

FRAGMENTACIÓN Y CONECTIVIDAD DE ECOSISTEMAS EN EL SECTOR DEL PROYECTO GEOTÉRMICO MIRAVALLÉS Y SUS ALREDEDORES. 1975 – 2007

Gilbert Vargas Ulate*
gilberto.vargasulate@ucr.ac.cr

Fecha de recepción: 16 junio 2008 - Fecha de aceptación: 28 agosto 2008

Resumen

El presente trabajo muestra la importancia del desarrollo del turismo en armonía con la naturaleza, considerando que este es una de las principales fuentes de ingresos de divisas de la economía de Costa Rica. Se efectúa una revisión del desarrollo del turismo en Costa Rica y su relación con el ambiente, y muestra un ejemplo de cómo se puede organizar una comunidad para aprovechar las ventajas de la naturaleza y fomentar el turismo en la región. Por último se presentan algunas recomendaciones que considerar para mejorar el desarrollo del turismo en el país en armonía con la naturaleza.

Palabras clave: turismo, ambiente, estrategia de desarrollo económico, ecoturismo.

Abstract

Taking into consideration that tourism is the main source of income for Costa Rica, this paper underscores the importance of developing this sector in accordance to its ecological aspects. It shows a summary of the progress tourism has experienced in Costa Rica and its relation to the environment. It also provides an example of how to organize a community so that it can take advantage of its natural beauty and promote tourism in the region. Lastly, it shows recommendations to improve tourism in the country in harmony with nature.

Key Words: Tourism, Environment, Economic Growth Strategy, ecotourism.

Introducción

Durante los dos últimos siglos y en especial a partir de 1950, las transformaciones originadas por el ser humano por medio de sus actividades en el espacio geográfico costarricense han configurado un paisaje, en donde los remanentes de paisajes naturales son cada vez más escasos y dispersos. Los paisajes

naturales se encuentran insertos en una matriz de espacios organizados y explotados por las personas.

Las perturbaciones originadas por el ser humano en los ecosistemas o paisajes naturales provocaron la disminución de la superficie forestal, la que aparece en forma fragmentada. De esta manera, la fragmentación del bosque es el reemplazo de grandes áreas del bosque nativo por otros usos antrópicos que generan en el territorio parches o islas de bosques separadas, entre sí.

* Escuela de Geografía, Sede Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica

Como consecuencia de la fragmentación se produce una reducción y pérdida de todo o casi todo el hábitat natural en el paisaje. Esto ocasiona la separación del hábitat remanente en parches más pequeños y aislados; de esta manera se disminuye progresivamente la diversidad biológica.

A medida que la fragmentación del bosque aumenta, el tamaño de los fragmentos son cada vez más pequeños; lo que origina la extinción de especies y favorece la formación de los "territorios -isla" (Harris, 1984).

La fragmentación de los paisajes naturales debe entenderse como el proceso en que extensas áreas de vegetación forestal reducen su superficie al dividirse en varias manchas más pequeñas por la acción de un agente externo. En estos casos, si bien existen factores naturales que contribuyen a la fragmentación, es la presión antrópica, por medio de la colonización agrícola y los incendios forestales la causa fundamental de la creciente disgregación de los ecosistemas, al transformar las tierras forestales en espacios de uso agropecuario.

En Costa Rica, el grado de fragmentación del paisaje natural aumentó en forma considerable a partir de 1950 a causa de la expansión de la frontera agrícola. El avance de la colonización agrícola esta asociada al fuerte vínculo de la economía del país con el mercado mundial que requirió de más tierras para los nuevos cultivos de agroexportación.

El Estado costarricense, también ha sido promotor de la colonización agrícola que avanzó sobre terrenos no aptos para la agricultura y ganadería por medio de las políticas de asentamientos campesinos que implementó el Instituto Nacional de Tierras y Colonización (ITCO). El efecto final fue la transformación de tierras forestales en espacios de uso agropecuario.

A partir de 1940, el área de estudio localizada en la caldera de Guayabo y las laderas del volcán Miravalles no fue ajena a estas transformaciones humanas. Es por esta razón, que el presente estudio, pretende estudiar el grado de cobertura forestal y uso de la tierra en el año de 1975 y en el año 2007 para establecer el grado de fragmentación y sus causas, así como la evolución del proceso de conectividad.

Área de estudio

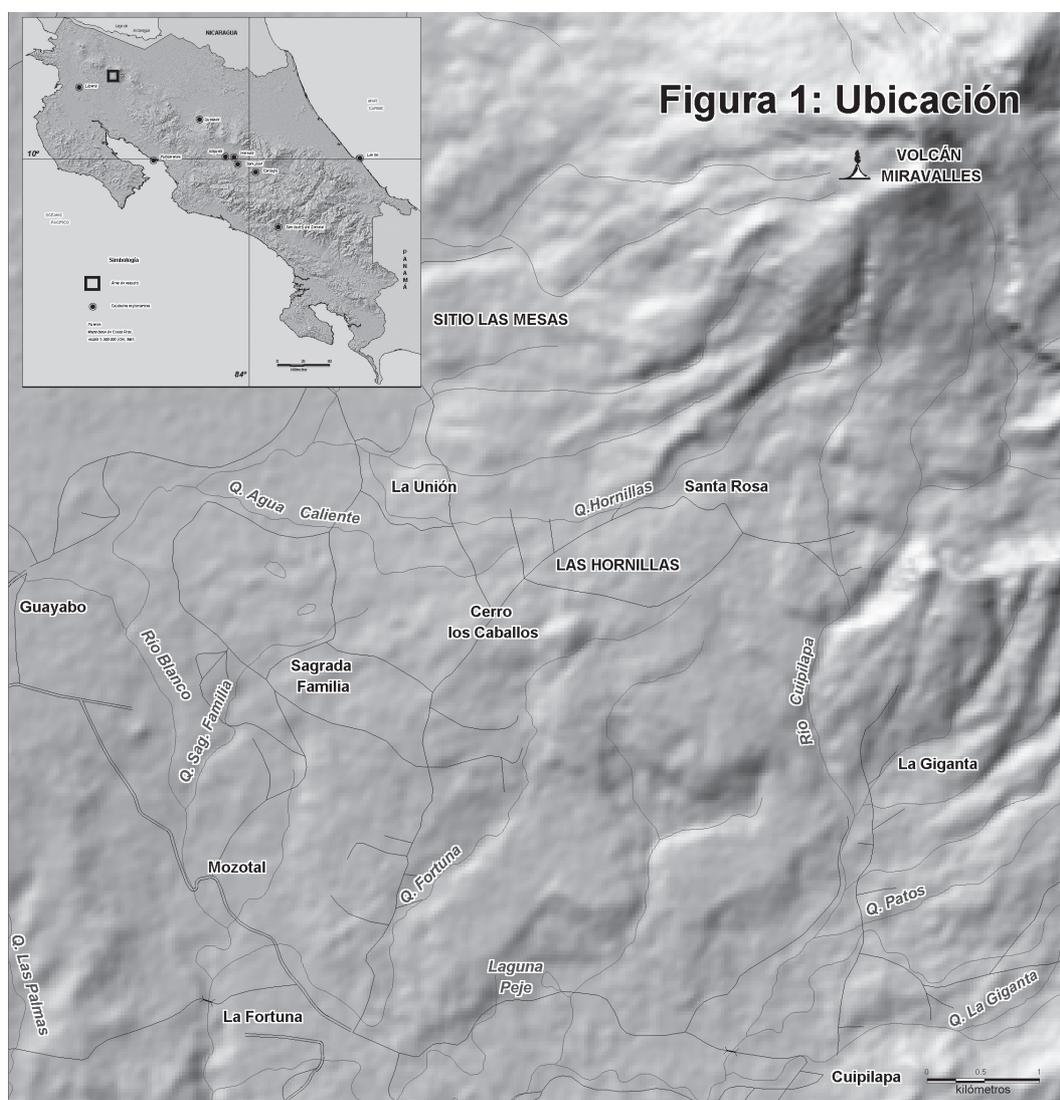
El área de estudio se ubica 26 km al Norte de la ciudad de Bagaces. Administrativamente pertenece al cantón de Bagaces y se destacan como poblaciones Guayabo, Fortuna y Cuipilapa (Figura 1).

El poblamiento de esta zona se inició a partir de 1930, con personas procedentes de Palmares, San Ramón, Naranjo, Puriscal y Bagaces quienes siguieron la ruta de Bagaces a Guayabo a pie o en carreta (Comunicación personal con Humberto Porras, vecino de Guayabo, 88 años). En 1940, existió en Guayabo una hacienda ganadera muy grande que motivo una mayor migración hacia Guayabo, Fortuna y Cuipilapa. El bosque se taló y las tierras se dedicaron a la ganadería y a cultivos como el arroz, cebolla, lechuga, café, maíz, caña de azúcar, frijoles y tubérculos.

Geomorfológicamente, se distinguen dos unidades de relieve. La primera constituida por la caldera de Guayabo y la segunda por el volcán Miravalles y sus vertientes. La caldera de Guayabo es una gran depresión ovalada, la más grande de Costa Rica. Se formó por una destrucción de tipo colapso del complejo volcánico compuesto por los antiguos volcanes La Montañosa, Guayabo y Espíritu Santo, hace aproximadamente 1,5 millones de años (Alvarado, Sigarán y Pérez, 2000).

El volcán Miravalles es la máxima altitud de la cordillera volcánica de Guanacaste (2028m) y sus flancos presentan pendientes de hasta 45°. El ciclo eruptivo más reciente del volcán tuvo lugar hace 9000 años, con excepción de una pequeña explosión freatomagmática que tuvo lugar en el año 1946, en el sector de Las Hornillas. Es en esta área de las Hornillas donde se localiza actualmente la actividad volcánica, caracterizada por la existencia de fumarolas, fuentes termales y hervideros de lodo con temperaturas que alcanzan los 94°C (Alvarado, Sigarán y Pérez, 2000).

Dos importantes coladas de lavas se ubican hacia el suroeste del volcán, entre los ríos Cuipilapa y Fortuna (Bergoing, 2007). El relleno de la caldera es el resultado de la acumulación de lavas, ignimbritas y piroclastos, produciendo



una topografía plana del fondo de la caldera unido a los depósitos volcánicos da origen a suelos andosoles profundos y muy fértiles.

En el fondo de la caldera donde se ubican Guayabo, Fortuna y Cuipilapa llueve 2500 mm al año, pero a medida que se asciende hacia el volcán Miravalles, cerro La Giganta y cerro Cabro Muco la lluvia aumenta a 3 500 mm anuales.

Igualmente se produce una variación de las temperaturas entre los 20° y 15° C.

Herrera (1985) distingue dos tipos de clima que están muy relacionados con las unidades de relieve, estos tipos de clima son el clima muy húmedo, fresco con déficit moderado de agua y el clima húmedo, caliente con déficit moderado de agua (Cuadro 1)

Cuadro 1
Tipos de clima y características según clasificación de Wilbert Herrera

	Clima muy húmedo, fresco con déficit moderado de agua	Clima húmedo, caliente con déficit moderado de agua
Lluvia anual	2 550 – 5 680	2 560 – 3 130
Temperatura promedio anual	15° - 18°	18° - 22°
Estación seca	De enero a principios de abril	De la última semana de diciembre a finales de abril
Índice de aridez	Pequeño o ningún déficit de agua	Moderado déficit de agua

Fuente. Herrera, W. 1985.

A nivel local, el clima se ve afectado por dos pasos o depresiones, una a cada lado del volcán Miravalles. Hacia el oeste, se ubica la depresión comprendida entre los cerros La Montañosa y el volcán Miravalles y hacia el Este la depresión ubicada entre volcán Miravalles y los cerros Cabro Muco y La Giganta. Por medio de ambas depresiones, penetran los alisios del Noreste cargados de humedad que originan derrames de lluvia, nubosidad y fuertes vientos entre diciembre y febrero; por el contrario, entre mayo y octubre la región cae bajo la influencia del régimen del Pacífico originándose la estación lluviosa.

El sistema se zonas de vida (Holdridge, 1982) nos permite conocer las formaciones vegetales que existieron originalmente en el área de estudio. En el mapa de zonas de vida (Figura 2) a escala 1: 50 000 se representan cuatro tipos de formaciones vegetales que son: bosque muy húmedo premontano transicional a basal, el bosque muy húmedo premontano, el bosque pluvial premontano y el bosque pluvial montano bajo. Los dos primeros dominan en un 86% en el área de estudio y constituyen una transición entre el piso basal seco y el premontano más húmedo; los dos últimos se ubican en las laderas superiores del volcán Miravalles.

En 1 977, el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) inició la construcción del proyecto geotérmico Miravalles en un área de 15 km², en la falda suroeste del volcán Miravalles. El yacimiento geotérmico se ubica entre las localidades de Las Hornillas, La Fortuna y La Unión. En la actualidad el ICE cuenta con cuatro

plantas geotérmicas con una capacidad de 142.5 megavatios (Brenes y González, 2001).

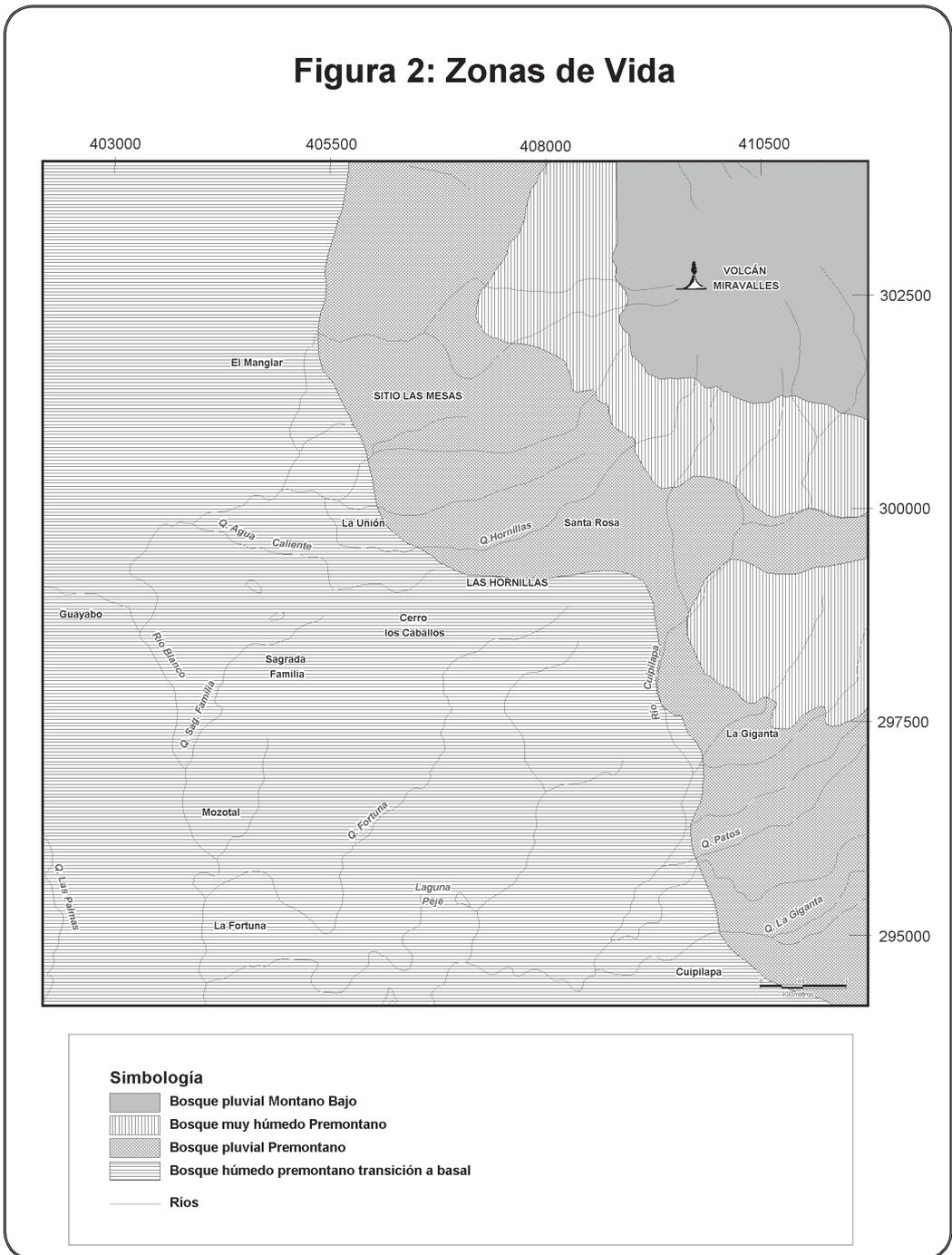
A partir de 1 997, el ICE inicio un manejo ambiental del proyecto por medio de medidas de mitigación y compensación para atenuar los impactos ambientales, podemos citar entre estas practicas la instalación de silenciadores, el establecimiento de coberturas vegetales para minimizar los impactos visuales, la implementación de programas de educación ambiental y la capacitación en las comunidades aledañas y el monitoreo ambiental permanente en el área de influencia del proyecto.

Aspectos conceptuales

El análisis ecológico de la vegetación puede realizarse por medio de un enfoque autoecológico que es característico de la biología o por un análisis sinecológico que corresponde a la fitogeografía y ecología de paisajes. Nuestro estudio sigue un análisis geográfico, por lo tanto sinecológico que permite el estudio de la distribución espacial, la fisonomía y estructura de las comunidades vegetales, campos estos del dominio de la geografía.

La ecología del paisaje fue creada por el biogeógrafo alemán Carl Troll en 1 939, tres años después que Tansley diera a conocer el concepto de ecosistema (Vink, 1983), su objetivo fue combinar dos disciplinas, la geografía y la ecología. Troll relacionó las estructuras espaciales que son objeto de la geografía con el funcionamiento de los procesos ecológicos de los cuales se encarga la ecología.

Figura 2: Zonas de Vida



Fuente: Mapa de Zonas de Vida, escala. 1: 200 000. CCT-ICE, 1988. Modificado por Gilbert Vargas, 2008.

De esta manera, el paisaje es considerado como la traducción espacial del ecosistema (Richard, 1975) o un nivel de organización de los sistemas ecológicos, que se caracteriza por su heteogeneidad y por su dinámica, controlada en gran parte por las actividades humanas que lo hacen variar en el espacio y en el tiempo. La heterogeneidad espacio-temporal resultante controla numerosos movimientos y flujos de organismos, materia y energía (Bertrand, 1978)

La ecología del paisaje considera al ser humano como parte integrante del ecosistema, por lo tanto, como elemento biótico destruye, modifica, transforma y construye nuevos ecosistemas. Hasta 1970, los estudios ecológicos se enmarcaran dentro de ecosistemas naturales en equilibrio como el bosque o las sabanas, considerando su funcionamiento interno, pero no su análisis en el espacio (Duvigneaud, 1980); sin embargo, posterior a esta fecha surgieron cuestionamientos ambientales ligados a la transformación de los paisajes por medio de la acción humana y en especial por la deforestación que provoca la fragmentación del paisaje y por lo tanto su heteogeneidad espacial.

La ecología del paisaje permite comprender los paisajes actuales por medio de su evolución en el espacio y en el tiempo y es aquí donde la geografía es la ciencia capaz de integrar o unir las ciencias naturales con las ciencias sociales. La geografía como ciencia de síntesis e integradora realiza estudios de la relación sociedad – ambiente y en especial como el ser humano modifica, transforma y mantiene los paisajes que crea.

La acción humana origina un mosaico de unidades heterogéneas en el paisaje, las cuales están definidas por su tamaño y su forma, las cuales finalmente se representan en un mapa. La cartografía es el instrumento fundamental en la representación del paisaje, por medio de unidades ecológicas y espaciales que presentan un cierto grado de homogeneidad según su fisonomía y estructura; como ejemplos tenemos los bosques, los tipos de cultivo, los pastos, los barbechos y las ciudades. Por lo tanto, un paisaje, esta formado por un conjunto de unidades heterogéneas.

La heterogeneidad se define según el análisis geográfico como un todo formado por

elementos diferentes, inconexos y frecuentemente antagónicos dentro del mosaico paisajístico analizado (Rey, 1980). Si el estudio tiene un énfasis en las formaciones forestales y en su transformación se habla de territorio – isla, isla biogeográfica o fragmentación de ecosistemas.

Los estudios de fragmentación tienen su base conceptual en la teoría biogeográfica de islas (MacArthur y Wilson, 1967) y se basan en la riqueza o número de especies en función del tamaño de la isla y su distancia al continente. La riqueza depende de dos procesos dinámicos: un proceso de inmigración de propágulos y un proceso de extinción de poblaciones.

La teoría de islas se convirtió en el primer marco conceptual para interpretar áreas fragmentadas de hábitat, esto al considerar que las áreas aisladas de hábitat en tierra firme, como las cimas de montañas, fragmentos de bosques y reservas naturales podrían actuar como islas rodeadas de hábitat desfavorables. Estos estudios tuvieron un marcado énfasis biológico, principalmente al estudiar el número de especies, grado de biodiversidad, estudios de poblaciones y la extinción de especies animales (Kattan, 2002).

El análisis geográfico de las islas biogeográficas o fragmentación estudiadas a partir de la ecología de paisajes tiene como énfasis los cambios en la estructura espacial del paisaje, que interpreta la relación espacial entre parches o fragmentos. Los cambios producidos por la fragmentación se ven reflejados en la estructura espacial del paisaje como el tamaño, la forma o la posición de los fragmentos en el paisaje (Turner, Gardner y O'neill 2001). Este es el enfoque geográfico que seguiremos en el presente estudio.

Las perturbaciones en los ecosistemas son originadas por factores de origen humano y natural. Después de una perturbación, si las condiciones ambientales no han sido muy alteradas se inician procesos de sucesión, reconstrucción o cicatrización de ecosistemas. Los procesos de sucesión pueden ser progresivos o regresivos. Son progresivos, cuando la intervención humana es reducida favoreciendo el aumento de los ecosistemas forestales; por lo tanto, aumenta la conectividad entre las manchas de bosques. Los procesos son regresivos cuando la actividad humana se mantiene o se

intensifica reduciendo la superficie de los bosques, por lo tanto se aumenta la fragmentación.

La fragmentación se produce cuando grandes segmentos de vegetación se eliminan, quedando como resultado numerosos segmentos más pequeños separados unos de otros, lo que implica una disminución en el tamaño de los segmentos remanentes de los ecosistemas boscosos (Burel y Baudry, 2002).

El caso más común de fragmentación se produce por la actividad humana y en especial por la colonización agrícola no dirigida en los frentes pioneros de colonización. Se inicia con pequeños claros aislados dentro del bosque que siguen el valle de un río o caminos de penetración; a medida que avanza la penetración y ocupación, la perturbación es mayor y se produce un aumento en la cantidad y tamaño de los claros hasta llegar a un punto en que el uso humano de la tierra domina claramente sobre la vegetación natural, todo esto origina un desequilibrio en los procesos ecológicos.

Las perturbaciones más comunes en Costa Rica obedecen a la colonización agrícola, ya que el paisaje es el resultado de la confrontación continua entre la sociedad y el ambiente natural. Al respecto Crumley y Marquardt (1987) dicen que la gente transforma el paisaje natural en equilibrio y se apropia de sus territorios, sus casas, sus espacios vitales y laborales, modificándolos conscientemente en función de su percepción, su valor económico y su uso.

La conectividad es el proceso opuesto a la fragmentación. A escala de paisaje, se ha definido la conectividad como aquel paisaje que facilita o impide el desplazamiento de especies entre los parches. La alta o baja conectividad va estar en función del grado de desplazamiento de las especies entre las manchas de bosque. Un mismo paisaje puede ofrecer una elevada conectividad para algunos organismos, como las aves que alcanzan mayor distancia de desplazamiento y baja conectividad a otros como los reptiles (Taylor, Fahring, Henein y Meriam, 1993)

La conectividad está determinada por dos procesos: uno estructural y otro funcional. El proceso estructural está determinado por la distribución espacial de los diferentes tipos de hábitat en el paisaje (pastos, cultivos, bosques,

matorrales, charrales). En este proceso estructural influyen la presencia y continuidad de hábitats adecuados de dispersores de especies, la dimensión de las brechas y la distancia entre fragmentos (Bennet, 1990). El proceso estructural se refiere a la distribución espacial, que es una tarea eminentemente geográfica, lo que permite crear mapas para representar y visualizar índices o grados de fragmentación y conectividad, determinar la superficie de las manchas y la distancia lineal entre los diversos hábitats.

El proceso funcional de la conectividad se refiere a la respuesta conductual de los individuos y especies a la estructura física del paisaje (rugosidad, pendiente, tipo de relieve, condiciones climáticas como nubosidad, aridez, tipo de suelo). Los factores que lo determinan son la capacidad de dispersión, la capacidad de reproducción, la amplitud ecológica y la tolerancia a hábitat alterados. El proceso estructural es geográfico y el funcional es más de carácter biológico, por lo que seguiremos el primer enfoque en esta investigación.

Metodología

La cartografía es la disciplina de la geografía mediante la cual se representa el paisaje y se identifican para un territorio dado, las unidades ecológicas y espaciales más o menos homogéneas. Por ello, se constituye en la base de los estudios de ecología del paisaje.

Los mapas permiten representar el estado del paisaje en un momento determinado, por lo tanto, se representa un estado pasivo del espacio. No obstante, cuando se comparan dos mapas en diferentes periodos de tiempo se convierten en una acción dinámica que permite analizar espacialmente la fragmentación o la conectividad que se este dando entre ambos periodos de tiempo.

Al analizar dos mapas de periodos de tiempo diferente podemos interpretar entre otros aspectos los siguientes: 1. que la superficie total del bosque disminuya o aumente entre los dos periodos, 2. que el número de manchas o fragmentos de bosque puede incrementarse, originando una fragmentación cada vez mayor en número y de una superficie menor, 3. que el número de manchas o fragmentos puede

disminuir, originando una mayor conectividad, dominando los paisajes forestales y homogéneos, 4. al aumentar la fragmentación, se aumenta la distancia lineal entre las manchas, 5. al aumentar la conectividad se produce un acercamiento o unión entre las manchas de bosque.

Para continuar con esta metodología, hemos realizado dos mapas fitogeográficos que muestran la vegetación y uso de la tierra en dos periodos de tiempo diferente, uno para el año de 1975 y el otro para el año 2007. El año de 1975 se escogió por dos razones: la primera porque las fotografías aéreas a escala 1: 20 000 del Instituto Geográfico Nacional eran de muy buen contraste y calidad y la segunda razón porque este año representaba el paisaje antes del inicio del proyecto geotérmico. El mapa del año 2007 se basó en las fotografías del proyecto CARTA del año 2005, actualizado por medio de trabajo de campo durante el periodo comprendido entre julio del 2006 y agosto del 2007.

Para realizar ambos mapas se utilizó el método de eliminación convergente de Cabaussel (1967) y el método de cartografía ecológica y del medio ambiente de Ozenda (1974). Ambas metodologías coinciden en seguir tres etapas: La primera es la delimitación de unidades geográficas; la segunda, la explicación ecológica y la tercera la síntesis ecológica.

La primera etapa consiste en analizar y delimitar en forma exhaustiva, rigurosa y precisa la fotografía aérea, que nos permite establecer las diversas unidades geográficas o tipos de paisaje fisonómico estructural, sean estos paisajes de vegetación natural, como bosques, sabanas, páramos, originados por la acción humana como los tipos de cultivos y pastos, o la evolución de la dinámica vegetal como los charrales y matorrales (Cabaussel, 1974 y Rey, 1977). En esta etapa se delimitan unidades geográficas y conjuntos geográficos homogéneos a partir de la fotografía; pero no es conveniente denominarlos en esta etapa como hortalizas, caña de azúcar, charral, matorral o bosque. Esto por cuanto en muchas ocasiones las fotografías no nos permiten definir y reconocer en forma certera las unidades, hasta que no se realice el trabajo de terreno (segunda etapa). Esta es una labor meramente de análisis fotográfico.

La segunda etapa o explicación ecológica se realiza una vez delimitados los tipos de paisaje o estructuras geográficas, los cuales deben ser verificados en terreno (Cabaussel, 1967 y Ozenda, 1974). El trabajo de terreno, medio principal de la explicación ecológica permite confirmar o modificar lo realizado en la primera etapa. Este trabajo debe ser precedido por una fuerte investigación que considere aspectos ambientales como el clima, relieve, suelos, vegetación y culturales como la ocupación humana.

La tercera etapa o síntesis ecológica se basa en las precedentes y el resultado es la expresión cartográfica por medio de mapas fitogeográficos o ecológicos. En nuestro caso, mapas fitogeográficos que representan las formaciones vegetales, la dinámica vegetal y el uso de la tierra. Los mapas fitogeográficos de 1975 y 2007 se hicieron por medio de cartografía digital, usando el programa Map Info.

Las transformaciones que se dieron entre 1940 y 1970 en la caldera de Guayabo formaron un paisaje en donde los remanentes de bosques naturales eran muy escasos y dispersos. Las manchas de bosque se encontraban dentro de una matriz de espacios explotados por el ser humano, por medio de la agricultura y la ganadería. Este proceso antrópico aceleró los procesos de fragmentación de los hábitats naturales. Como consecuencia de la fragmentación de los ecosistemas naturales se produjo la reducción de extensas áreas de bosques natural, al dividirse este en varias manchas cada vez más pequeñas.

El estudio de la fragmentación de los paisajes naturales se realizó a partir de los mapas fitogeográficos de 1975 y el 2007, lo que permitió distinguir entre paisajes naturales o bosques y paisajes humanizados o uso de la tierra.

Se crearon indicadores ambientales, para evaluar las consecuencias que las actividades humanas tienen sobre la biodiversidad. El primero es el índice de fragmentación, el cual establece una relación entre paisaje y biodiversidad basándose en los diversos usos de la tierra y analizando el grado de conectividad, tanto de los espacios naturales como de los humanizados. El aspecto positivo y sobresaliente de este índice es que emplea información georreferenciada, por lo que puede ser aplicado a distintas escalas

de trabajo y los resultados están referidos a un espacio de extensión variable. Estas dos circunstancias son las que hacen que se pueda hablar de sensibilidad a factores de escala en el índice de fragmentación.

La escala espacial constituye uno de los problemas geográficos más críticos en la representación de los elementos paisajísticos y de los procesos ecológicos. La escala de análisis determina el tamaño mínimo de los elementos del paisaje y condiciona los resultados de los estudios métricos de la estructura del paisaje (Turner, Gardner y O’neill 2001). Este trabajo se elaboro a escala 1: 50 000 por representar muy bien los diversas unidades de paisajes.

Para el calculo de la fragmentación existen varios índices como el CORINE Land Cover (CLC), empleado por la Agencia Europea de Medioambiente (Agencia Europea de Medioambiente, 2000), el índice de fragmentación antropogénica (Steenmans y Pimborg, 2007) y los índices de Turner (1991) y Zerda (1998); sin embargo, al aplicarlos a la región de estudio y a una escala 1: 50 000 los resultados no eran representativos de la realidad. Por ello, se creo el siguiente índice y cuadro de clasificación (Cuadro 2).

$$IF = \frac{S_{pta}}{Nm \times \left[\frac{\sum Sm}{\sum Dm} \right]}$$

Donde:

Spta = Superficie total del día

IF = es el índice de fragmentación

Nm = número total de manchas de bosque

∑ Sm = superficies de las manchas de bosque

∑ Dm = Distancia entre manchas de bosque medidas desde el centro de cada uno

Cuadro 2
Clasificación del índice de fragmentación

Calificación	Rango
Mínima	1.01 – 1.50
Poca	1.51 – 3.50
Media	3.51 – 5.75
Moderada	5.76 – 7.20
Fuerte	7.21 – 7.50
Extrema	más de 7.51

Fuente: Elaboración del autor.

Para conocer la variación que se produce en los diferentes grados de cobertura de las unidades de paisaje entre el mapa de 1975 y el 2007 se elaboró los siguientes índices de variación para las siguientes variables: proximidad de manchas, extensión relativa según tipo de cobertura, densidad de manchas, dominancia de manchas y extensión según tipo de cobertura.

Variación del índice de proximidad de manchas

$$\Delta = VIPM \left[\sum \frac{mi}{di} \right] - \left[\sum \frac{mit}{dit} \right]$$

VIPM= Variación del índice de proximidad de manchas

mi= superficie de las manchas de bosques en 2007

di= distancia total entre las manchas en 2007

mit = superficie de las manchas de bosques en 1975

dit = distancia total entre las manchas en 1975

El valor del índice de proximidad de manchas en el paisaje tiene valores positivos, si en el periodo de tiempo analizado (1975 – 2007) las manchas están más cercas unas de otras; por lo tanto, son negativos si en el tiempo las manchas están más lejanas unas de otras. El índice se estima bueno cuando la variación en el IPM (índice de proximidad de manchas) tiene valores positivos; es regular cuando la variación en el IPM tiene valor de cero o se aproxima a este y malo cuando la variación en el IPM tiene valores negativos.

Variación del índice de extensión relativa según tipo de cobertura

$$\Delta = VERTC \left[\frac{Stab}{Stta} \times 100 \right] - \left[\frac{Stabt}{Sttat} \times 100 \right]$$

VERTC= Variación del índice de extensión relativa según tipo de cobertura

Stab= Superficie de las manchas de bosque en 2007

Stta= Superficie total de todas las áreas en 2007
Stabt= Superficie de las manchas de bosque en 1975
Sttat= Superficie total de todas las áreas en 1975

Cuando el resultado muestra valores positivos se produce un aumento de la extensión relativa de la cobertura de bosque o valores negativos si se produce una disminución en la cobertura boscosa. El índice es bueno cuando hay un aumento de la cobertura relativa; es regular cuando la cobertura relativa se mantiene y malo cuando disminuye la cobertura relativa.

Variación del índice de densidad de manchas

$$\Delta = VIDM \left[\frac{Nmb}{Stp} \times 100 \right] - \left[\frac{Nmbt}{Stpt} \times 100 \right]$$

VIDM= Variación del índice de densidad de manchas

Nmb= Número de manchas de bosque en 2007

Stp= Superficie total del paisaje en el 2007

Nmbt= Número de manchas de bosque en 1975

Stpt= Superficie total del paisaje en 1975

La variación del *VIDM* es buena cuando la variación en IDM tiene valores negativos; es regular cuando la variación en IDM tiene valor de cero y es mala cuando la variación en IDM tiene valores positivos.

Variación del índice de dominancia de manchas

$$\Delta = VIDM \left[\frac{Nmcb}{Ntmp} \times 100 \right] - \left[\frac{Nmcbt}{Ntmpt} \times 100 \right]$$

VIDM= Variación del índice de dominancia de manchas

Nmcb= Número de manchas de cobertura de bosque en el 2005

Ntmp= Número total de manchas del paisaje en el 2005

Nmcbt= Número de manchas de cobertura de bosque en 1975

Ntmp= Número total de manchas del paisaje en 1975

El valor de dominancia de manchas está comprendido entre 0 y 100. Se aproxima a cero cuando el número de manchas de bosque es muy bajo con respecto al número total de manchas del paisaje y si se aproxima a 100, el número de manchas de bosque es muy alto con respecto al número total de manchas del paisaje. El índice *VIDM* es bueno cuando la variación IDM tiene valores negativos, es decir la fragmentación disminuye; es regular cuando la variación IDM tiene valor de cero o se aproxima a cero y es malo cuando la variación IDM tiene valores positivos, dándose un aumento de la fragmentación.

Variación del índice en la extensión por tipo de cobertura

$$\Delta = VETC = \left[\sum Smb \right] - [Smbt]$$

VETC= Variación del índice en la extensión según tipo de cobertura

Smb= Superficie manchas de bosque en 2007

Smbt= Superficie manchas de bosque en 1975

Por medio del *VETC* se comprueba si existió un aumento o disminución de la superficie de bosque en el periodo de tiempo seleccionado.

Para las diversas coberturas vegetales representadas en el mapa fitogeográfico del 2007, se realizó un estudio fisonómico – estructural en campo. Estas coberturas vegetales son el bosque muy húmedo sempervirente en equilibrio, el bosque ribereño, la vegetación en estado pionero superior o charral, la vegetación en estado temprano medio o matorral, el bosque en estado tardío inferior y el bosque en estado tardío superior.

En cada tipo de vegetación se delimitaron cinco parcelas de 10 m x 10 m donde se midió la cobertura y la estratificación y se elaboraron perfiles idealizados de vegetación (Holdridge, 1971). Se reconoció las especies dominantes y

se hizo una apreciación visual de la frecuencia y dominancia de las especies. Esto permitió analizar fisonómica y estructuralmente el bosque y los diferentes estados de la dinámica vegetal.

Resultados y discusión

La cartografía fitogeográfica nos permite analizar el uso de la tierra y la cobertura forestal en determinados momentos históricos. El mapa fitogeográfico de 1975 (Figura 3) presenta un uso de la tierra dominado por los pastos, con un 53.60 % del área; lo que equivale a 47.62 km². Si agregamos a la cobertura de los pastos los otros usos antrópicos como los cultivos y las áreas de barbecho formadas por charrales y matorrales se llegaría a un 72.8 % del territorio bajo influencia del ser humano. De acuerdo a estos datos solo una cuarta parte de la superficie era bosque. Esta transformación violenta del uso de la tierra fue consecuencia de la colonización agrícola no dirigida, donde dominaban la agricultura de hortalizas y la ganadería lechera.

En 1975 el bosque se ubicó en la vertiente Sur y Sureste del volcán Miravalles y descendía hasta los 1000 m de altitud. Los bosques dominantes eran el bosque pluvial submontano y el bosque pluvial montano bajo. La otra mancha importante de bosque se ubicó al Norte de la laguna Peje, entre los ríos Fortuna y Cuipilapa, sobre una de las últimas coladas de lava del volcán Miravalles, la cual está cubierta por el bosque húmedo submontano transicional a basal.

La restante cobertura forestal se localizaba sobre pequeñas lomas rocosas que son

el resultado de antiguas coladas de lava y por bosques ripícolas ubicados a lo largo de los ríos Blanco y Cuipilapa.

La situación es muy diferente para el año 2007 (Figura 4). Para este año la actividad humana se reduce y esto se refleja en la disminución de las superficies dedicadas a pastos, agricultura, charral y matorral (Cuadro 2)

La actividad humana disminuye a partir del año 1977 cuando el Instituto Costarricense de Electricidad inició la compra de tierras para implementar el proyecto geotérmico de Miravalles. Igualmente inició una gestión ambiental dirigida a la recuperación del bosque, de esta forma se inició un proceso de dinámica vegetal progresiva o reconstrucción de ecosistemas (Bradshaw, 1983 y West, Shugart y Botkin, 1989)

La cobertura boscosa en el 2007 aumentó en 32.63 km², que equivale a un 37 % de la superficie. La recuperación del bosque se da en especial al Este del río Blanco, coincidiendo con los terrenos que ocupaba el proyecto geotérmico; no así hacia al Oeste o el sector hacia Guayabo, donde todavía dominan los pastos y cultivos.

A continuación describimos cada uno de los tipos de bosques representados en el mapa fitogeográfico del 2007 (Figura 4). Existen cuatro tipos de bosques: el bosque muy húmedo sempervirente en equilibrio, el bosque ribereño, el bosque en estado tardío inferior y el bosque en estado tardío superior.

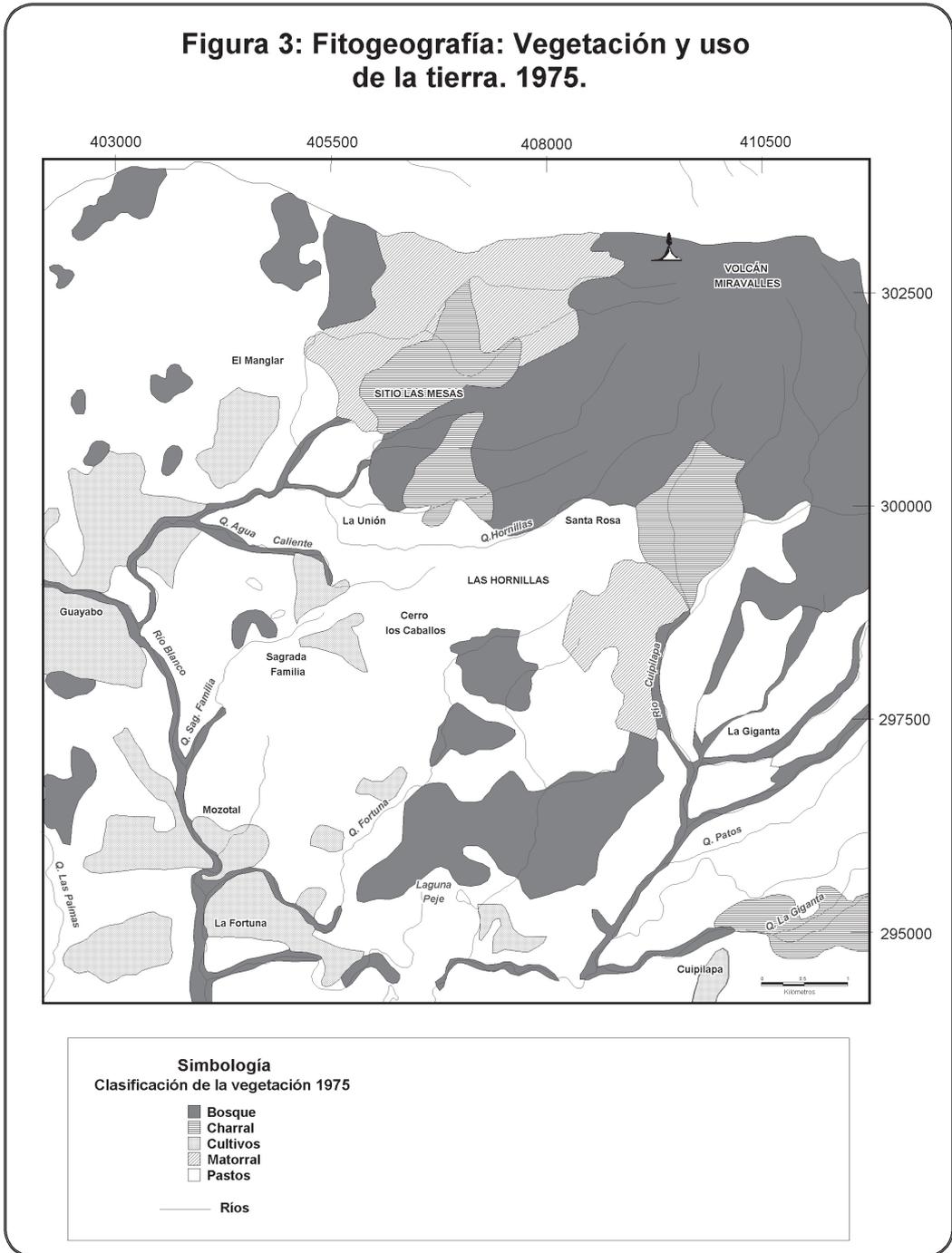
El bosque muy húmedo sempervirente en equilibrio corresponde en el sistema de zonas de vida de Holdridge (Figura 2) al bosque pluvial submontano, bosque pluvial montano bajo, bosque muy húmedo submontano y al bosque

Cuadro 2
Relación de la actividad antrópica en el periodo 1975 - 2007

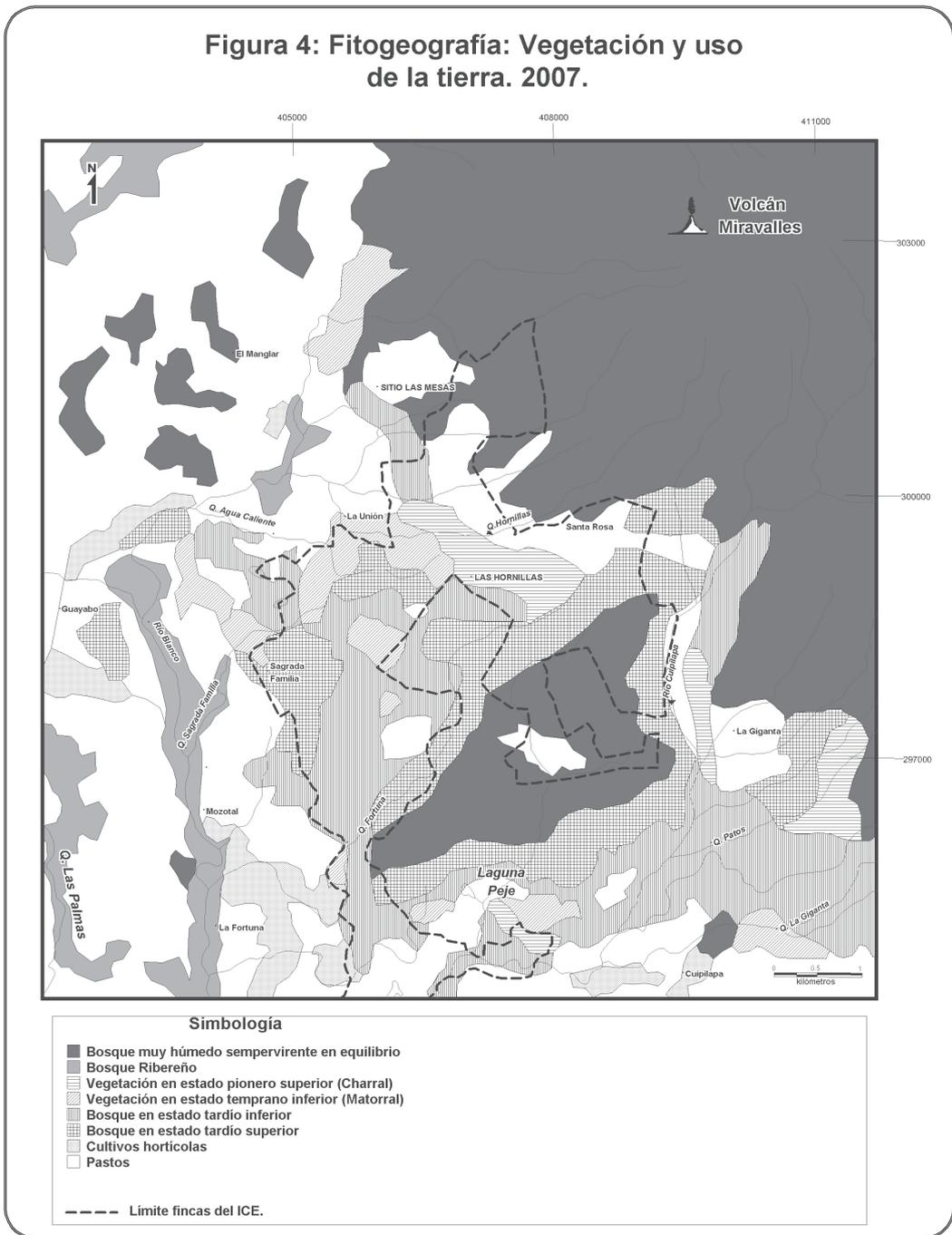
Actividad antrópica	Superficie en km ² en 1975	Superficie en km ² en 2007	Diferencia de superficie en km ²
Pastos	47.62	30.07	17.55
Cultivos	7.39	2.77	4.62
Charral	4.64	2.12	2.52
Matorral	5.02	3.30	1.72

Fuente: Figuras 3 y 4

Figura 3: Fitogeografía: Vegetación y uso de la tierra. 1975.



Fuente: Elaboración del autor a partir de fotografías aéreas n° 4345, 4346, 4347, escala 1:20 000. Rollo 97, línea 11. Instituto Geográfico Nacional, 1974.



Fuente: Elaboración del autor. Trabajo de campo del autor, durante 2006 y 2007.

húmedo submontano transicional a basal. El bosque domina en la cima y las laderas del costado Sur y Sureste del volcán Miravalles, con pendientes muy fuertes (25° y 32°), siendo este el principal factor que condiciona estructuralmente a la vegetación.

El bosque presenta dos estratos bien definidos. El superior o dosel de 15 a 18 m de altura y de una cobertura del 80%. En sitios de pendientes mayores a los 32 ° e influenciados por fuertes vientos y densa nubosidad alcanza los 10 m de altura y se clasifican como bosques nubosos. El estrato inferior varía entre los 3 y 10 m altura y cada individuo está distante uno de otro por más de 6 metros. La periodicidad de este bosque es sempervirente.

Entre las principales especies del dosel de encuentran *Pterocarpus officinalis* (chajada amarilla), *Meliosma glabrata*, *Ocotea tonduzzi* (aguacatillo), *O. standleyi*, *Sapium sp* (lechillo), *Vitex cooperi* (cuajada), *Dendropanax arboreus* (cacho de venado), *Amyris sp*, *Tovomita glauca*, *Billia sp* (cachimbo), *Ardisia sp* y *Guatteria amplifolia* (anonillo).

Otro sector donde existe vegetación forestal se ubica entre los ríos Fortuna y Cuipilapa, a una altitud de 500 a 1000 m. El bosque se clasifica como un bosque húmedo submontano transicional a basal. La topografía del área es el resultado de sucesivas coladas de lava del volcán Miravalles que descendieron gradualmente. Entre estas coladas se localizan cerros aislados con pendientes entre los 8° y 12°. Es un área de transición a nivel de pisos altitudinales y de condiciones climatológicas. A nivel de piso la transición se produce entre los pisos submontano y basal y climatológicamente entre el clima seco de baja altitud y el húmedo de baja montaña.

El bosque presenta una estructura en tres estratos. El superior de 25 m de altura, con una cobertura del 85% y formado por árboles de copas muy anchas que alcanzan hasta los 25 de diámetro y troncos con 2,65 m de diámetro. El subdosel presenta árboles pequeños de 10 a 15 m altura y un sotobosque muy denso, espinoso; en ocasiones difíciles de penetrar. La periodicidad del bosque es semidecíduo, por ser una transición entre el bosque seco decíduo de baja altitud y el bosque húmedo sempervirente submontano.

Entre las principales especies del bosque seco están el *Enterolobium cyclocarpum* (guanacaste), *Tabebuia rosea* (roble de sabana), *T. chrysantha* (corteza), *Eugenia sp* (caci-que), *Lonchocarpus sp* (siete cueros), *Samanea saman* (cenizaro), *Anarcadium exelsun* (espave), *Hymenaea courbaril* (guapinol), *Acrocomia vinifera* (coyol), *Croton glabellus*, *Bombacopsis quinatum* (pochote), *Casearia arguta*, *Spondias mombin* (jocote), *Castilla sp* (hule), *Simarouba sp* (indio pelado) y *Cochlopermum vitifolium* (poro poro) y del bosque húmedo submontano están *Cordia sp*, *Guarea sp* (caobilla), *Terminalia oblonga* (surá), *Jacaranda copaia*, *Ocotea sp* (aguacatillo), *Virola sebifera* (fruta dorada), *Sapium macrocarpum*, *Meliosma sp*, *Sterculia apetala* (panamá), *Trichilia sp*, *Nectandra sp* (aguacatillo), *Casearia silvestris* (huesillo) y *Swartzia sp* (carboncillo).

El bosque ribereño existía en 1975, pero en el año 2007 alcanza una mayor superficie. Se localiza a lo largo de los ríos Blanco, Fortuna y Cuipilapa. En 1975, el bosque ribereño del río Blanco tenía un ancho de 200 m, pero en el año 2007 alcanzan hasta los 800 m y los que crecen a lo largo de los ríos Fortuna y Cuipilapa se unen a los bosques del estado tardío inferior y superior.

Una descripción de este tipo de bosque ribereño se realizó en la reserva biológica Rincón de Piedra. Este bosque presenta dos estratos, el superior de 30 m de altura donde dominan los guanacastes, higueros, espaveles (*Anarcadium exelsun*), tempisque (*Sideroxylon Camiri*) y un estrato intermedio integrado por surá (*Terminalia sp*), cedro (*Cedrella sp*), *Stemmadenia obovata* y *Cordia alliodora* (laurel). El sotobosque es poco denso y fácil de recorrer (Figura 5).

La otra cobertura forestal esta constituida por un proceso de dinámica vegetal progresiva formada por el bosque en estado tardío inferior y el bosque en estado tardío superior. El bosque en estado tardío inferior se presenta en dos sectores; uno al Oeste del río Fortuna, el cual se extiende hacia el Norte hasta cerca de Las Hornillas y el otro sector al Norte y al Este de la población de Cuipilapa.

El bosque en estado tardío inferior constituye una sucesión vegetal secundaria progresiva

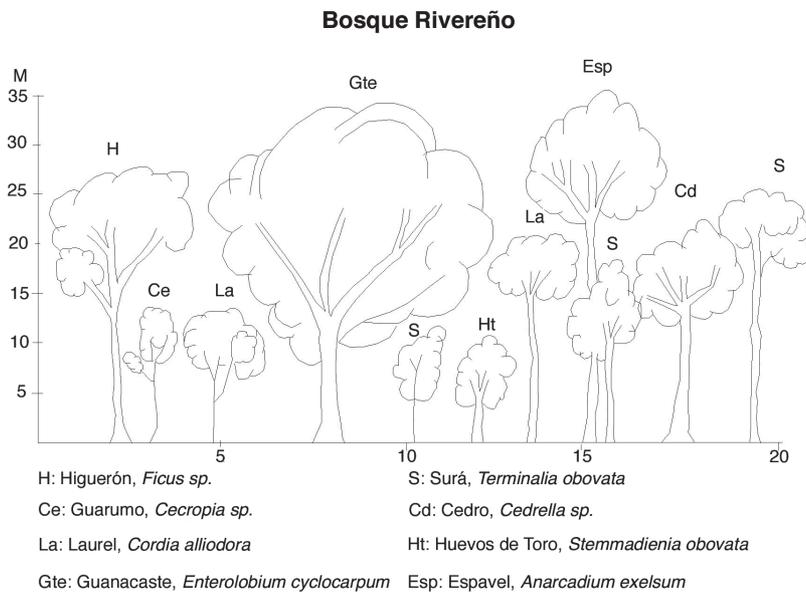


Figura 5

que se instaló en antiguos terrenos ocupados por pastos en 1975 (Figura 3), por lo que este bosque secundario bajo tiene una edad de 32 años. Está compuesto por dos estratos, el superior varía entre los 12 y 14 m de altura, aunque en algunos sitios llega a los 9 metros. El estrato inferior es herbáceo y arbustivo muy denso y de periodicidad semidecidua (Figura 6).

Las especies que dominan claramente son el *Enterolobium cyclocarpum* y el *Cordia alliodora*; la dispersión del guanacaste se da a partir de árboles madre que ocupaban en forma aislada los antiguos pastizales y se conservaron durante el proceso de sucesión vegetal. Otras especies son *Luehea candida* (guácimo), *Miconia argentea* (capilote), *Cecropia sp* (guarumo), *Caesalpinia pulcherrima* (claveлина), *Stemmadenia obovata* (huevos de toro), *Diphysa americana* (guachipelín), *Sapindus saponaria* (jaboncillo) y *Acrocomia vinifera* (palma coyol). En ocasiones esta sucesión vegetal está formada por bosques monoespecíficos de *Luehea candida* y cuando la cobertura del estrato superior es menor al 40 %, los espacios libres del sotobosque son ocupados por *Tecoma stans* (vainillo), arbusto de flores amarillas que forma colonias muy densas. (Fotos 1 y 2)

El ICE realizó en estos terrenos una siembra de *Tabebuia rosea* (roble de sabana) y *Bombacopsis quinatum* (pochote), que se distinguen fácilmente dentro del bosque al estar alineados y distantes por 3 m unos de otros. Sin embargo, estas plantaciones entran en competencia con las especies de la dinámica vegetal como el laurel, guácimo, guarumo y vainillo que eliminaron por competencia un cierto número de las especies plantadas.

El bosque en estado tardío superior es una etapa de mayor desarrollo dentro de la dinámica vegetal. Se ubica en los alrededores de Sagrada Familia y en las vertientes de los valles de los ríos Fortuna y Cuipilapa. A igual, que el anterior bosque descrito se desarrolló también sobre antiguos pastizales, charrales y matorrales. El estrato superior varía mucho en altura, entre los 12 y 22 m de altura, siendo las especies dominantes el guanacaste, los higuerones (*Ficus sp*), el cenizaro (*Samanea saman*) cuyas copas alcanzan entre los 6 y 8 m de diámetro, creciendo debajo de ellos colonias densas de *Bactris sp* y *Acacia sp*. La especie de mayor frecuencia es el laurel (Figuras 7 y fotos 3 y 4). Otras especies son *Luehea candida*, *Sapindus saponaria*, *Caesalpinia sp* y *Andira humilis*.

Bosque en estado tardío inferior

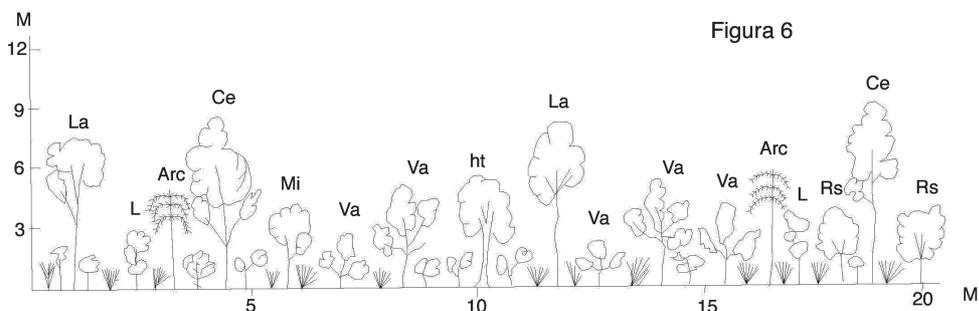


Figura 6

La: Laurel, *Cordia alliodora*

Va: Vainilla, *Tecoma stans*

Rs: Roble do Sabana, *Tabebuia rosea*

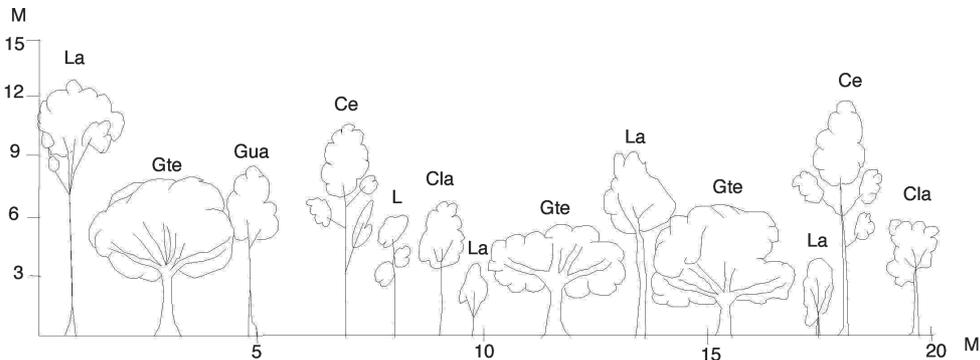
Arc: Coyol, *Acrocomia vinifera*

L: Guacimo, *Luehea candida*

Mi: Capilote, *Miconia argentea*

Ht: Huevos de Toro, *Stemmadenia obovata*

Ce: Guarumo, *Cecropia sp.*



La: Laurel, *Cordia alliodora*

Ce: Guarumo, *Cecropia sp.*

L: Guacimo, *Luehea candida*

Gte: Guanacaste, *Enterolobium cyclocarpum*

Cla: Clavelina, *Caesalpinia pulcherrina*

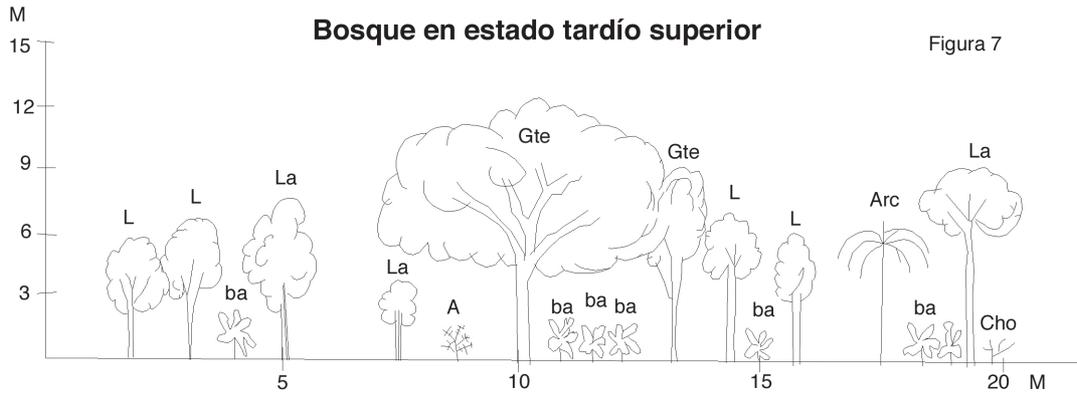
Gua: Guachipelín, *Diphysa americana*



Foto 1. Sucesión vegetal en estado tardío inferior con dominio de *Cordia alliodora* (laurel).



Foto 2. Sucesión vegetal en estado tardío inferior. El *Tecoma stans* (vainillo) presenta una alta frecuencia



L: Guácimo, *Luehea candida*

La: Laurel, *Cordia alliodora*

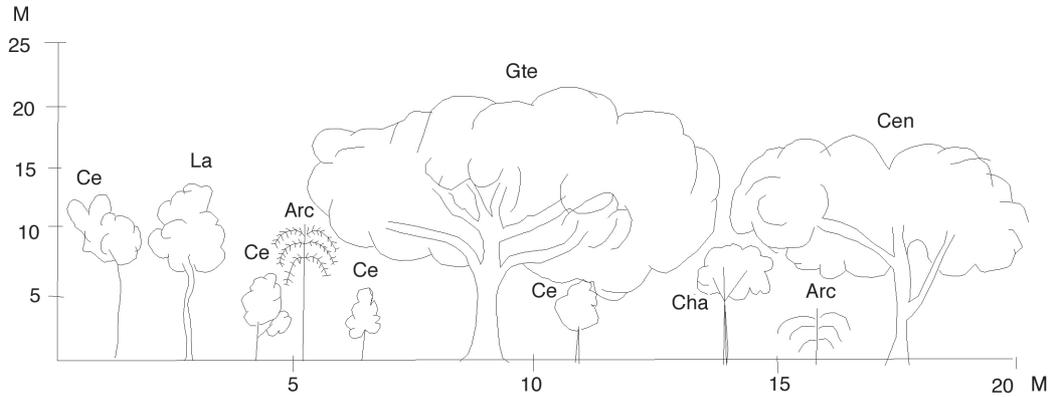
Ba: Viscoyol, *Bactris sp.*

Gte: Guanacaste, *Enterolobium cyclocarpum*

A: Cornizuelo, *Acacia costarricensis*

Arc: Coyoil, *Acrocomia vinifera*

Cho: *Chomelia spinosa*



Gte: Guanacaste, *Enterolobium cyclocarpum*

La: Laurel, *Cordia alliodora*

Arc: Coyoil, *Acrocomia vinifera*

Ce: Guarumo, *Cecropia sp.*

Chu: Chumico, *Sapindus saponaria*

Cen: Cenízaro, *Samanea saman*



Foto 3. Bosque en estado tardío superior semideciduo y de una altura de 16 metros en terrenos del ICE



Foto 4. Árboles de Guanacaste y cenizaros en el bosque tardío superior

Las sucesiones vegetales iniciales están compuestas por la vegetación en estado pionero superior o charral y la vegetación en estado temprano inferior o matorral. Ambos redujeron sus superficies en el año 2 007, al evolucionar las charrales y matorrales de 1 975 hacia dinámicas progresivas superiores, como las dos anteriormente analizadas.

Según su origen, se distinguen dos tipos de charrales y matorrales: los de origen antrópico y los naturales. Los de origen antrópico se ubican en el sector Sur principalmente entre las poblaciones de Fortuna y Cuipilapa. Estos charrales y matorrales son recientes y crecen sobre terrenos abandonados que se integran a prácticas de conservación o en terrenos recién adquiridos por el ICE que se dedican a la recuperación del bosque. El matorral es una vegetación arbustiva densa formada por vainillo (*Tecoma stans*), madero negro (*Gliricida sepium*), guácimo (*Luehea candida*), capilote (*Miconia argentea*). Su altura es de 4 a 6 metros (Figura 8 y fotos) y en el estrato inferior se observa aún la presencia del pasto jaragua (*Hyparrhenia rufa*).

En la base del volcán Miravalles, en el sector de Las Hornillas y sobre depósitos de ignimbritas en la Giganta y al Oeste de Las Hornillas se desarrollan charrales y matorrales naturales. El sitio de Las Hornillas se localiza dentro del campo geotérmico de Miravalles que presenta una actividad volcánica de fumarolas, batideros de barro y aguas termales (Alvarado, 1 989). Es en este sector donde se desarrolla una vegetación de pastos naturales, charral y matorral enano producto de esta actividad volcánica.

Dos gramíneas criollas *Axonopus aureus* y *Paspalum pectinatum* son el principal componente de herbáceo y el *Byrsonima crassifolia* (nance), *Miconia argentea* y *Clethra mexicana* (nance macho) son los principales arbustos del matorral y del charral enano, con una altura de 0.50 a 0.75 cm. Otras especies arbustivas presentes son *Malvaviscus arboreus*, *Psidium guineense* (guisaro), *Ricinus comunis* (higuerilla), *Xilosma flexuosa* y *Hibiscus mutabilis*.

La vegetación en este sector esta sometida a condiciones adversas para su instalación y crecimiento. Entre los factores adversos están las altas temperaturas de los suelos que alcanzan

los 60° C a 0.50 cm de profundidad y los 94° C en los batideros de barro (Alvarado, Sigarán y Pérez, 2 000) y por las emanaciones de azufre, hierro, aluminio y cobre. El azufre en presencia de aire, agua y vapor de agua sufre un proceso de oxidación generando ácido sulfúrico.

Las descargas de ácido sulfúrico son la principal causa de la acidificación de los suelos y aguas (lluvia ácida) que originan una decoloración en los suelos y en las hojas de la vegetación y su posterior eliminación. Igualmente, originan un enanismo en la vegetación por el alto grado de acidez del suelo (3.6 a 4.1) que impide el crecimiento de la raíz principal del *Byrsonima crassifolia*, *Miconia argentea* y del *Clethra mexicana* (Vargas, 2001).

En el sector de La Giganta y al Oeste de las Hornillas sobre un material de ignimbritas, de color gris oscuro, muy arenoso se da también la presencia de los pastos naturales *Axonopus aureus* y *Paspalum pectinatum* y arbustos enanos de *Byrsonima crassifolia*. Este enanismo es provocado por la fuerte acidez de la ignimbrita y por la aridez edáfica, al no retener agua la estructura arenosa de los suelos. Por estas condiciones naturales, es difícil que en la actualidad el charral y el matorral natural evolucionen en la dinámica vegetal hacia bosques secundarios, por el contrario, se mantendrán como pastos, charrales y matorrales.

Como mencionamos en la metodología, el mapa es el elemento básico para la representación del paisaje en un determinado momento, pero al comparar dos mapas de un mismo territorio en dos periodos de tiempo diferente se puede analizar su dinámica. En este caso al comparar los mapas fitogeográficos de 1975 y el 2007 se comprueba los cambios de un paisaje antropizado con dominios de los pastos y cultivos a un paisaje con dominio de la cobertura forestal.

Al realizar un análisis del espacio geográfico por medio de las ambas cartografías se puede estimar la fragmentación a partir de los usos de la tierra, lo que resulta más sencillo. En el mapa fitogeográfico del año 1975 (Figura 3) se representan pocas manchas de bosques; de superficie muy pequeña y muy distantes entre sí; por lo tanto muy fragmentadas. Esta situación se invierte en el 2007.

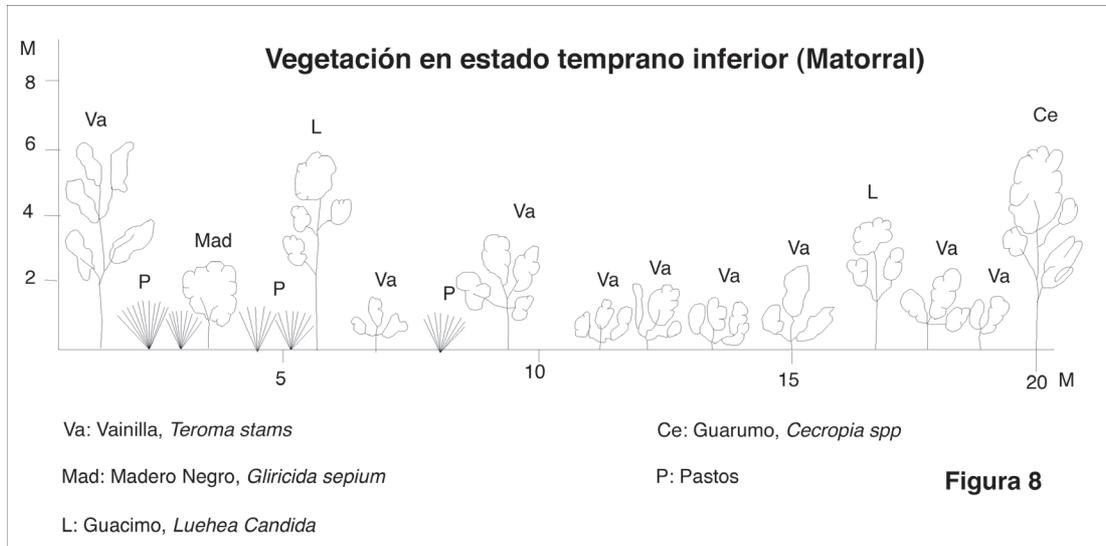


Foto 5. Matorral muy denso dominado por guácimo blanco (*Luehea candida*)



Foto 6. Matorral enano en el área de Las Hornillas. Domina la vegetación enana de nances (*Byrsonima crassifolia*) y capilote (*Miconia argentea*).

Otra forma de evaluar la fragmentación es por medio de indicadores ambientales y espaciales. En nuestro caso hemos creado un sistema de indicadores espaciales o geográficos para estudiar el índice de fragmentación, donde la fuente principal es el mapa. Este tipo de análisis geográfico es llamado por Burel y Baudry (1 999) grado de heterogeneidad de los paisajes.

Al aplicar el índice de fragmentación en 1975, nos da como resultado un índice de 7.98 que se califica como de fragmentación extrema, mientras que al aplicarlo al año 2007 es de 1.69 o de poca fragmentación, lo que trae como consecuencia un aumento de la cobertura forestal o del paisaje natural.

$$IF = \frac{S_{p t a}}{N_m \times [\sum S_m / \sum D_m]}$$

Índice de fragmentación en 1975. IF=

$$\frac{88.83}{(19) \times \left(\frac{24.15}{41.26} \right)} = \frac{88.83}{(19) \times (0.58)} = \frac{88.83}{11.02} = 7.98$$

Índice de fragmentación en el 2007. IF=

$$\frac{95.06}{(13) \times \left(\frac{56.78}{13.12} \right)} = \frac{95.06}{(13) \times (4.32)} = \frac{95.06}{56.16} = 1.69$$

Para complementar el índice de fragmentación se realizó un estudio de la variación de proximidad de manchas, extensión relativa según tipo de cobertura, densidad de manchas, dominancia de manchas y extensión según tipo de cobertura entre 1975 y el 2007.

Variación del índice de proximidad de manchas

$$\Delta = VIPM \left[\sum \frac{mi}{di} \right] - \left[\sum \frac{mit}{dit} \right]$$

$\Delta = VIPM =$

$$\left[\frac{56.78}{43.12} \right] - \left[\frac{24.15}{41.26} \right] = [4.32] - [0.58] = 3.74$$

Al ser el resultado de 3.74 un valor positivo, este se considera como bueno por cuanto las manchas están más cercanas unas de otras. Esta cercanía entre las manchas facilita la dispersión de especies vegetales y una mayor diversidad biológica en cada mancha de bosque.

Variación del índice de extensión relativa según tipo de cobertura

$$\Delta = ERTC \left[\frac{Stab}{Stta} x 100 \right] - \left[\frac{Stabt}{Sttat} x 100 \right]$$

$$\Delta = ERTC$$

$$\left[\frac{56.78x100}{95.06} \right] - \left[\frac{24.15x100}{88.83} \right] = [59.73] - [27.18] = 32.55$$

El valor de 32.55 es un indicador considerado como bueno, ya que entre ambos periodos, se produjo un aumento en la extensión relativa de la cobertura del bosque. Por medio de este índice se comprueba el aumento de la cobertura en casi una tercera parte de la superficie.

Variación del índice de densidad de manchas

$$\Delta = IDM \left[\frac{Nmb}{Stp} x 100 \right] - \left[\frac{Nmbt}{Stpt} x 100 \right]$$

$$\Delta = IDM =$$

$$\left[\frac{13x100}{95.06} \right] - \left[\frac{19x100}{88.83} \right] = [13.67] - [21.38] = -7.71$$

El resultado da un valor negativo (- 7.71) que se considera como bueno, porque en el año 2007 se reducen el número de manchas de bosque, a causa del aumento de la superficie forestal que se comprobó mediante el índice de extensión relativa según el tipo de cobertura y el índice de dominancia de manchas.

Variación del índice de dominancia de manchas

$$\Delta = IDM \left[\frac{Nmcb}{Ntmp} x 100 \right] - \left[\frac{Nmcbt}{Ntmpt} x 100 \right]$$

$$\Delta = IDM =$$

$$\left[\frac{13x100}{37} \right] - \left[\frac{19x100}{43} \right] = [35.13] - [44.18] = -9.05$$

El valor negativo de - 9.05 es bueno porque se produce una disminución de la fragmentación.

Variación del índice en la extensión por tipo de cobertura

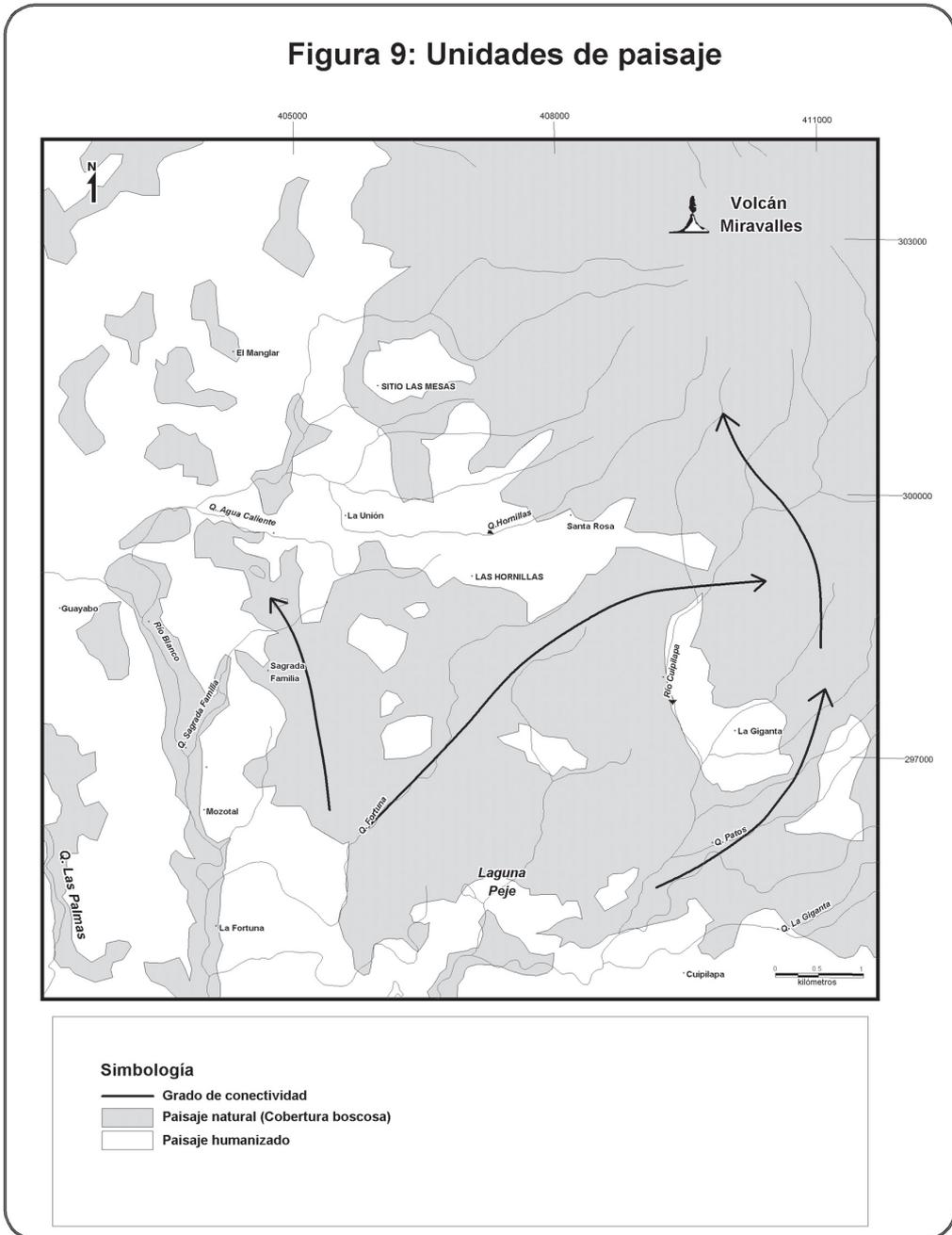
$$\Delta = ETC = \left[\sum Smb \right] - [Smbt]$$

$$\Delta = ETC = [56.78] - [24.15] = 32.63$$

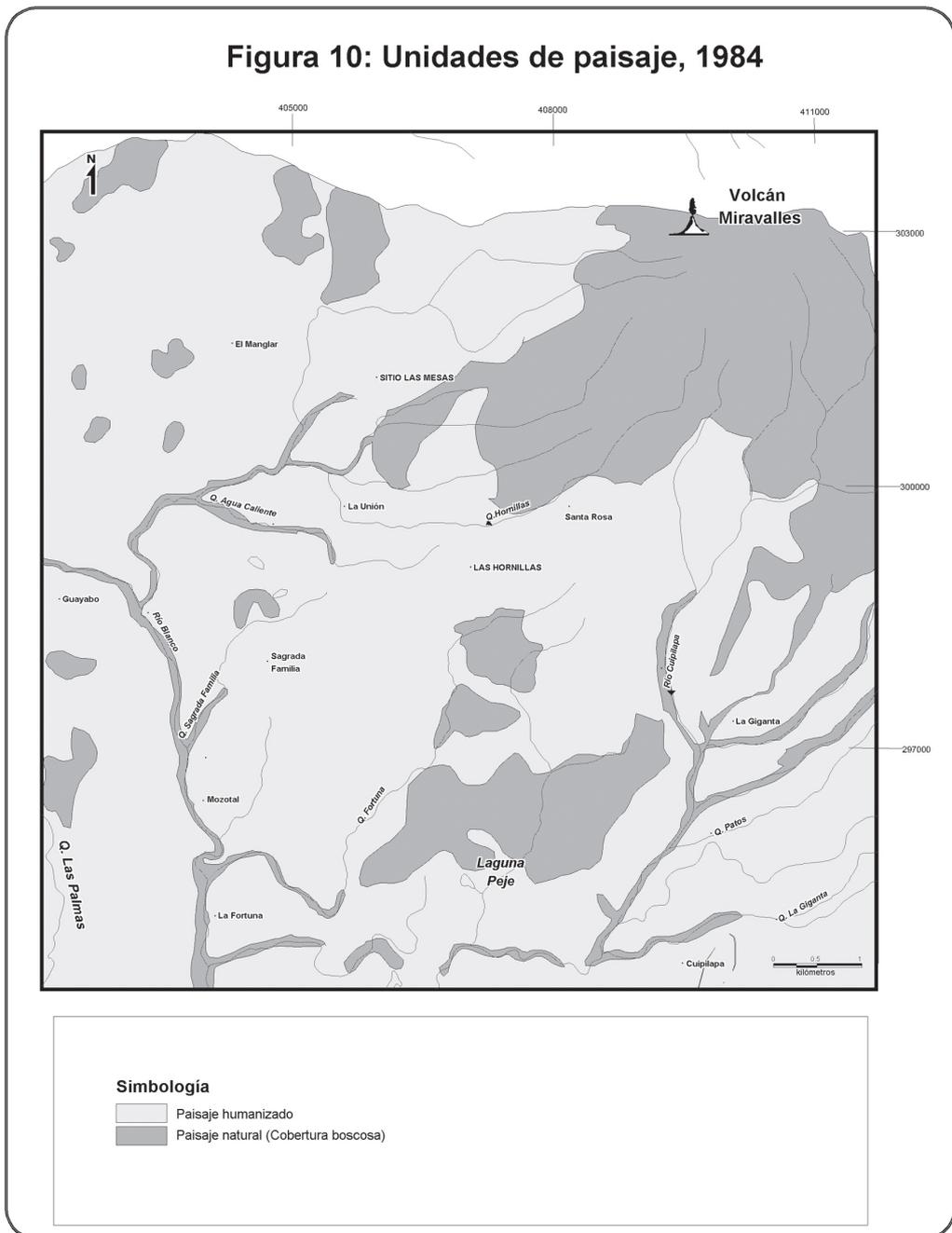
Al comparar las superficies se demuestra como la superficie boscosa aumento en un 32.63 en el año 2007.

Todos los índices de variación utilizados anteriormente comprueban un aumento de la superficie del bosque, por lo tanto una disminución de la fragmentación del bosque; o si se quiere un aumento en la conectividad de los ecosistemas forestales.

La figura 9 muestra el paisaje antropizado y el paisaje natural. Este mapa se realizó a partir del mapa fitogeográfico del año 2007 (Figura 4). De su análisis se destacan dos características. La primera, es que en el sector Oeste y Noroeste que comprende La Fortuna y Guayabo domina el paisaje antropizado con dominio de los pastos, charrales y cultivos y es muy claro el alto grado de fragmentación del bosque. Al comparar el paisaje antropizado de la figura 9 con el de la figura 10 se puede observar en forma clara como se produce una reconstrucción de la cobertura forestal entre 1975 y el 2007. En la figura 10 dominan los pastos y la fragmentación es elevada; por el contrario en la figura 9 dominan la cobertura forestal y la conectividad es elevada.



Fuente: Elaboración del autor a partir de la figura número 4.



Fuente: Elaboración del autor a partir de la figura número 3.

Únicamente, el bosque ribereño del río Blanco y la quebrada las Palmas funciona como una conectividad de tipo enlace – nexo (Bennett, 2004), donde la distribución lineal o continua a lo largo del fondo del valle del río mejora el desplazamiento de los animales o la continuidad de procesos ecológico en el paisaje, como la sucesión vegetal progresiva (Foto 7).

La vegetación ribereña a lo largo de los cursos de agua constituye un sistema de hábitat lineal natural que funciona como una especie de corredor de migración, dispersión y por lo tanto de intercambio. La vegetación forestal se clasifica en estos casos como un bosque ripícola y es muy particular y diferente a las áreas contiguas, a causa de la humedad que aportan los ríos y a que los suelos son profundos y con abundante materia orgánica.

En el sector Noroeste, cerca del cruce hacia Aguas Claras se presentan pequeñas manchas de

bosques aislados que establecen una conectividad de tipo trampolín (Benneth, 2004), ya que estas manchas de bosques separadas espacialmente por poca distancia proveen recursos y refugio que ayudan a los animales y a especies vegetales a desplazarse.

Al Oeste y Noroeste de la Fortuna donde dominan los terrenos de propiedad del Instituto Costarricense de Electricidad en el proyecto geotérmico de Miravalles la conectividad es muy alta, siendo casi continua entre Fortuna y Cuipilapa y la base del volcán Miravalles.

Esta conectividad se clasifica como de enlace de paisajes (Bennett, 2004), la cual hace que se incremente la conectividad a escala regional, la que se realiza a distancia de kilómetros o decenas de kilómetros. Comprende grandes superficies de vegetación natural como el bosque muy húmedo sempervirente en equilibrio, bosque



Figura 7. Paisaje con dominio de pastos. Al fondo se observa la conectividad de tipo enlace – nexo a lo largo del río Blanco. Gilbert Vargas.

ribereño, bosque en estado tardío inferior y el bosque en estado tardío superior (Figura 9).

Las flechas en la figura 9 indican este tipo de continuidad en el paisaje, la cuál ha sido posible gracias al plan de gestión ambiental del ICE que comprende la reconstrucción del paisaje forestal por medio de la dinámica natural y la introducción de especies naturales para amortiguar y minimizar el impacto visual, es así como las tuberías, las construcciones en los pozos de extracción de vapor se encuentran prácticamente “camuflados” por la cobertura boscosa, creando un paisaje natural muy agradable a las vista (Foto 8). Otra política importante del ICE es la implementación de programas de educación ambiental y capacitación de las comunidades aledañas, que se han integrado eficientemente en la reconstrucción de la cobertura boscosa.

Al aplicar el índice de fragmentación en los terrenos del ICE (ver límites en figura

9) nos da como resultado 1.27 que se califica como una fragmentación mínima (Cuadro 3). Comprobándose la excelente recuperación de la cobertura forestal que hemos analizado.

Cuadro 3
Resultado del índice de fragmentación en terrenos del ICE en el año 2007

$$IF = \frac{S_p t a}{N_m \times [\sum S_m / \sum D_m]}$$

$$IF = \frac{15.09}{(3) \times \left(\frac{12.41}{3.14} \right)} = \frac{15.09}{(3) \times (3.95)} = \frac{15.09}{11.85} = 1.27$$



Foto 8. La recuperación del bosque en antiguas áreas de pastos crea un paisaje forestal que cubre las tuberías que conducen el vapor de agua. Gilbert Vargas.

Al existir un índice de fragmentación mínimo, esto quiere decir que la conectividad es muy alta (Foto 9), al producirse un comportamiento inverso entre fragmentación y conectividad; de esta manera un paisaje interconectado facilita el desplazamiento de especies animales y vegetales (Taylor, Fahring, Henein y Meriam, 1993). En este sector de reconstrucción forestal se da un aumento en la biodiversidad de la flora y fauna, sin embargo, se pudo observar en terreno que la carretera que comunica la población de Fortuna con la planta principal del proyecto geotérmico sigue un rumbo Sur – Norte y sirve de límite a dos sectores territoriales caracterizados según el número de especies animales.

El sector localizado al Oeste de la carretera mantiene la mayor cantidad de infraestructura del proyecto geotérmico como son las plantas generadoras, los pozos geotérmico y el tendido

de tuberías. Estas obras, unidas al tránsito de vehículos provocan ruido y escapes de vapor por lo que originan una disminución en el número de mamíferos como felinos, monos congo y carablanca, conejos, venados, saínos, tepescuintles, cusucos o armadillos y perezosos con respecto al sector Este.

Lo anterior se pudo comprobar mediante observaciones rápidas no sistemáticas ni cuantitativas en el área de estudio. De la misma manera se efectuó un conteo rápido y no sistemático de aves en un sendero de 1.8 km de longitud en la estación biológica Rincón de Piedra y a lo largo de 1.4 km entre la población de Cuipilapa y La Giganta, siguiendo el camino que va paralelo al río Cuipilapa. En estos dos recorridos se contaron un total de 19 y 23 aves respectivamente, entre ellas tucanes, tucancillos, pericos, urracas, carpinteros, pecho amarillos, soterrey, trogones y 3 tipos de colibríes.



Foto 9. En primer plano cultivos hortícolas y pastos. Atrás se puede observar un alto grado de conectividad hacia el volcán Miravalles. Gilbert Vargas.

Este alto grado de conectividad permite una continuidad en las manchas de bosques generando mayor facilidad de dispersión de plantas y animales y la consolidación de hábitats madres; así como una disminución en la distancia entre los fragmentos de bosque; por lo tanto, un paisaje con alta conectividad es aquel en el que los individuos de una especie determinada pueden desplazarse con libertad entre hábitats que se requieren para alimentarse y protegerse (Bennett, 2004)

Conclusión

La geografía es una ciencia que integra y une las ciencias naturales y sociales, esto le permite realizar estudios de la relación sociedad – ambiente, en especial como el ser humano modifica, transforma y mantiene los paisajes que crea.

Los resultados de este estudio, en el sector del proyecto geotérmico de Miravalles y sus alrededores muestra que cambios en la estructura del paisaje, asociados al proceso de fragmentación, están relacionados de manera directa con la ocupación humana por medio de la colonización agrícola, al transformar los ecosistemas naturales como los bosques, en sistemas humanizados como campos de cultivos y pastos.

El estudio es un análisis geográfico donde se establece la relación entre información a escala de paisaje e información de estructura de la vegetación medida en terreno, para evaluar el estado de la fragmentación de los ecosistemas forestales, su capacidad de recuperación por medio de la sucesión vegetal natural o con la colaboración de los seres humanos que finalmente desembocan en una conectividad de los ecosistemas que favorecen la conservación de poblaciones de especies vegetales y animales que cubren extensiones restringidas de territorio.

También, muestra por medio de la cartografía fitogeográfica, la forma de obtener mapas de cobertura del uso de la tierra y poder caracterizar la estructura del paisaje como una forma de medir los niveles de fragmentación. Esta herramienta alcanza un mayor potencial cuando se realiza un estudio en periodos de tiempo diferente.

Finalmente se comprueba como una institución estatal como el ICE por medio de un programa de gestión ambiental y de educación ambiental es capaz de recuperar la cobertura forestal y lograr un aumento de la biodiversidad en el área del proyecto geotérmico de Miravalles

Bibliografía

Agencia Europea de Medioambiente. (2000). *CORINE land cover*. Instituto Geográfico de España. Madrid.

Alvarado, G; C. Sigarán y W. Pérez. (2000). *Vulcanismo: sus productos y geoformas*. pp. 133 -154. En Denyer, P y S. Kussmaul. Geología de Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago.

Bennett, A. F. (1990). *Habitat corridors: The role in wildlife management and conservation*. Department of Conservation and Environment. Melbourne.

Bergoeing, J. P. (2007). *Geomorfología de Costa Rica*. Librería Francesa. San José.

Burel, F y J. Baudry. (1999). *Ecologie du paysage : concepts, méthodes et applications*. Editions Tec et Doc-Lavoisier. Paris.

Bertrand, G. (1978). *Le paysage entre la nature et la société*. *Revue de Géographie des Pyrénées et du Sud-Ouest*. Pp. 49. 239 – 258.

Bradshaw, A. D. (1983). *The reconstruction of ecosystems*. *Journal of Applied Ecology*, n° 20, 1 –17.

Brenes, L. A y Y. González. (2001). *Complejo geotérmico Miravalles. Colección patrimonio y futuro*. N° 20. Relaciones Públicas del Complejo Geotérmico Miravalles. San José

Burel, F y J. Baudry. (2002). *Ecología de paisajes. Conceptos, métodos y aplicaciones*. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid

- Cabaussel, G. (1967). *Photo-intepretation et synthese ecologique: Essai d'application a la feuille Grenoble. 1 : 1 000 000*. Université de Grenoble. Grenoble. Francia
- Crumley, C. L y W.H. Marquardt. (1987). *Regional dynamics: Burgundian landscape in historical perspective*. Academia Press. San Diego. California.
- Duvigneaud, P. (1980). *La syntésés écologique*. Editions Doin. Paris
- Harris, L. D. (1984). *The fragmented forest: Island biogeographic theory and the preservation of biotic diversity*. Chicago University Press. Chicago.
- Herrera, W. (1985). *Clima de Costa Rica*. UNED. San José.
- Holdridge, L. R. (1971). *Forest environment in tropical lifes zones: A pilot study*. Pergamon press. Oxford.
- Holdridge, L. R. (1982). *Ecología basada en zonas de vida*. IICA. San José
- Kattan, G. H. (2002). *Fragmentación : patrones y mecanismos de especies*. pp 561 -590. En: Guariguata, M.R y G.H Catan. *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. EULAC – GTZ. Cartago
- Ozenda, P. (1974). *De la carte de la végétation a une carte de l'environnement*. Documents de Cartographie ecologique. 13 (1) 1 – 8 . Grenoble
- Turner, M.G. (1991). *Métodos cuantitativos en ecología del paisaje*. Estudios ecológicos, n. 81, 32 – 45.
- Rey, P. (1977). *Expresión cartographique de modèles dynécologiques en région de montagne*. Bulletin ecologique. Tome 8, fascicule 3. pp 209 – 218. Masson et Cie. París.
- Rey, P. (1980). *De la carte de la végétation a la carte ecologique*. Bulletin ecologique. Tome11, fascicule 1. p 49 – 52. Masson et Cie. París.
- Richard, J. F. (1975). *Paysages, ecosystems, environnement: una approche géographique*. L'Espace Géographique, 2, 81 – 92.
- Steenmans, C y U. Pimborg. (2004). *Índice de fragmentación antropogénica*. *Revista de ciencia y tecnología de la información geográfica*. Universidad de la Rioja, n° 7, 10 - 21.
- Taylor, P. D; L. Fahring, K. Henein y Meriam, G. (1993). *Connectivitys a vital element of landscape structure*. *Oikos*. 68: 571- 573.
- Turner. M; R. Gardner y R. O' neill. (2001). *Landscape ecology in theory and practice. Patterns and process*. Springer-Verlag, Nueva York.
- Vargas, G. (2001). *Fitogeografía del los ecosistemas secos en la meseta de ignimbritas de Guanacaste*. Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. 49 (1), 227 – 238.
- Vink, A. P. (1983). *Landscape ecology and land use*. Longman. Nueva York
- West, D. C; H. H Shugart y D.B. Botkin. (1989). *Forest Succession: concepts and application*. Spring Verlag. Nueva York.
- Zerda, H. R. (1998). *Monitoring der vegetation–und landnutzungsveränderungen durch brandrodung und Übernutzung im Trocken Chaco Argentiniens mit satellitengferner tndung urd GIS*. Issertation Cuvillier. Goettingen. Alemania.