puntos distribuidos aleatoriamente con valores de 0 y se unió a la cobertura de focos de incendios, la resultante constituyó la capa muestra para el modelo de regresión. Es importante advertir que para obtener buenos resultados en la regresión logística la capa muestra debe estar equilibrada, es decir, debe haber un número semejante con valores de 1 y 0.

Los coeficientes obtenidos de la ecuación de regresión se expresan a continuación.

$$\text{logit}(\text{focos_incendios}) = -0.9821 - 0.000259*d_vías + 0.198545*insolación - 0.004594*mde - 1.068334*pastos$$

En donde:

d_vías = Distancia a carreteras (-0.00025926)

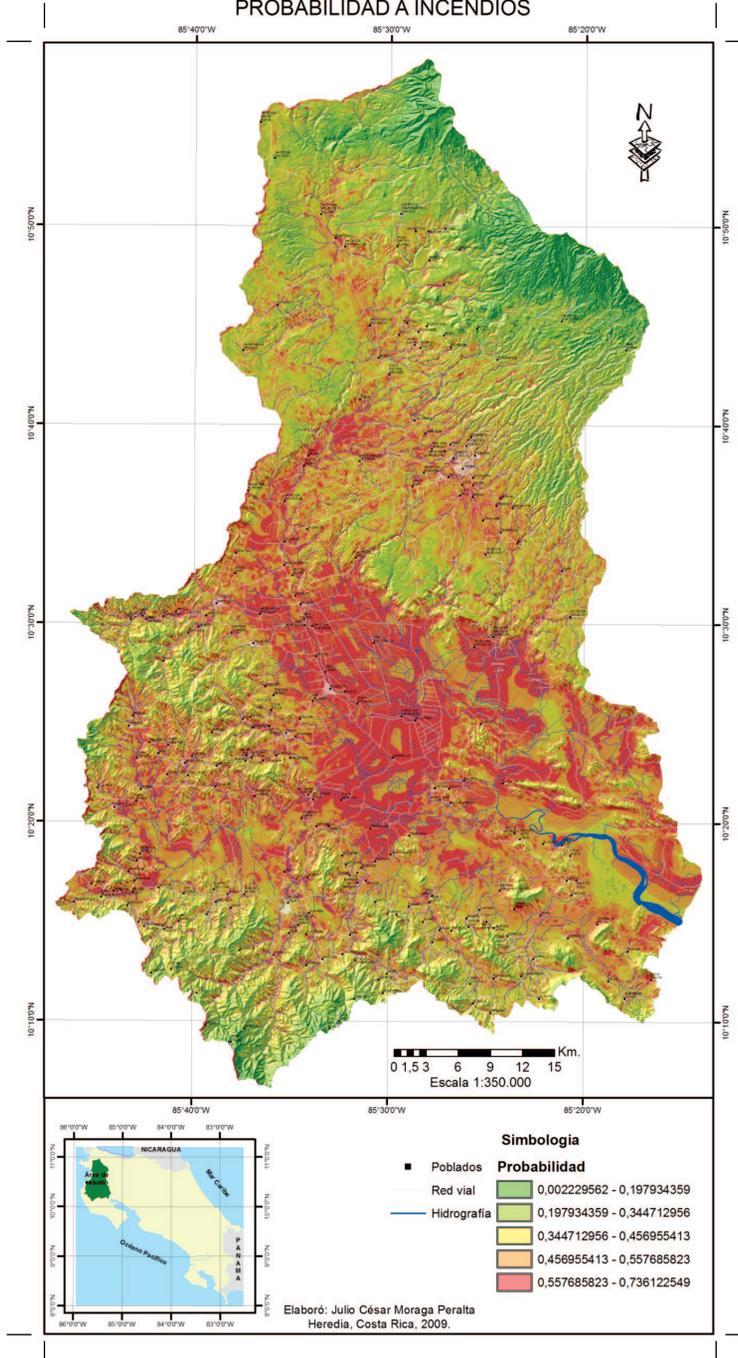
Insolación = Orientación de la ladera con horas sol (0.19854472)

mde = Modelo digital de elevaciones (-0.00459415)

Pastos = Categoría derivada del mapa de usos de la tierra. (-1.06833377)

El resultado de la regresión indica que la variable insolación tendrá mayor importancia en la solución final. Partiendo de dichos coeficientes se obtuvo la probabilidad de ocurrencia de un incendio, la misma asume valores que van desde 0,002229562 a 0,736122549, tal y como se muestra en el mapa 6, en donde la mayor probabilidad se da en la parte media a baja de la cuenca, situación que puede explicarse por la influencia de la insolación, unido a los factores antrópicos resultantes de las actividades agropecuarias, mientras que la probabilidad se reduce conforme se aumenta en altitud sobre el nivel medio del mar. Esta situación puede relacionarse a la acción de los elementos climáticos, como mayor contenido de humedad en las partes altas de la cordillera de Guanacaste y algunas elevaciones de consideración al sur del centro urbano de Santa Cruz, en donde existe una menor intensificación de las actividades humanas.

MAPA 6 CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE PROBABILIDAD A INCENDIOS



Con el índice de probabilidad se reclasificó el riesgo ante incendios de acuerdo a lo establecido en la cuadro 3, se obtuvo tres categorías, las cuales van desde bajo, moderado y alto, como se puede apreciar en el mapa 7. En el cuadro 4 se presenta el potencial de riesgo en porcentaje y en hectáreas, aunque el porcentaje de riesgo alto es muy pequeño, debe considerarse que las áreas con esta característica están distribuidas en gran parte de la cuenca, lo que indica que la ignición puede darse en cualquiera de estos sitios y podría impactar severamente los ecosistemas.

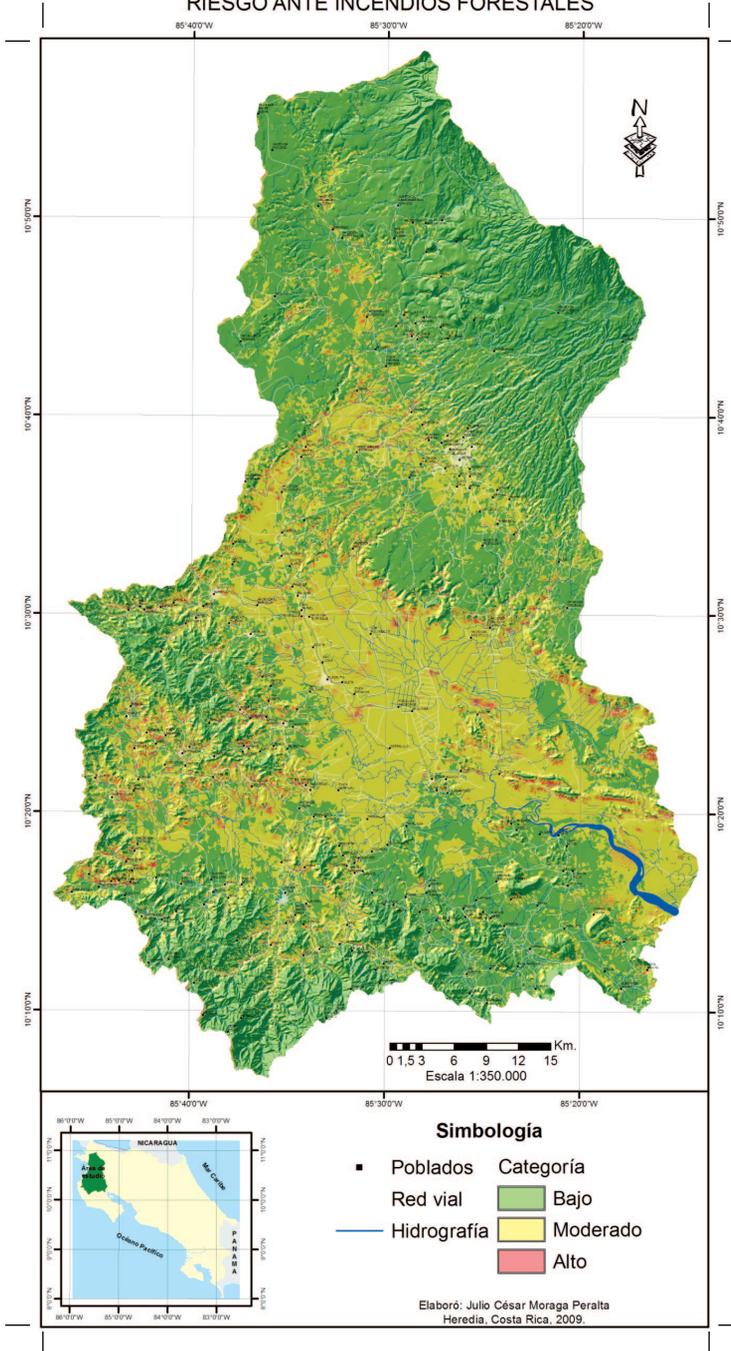
**Cuadro 4: Categorías de riesgo ante incendios forestales
en la cuenca del río Tempisque**

Categoría	Hectáreas	Área en %
Bajo	196063,77	57,90
Moderado	135350,28	39,97
Alto	7204,47	2,12

Fuente: Adaptado de Ordoñez, 2003.

El riesgo moderado alcanza un 39,97%, con ello se advierte que en la cuenca se deben tomar en consideración prácticas para evitar la propagación de quemas, principalmente las que se inician en las áreas de cultivos, nótese que su distribución espacial inicia con mayor intensidad desde la parte media a baja de la misma. La categoría de riesgo bajo se extiende hacia el sector norte, que representa la parte alta, situación que se explica por las diferencias en cuanto a las características climáticas unido a la presencia de espacios protegidos, los cuales tienen mayor vigilancia por parte de los grupos organizados ante incendios así como por funcionarios del MINAET; de acuerdo al registro de focos de incendios, estos no tienen mayor relevancia en esta área. Hacia el suroeste de la cuenca existen otras secciones con potencial de riesgo bajo, principalmente al sur de centro urbano de Santa Cruz, específicamente en el área que ocupa el Bosque Nacional Diríá y sus alrededores. También se presentan otras áreas con esta categoría en las serranías que se ubican al este del centro urbano de Filadelfia.

MAPA 7 CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE RIESGO ANTE INCENDIOS FORESTALES



6. Conclusiones

El estudio ha demostrado el potencial de riesgo de incendio en la cuenca del río Tempisque, por ello se contextualiza con la realidad observada y se valida el resultado obtenido del modelo de regresión logística. Se utilizaron 25 puntos de control en lugares que evidencian el impacto de los incendios, estos sitios son diferentes a los utilizados en la muestra. A través de una tabulación cruzada utilizando SIG se determinó que 7 puntos están dentro de las áreas de alto riesgo, 17 en las de riesgo moderado y 1 en las de riesgo bajo. En el cuadro 5 se muestra el resultado de la tabulación.

Cuadro 5: Tabulación cruzada riesgo ante incendios versus puntos de control

Riesgo ante incendio	Número de incendios	Área (%)	Área (ha)
Bajo	1	57,90	196063,77
Moderado	17	39,97	135350,28
Alto	7	2,12	7204,47

Fuente: Elaboración propia.

Lo anterior permite analizar la bondad de ajuste, en donde se corrobora que el modelo calculado se ajusta efectivamente a los datos usados para estimarlo. En el caso de la regresión logística una forma intuitiva es calcular la probabilidad de aparición de un incendio, para todos los puntos de la muestra. Cuando el ajuste es bueno, se espera que un valor alto de probabilidad se asocie con presencia real de un incendio, y viceversa, si el valor de esa probabilidad calculada es bajo, es de esperar ausencia de incendios.

Otro método que se utilizó para validar el modelo fue la comprobación con una imagen del satélite Landsat, en la figura 2 se ejemplifica una sección del área de estudio con focos de incendios, aquí se resalta con elipses de color amarillo las áreas quemadas. Nótese que dentro de cada elipse existe un foco de incendio. Además se muestra en el círculo de color rojo un área de pastos con un incendio activo en el momento de toma de la imagen satelital.

Figura N° 2

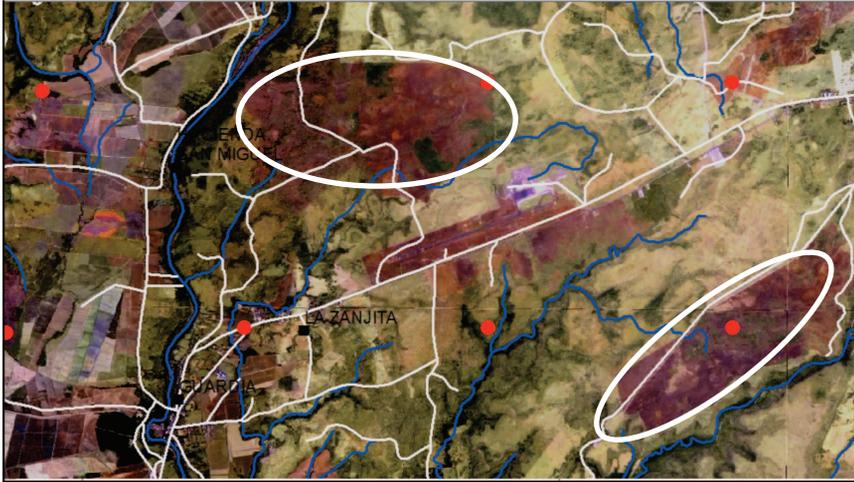


Figura N° 2: Relación de Focos de incendios con áreas quemadas.
Fuente: Elaboración propia a partir de imagen del satélite LandSat, 2007.

En la figura 3, se ilustra la misma sección del área de estudio, relacionando los focos de incendios, las áreas quemadas y el resultado obtenido mediante el modelo de regresión, las áreas de color amarillo representan un riesgo moderado y coinciden con las áreas señaladas en las elipses de color amarillo, se observa que dentro de ellas existen pequeñas manchas de color rojo que representan alto riesgo. Las áreas de color verde representan bajo

riesgo, pero su vecindad respecto a las de alto y moderado riesgo, las vuelve vulnerables a los incendios forestales.

Figura 3

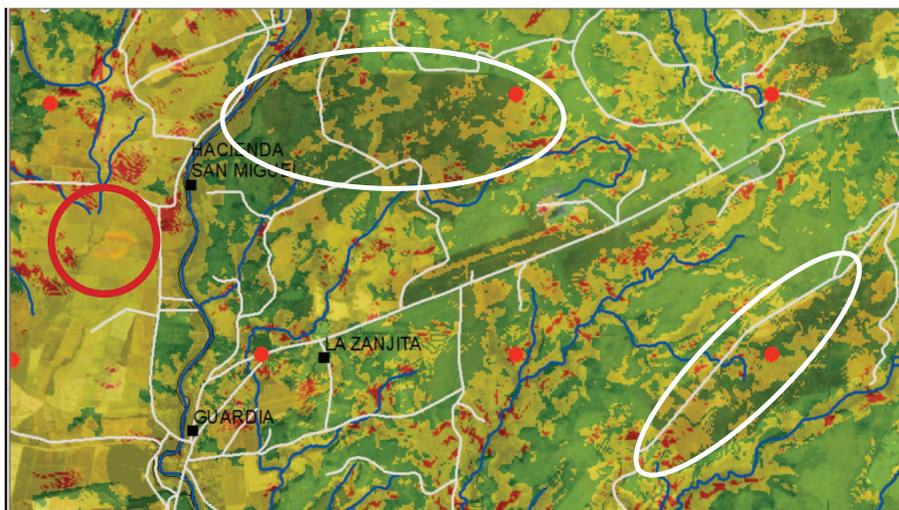


Figura N° 3: Riesgo ante incendios versus focos.

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados obtenidos combinados con imagen de satélite LandSat, 2007.

Lo anterior garantiza que el modelo presenta buenos resultados ya que existe una relación directa de incendios con las diferentes categorías de riesgo establecidas. Por ello se recomienda su uso siempre y cuando exista la información disponible para poder modelar los datos según lo establecido en la metodología.

El uso de técnicas de teledetección demuestra ser una herramienta muy poderosa y confiable para llevar a cabo procesos de validación y contextualizar el desempeño del modelaje de los datos, además facilita el monitoreo de áreas incendiadas. La correspondencia entre las áreas incineradas y el riesgo de incendio asociado permitirá profundizar el estudio de esta herramienta para su puesta en funcionamiento de manera operativa dentro de un SIG. Este último permitirá relacionar dicha información a otras fuentes de datos que harán más confiable y precisa la información transmitida a los organismos involucrados en la lucha y prevención de incendios.

A partir de los resultados obtenidos, el problema de los incendios forestales en la cuenca del río Tempisque debe ser abordado fundamentalmente desde la base de la prevención, enfatizando en la motivación de los pobladores y su actitud negligente e irresponsable con los recursos naturales y por ende con el ambiente. El conocimiento que aquí se ha generado contribuye para desarrollar programas de prevención que guíen la asignación de recursos humanos y económicos para modificar la actitud negligente de la población. La sinergia de actores representativos en la cuenca debe orientar esfuerzos en educación para el conocimiento de los recursos naturales y cómo protegerlos, además de incluir campañas de difusión que incentiven a la utilización de prácticas alternativas a las quemas para la eliminación de desechos vegetales.

Bibliografía

- A que llamamos Incendio Forestal*. Disponible en <http://www.scribd.com/doc/5459053/A-que-llamamos-Incendio-Forestal> consultado el 10 de mayo de 2009.
- Alpízar, E., Bolaños, R., Bravo, J., Canessa, G. y J. Echeverría (1998). *Plan de Acción para la Cuenca del Río Tempisque. Zonas de Vida, Biodiversidad, Áreas Protegidas y Humedales*. Volumen II. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica.
- Arguedas C., C. (28/05/2009). *Rayos provocan tres incendios forestales en Guanacaste*. La Nación. Disponible en http://www.nacion.com/ln_ee/2009/mayo/28/sucesos1977854.html consultado 01 de mayo de 2009.
- Bosque S., J., Díaz C., C., Díaz M., M.A. (2002). *De la justicia espacial a la justicia ambiental en la política de localización de instalaciones para la gestión de residuos en la comunidad de Madrid*. Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá. (Publicado en Boletín de la Real Sociedad Geográfica, t. CXXXVII-CXXXVIII, 2001-2002, pp. 89-114.) disponible en <http://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/Geo2/archivos/jusespam.pdf> consultado 01 de mayo de 2009.
- Costa Rica Airborne Research and Technology Applications. "CARTA". (2005). *Fotografías aéreas, 2005*. Programa Nacional de Investigación Aerotransportado y Sensores Remotos "PRIAS". Centro Nacional de Alta Tecnología "CeNAT", San José, Costa Rica.

- Castillo M., Pedernera, P., Peña, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA*. Vol. XIX / N° 3 y 4 / 2003. Disponible en http://www.cipma.cl/RAD/2003/3-4_Castillo.pdf consultado el 06 de mayo de 2009.
- Dirección General de Biodiversidad, Islas Baleares. *III Plan General de defensa contra incendios forestales*. Disponible en http://www.ri-named.net/docs/prof/incendios_balear/8_1_riesgo.pdf consultado el 10 de mayo de 2009.
- Echeverría, A., Echeverría, J. y Mata, A. (1998). *Plan de Acción para la Cuenca del Río Tempisque. Antecedentes del Estudio y Resumen Ejecutivo*. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica.
- Galdames O., D.V. (2000). *Desarrollo de un marco conceptual para proponer un sistema de gestión ambiental municipal en la Comuna de Melipilla*. Universidad de Santiago de Chile. Disponible en <http://www.fortunecity.es/expertos/creativo/129/> consulado el 10 de mayo de 2009.
- Gómez D. M., Barredo C. J. I. (2004). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid: RAMA.
- Ferreras, J. Estada. P., Herrero T., y Martín M.A. (2001). Los incendios forestales. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*. Disponible en <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=379> consultada el 30 de abril de 2009.
- Lizano, O.G. (1998). Dinámica de las aguas en la parte interna del Golfo de Nicoya ante altas descargas del Río Tempisque. *Revista de Biología Tropical*, vol. 46. Supl. 6: 11-20.
- Loaiza, N.V. (2008). Incendios forestales provocados arrasaron 32.000 hectáreas. *La Nación*, San José, Costa Rica. Disponible en http://www.nacion.com/ln_ee/2008/enero/24/pais1396413.html consultado el 30 de abril de 2009.
- Mascaraque, S. A. (2003). *Índices de causalidad y riesgo de incendios aplicados a los espacios naturales protegidos de la comunidad de Madrid*. Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en http://oa.upm.es/911/1/PFC_Riesgos_Incendios_Forestales.pdf consultado el 01 de mayo de 2009.
- Maskrey, A. (1993). *Los desastres no son naturales*. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Colombia.

- Disponible en <http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/>. Consultado el 30 de abril de 2009.
- Mateo, V. J. (2001). Características generales de la cuenca del Río Tempisque, p. 32-72. En: Jiménez, J.A. y E. González (editores). *La cuenca del río Tempisque. Perspectivas para un manejo integrado*. Organización para Estudios Tropicales, San José, Costa Rica.
- Ordoñez, C., Martínez A., R. (2003). *Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones prácticas con Idrisi32 al análisis de los riesgos naturales y problemas medioambientales*. México: ALFA OMEGA.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) - MODIS Rapid Response - Global Fire Information Management System (GFIMS). *Alertas Globales de Incendios*. Disponible en <http://maps.geog.umd.edu/firms/> consultado 10 de marzo de 2009.
- Viqueira, J.R.R., Álvarez P., Varela J., Saco P. J. (2003). *Architecture of a Natural Disasters Management Framework and its Application to Risk Assessment*. Instituto de Investigaciones Tecnológicas. University of Santiago de Compostela, y el Centro Politécnico Superior. University of Zaragoza. España. Disponible en http://plone.itc.nl/agile_old/Conference/estoril/papers/65_Jose%20Viqueira.pdf consultado el 15 de mayo de 2009.
- Ramos R., M. P., González M., Y. (2003). Definición de la época de incendios forestales en un contexto multivariado. Disponible en <http://www.floresta.ufpr.br/firelab/artigos/artigo354.pdf> consultado el 10 de mayo de 2009.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación del Ministerio de Ambiente y Energía (2006). *Estrategia Nacional de Manejo del Fuego de Costa Rica: 2006–2010*. Tercera edición, San José, Costa Rica. Disponible en http://documentacion.sirefor.go.cr/archivo/incendios/emf_2006.pdf consultado el 01 de mayo de 2009.
- Villalobos F., R., Retana J. A., Acuña, A. (2000). El Niño y los Incendios Forestales en Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional. Gestión de Desarrollo. Disponible en http://www.imn.ac.cr/publicaciones/estudios/Nino_incendios_forestales.pdf consultado el 15 de setiembre de 2009.