



Revista de CIENCIAS AMBIENTALES

Tropical Journal of Environmental Sciences



**Propuesta de zonificación ambiental del corredor biológico interurbano río
María Aguilar, Costa Rica**

**Proposal of Environmental Zoning for the María Aguilar River Inter-city
Wildlife Corridor, Costa Rica**

Fabián Solano-Monge^a

^a Geógrafo, consultor especialista en manejo de recursos naturales, cambio climático y gestión del recurso hídrico,
fabiansolanom@gmail.com

Director y Editor:

Dr. Sergio A. Molina-Murillo

Consejo Editorial:

Dra. Mónica Araya, Costa Rica Limpia, Costa Rica
Dr. Gerardo Ávalos-Rodríguez. SFS y UCR, USA y Costa Rica
Dr. Manuel Guariguata. CIFOR-Perú
Dr. Luko Hilje, CATIE, Costa Rica
Dr. Arturo Sánchez Azofofeifa. Universidad de Alberta-Canadá

Asistente:

Rebeca Bolaños-Cerdas

Editorial:

Editorial de la Universidad Nacional de Costa Rica (EUNA)





Propuesta de zonificación ambiental del corredor biológico interurbano río María Aguilar, Costa Rica

Proposal of Environmental Zoning for the María Aguilar River Inter-city Wildlife Corridor, Costa Rica

Fabián Solano-Monge^a

[Recibido: 30 de mayo 2016; Aceptado: 14 de octubre 2016; Corregido: 08 de febrero 2017; Publicado: 21 de abril 2017]

Resumen

Los corredores biológicos son reconocidos por su importancia como conectores de elementos y funciones ecológicas. Aquellos posicionados en ambientes urbanos son cruciales para el funcionamiento tanto ambiental como social y económico en su zona de influencia. Sin embargo, estos últimos poseen importantes desafíos en su consolidación y manejo, al estar con frecuencia expuestos a condiciones de estrés y disturbio humano. En este artículo se mezcla el análisis geográfico desde perspectivas de ordenamiento territorial, urbano, biogeográfico e hídrico para realizar una propuesta de zonificación ambiental aplicada al corredor biológico interurbano río María Aguilar, Costa Rica. Se utilizó una metodología de análisis mixto que considera, además de la búsqueda de bases de datos, registros y fuentes secundarias, la aplicación del método estadístico de jerarquías analíticas propuesto por Thomas Saaty. Después de realizar el procedimiento de pares ordenados de forma satisfactoria, el área pudo ser dividida en niveles de intervención desde muy alta hasta muy baja, lo que permitirá gestionar, de manera más efectiva, la zona de influencia. Se realizan una serie de recomendaciones enmarcadas dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018 y la Política Nacional de Ordenamiento Territorial.

Palabras clave: Análisis multicriterio; corredores biológicos; cuencas hidrográficas; biogeografía; ordenamiento territorial urbano.

Abstract

Wildlife corridors are recognized for their importance as connectors of elements and ecological functions. Those located in urban areas are crucial for the environmental, social and economic functioning in their influence area; however, they have important challenges in their consolidation and management as they are frequently exposed to stress and human disturbance. In this article, the geographic analysis combines urban, biogeographical, hydrological and territorial planning perspectives in order to develop an environmental zoning to be applied to the María Aguilar River Inter-city Wildlife Corridor, in Costa Rica. A mixed analysis methodology was implemented; besides the search of databases, records, and secondary sources, it considers the application of a statistical method of analytical hierarchies proposed by Thomas Saaty. After satisfactorily accomplishing the ordered pairs procedure, the area could be divided in intervention levels from very high to very low ones, allowing to more effectively manage the area of influence. A set of recommendations is provided with the framework of the National Development Plan 2015–2018, and the National Act on Territorial Planning.

Keywords: biogeography; biological corridor; multi-criteria analysis; river basin, urban territorial planning, wildlife corridor.

^a Geógrafo, consultor especialista en manejo de recursos naturales, cambio climático y gestión del recurso hídrico, fabiansolanom@gmail.com



1. Introducción

El estudio de los corredores biológicos es acogido por la tradición geográfica de la biogeografía, preocupada por los estudios sobre distribución de las especies y de conectividad y fragmentación. Desde una óptica histórica, los corredores biológicos fueron propuestos por Wilson y Willis en 1975 a partir de la teoría biogeográfica de islas postulada por MacArthur y Wilson en los años de 1960 (Sistema Nacional de Áreas de Conservación [SINAC], 2009). Estos corresponden a una extensión territorial cuya función principal es interconectar áreas silvestres protegidas para generar beneficios hacia las especies, los paisajes y el territorio. Desde 1999 surge el proyecto Corredor Biológico Interurbano río María Aguilar (CBIMA) para manejar el área metropolitana con un desarrollo integrado y sostenible en pro de disminuir la alta contaminación del recurso hídrico y de recuperar la naturaleza remanente (Escalante & Pizarro, 2009).

Algunos estudios han abordado el tema de corredores biológicos (Beier & Noss, 1998; Bennett, 1998 y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza [CATIE], 2011) y de gestión del recurso hídrico (Calvo & Mora, 2007; Mendoza, 1989) dando mayor importancia a las especies (Espinosa, 2008; Fundación Defensores de la Naturaleza [FDN], 2001; García, 2002; Kattan, 2002) y en menor medida a la gestión territorial (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2001; SINAC, 2007). Aunque se ha estudiado desde un enfoque geográfico (Gómez & Barredo, 2005; Zamora & Baltodano, 2010), este no ha sido abarcado de forma integral, lo cual representa una limitación en el análisis de corredores en ambientes urbanos.

Esta propuesta encierra todos los factores para brindar una zonificación ambiental que se ajusta a las necesidades actuales de los corredores biológicos interurbanos, ya que estos están expuestos a altas presiones antropogénicas y no refieren solo al estado de conservación y de fragmentación ambiental, sino que albergan el funcionamiento social y económico en su zona de influencia, al encontrarse en ambientes ciudadanos, en condiciones de estrés y de disturbio humano.

El objetivo de este artículo es realizar una propuesta de zonificación ambiental aplicada al Corredor Biológico Interurbano río María Aguilar, Costa Rica, utilizando la metodología de jerarquías analíticas de Saaty. Se utiliza como base la conceptualización teórica de la conservación ambiental y la estructura de los corredores biológicos como principios básicos para amparar la propuesta de zonificación ambiental en el área urbana más grande de Costa Rica. El método de jerarquías analíticas de Saaty brinda una aproximación estadística sobre los indicadores que permiten, luego, ejecutar la propuesta con un mapeo de intervenciones. Posteriormente, se discute la normativa actual y la política costarricense para respaldar las acciones en los niveles de intervención, y trascender en recomendaciones para el CBIMA. Por tanto, se aporta a través de una temática novedosa y se ofrece la aplicación de una herramienta poco utilizada en esta temática. Los resultados aportan a la ordenación ambiental del CBIMA y otros corredores biológicos y, además, crean una base que permitirán replicar el modelo en el futuro.

2. Marco conceptual

Los corredores biológicos pueden ser abordados teóricamente desde diferentes perspectivas de la conservación ambiental, según sea su función o las características que los rodean. El término conservación anteriormente se refería a “la ordenación de los recursos naturales a fin de lograr



la máxima calidad de vida para la humanidad, sobre una base continua” (Mendoza, 1989, p. 22). Este enfoque enfatiza un bienestar por los seres humanos considerando la naturaleza como un recurso, un insumo, o un objeto con valor. Hacia el siglo XXI estas ideas cambiaron al tratar la conservación con un enfoque más natural, integrador y sostenible:

La conservación de ecosistemas y hábitats naturales y el mantenimiento y recuperación de poblaciones de especies viables en su entorno natural y, en el caso de especies domesticadas o cultivadas, en el entorno donde hayan desarrollado sus propiedades distintivas. (Dudley, 2008, p. 92)

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) trae un nuevo significado a partir de un interés integrador y recíproco, referido hacia la conservación *in-situ*, sin alterar el espacio vital de las diferentes especies:

Se entiende por conservación *in situ* la conservación de los ecosistemas y los hábitats naturales y el mantenimiento y recuperación de poblaciones viables de especies en sus entornos naturales y, en el caso de las especies domesticadas y cultivadas, en los entornos en que hayan desarrollado sus propiedades específicas. (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 1992, p. 1)

Sin embargo, esta conservación se ve amenazada por la fragmentación, definida como el aislamiento de ecosistemas tanto de forma natural como de forma antrópica. Su principal efecto es que el intercambio genético se interrumpe y, a lo largo de muchos miles de años de tal aislamiento, se generan especies nuevas; es decir, propicia el endemismo y la especiación (Espinosa, 2008). Como una estrategia para resguardar un espacio vital para las especies, sus movimientos y sus funciones, surgen las áreas silvestres protegidas (ASP), las cuales “se orientan hacia la conservación *in situ*, contribuyendo directamente al resguardo de la biodiversidad tras ampliar las superficies protegidas de ecosistemas prioritarios” (Selpúveda, 2002, p. 119). Estas, desde el enfoque de sostenibilidad, representan una gran oportunidad para el desarrollo, ya que en ellas se da una pluralidad de funciones sin afectar el ecosistema y facilitan la vida antrópica. Las ASP cumplen funciones según su categoría de conservación, y están definidas como:

Una zona geográfica delimitada, constituida por terrenos, humedales y porciones de mar. Ha sido declarada como tal por representar significado especial por sus ecosistemas, la existencia de especies amenazadas, la repercusión en la reproducción y otras necesidades y por su significado histórico y cultural. (SINAC, 2007, p. 14)

En la escala regional se crea el Corredor Biológico Mesoamericano (CBM) como una iniciativa de conservación que involucró a todos los países de Centroamérica y cinco Estados del sureste de México. Es uno de los pocos esfuerzos del istmo por la integración en temas ambientales, cuyo objetivo principal es mantener en el istmo centroamericano la conectividad biológica de masas continentales (Zamora & Baltodano, 2010). Oficialmente es:



Un sistema de ordenamiento territorial compuesto de áreas naturales bajo regímenes de administración especial, zonas núcleo, de amortiguamiento, de usos múltiples y de interconexión; organizando, consolidando y brindando un conjunto de bienes y servicios ambientales a la sociedad centroamericana y mundial, proporcionando los espacios de concertación social para promover la inversión en la conservación y uso sostenible los recursos naturales. (Guimarães, 2001, p. 35)

Hacia la escala local, según la Ley de Biodiversidad de 1998, surge el Sistema Nacional de Áreas de Conservación de Costa Rica (SINAC):

Es un sistema de gestión institucional desconcentrado y participativo que integra las competencias en materia forestal, de vida silvestre y áreas silvestres protegidas, del Ministerio de Ambiente, Energía (MINAE), con el fin de dictar políticas, planificar y ejecutar procesos dirigidos a lograr la sostenibilidad en el manejo de los recursos naturales de Costa Rica. (SINAC, 2009, p. 5).

El SINAC, organizativamente dentro del MINAE, es el ente rector en conservación del país con competencias claras que le dan un carácter participativo y que puede dictar políticas y tomar decisiones en la materia concerniente. Ahí se creó el Programa Nacional de Corredores Biológicos (PNCB) como una estrategia nacional para la conservación de la biodiversidad cuyo objetivo es “la promoción de la conservación y uso sostenible de la biodiversidad en Costa Rica, desde una perspectiva ecosistémica, para el beneficio de la sociedad” (SINAC, 2009, p. 5). Para la definición de los corredores biológicos, el SINAC considera los caracteres de integración social, de inversión y de uso sostenible:

Territorio delimitado cuyo fin es proporcionar conectividad entre paisajes, ecosistemas y hábitat, naturales o modificados, para asegurar el mantenimiento de la biodiversidad y los procesos ecológicos y evolutivos. Está integrado por áreas naturales bajo regímenes de administración especial, zonas núcleo, de amortiguamiento, o de usos múltiples; proporcionando espacios de concertación social para promover la inversión en la conservación y uso sostenible de la biodiversidad, en esos territorios. (SINAC, 2009)

Basado en el tema de estudio, un corredor biológico interurbano (CBI):

Es una extensión territorial que proporciona conectividad entre paisajes, ecosistemas, hábitats modificados o naturales, como las ASP. Estos espacios contribuyen al mantenimiento de la diversidad biológica, posibilitando la migración, dispersión de las especies de flora y fauna. Asimismo, el rescate y apropiación de valores culturales propios de la región. (COBRI SURAC, 2007, p. 32).

La similitud entre conceptos es notoria, pero se diferencia en dos aspectos: 1) en la ubicación del corredor biológico y 2) en la aplicación de valores sociales y culturales. No son zonas



exclusivas para la conservación *in-situ*, sino que confluyen con diferentes usos y trabajan en la función de optimizar el espacio. En ambos casos, un corredor biológico está estructurado por cinco componentes estructurales. Primero, *las áreas núcleo* son los espacios naturales protegidos cuyo propósito es que los ecosistemas continúen manteniendo la biodiversidad y los bienes y servicios ecosistémicos para la sociedad. Son el área fundamental para la conservación y la zona más importante para el desarrollo de las especies, ya que, según la condición de hábitat, se determina su funcionalidad para el corredor biológico (Bennett, 1998; Bennett & Mulongoy, 2006; Poiani, Richter, Richter, & Anderson, 2000). Segundo, *las rutas de conectividad* determinan los corredores biológicos, ya que cuentan con una función de enlace entre dos o más zonas núcleo. Surgen del paso entre los diferentes usos de la tierra y proveen una menor resistencia al movimiento de especies, así como la adaptación a los cambios y presiones del ambiente y del clima (Bennett & Mulongoy, 2006; SINAC, 2007). Tercero, *las zonas de amortiguamiento* son los espacios de transición entre los núcleos y la matriz del corredor biológico. Su función es controlar los impactos hacia las áreas núcleo, formando un preámbulo de protección al recurso valioso (Bennett & Mulongoy, 2006). Cuarto, *los hábitats sumideros* son los fragmentos del ecosistema original. Por su tamaño y su capacidad de aumentar, son poblaciones incapaces de mantener familias vivas, por lo que necesitan de la inmigración de individuos provenientes de las zonas núcleo (Bennett, 1998; Bennett & Mulongoy, 2006). Por último, *la matriz del corredor biológico* es el área dedicada a usos múltiples. Está dominada por hábitats abiertos. La función principal de esta corresponde con la presencia de pequeños parches de bosque que sirven como refugios temporales y que, a su vez, facilitan el movimiento de las especies a través del corredor biológico (Bennett & Mulongoy, 2006; Kattan, 2002).

Los corredores biológicos están basados en el supuesto de que los fragmentos unidos o conectados por un corredor de hábitat adecuado disminuyen la tasa de extinción y tienen un mayor valor para la conservación que los hábitats aislados (Noss, 1992). Por medio de manchas verdes se propicia la movilidad de especies. Por esto es esencial que unan dos o más zonas protegidas para garantizar la transferencia de energía y materia, y para darle la funcionalidad al espacio. Este traspaso a través de manchas se origina con la Teoría Biogeográfica de Islas. Se basa en la inmigración de propágulos y un proceso de extinción de poblaciones. Se determina que el número de especies presentes en una isla esta entendida como una mancha verde que se mide a partir de la inmigración y extinción, según sea el tamaño de poblaciones (Burel & Baudry, 2002), facilitan en sí el flujo de genes y la colonización de sitios adecuados propiamente en migraciones estacionales y diarias entre una variedad de hábitats (Beier & Noss, 1998; Bennett, 1998; Primack, Roíz, Feinsinger, Dirzo, & Massardo, 2001).

Asociado a la teoría biogeográfica de islas, se habla del concepto de metapoblaciones, conocidas como “un conjunto cambiante de poblaciones temporales relacionadas entre sí por la dispersión y el flujo de genes” (Poiani, Richter, Richter & Anderson, 2000 citado en SINAC, 2008, p. 18) así las metapoblaciones están formadas por poblaciones que se extinguen y recolonizan localmente y que ocupan parches discretos de hábitat que están interconectados (Burel & Baudry, 2002; Primack, Roíz, Feinsinger, Dirzo & Massardo, 2001). En general, se caracterizan por estar formadas por un grupo de subpoblaciones y se pueden distinguir dos



tipos: las fuentes y los sumideros. Los espacios fuentes están situados en un hábitat favorable que propicia aumentar la población; y los espacios sumideros se asocian a un hábitat desfavorable, en el cual los tamaños poblacionales no pueden ser mantenidos sin la inmigración de los hábitats fuentes. Las metapoblaciones están definidas por diferentes factores como el tamaño de las manchas que evidencia el posible tamaño poblacional; el aislamiento entre manchas que da la posible conectividad y los flujos entre especies; y los bordes y su configuración, según la permeabilidad de especies, y los flujos génicos que dan el traslado en sí de los organismos (Burel & Baudry, 2002).

La teoría de parches está ligada a los fragmentos de bosques, las islas y las metapoblaciones y se enfoca hacia la restauración ecosistémica y ecológica. Se asemeja a una serie de mosaicos en los cuales, al igual que las islas, son fragmentos que pueden estar interconectados y que poseen funciones tanto para sumideros como para fuentes donde las variaciones ambientales determinan los patrones de uso del hábitat y, además, determinan el desplazamiento de los individuos de las distintas especies (García, 2002). La existencia de parches interconectados trae consigo la función real y la importancia de los corredores biológicos: permitir la conectividad, disminuir la fragilidad ambiental y contribuir con la restauración del ecosistema, para permitir un equilibrio ecológico.

Por tanto, la creación, el mantenimiento y la evaluación de los corredores biológicos darían una disminución de limitantes y de problemáticas para la conservación a escalas local, nacional y regional. Para el caso de los CBI, se propiciarían flujos de materia y energía, y se permitiría a las ciudades convertirse en espacios equilibrados e íntegros (SINAC, 2009).

3. Metodología

Este estudio se desarrolló con el método deductivo que va de lo particular a lo individual, de lo universal a lo general, es decir, derivar y concluir desde otras medidas. El caso en geografía “se basa en la aplicación de modelos físicos o matemáticos que permitan estimar los parámetros de interés a partir de los datos adquiridos (Pagot, 2007, p. 5). Las fuentes de información existentes para la realización de la investigación se obtuvieron, en primera instancia, a través de la búsqueda y análisis bibliográfico de artículos y libros en materia ambiental. Por medio del consejo local del CBIMA y en reuniones formales con las siguientes instituciones se obtuvieron los datos y la información cuantitativa primaria y secundaria para el desarrollo del proyecto de zonificación: Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), Comisión Nacional de Emergencias (CNE), Acueductos y Alcantarillados (AyA), Ministerio de Salud (MS), Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), Área de Conservación Cordillera Volcánica Central (ACCVC), Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS), municipalidades de Alajuelita, Curridabat, La Unión, Montes de Oca y San José. Además, se obtuvo como principal insumo el perfil técnico del CBIMA del 2009, y luego se realizó la pertinente corroboración en el campo de los datos obtenidos, y se actualizaron los necesarios.

La propuesta de zonificación ambiental se construyó con la sobreposición de información de siete indicadores de tipo biofísico y socioeconómico: densidad poblacional, aspectos hídricos, uso de la tierra, divergencia de uso de la tierra, índice de estabilidad ecodinámica, índice de fragilidad ambiental y el índice de estabilidad ecodinámica. Estos son los usados para la creación



de zonificaciones ambientales en el desarrollo de perfiles técnicos de CBI y en la consolidación de áreas protegidas.

Se utilizó el método de jerarquías analíticas o pares de **Thomas Saaty (2005)** para que cada indicador obtuviera un peso estadístico, según sus características. El procedimiento propone darle importancia a cada variable, según su análisis jerárquico; es decir, la ponderación se establece según la importancia de los elementos y la asignación dada de los pesos. A cada indicador se le otorga un porcentaje de influencia y no se excluyen entre sí, poseen la misma validez (**Gómez & Barredo, 2005**).

El método de jerarquías analíticas se hace por comparaciones binarias de criterios. Se establece una matriz de los indicadores por los indicadores dándoles un valor de importancia. El método Saaty permite emplear desde 3 hasta 15 variables, y en este estudio la matriz es de 7x7 indicadores. En cada par de criterios binarios se establece un orden de categorías según la escala de valor de juicios de Saaty (**Cuadro 1**). Los valores van desde 1 hasta 9, los valores 2, 4, 6 y 8 son valores intermedios entre las escalas; por lo tanto, a cada par de variables se le da una escala de medición (**Gómez & Barredo, 2005**).

Cuadro 1. Escala de medición para criterios binarios del método de jerarquías analíticas de Thomas Saaty

Escala	Significado
1	Las variables son igualmente importantes.
3	Una variable es ligeramente más importante que otra
5	Una variable es notablemente más importante que otra
7	Una variable es más demostrablemente importante que otra
9	Una variable es absolutamente más importante que otra
2,4,6,8	Valores intermedios entre escalas de juicios de valor

Fuente: Gómez & Barredo (2005).

La escala de medición determina la normalización de los datos. Se divide cada dato entre la sumatoria por columna de lo que resulta un valor promedio para cada variable. La suma de los datos normalizados por fila corresponde con el peso jerárquico por variable. Estos se emplearían en la zonificación ambiental (**Gómez & Barredo, 2005**). La validez estadística se corrobora a través de la utilización de la medida global de consistencia de la matriz (RC) para que los pesos jerárquicos (**Ver Ecuación 1**), dando coherencia y pertenencia al estudio (**Gómez & Barredo, 2005**).

(1)

Donde:

RC= Consistencia de la matriz

IC= Índice de consistencia

IA= Índice aleatorio

El IC se obtiene desde el *eigenvector* máximo, es decir, el valor mayor de las sumatorias por

$$RC = \frac{IC}{IA}$$



fila (Gómez & Barredo, 2005). Con este dato se emplea la **Ecuación 2**:

(2)

Donde:

$$IC = \frac{EMP-n}{n-1}$$

EMP = *Eigenvector* máximo ponderado
n = número de variables

El IA representa el índice de consistencia de una matriz recíproca generada aleatoriamente a partir de una escala de 1 a 9, con juicios de valor recíprocos y diagonal = 1 (Gómez & Barredo, 2005). Está generado por la multiplicación de matrices. Saaty definió una tabla de variables según el tamaño de la matriz (**Cuadro 2**).

Cuadro 2. Índices aleatorios para matrices propuestos por Thomas Saaty para el método de jerarquías analíticas

Tamaño de matriz	1x1	2x2	3x3	4x4	5x5	6x5	7x7	8x8	9x9	10x10	11x11
Valor aleatorio	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,54

Fuente: Gómez & Barredo (2005).

Para que se obtenga validez estadística la RC debe ser igual o menor a 0,10. Si no se cumple con ese valor es necesario que se revisen los juicios de valor asignados en el método de comparación de pares en la matriz inicial. Si el resultado de la razón de consistencia es inferior a 0,10, se puede considerar que existe una consistencia apropiada de los juicios por consiguiente es válida estadísticamente (Gómez & Barredo, 2005). Con una RC aceptable se le otorgan los pesos estadísticos a cada capa de información. Posteriormente, se le aplica sobre este peso otro peso por cada atributo de cada criterio. Estos valores van desde 1 hasta 9 en donde los números menores, para este estudio, requieren de alta intervención y los mayores de menor intervención. La ponderación con los valores por categoría del método de Saaty y con los pesos ponderados por atributos de cada indicador se elabora con el software cartográfico ArcGIS 10.2 con la herramienta *Model Builder*. Como principal resultado se obtiene el mapeo pertinente y categorizado. Por último, a partir de la misma ponderación se generan las recomendaciones por categoría resultante con base en los ejes de desarrollo del país.

4. Resultados

En esta sección se presentan los resultados de: 1) la aplicación del método de jerarquías analíticas sobre los indicadores; 2) la aplicación de pesos ponderados por criterio y 3) la



propuesta resultante de zonificación ambiental por niveles de intervención del CBIMA basada en criterios de ordenación territorial.

4.1 Aplicación del método de jerarquías analíticas de Thomas Saaty

El método Saaty asigna el peso estadístico a cada variable según el análisis jerárquico entre la relación de los atributos. Estos no son excluyentes (Gómez & Barredo, 2005). La selección de las variables se dio en consenso entre las necesidades del CBIMA y las tendencias modernas de la ciencia geográfica en Costa Rica. Se realizó la escala de medición para la comparación entre cada criterio binario, y se obtuvo como resultado el **Cuadro 3**: donde se detalla el peso asignado, según la relación a criterio del investigador.

Cuadro 3. Matriz comparación de pares a completar del método de jerarquías analíticas de Saaty aplicado para la zonificación ambiental del CBIMA

Indicadores	Aspectos hídricos	Densidad poblacional	Uso de la tierra	Divergencia de uso de la tierra	Fragilidad ambiental	Estabilidad ecodinámica	Zonificación de riesgo
Aspectos hídricos	1	1/5	1/3	1/7	1/3	1/4	1/2
Densidad poblacional	1/5	1	1	1/7	1/3	1/5	1
Uso de la tierra	1/3	1	1	1	1/3	1/4	1/2
Divergencia de uso de la tierra	1/7	1/7	1	1	1/8	1/7	1/6
Fragilidad ambiental	1/3	1/3	1/3	1/8	1	1/4	1/3
Estabilidad ecodinámica	1/4	1/5	1/4	1/7	1/4	1	1/4
Zonificación de riesgo	1/2	1	1/2	1/6	1/3	1/4	1

Según Gómez & Barredo (2005), cuando la escala de medición es 1, significa que ambas variables son igualmente importantes; por ejemplo: la zonificación riesgo perjudica directamente a la población; además, la divergencia del uso de la tierra se deriva del uso de la tierra. La escala 1/2 y 1/3 refieren cuando una variable es ligeramente más importante que otra; por ejemplo: el recurso hídrico determina a la zonificación de riesgo ya que, según el tratamiento, uso de aguas y el uso del espacio el riesgo puede incrementar o disminuir. En las escalas 1/4, 1/5 y 1/6 se trata cuando una variable es notablemente más importante que otra; por ejemplo: la estabilidad ecodinámica del territorio se ve relacionada con el resto de variables en esta categoría, porque no es excluyente sino complementaria. Los pesos 1/7 y 1/8 se relacionan cuando una variable



es más importante que otra. En este caso, la mayoría de las variables se presentan como más significativas que la divergencia del uso de la tierra, resultado del uso de la tierra y de su capacidad. Al normalizar los datos entre los totales, resultan los pesos estadísticos para la zonificación ambiental, detallados en el **Cuadro 4**.

Cuadro 4. Pesos estadísticos por variable, según el método de Saaty para la propuesta de zonificación ambiental del CBIMA

Variable	Porcentaje
Uso de la tierra	19,08
Zonificación de riesgo	15,86
Densidad poblacional	15,49
Aspectos hídricos	12,93
Fragilidad ambiental	12,76
Estabilidad ecodinámica	11,96
Divergencia de uso de la tierra	11,92

La variación del peso estadístico asignado entre las últimas seis variables es de 4% máximo, por lo que están muy relacionadas. Por otro lado, el uso de la tierra difiere respecto a la divergencia del uso de la tierra en más de 7%. La validación de los pares estadísticos se acepta en términos de resultados.

Para verificar y validar que los pares y los pesos asignados cumplan con un estándar y puedan ser utilizados para la zonificación, se usa la RC, referida en la **Ecuación 3**:

$$RC = \frac{EMP-7}{7-1} \quad RC = \frac{7.002-7}{7-1} \quad (3)$$

El *eigenvector* máximo ponderado fue el resultado de la suma de los pesos, en este caso fue de 7,002. Al aplicarse la RC dio un resultado de 0,002. Al ser un valor menor a 0,10 se considera que existe una consistencia apropiada de los juicios; por consiguiente, los pesos estadísticos asignados fueron determinados como válidos estadísticamente y se pueden usar estos para la realización de la zonificación ambiental en el software cartográfico.

4.2 Aplicación de pesos ponderados por criterios

Después de emplear el método de jerarquías analíticas de Saaty (2005) se le aplicó sobre este peso otro peso por cada atributo de cada criterio o indicador. Para este estudio los valores van desde 1 hasta 9 (**Cuadro 5**), en donde los números menores requieren de alta intervención y los mayores de menor intervención.



Cuadro 5. Categoría, atributo y peso ponderado otorgado a cada criterio de la zonificación ambiental del CBIMA

Criterio	Peso estadístico	Atributos o categorías	Peso ponderado
Densidad poblacional	15,49	menos de 1350 hab/km ²	1
		1350-2100 hab/km ²	3
		2100-4900 hab/km ²	5
		4900-7500 hab/km ²	7
		Más de 7500 hab/km ²	9
Aspectos hídricos	12,93	Dentro del área de protección	1
		Fuera del área de protección	5
		Bosques (primarios, secundarios, fragmentados)	1
		Charrales	2
Uso de la tierra	19,08	Pastos y plantaciones de coníferas	3
		Zonas verdes urbanas	4
		Tajos y uso mixto	5
		Cultivos, fincas e invernaderos	8
		Densidad alta e industria	9
Divergencia de uso de la tierra	11,92	Tierras gravemente sobre utilizadas	1
		Tierras sobreutilizadas	3
		Tierras subutilizadas	5
		Tierras utilizadas dentro de su capacidad de uso	7
		Tierras bien utilizadas	9
Estabilidad ecodinámica	11,96	Inestable	1
		Penestable	5
		Estable	9
Fragilidad ambiental	12,76	Muy alta fragilidad ambiental	1
		Alta fragilidad ambiental	3
		Moderada fragilidad ambiental	5
		Baja fragilidad ambiental	7
Zonificación de riesgo	15,86	Muy baja fragilidad ambiental	9
		Muy alto riesgo	1
		Alto riesgo	3
		Moderado riesgo	5
		Bajo riesgo	9



La ponderación con los valores del método de Saaty por categoría y con los pesos por atributos de cada indicador se elaboró con el software ArcGIS 10.2 con la herramienta *Model Builder*, que presenta los pesos ponderados.

Se definió cada parámetro según sus clases, y se generó una capa de información que corresponde con la cartografía que representaría la posible zonificación. El **Cuadro 6** muestra, por categoría, los atributos de las capas en la zona de CBIMA y el peso ponderado.

4.3 Propuesta de zonificación ambiental del corredor biológico interurbano río María Aguilar (CBIMA)

El software ArcGIS 10.2, al sobreponer las capas según el peso asignado mediante el método de Saaty, brindó una serie de valores que representan un valor de intervención en el área. El resultado se muestra en la **Figura 1**. Se categorizaron con sus respectivas recomendaciones en: zonas de muy alta intervención, alta intervención, moderada intervención, baja intervención y muy baja intervención.

Se elaboró la zonificación ambiental por nivel de intervención, ya que la zona se ubica sobre el área urbana más grande de Costa Rica, por lo que la gestión y las restricciones de uso de la tierra y del suelo varían significativamente respecto a un área rural. Es importante rescatar que el territorio se debe fortalecer y se deben promover las oportunidades tanto socioeconómicas como ambientales de la zona. Con diferentes niveles de intervención, el CBIMA, como unidad ejecutora, puede crear una serie de políticas, planes y proyectos para el manejo acertado del área según las condiciones locales imperantes desarrolladas en la discusión.

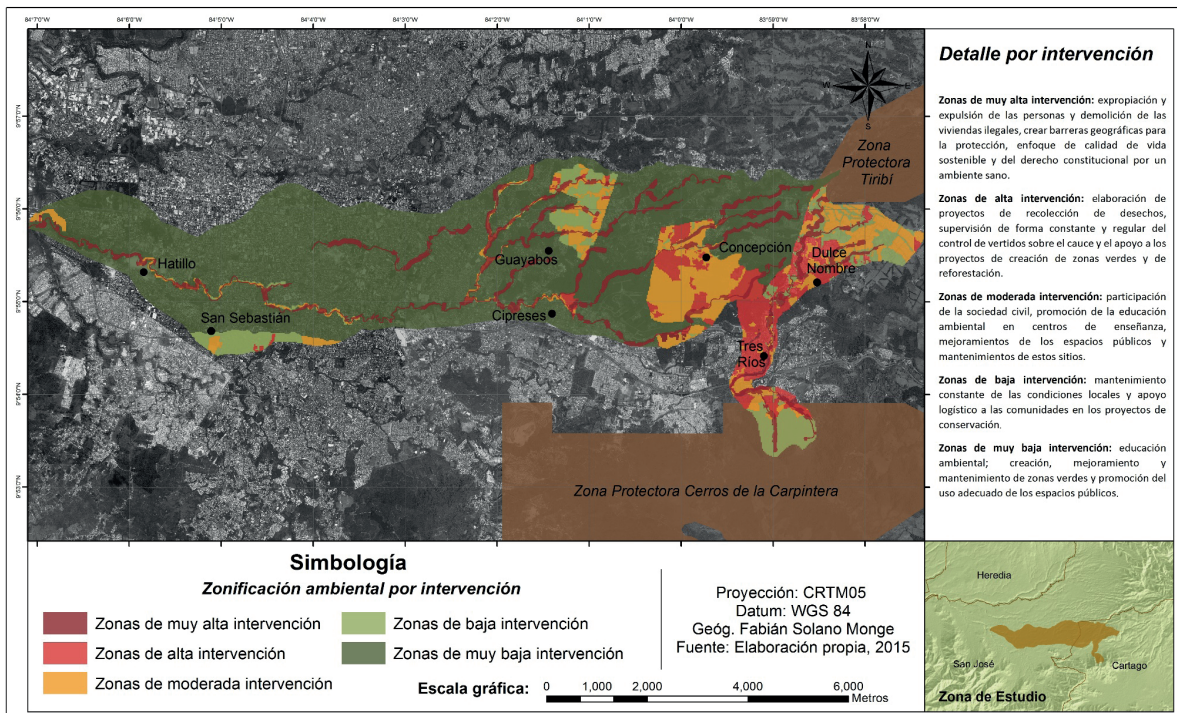


Figura 1. Propuesta de zonificación ambiental para el corredor biológico interurbano río María Aguilar.



5. Discusión

Según los siete indicadores desarrollados, se creó la propuesta de zonificación ambiental (**Figura 1**) basada en los criterios de ordenamiento territorial y en la aplicación del método de Saaty de jerarquías analíticas.

5.1 Criterios de ordenamiento territorial en la zonificación ambiental

Existen cuatro criterios que evalúan y validan la zonificación ambiental del CBIMA, según la Política Nacional de Ordenamiento Territorial (PNOT) del 2012-2040 y según el Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018.

5.1.1 Calidad del hábitat

La calidad del hábitat refiere a la planificación de asentamientos humanos, vivienda, infraestructura y redes. Contempla la participación ciudadana y el paisaje (las áreas verdes y espacio público), el primero motiva a la población a ser partícipe de las actividades, y el segundo, insta a mejorar y crear una gestión sobre los espacios verdes y los espacios públicos facilitando la conectividad biológica y disminuyendo la fragmentación ambiental en la ciudad ([Ministerio de Planificación y Política Económica \[MIDEPLAN\], 2015](#)). Para este criterio se pueden aplicar algunas metas de la PNOT al CBIMA; por ejemplo: la disminución de los asentamientos humanos en condición de precario y las viviendas ubicadas en zonas de riesgo, así como el apoyo en la disminución del déficit de infraestructura y servicios de salud, educación y otros equipamientos sociales. Además, se emplea con la materia ambiental en la información y motivación para el aumento en la cantidad de usuarios que utiliza el transporte público y en la generación de nuevos espacios verdes para aumentar la calidad de vida ([Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos \[MIVAH\], 2012](#)).

5.1.2 Protección y manejo ambiental

La protección y el manejo ambiental enfocados al ordenamiento territorial son fines de los corredores biológicos. Se especializa en el manejo con la visión de cuencas y del recurso hídrico como método de planificación y de recuperación; se aplica, además, a la diversidad biológica: al cómo gestionarla y conservarla *in-situ* en áreas urbanas; y contempla la educación ambiental como instrumento para la protección y rehabilitación ambiental ([MIDEPLAN, 2015](#)). La disminución progresiva de la huella ecológica, un plan para la gestión de los recursos naturales y la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero asociados a los sistemas de transporte público son las principales metas que se adaptan al CBIMA. Además, en este eje se presenta el planteamiento de incorporar la variable ambiental y la visión de cuenca en los planes reguladores de los municipios ([MIVAH, 2012](#)).

5.1.3 Competitividad territorial

Este eje se apoya en la gestión pública como insumo para lograr un balance interinstitucional entre los proyectos del área y el potencial turístico ambiental, cultural o urbano. Tiene como



objetivo mantener una ciudad sostenible, limpia y agradable para la población usuaria (MIDEPLAN, 2015). La competitividad territorial está enfocada hacia la capacidad institucional y la forma de articularla en un corredor biológico. Para el CBIMA se contemplan una serie de objetivos de la política nacional, sobresaliendo: impulsar el desarrollo sostenible e implementar planes reguladores actualizados en los cinco municipios del área; la disminución el tiempo promedio requerido para la revisión, tramitación y actualización de los planes y proyectos como una herramienta para mejorar la gestión municipal (MIVAH, 2012).

5.1.4 Planificación y desarrollo urbano

La planificación y desarrollo urbano incorporan la recuperación de flora y fauna autóctona y de zonas verdes por medio de campañas de reforestación, recreación, limpieza constante de áreas determinadas para la conservación ambiental en zonas urbanas. Contempla la rehabilitación ecológica paulatina de ecosistemas, protección y conservación de las nacientes mediante trabajos interinstitucionales y la recuperación de sitios históricos y de patrimonio arquitectónico (MIDEPLAN, 2015). Abarca los ejes de integración, lo social, la inversión y el uso sostenible que definen a los corredores biológicos interurbanos. El CBIMA se incluye en el Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018, por lo que le otorga insumos y herramientas para poder manejar y gestionar la microcuenca a través de estas metas y objetivos. En concreto, con el método, los ejes presentados y la PNOT resguardan un enfoque de ciudades sostenibles que posibilitarían la gestión, los proyectos y planes del corredor biológico.

5.2 Niveles de intervención de la zonificación ambiental

Según el resultado de la propuesta de zonificación ambiental del CBIMA, se detallan los niveles de intervención a partir del área y de las características de cada zona, con base en los criterios de ordenamiento territorial, ampliados y ejemplificados en este apartado.

5.2.1 Zonas de muy alta intervención

Están caracterizadas por ser sitios de muy alto riesgo, de muy alta fragilidad ambiental, con importancia hídrica, con densidad de población media, son sitios inestables paisajísticamente, con un uso de la tierra variado y con tierras subutilizadas. Corresponden con los poblados Concepción y San Juan en La Unión, Granadilla y Cipreses en Curridabat, y el área de protección del cauce del río María Aguilar. Teóricamente corresponden con los espacios de áreas núcleo y de rutas de conectividad a lo largo del río María Aguilar. En estos sectores se presenta la ocupación ilegal de terrenos en los márgenes de los ríos y un cambio en el uso de la tierra, al pasar de bosque secundario a cafetal, y de cafetal a sitios de residenciales de alto valor adquisitivo, es decir, se produce la pérdida de cobertura boscosa. Se recomienda: 1) la expropiación, expulsión y reubicación primero de las personas y la demolición de viviendas y todo tipo de ocupación en los márgenes del río María Aguilar; 2) la creación de barreras naturales para proteger las zonas núcleo remanentes; 3) impulsar una serie de medidas para que las construcciones futuras, en los sitios adecuados, no intervengan en el enfoque de calidad de vida sostenible y del derecho constitucional por un ambiente sano.



5.2.2 Zonas de alta intervención

Las zonas de alta intervención están caracterizadas por ser zonas de alto riesgo, de alta fragilidad ambiental, con importancia hídrica, con densidad de población alta, son sitios con paisajes inestables, con un uso de la tierra variado y con tierras subutilizadas. Corresponden con los poblados al oeste de Concepción y sur de San Juan en La Unión, Lourdes y Cedros en Montes de Oca y San Sebastián y Hatillo en San José. Teóricamente son las rutas de conectividad directa entre las ASP del CBIMA. Fueron determinados como puntos focales de contaminación del río María Aguilar, donde se amenaza la vegetación remanente y presenta los precarios más grandes que perjudican la salud ambiental. Acá se recomienda: 1) la elaboración de proyectos de recolección de desechos; 2) la supervisión de forma constante el control de vertidos sobre el cauce; 3) el impulsar proyectos de creación de áreas verdes y de reforestación en las zonas que sea posible, y dar mantenimiento de estas áreas para facilitar la conexión entre las especies usuarias.

5.2.3 Zonas de moderada intervención

Las zonas de moderada intervención caracterizadas con riesgo moderado, fragilidad ambiental moderada, con importancia hídrica, con densidad de población alta, son sitios con paisajes estables, con un uso de la tierra continuo son tierras subutilizadas. Se ubican los poblados al oeste de Paso Ancho en San José y Granadilla y Guayabos en Curridabat. Son sitios donde se ubican las zonas de amortiguamiento del CBIMA, se encuentran lejos del cauce y son determinantes para la gestión de cuencas, ya que presentan bajos niveles de participación de la sociedad civil y tienen altos niveles inseguridad ciudadana. En estas zonas se recomienda: 1) dar instrucción a las personas en materia ambiental y la promoción de la educación ambiental en centros educativos, religiosos y culturales; 2) mejoramiento de los espacios públicos hacia zonas verdes para el acceso universal y protección de las áreas núcleo y de las zonas de conectividad; 3) realizar periódicamente talleres y charlas participativas sobre medios de conservación y reciclaje; y 4) crear proyectos de voluntariado comunitario para apoyar las gestiones en el resto de intervenciones.

5.2.4 Zonas de baja intervención

Se ubican sobre la franja territorial a lo largo del río María Aguilar entre Hatillo 1 y Barrio La Cruz en San José. Representan parte de la matriz y de una ruta de conectividad del CBIMA. En estas zonas se dan las condiciones idóneas para el traspaso especies y de paisajes, además cuentan con parches de bosque conservados que sirven para albergar sitios de hábitats de especies temporales. Acá se recomienda: 1) el mantenimiento constante de las condiciones locales; 2) el apoyo logístico a las comunidades en los proyectos de conservación y 3) campañas de educación ambiental por medio de talleres participativos para la población.

5.2.5 Zonas de muy baja intervención

Las zonas de muy baja intervención corresponden con los indicadores que alcanzaron los valores menores, como el bajo riesgo, la baja fragilidad ambiental, con baja importancia hídrica, con densidad de población alta, son sitios estables, con un uso de la tierra continuo y con tierras



utilizadas dentro de su capacidad de uso. Se localizan en el área restante de la microcuenca: la zona central de San José, San Pedro y Sabanilla de Montes de Oca y el sur de La Unión y las franjas cercanas a las áreas protegidas donde las condiciones locales no influyen o ponen en riesgo las zonas protectoras, por lo que son la matriz del corredor biológico. En estos sectores se recomiendan tres aspectos: 1) al ubicarse una gran cantidad de centros educativos se debe crear e impulsar una campaña de educación ambiental sobre la importancia de la gestión hídrica, corredores biológicos interurbanos y sobre el uso de desechos; 2) se deben crear, mejorar y mantener las zonas verdes en áreas urbanas como un medio para el progreso en la ciudad, así como promoverlas hacia una gestión participativa y de disfrute de la población; y 3) el mantenimiento constante de toda la zona y la promoción del uso adecuado de los espacios públicos para garantizar el bienestar colectivo.

Con base en la zonificación ambiental por intervención y en los ejes de ordenamiento territorial a través de la política nacional, se espera que el CBIMA funcione como un medio para el cambio cultural hacia un enfoque sostenible y hacia un mejoramiento en la calidad sanitaria de la ciudad y del cauce del río, teniendo como base los niveles de intervención en toda el área estudiada.

6. Conclusiones

Se concluye que el método de jerarquías analíticas propuesto por Thomas Saaty, como instrumento novedoso, puede ser replicado hacia otros corredores biológicos y utilizado por instituciones gubernamentales en estudios de zonificación ambiental o de asignación de pesos estadísticos. Representa una herramienta sencilla y ajustable que, en conjunto con programas cartográficos, faculta el mapeo efectivo según las necesidades y características de cada proyecto. El CBIMA, con sus cinco niveles de intervención, puede gestionar el territorio para que se dé una mejora circunstancial en la calidad de vida de sus habitantes y transeúntes, así como un aprovechamiento de las áreas verdes remanentes y de un sistema asistido para la recuperación del cauce del río María Aguilar, con lo cual se propiciaría y posibilitaría la disminución de la fragmentación ecológica y paisajística del área, mediante el traslado y hábitat de especies existentes de flora y fauna. La propuesta desarrollada es un instrumento para gestionar el territorio urbano creando sitios para posibilitar la capacidad de hábitat, fomentando de forma interinstitucional la competitividad territorial y promoviendo el manejo y protección ambiental de los recursos naturales y del uso y apropiación del espacio urbano, con amparo en los ejes de la Política Nacional de Ordenamiento Territorial, el Plan Nacional de Desarrollo y en la situación real del CBIMA para el año 2015.

7. Referencias

- Beier, P. & Noss, R. (1998). Do Habitat Corridors Provide Connectivity? *Conservation Biology*, 12(6), 1241-1252. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1998.98036.x>
- Bennett, G. (1998). *Enlazando el paisaje: El papel de los corredores biológicos y la conectividad en la conservación de la vida silvestre*. Gland, Suiza: IUCN.



- Bennett, G. & Mulongoy, K. (2006). *Review of Experience with Ecological Networks, Corridors and Buffer Zones*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Montreal: Technical Series.
- Burel, F. & Baudry, J. (2002). Funcionamiento de las poblaciones en el paisaje. En Burel, & Baudry, *Ecología del paisaje: Conceptos, métodos y aplicaciones* (pp. 213-248). Madrid: Mundiprensa.
- Calvo, G. & Mora, J. (2007). Evaluación y clasificación preliminar de la calidad del agua de la cuenca del río Tárcoles y el Reventazón. *Tecnología en Marcha*, 20(2).
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (2011). *Metodología para la evaluación de la efectividad del manejo de corredores biológicos*. Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- COBRI SURAC. (2007). *Ficha Técnica Corredor Biológico Ribereño Interurbano Subcuenca Reventado-Agua Caliente*. Cartago: SINAC.
- Dudley, N. (Ed.) (2008). *Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas*. Gland, Suiza: UICN.
- Escalante, X. & Pizarro, R. (2009). *Perfil técnico corredor biológico "Río María Aguilar"*. San José: Municipalidad de San José.
- Espinosa, D. S. (2008). El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural. En *Capital natural de México* (Vol. I, pp. 33-65). México: Conabio.
- FONAFIFO. (2007). *Pagos por servicios ambientales*. Recuperado de http://www.fonafifo.go.cr/paginas_espanol/servicios_ambientales/servicios_ambientales.htm
- Fundación Defensores de la Naturaleza. (2001). *Inventario de flora y fauna en el trayecto del río María Aguilar*. Consultoría, San José.
- García, R. (2002). *Biología de la conservación: Conceptos y prácticas*. San José, Costa Rica: INBio. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(01\)00113-6](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(01)00113-6)
- Gómez, M., & Barredo, J. (2005). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio* (2^{da} ed.). Madrid: Editorial Ra-Ma.
- Guimarães, R. (2001) *Fundamentos territoriales y biorregionales de la Región*. Serie Medio Ambiente y Desarrollo # 39. Santiago, Chile: CEPAL.
- Kattan, G. (2002). Fragmentación: Patrones y mecanismos de extinción de especies. En G. Kattan, *Ecología y fragmentación de bosques tropicales* (pp. 559-590). Cartago, Costa Rica: Ediciones LUR.
- Mendoza, R. (1989). *Conservación ambiental y desarrollo sostenido*. Quito, Ecuador: EDIGUIAS C.
- Ministerio de Planificación y Política Económica. (2015). *Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018 "Alberto Cañas Escalante"*. San José: MIDEPLAN. Recuperado de <http://documentos>.



mideplan.go.cr/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/cd1da1b4-868b-4f6f-bdf8-b2de-e0525b76/PND%202015-2018%20Alberto%20Cañas%20Escalante%20WEB.pdf

- Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos. (2012). *PNOT: Política Nacional de Ordenamiento Territorial 2012-2040*. San José: MIVAH. Recuperado de http://www.mivah.go.cr/Documentos/rendicion_cuentas/Inf_Ges_Min_Irene_Campos/PNOT_2012-10-22_Aprobada.pdf
- Noss, R. (1992). *The Wildlands Project: Land Conservation Strategy*. Recuperado de www.connix.com/harry/nosswild.txt
- Organización de las Naciones Unidas . (1992). *Convenio sobre la diversidad biológica*. Río de Janeiro.
- Pagot, M. (2007). *Metodologías inductivas y deductivas en técnicas de teledetección*. Recuperado de <http://www.efn.uncor.edu/departamentos/estruct/lgodoy/Metodologia/Documentos/Pagot.pdf>
- Poiani, K., Richter, B., Richter, H. & Anderson, M. (2000). Biodiversity Conservation at Multiple Scales: Functional sites, landscapes and networks. *BioScience*, 133-146.
- Primack, R., Roíz, R., Feinsinger, P., Dirzo, R. & Massardo, F. (2001). *Fundamentos de conservación biológica*. México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2001). *Programa para la consolidación del Corredor Biológico Mesoamericano*. Managua: IMPRIMATUR Artes Gráficas.
- Selpúveda, C. (2002). Áreas privadas protegidas y territorio: La conectividad que falta. *Ambiente y Desarrollo*, 18(2), 119-125.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2007). *GRUAS II: Propuesta de ordenamiento territorial para la conservación de la biodiversidad de Costa Rica*. San José, Costa Rica.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2008) *Guía práctica para el diseño, oficialización y consolidación de corredores biológicos en Costa Rica*. (1 ed.). San José, Costa Rica.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2009). *Plan Estratégico del Programa Nacional de Corredores de Costa Rica Biológicos para el quinquenio 2009-2014*. San José: SINAC.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2010). *Plan Estratégico Sistema Nacional de Áreas de Conservación-SINAC 2010-2015*. San José.
- Ulate, C. (2004). *Proceso Iniciativa Corredor Biológico Mesoamericano / Costa Rica en ACAHN*. San José, Costa Rica: MINAE. SINAC. ACAHN.
- Zamora, J. & Baltodano, A. (2010). *Estrategia para la conectividad en un sector del corredor biológico San Juan-La Selva* (Memoria de práctica dirigida de licenciatura) Universidad de Costa Rica.