

# Análisis de fragmentación y conectividad del bosque en la subcuenca del río Tapezco, Costa Rica: conectando el bosque para proteger el agua

Yazmín León-Alfaro <sup>1</sup> 

## Resumen

Las zonas rurales están expuestas a procesos de fragmentación de bosques debido al desarrollo de actividades agropecuarias ambientalmente no sostenibles. Ante esta situación, surge el interés de estudiar la fragmentación y conectividad del bosque en una subcuenca agropecuaria en el noroeste del Valle Central de Costa Rica. Se propone, mediante el uso de aplicaciones SIG, una red de conectividad basada en enlaces de vegetación a partir de la red de drenaje. Se encontró que la fragmentación en la subcuenca es diferencial, en virtud de la distribución e intensidad de los usos de la tierra. Así, las partes altas presentan mayor cobertura y continuidad del bosque, mientras que en las zonas bajas la vegetación remanente se localiza casi exclusivamente en los márgenes de los ríos. Los usos que generan mayor fragmentación son principalmente los cultivos hortícolas, seguidos de los pastos, pastos con árboles dispersos y, en menor grado, los usos urbanos localizados generalmente a lo largo de las vías de comunicación.

**Palabras clave:** conectividad, cuenca hidrográfica, fragmentación de bosques, recurso hídrico, subcuenca del río Tapezco.

**Ideas destacadas:** artículo de investigación donde se analiza la fragmentación y conectividad del bosque en una subcuenca agropecuaria, mediante aplicaciones SIG, para la propuesta de enlaces de vegetación con la red de drenaje como eje principal.



RECIBIDO: 28 DE SEPTIEMBRE DE 2017. | EVALUADO: 14 DE FEBRERO DE 2018. | ACEPTADO: 20 DE MARZO DE 2018.

## CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO

León-Alfaro, Yazmín. 2019. "Análisis de fragmentación y conectividad del bosque en la subcuenca del río Tapezco, Costa Rica: conectando el bosque para proteger el agua." *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 28 (1): 102-120. doi: 10.15446/rcdg.v28n1.67969.

<sup>1</sup> Universidad de Costa Rica, Sede de Occidente, San Ramón - Costa Rica. ✉ yazmin.leonalfaro@ucr.ac.cr – ORCID: 0000-0002-6859-6176.

✉ Correspondencia: Sección Historia y Geografía, Ciudad Universitaria Carlos Monge Alfaro, 111-4250, San Ramón, Costa Rica.

## **Analysis of Forest Fragmentation and Connectivity in the Sub-Basin of the Tapezco River, Costa Rica: Connecting the Forest to Protect Water**

### **Abstract**

Rural areas are exposed to forest fragmentation processes due to the development of environmentally unsustainable agricultural activities. This article studies the forest fragmentation and connectivity in an agricultural sub-basin to the northwest of the Central Valley of Costa Rica. By using GIS applications, a connectivity network was established based on vegetation linkages from the drainage network. Results showed that fragmentation of the sub-basin is differential, depending on the distribution and intensity of land use. Thus, the higher areas feature a greater coverage and a greater continuity of the forest, while in the lower areas, the remnant vegetation is located almost exclusively along the river banks. The uses generating the greatest fragmentation are horticultural crops, followed by grasses, grasses with dispersed trees, and, to a lesser extent, urban uses, generally found along communication routes.

**Keywords:** connectivity, river basin, fragmentation of forests, water resource, sub-basin of the Tapezco river.

## **Análise de fragmentação e conectividade florestal na sub-bacia do rio Tapezco, Costa Rica: conectando a floresta para proteger a água**

### **Resumo**

As áreas rurais estão expostas a processos de fragmentação florestal devido ao desenvolvimento de atividades agropecuárias ambientalmente insustentáveis. Diante dessa situação, surge o interesse de estudar a fragmentação e conectividade da floresta em uma sub-bacia agropecuária no noroeste do Vale Central da Costa Rica. Propõe-se, através da utilização de aplicações SIG, uma rede de conectividade baseada em conexões de vegetação a partir da rede de drenagem. Verificou-se que a fragmentação na sub-bacia é diferencial, em virtude da distribuição e intensidade dos usos da terra. Assim, as partes altas apresentam maior cobertura e continuidade da floresta, enquanto nas áreas baixas a vegetação remanescente está localizada quase exclusivamente às margens dos rios. Os usos que geram maior fragmentação são principalmente a horticultura, seguida por pastagens, pastagens com árvores dispersas e, em menor grau, usos urbanos localizados geralmente ao longo das vias de comunicação.

**Palavras-chave:** conectividade, bacia hidrográfica, fragmentação florestal, recurso hídrico, sub-bacia do rio Tapezco.

## Introducción

El ser humano ha sido un importante agente modificador del medio, a través del desarrollo de diversas actividades socioeconómicas como la agricultura, la ganadería, la industrialización y los procesos de urbanización. Esto ha originado una serie de paisajes naturales alterados que se caracteriza por la fragmentación de hábitats. Dicho fenómeno es una de las principales causas de la actual pérdida de biodiversidad en el planeta (Gurrutxaga y Lozano 2010). La fragmentación se manifiesta principalmente en una reducción del área total de hábitat disponible, así como en el aislamiento de los fragmentos resultantes (Fahrig 2003; Guariguata y Kattan 2002). Esto tiene repercusiones en el funcionamiento ecológico de los ecosistemas afectados, tanto terrestres como riparios (Allan 2004; Bennett 2004; Uriarte et ál. 2011).

El principal reto para la conservación de ecosistemas consiste en integrar los territorios que están fuera de las áreas protegidas, tal es el caso de los paisajes agrícolas (Fahrig et ál. 2010; Tenza, García y Giménez 2011), ya que estos espacios representan, a escala mundial, una mayor proporción de superficie y, en algunas ocasiones, incluso poseen mayor biodiversidad que dichas áreas protegidas. (Herrera 2011). La conservación que solo centra su atención en los fragmentos de bosque y descuida las áreas fuera de estos ha demostrado ser poco efectiva. Un enfoque conservacionista integral abordaría el paisaje como un todo, otorgando importancia a la matriz como un sistema agroecológico que posee una considerable biodiversidad (Perfecto y Vandermeer 2012; Tenza, García y Giménez 2011; Vandermeer y Perfecto 2007).

Ante esto, se plantea el estudio de la fragmentación y conectividad desde la ecología del paisaje, como una aproximación particularmente útil en el manejo de recursos naturales y en la gestión de hábitats modificados por actividades humanas (Allan 2004; Turner, Gardner y O'Neill 2015). En esta línea, la presente investigación se enfoca en un análisis de fragmentación desde la perspectiva del paisaje, con especial interés en el mejoramiento de la calidad de la matriz paisajística y de la conectividad estructural de la vegetación, con un aporte adicional para la protección de la red de drenaje en una subcuenca agropecuaria.

Se ha abordado el caso particular de la subcuenca del río Tapezco, localizada al noroeste del Valle Central de Costa Rica, en el cantón Zarcero, la cual presenta procesos de fragmentación de la vegetación boscosa, producto de actividades agropecuarias intensivas y dinámicas

temporales y espaciales. La temporalidad del estudio corresponde al periodo comprendido entre 2005 a 2012.

Las condiciones físicas favorables de los suelos de Zarcero, en su mayoría andisoles, han propiciado el desarrollo de actividades agropecuarias, generalmente en la parte alta de la subcuenca. Existen pequeños productores con propiedades que oscilan entre 0,5 y 2 ha, mientras que para la ganadería el tamaño promedio de los terrenos es de entre 10 y 40 ha; esto provoca un intenso y dinámico uso, lo que a su vez ha generado procesos de fragmentación del bosque.

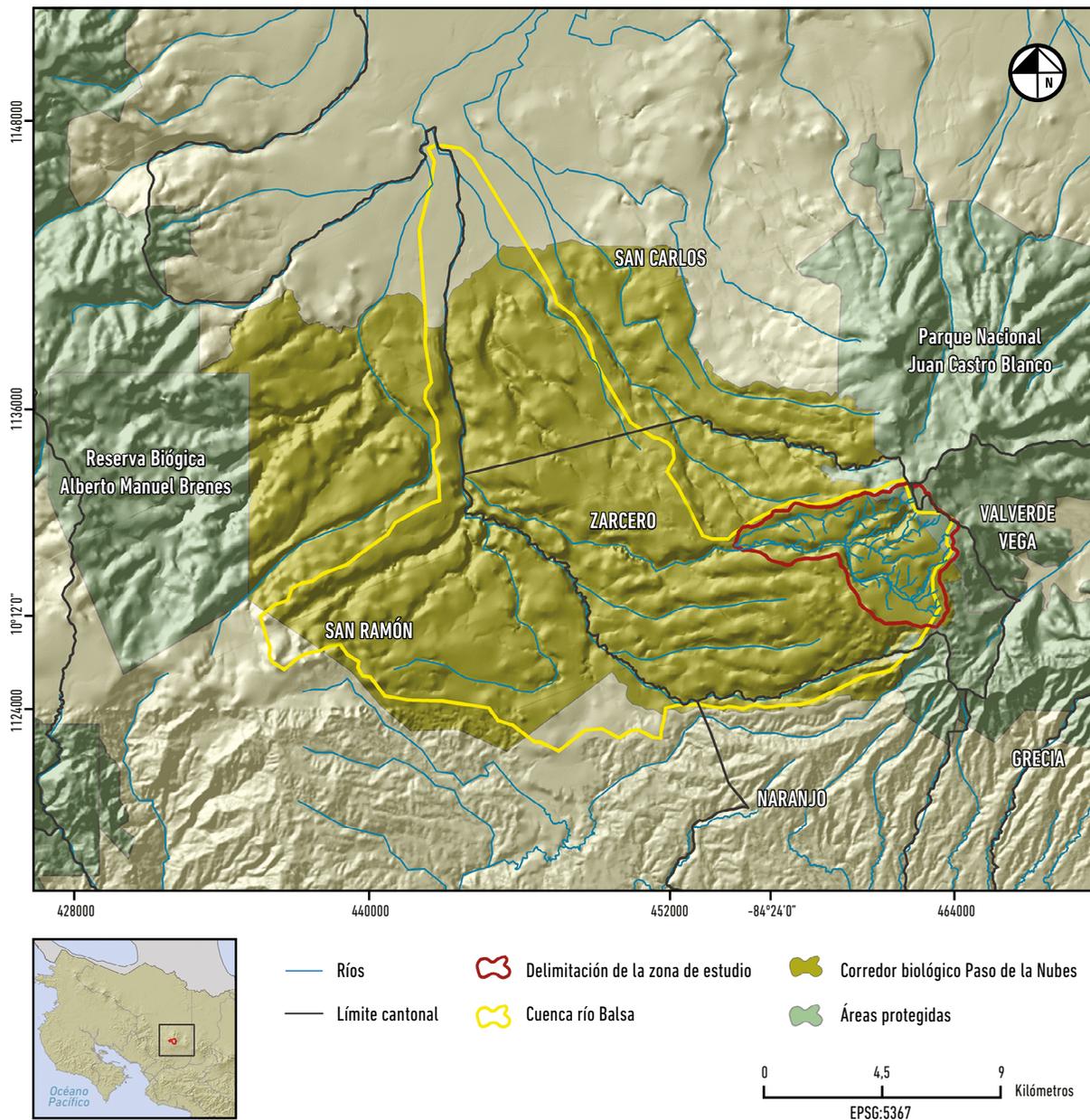
En la investigación se utiliza la cuenca hidrográfica como unidad de análisis, por presentar límites naturales que facilitan la valoración de los efectos negativos de las actividades realizadas por el ser humano en su entorno. En las cuencas hidrográficas los bosques regulan el ciclo del agua (Carvalho-Santos, Honrado y Hein 2014) y funcionan como captosres de humedad por medio de sus copas, hojas y mediante musgos y epífitas, contribuyendo con los servicios hidrológicos en el mantenimiento de ríos y quebradas (Kappelle y Brown 2001; Bruijnzeel 2004; Lele 2009).

El estudio tiene como fin realizar la propuesta de una red de conectividad del bosque, cuyo eje central es la red de drenaje. Mediante los resultados obtenidos se pretende contribuir a la protección de los bosques y el agua en un paisaje agropecuario y formular recomendaciones para un desarrollo con sostenibilidad ambiental.

## Delimitación del área de estudio

El área de estudio corresponde a la parte alta de la subcuenca del río Tapezco, ubicada en el cantón Zarcero, provincia Alajuela, Costa Rica (figura 1). Tiene un área de 28,7 km<sup>2</sup> y drena sus aguas hacia el río Balsa. La subcuenca está ubicada dentro del Corredor Biológico Paso de las Nubes, cuyo objetivo es establecer una adecuada conectividad entre los ecosistemas del parque nacional Juan Castro Blanco y la reserva biológica Alberto Manuel Brenes.

La subcuenca se caracteriza por la presencia permanente de neblina y nubosidad en las partes altas, originada por el ascenso de los vientos alisios del Suroeste y Noreste. La topografía montañosa influye en el descenso de la temperatura, así como en el aumento de la precipitación y la humedad relativa; sin embargo, esta nubosidad ha disminuido en los últimos años, conforme ha cambiado la cobertura boscosa, con lo que se ha reducido la condensación y la evapotranspiración.



**Figura 1.** Ubicación de la subcuenca del río Tapezco en el contexto del Corredor Biológico Paso de las Nubes. Datos: Ortiz-Malavassi 2008.

La amplitud térmica promedio mensual está comprendida entre los 15 °C y los 18 °C. La precipitación promedio anual es de 1914 mm (Feoli 2009).

Según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1987), hay dos tipos de bosque: por un lado, el bosque pluvial montano bajo, que predomina en las partes altas en los distritos Palmira, Brisas y Zarcero, caracterizado por alta presencia de neblina, bosques siempreverdes muy densos y por la abundancia de epífitas y musgos;

por otro lado, el bosque muy húmedo montano bajo, que se encuentra en los distritos Tapezco y Brisas, caracterizado por ser siempreverde y denso, que también tiene presencia de epífitas y musgos.

Tradicionalmente, la zona ha sido muy productiva en actividades como la horticultura y la industria lechera, llevada a cabo de manera intensa, espacial y temporalmente. Las comunidades ubicadas dentro del área de estudio son Pueblo Nuevo, Tapezco, Palmira y Las Brisas,

que poseen un tejido social organizativo constituido por agentes vinculados con la gestión de los recursos naturales, tales como las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Comunales —en adelante, ASADAS— y algunas ONG que procuran la protección de los ecosistemas boscosos y el agua, por ejemplo, el Instituto Nectandra y la Asociación Fuente Administradora de Mantos Acuíferos de Alfaro Ruíz.

## Metodología

La ecología del paisaje, como disciplina científica orientada al estudio de los patrones y procesos que se producen y transforman los paisajes, posibilita un conocimiento integral de la estructura y dinámica del funcionamiento de estos (Farina 2006). Las herramientas que proporciona permiten evaluar la fragmentación de los ecosistemas boscosos y la conectividad existente en el paisaje, con el fin de determinar enlaces entre fragmentos que se adecuen tanto a las características ambientales y sociales de aquel (Gurrutxaga, Lozano y del Barrio 2010).

A partir de las aproximaciones teóricas y metodológicas de la ecología del paisaje, fundamentalmente en lo que respecta al modo en que las distintas configuraciones espaciales afectan en diferentes formas el funcionamiento y la relación entre los componentes del paisaje (Bennett 2004), se realizó un análisis de fragmentación y una propuesta de conectividad estructural de la vegetación que comprendió dos fases: primero, un análisis de fragmentación y, segundo, una formulación de la propuesta de enlaces de conectividad.

### Análisis de fragmentación del bosque

Este estudio se basó en el análisis del uso de la tierra, la caracterización de la cobertura vegetal por medio de un análisis estadístico de los parches de vegetación y una investigación sobre la red de drenaje mediante un tratamiento morfométrico y el establecimiento de la relación entre la densidad del sistema hídrico y los parches de bosque. Para el análisis de fragmentación, se delimitaron cuatro sectores en la subcuenca (microcuencas), a saber: Parque Nacional Juan Castro Blanco —en adelante, PNJCB—, Pueblo Nuevo, Tapezco y Las Brisas, con el fin de comparar resultados entre diferentes zonas, demarcadas por su ubicación en la parte alta o baja, así como por la intensidad de las actividades.

A partir de la fotointerpretación de imágenes de la Misión Costa Rica Airborne Research and Technology Applications del Programa de Investigaciones

Aerotransportadas y Sensores Remotos y la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio de Estados Unidos (PRIAS y NASA 2005), a escala 1:5000, se obtuvo una capa preliminar de usos de la tierra, cuyos límites y contenido fueron corroborados y actualizados en campo para obtener un mapa de uso de la tierra en el 2012. Este fue el insumo principal para los análisis posteriores.

De las once categorías iniciales de uso de la tierra, se seleccionaron cuatro para determinar la fragmentación y la formulación de enlaces de vegetación: bosque, vegetación ribereña, bosque en regeneración y pastos arbolados. Estos tipos de cobertura fueron escogidos porque favorecen la conectividad entre parches de bosque y contribuyen a diversificar la estructura de la matriz y el paisaje en general (Herrera y García 2009). Además de estas coberturas, también se consideraron las cercas vivas y las cortinas rompevientos, porque, según sea su disposición en el espacio, ofrecen una serie de beneficios para la estructura y configuración del paisaje, así como para la protección de fuentes de agua (Harvey et ál. 2008). A partir de una nueva capa, se realizó con dichas coberturas un análisis estadístico mediante el uso la extensión *Patch Analyst*, del software ArcGIS 10.0. El estudio se realizó en cada sector de la subcuenca con fines comparativos. Las métricas empleadas fueron de área, forma y contagio (MacGarigal y Marks 1995).

Las métricas de área correspondieron a: 1) tamaño promedio de fragmentos, que es el área promedio de los fragmentos de un mismo tipo contenidos en un paisaje; 2) número de fragmentos, que se refiere a la cantidad de parches correspondientes a un tipo de cobertura específico. La métrica de forma consistió en el índice que mide la complejidad de la configuración externa de los parches, comparándolos con una forma estándar correspondiente a un círculo. Cuando la forma se asemeja a este, el índice es menor y crece conforme el parche se deforma. Finalmente, la métrica de contagio consistió en la distancia promedio al vecino más cercano, que constituye la distancia de un parche a otro del mismo tipo basada en la distancia de borde a borde.

Para conocer en términos numéricos la continuidad del bosque en la subcuenca, se determinó el índice de Vogelmann, el cual indica qué tan continuo es el bosque tomando como parámetros el área y el perímetro. En este caso, los valores altos implican mayor continuidad del bosque, mientras que los valores bajos reflejan mayor fragmentación y discontinuidad de los parches (Vogelmann 1995). El índice se calculó mediante la ecuación 1:

**Ecuación 1.**

$$FCI = \ln (\Sigma A / \Sigma P)$$

Donde:

FCI = índice de continuidad del bosque (*Forest continuity index*, por sus siglas en inglés).

A = área total de parches de bosque del paisaje.

P = perímetro total de parches de bosque del paisaje.

En la caracterización de la red hídrica se determinaron los órdenes de cauces. Para establecer la forma y la densidad del drenaje se usó la ley de Horton (Chorley 1995). Además, para relacionar la presencia de parches de bosque con la red de drenaje de la subcuenca y estimar así el grado de cobertura de los cauces, se determinó la densidad de parches por área, según el número de parches y el área de estos, así como la densidad de drenaje.

### Formulación de enlaces de vegetación

Los análisis de conectividad se realizaron en tres etapas. La primera consistió en un análisis de los vacíos de vegetación a lo largo de la red hídrica, identificando su localización y los usos de la tierra en estas zonas, para determinar sitios que requieren mayor atención por los posibles impactos de los usos de la tierra en el recurso hídrico (Njue et ál. 2016; Uriarte et ál. 2011). En la segunda se realizó un análisis del dinamismo en el cambio de uso de la tierra y se determinaron zonas críticas de cambio en la subcuenca, ya que los usos de la tierra y los cambios que estos presentan pueden tener implicaciones al considerar la gestión del agua (Uriarte et ál. 2011). Finalmente, en la tercera etapa se analizó en forma integrada la conectividad en la subcuenca, a partir de los resultados previos.

La determinación de la red de conectividad se basó en el análisis de vacíos de vegetación a lo largo de los ríos, según la ley Forestal 7575 de Costa Rica, artículo 33, que establece las áreas de protección respectivas en los alrededores de nacientes y márgenes de ríos, quebradas y arroyos. La ley determina una franja de quince metros en zona rural, de diez metros en zona urbana si el terreno es plano y de cincuenta metros si es quebrado (República de Costa Rica 1996). Se consideran terrenos quebrados u ondulados aquellos cuya pendiente supera el 15%, según el Decreto 23214-MAG-MIRENEM (Presidencia de la República de Costa Rica 1994).

De acuerdo con estas áreas de protección, se determinó un *buffer* a lo largo de la red hídrica y alrededor de

las nacientes de agua (cien metros). Para esto se elaboró un modelo digital de elevación a partir de curvas de nivel cada cincuenta metros, para determinar el grado de la pendiente y así definir el ancho del *buffer*, según la variación de la topografía a través de la red hídrica. Este proceso se realizó mediante la herramienta *Buffer* del módulo ArcMap de ArcGis 10.0. A la capa *buffer* generada se sobrepuso la capa de coberturas vegetales seleccionadas para el análisis de la fragmentación. El resultado fue un mapa con las zonas en donde existen vacíos de vegetación y que no permiten la continuidad del bosque en los ríos, es decir, dicho mapa posibilita identificar el grado de interrupción de la vegetación ribereña. En estos vacíos se determinó el tipo de cobertura presente en cada uno, para posteriormente evaluar las zonas donde sería más viable restaurar la cobertura vegetal.

El análisis del dinamismo en el cambio de uso de la tierra se realizó en tres periodos: 2005, 2008 y 2012, con ello se determinaron las zonas de mayor y menor cambio a través del tiempo. Se identificaron zonas críticas que requieren acciones prioritarias para mejorar la conectividad del bosque. Con el fin de realizar comparaciones estadísticas entre un año y otro, así como para analizar el cambio temporal del uso de la tierra en el paisaje, se utilizó el índice de diversidad de Shannon —en adelante, SDI (por sus siglas en inglés)—, el cual mide la heterogeneidad a partir de la diversidad de fragmentos mediante la ecuación 2:

**Ecuación 2.**

$$SDI = - \sum_{i=1}^m (P_i * \ln P)$$

SDI toma valores entre cero e infinito. Será igual a cero cuando una categoría ocupe todo el espacio y aumentará a medida que aumente heterogeneidad (Vila et ál. 2006).

La propuesta de enlaces tuvo como eje principal la red hídrica y la continuidad del bosque a lo largo de ella, pero complementariamente se consideró la presencia de parches boscosos y las nacientes, ya que estas constituyen puntos terminales de la red de conectividad propuesta. Este análisis se realizó mediante la sobreposición de la capa correspondiente al *buffer* con las capas de nacientes y terrenos adquiridos por las ASADAS o alguna ONG para hacer reforestación.

Con el fin de proponer una red de conectividad integrada, se tomó como punto de partida las zonas de vegetación en la red hídrica definidas por el *buffer*. De allí, se partió hacia las fincas en regeneración y las nacientes

que contaran con alguna cobertura vegetal o que requirieran ser cubiertas. Los criterios utilizados para trazar las rutas fueron: el uso de la tierra entre las zonas a conectar, así como la menor distancia entre estos puntos.

Los enlaces se diseñaron en dos etapas: la primera consistió en el análisis visual del mapa integrado de conectividad en la subcuenca y la sectorización definida, mientras que en la segunda etapa se realizó la superposición de las capas de *buffer*, terrenos adquiridos en regeneración, nacientes y coberturas vegetales con el *software* ArcMap de ArcGIS 10.0, a partir de lo cual se trazaron posibles rutas de conectividad. La combinación de estos criterios se logró mediante la herramienta Cost Path del paquete ArcGIS 10.0, que determina la ruta de menor coste entre un punto de destino y un origen, en relación con las unidades de coste. Los enlaces partieron de la red hídrica, teniendo como destino las coberturas seleccionadas y como unidades de coste el uso de la tierra. Se dio prioridad a los parches de bosque y bosque en regeneración como unidades de menor coste para diseñar los enlaces. El resultado de este proceso fue una red de conectividad que integra toda la subcuenca.

## Resultados y discusión

### Fragmentación del bosque en la subcuenca del río Tapezco

La colonización agrícola del cantón Zarcero se realizó mayormente por unidades familiares que cultivaron su porción de tierra y comercializaron sus productos, lo que da indicios del patrón de uso de la tierra desde la década de los cuarenta. La riqueza de este cantón se basó en los bosques maderables, la tierra cultivable y la abundancia del recurso hídrico; sin embargo, la explotación maderera tuvo como consecuencia la deforestación en la zona desde su fundación en 1915 (Murillo Vargas 2009).

Zarcero es considerado un municipio fundamentalmente agropecuario, donde el 90% de las actividades económicas a las que se dedica la población son de este tipo. La diversidad en el uso de la tierra y su división han propiciado un patrón de tenencia fragmentada. Las fincas de hortalizas van desde 0,5 ha hasta 2 ha de terreno, siendo generalmente fincas familiares. Por su parte, las fincas ganaderas oscilan entre las 8 y 12 ha en Las Brisas y Palmira. El patrón paisajístico característico es de pequeñas unidades agrícolas, principalmente hortícolas y fincas dedicadas a la producción de leche. La matriz está compuesta por pastos y cultivos, con parches de bosque

dispersos, y usos urbanos generalmente a lo largo de las vías de comunicación (figura 2).

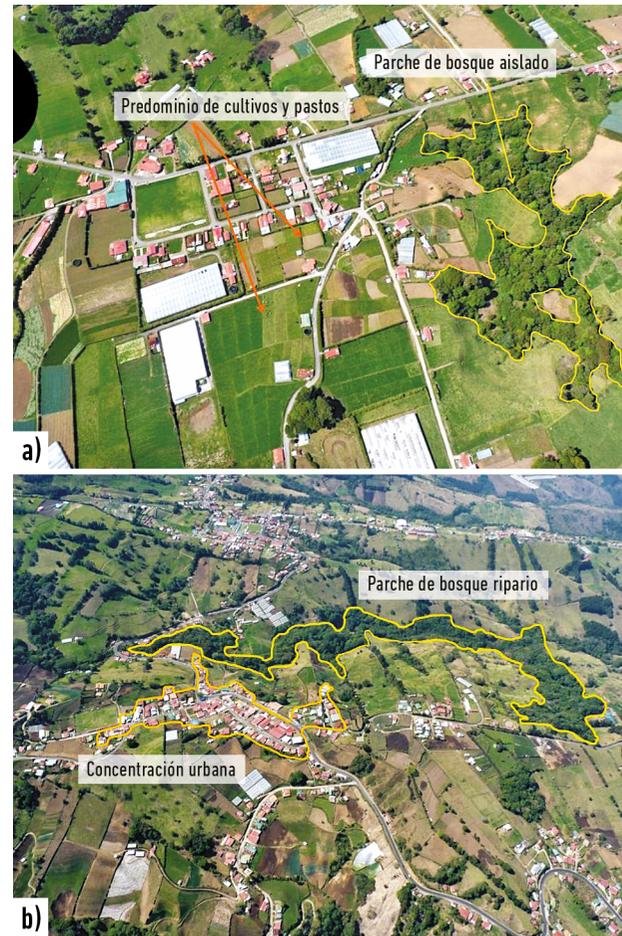
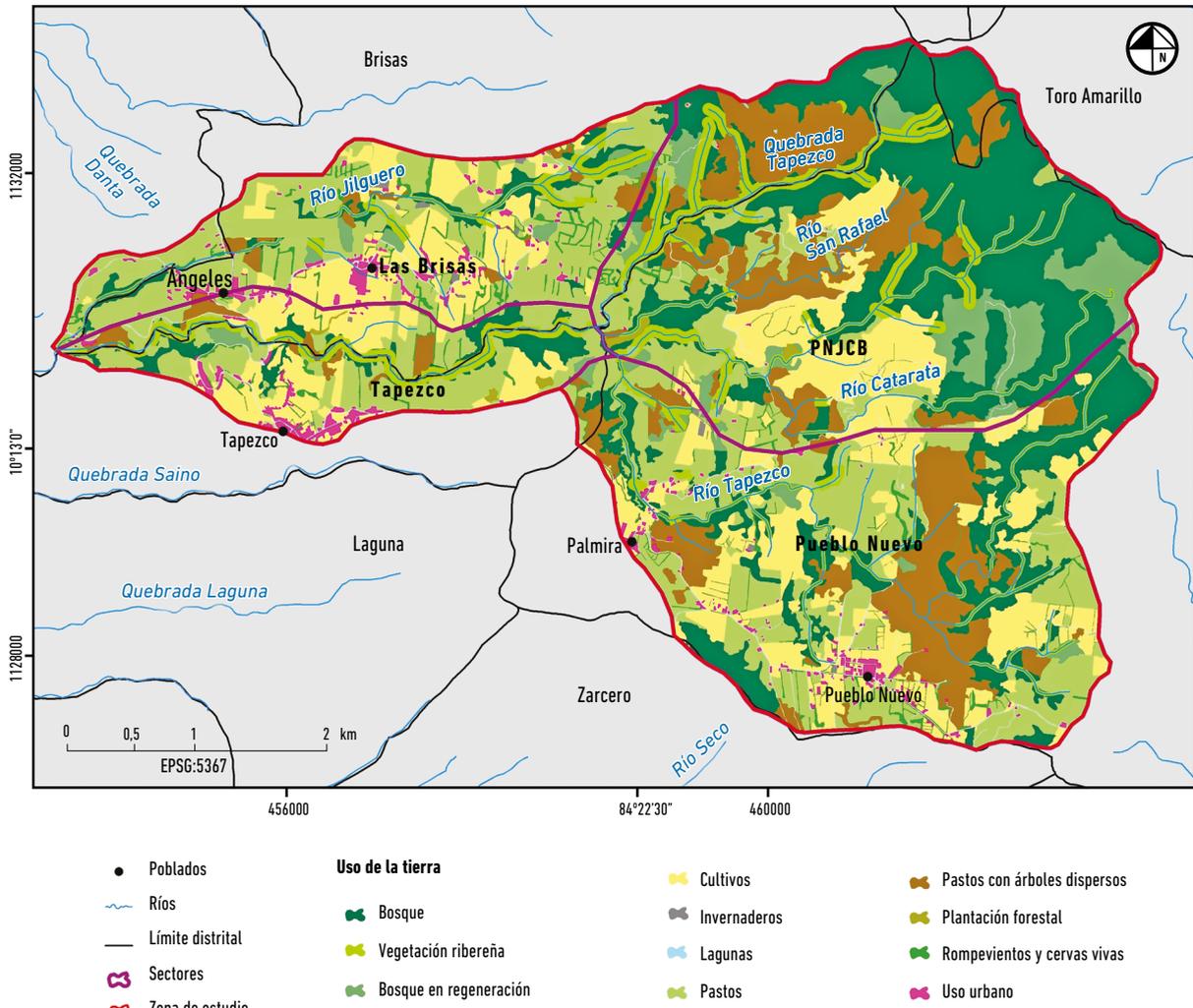


Figura 2. a) campos de pastos y cultivos con escasa presencia de bosque en Pueblo Nuevo. b) parches de bosque a lo largo de los ríos y concentraciones urbanas siguiendo las carreteras en Tapezco. Fuente: vuelo LightHawk 2011, Instituto Nectandra.

En la figura 3 y la tabla 1 se presenta la heterogeneidad de usos en la subcuenca, donde se observa un total de once categorías con el predominio del área de pastos (26,5%), seguido de la cobertura de bosque (26%), concentrado fundamentalmente en la parte alta de la subcuenca, y cultivos (19%). Los pastos arbolados representan un 14% y, por su parte, el bosque en regeneración tan solo un 5,2%.

La heterogeneidad del uso de la tierra en el paisaje origina una diversidad espacial del mosaico y crea contrastes entre parches de diferentes tipos. El patrón espacial que origina la heterogeneidad influye en diversos procesos y flujos de materia y energía que ocurren en el paisaje, tal como el flujo hídrico (Farina 2006; Uriarte et ál. 2011). Por su parte, en virtud de la diversidad de usos y su disposición espacial en el paisaje, el nivel de



**Figura 3.** Usos de la tierra, subcuenca del río Tapezco, 2012  
 Datos: comprobación de campo 2012, fotointerpretación imágenes de PRIAS y NASA 2005; Ortiz-Malavassi 2008.

contraste de vecindad entre cada uso tendrá mayor o menor significatividad para la continuidad del bosque y los procesos ecológicos asociados (Herrera 2011).

Según un análisis por sector, en comparación con los demás sectores, el PNJCB presenta el mayor porcentaje de área cubierta por bosque (42,43%), seguido de pastos con árboles dispersos (17,55%), lo que resulta beneficioso para la conectividad de la parte alta de la subcuenca, adyacente a un área protegida que tiene entre sus objetivos la defensa del recurso hídrico en la región. Los sectores Pueblo Nuevo, Tapezco y Brisas, en la parte baja de la subcuenca, presentan un predominio de cultivos y pastos con presencia de parches de bosque aislado (figura 4) o con formas alargadas que siguen la red hídrica.

**Tabla 1.** Usos de la tierra en la subcuenca del río Tapezco Zarcero (2012)

Usos	Área en hectáreas	Porcentaje
Pastos	740	26,5
Bosque	720	26
Cultivos	530	19
Pastos con árboles	390	14,2
Bosque en regeneración	140	5,2
Vegetación ribereña	160	4,2
Rompevientos y cercas vivas	50	2
Uso urbano	50	1,8
Plantaciones forestales	9	0,34
Invernaderos	5	0,2

Datos: derivados de fotointerpretación de imágenes de PRIAS y NASA 2005.



**Figura 4.** Parque boscoso de gran tamaño en medio de pastos y cultivos en el sector de Pueblo Nuevo.

Fuente: Vuelo LightHawk 2011, Instituto Nectandra.

La cobertura boscosa está concentrada principalmente en el sector PNJCB, así como en las márgenes de los ríos en los sectores de Pueblo Nuevo, PNJCB, Tapezco y, más escasamente, en Las Brisas. Los pastos, por su parte, presentan un patrón de distribución disperso en la mayoría de la subcuenca a excepción del sector PNJCB. Los cultivos, de igual forma, se encuentran distribuidos en toda la subcuenca, pero tienden a formar pequeñas concentraciones.

En el sector de Tapezco, que corresponde a la parte baja de la subcuenca, se observa un claro predominio de cultivos y pastos que ocupan casi el 60% del área. De forma similar, el sector de Las Brisas está cubierto en un 70% por cultivos y pastos, y apenas en un 8% por bosque, lo que lo convierte en el sector más degradado en términos de recursos para la conectividad. En casos donde el paisaje natural se encuentra muy intervenido por el ser humano, las cercas vivas y rompevientos representan un recurso viable, en el corto plazo, para iniciar alguna estrategia de conectividad entre parches de bosque, ya que se ha demostrado que aquellas, al igual que los árboles dispersos en zonas de pastoreo, contribuyen con la conectividad en el paisaje, además de brindar aportes para la conservación del suelo, el agua y la diversidad biológica (Harvey et ál. 2008).

El patrón de distribución de uso de la tierra refleja las estrategias tradicionales de conservación, en las que se protege las zonas altas de las cuencas y las zonas bajas se dedican mayoritariamente a la explotación de recursos. Esto genera diferentes tipos de matriz, más homogéneas en la parte superior y con más cantidad de

hábitat boscoso disponible. Las partes bajas presentan mayor heterogeneidad de usos, usualmente con producción intensiva. Sin embargo, se debe considerar que no solo la cantidad de área boscosa resulta importante, sino que también lo es la configuración espacial de los fragmentos remanentes en la matriz. En el caso de Las Brisas y Tapezco, la vegetación ribereña remanente y las cercas vivas mejoran la estructura en un paisaje agrícola degradado, lo cual es asimismo de interés para la conservación, tal como señalan Harvey et ál. (2006) al estudiar los paisajes de pastos arbolados y fauna asociada en Nicaragua.

De acuerdo con los usos mayoritarios en la subcuenca, se define una matriz compuesta principalmente por pastos y cultivos, a esta se suman los restantes usos (pastos con árboles, bosque en regeneración, vegetación ribereña, rompevientos, uso urbano, invernaderos y plantación forestal), que corresponden al 30% del área, lo que genera una matriz muy diversa. Desde la aproximación que promueve las matrices agroecológicamente diversas como alternativa para la conservación en paisajes antropizados, este tipo de matriz resulta ventajosa, ya que, como apuntan Gurrutxaga y Lozano (2006) y Herrera (2011), las matrices con estructura y configuración heterogénea favorecen, hasta cierto punto, la diversidad de hábitats potenciales, así como los flujos de materia y energía.

El proceso de fragmentación en un paisaje se manifiesta por medio de diferentes efectos, como el aumento en el número de parches, la disminución de su tamaño, el incremento del aislamiento entre aquellos y su forma (Fahrig 2003). Dichos efectos introducen cambios en la configuración del patrón espacial del paisaje, que ocasionan a su vez cambios en la funcionalidad ecológica de este. Estos cambios ecológicos pueden tener efectos perdurables en la flora, fauna, suelo y en los recursos hídricos (Bennett 2004). El cálculo de métricas de vegetación permite determinar y analizar el grado de fragmentación en la subcuenca y su comparación entre sectores.

Las métricas de coberturas vegetales se presentan en la tabla 2, donde se observa que en el sector Las Brisas hay 51 parches de bosque con un tamaño promedio de casi 3 ha. Este es el sector que posee los parches de menor tamaño, lo que se explica por la gran diversidad de usos del suelo que existe allí. En los sectores de Pueblo Nuevo y Tapezco el tamaño promedio es similar: de 2 y 1,9 ha, respectivamente; sin embargo, la cantidad de parches en Pueblo Nuevo es 86, mientras que en Tapezco es 30,

esto refleja que la fragmentación es mucho mayor en el sector de Pueblo Nuevo.

En el sector del PNJCB existen 57 parches de bosque, siendo el segundo con mayor número de parches, por lo que se podría considerar uno de los más fragmentados. Sin embargo, presenta un parche de 291 ha, que tanto por su área como por su forma dendrítica hace que este sector sea el de mayor continuidad de bosque en la subcuenca, aunque el número de parches sea mayor que en otros sectores. Sin este fragmento, el tamaño promedio de los parches se reduciría notablemente, por lo que su presencia hace que el sector se convierta, en términos numéricos, en el menos fragmentado.

El mayor porcentaje de bosque en regeneración se encuentra en el sector del PNJCB, esto obedece a que las organizaciones comunitarias han adquirido progresivamente terrenos para reforestación en el área de amortiguamiento del PNJCB, con lo que se ha creado un efecto *buffer*. Aquí es importante resaltar que si bien el mantenimiento de parches grandes y complejos resulta primordial, también lo es considerar la complejidad estructural y la configuración de usos que rodea dichos parches, para disminuir el efecto borde (figura 5) y de contraste estructural, es decir, enfocarse en la calidad de la matriz circundante, cuando no es posible dedicar completamente los terrenos a la regeneración de la vegetación (Williams et ál. 2006).



**Figura 5.** Parches de bosque continuos con efecto borde pronunciado. Fuente: Vuelo LightHawk 2011, Instituto Nectandra.

Aspectos como el uso de la tierra, las formas del terreno y la red fluvial condicionan la configuración externa y distribución de los parches, con lo que se generan patrones particulares (Meddens et ál. 2008).

La cobertura boscosa presenta, en la mayor parte del área de estudio, una configuración que sigue la sinuosidad de la red de drenaje. En el sector del PNJCB, además de esto, el bosque se presenta concentrado en la parte más alta de la subcuenca. Esto obedece, aparte de la cercanía al parque nacional, a las pendientes más pronunciadas en esa zona, lo que restringe los usos agrícolas y pecuarios.

Dado que la mayoría de parches siguen la forma de la red hídrica, el índice de forma para el bosque en la subcuenca es 2,26, por lo que se considera que los parches tienen forma irregular. Por razones ecológicas las formas irregulares y alargadas hacen que los parches sean más vulnerables a perturbaciones por efecto borde (Santos y Tellería 2006); no obstante, esta configuración, desde la perspectiva del paisaje, resulta beneficiosa para la conectividad, debido a que se constituyen hábitats lineales a lo largo de los cauces, a partir de los cuales se puede establecer toda una red de conectividad hacia los parches más grandes y alejados del sistema de drenaje.

El aislamiento entre parches boscosos es otra consecuencia del proceso de fragmentación: a medida que avanza el proceso, la distancia entre parches aumenta y estos son separados por los nuevos usos, lo que interrumpe su continuidad (Guariguata y Kattan 2002). En términos de distancia respecto del vecino más cercano, el sector del PNJCB es el que presenta mejores condiciones; tanto el promedio como la mediana son los menores valores para todas las coberturas con respecto a los demás sectores; por su parte, los sectores de Pueblo Nuevo y Tapezco presentan mayores promedios de distancia y mayores rangos, lo que significa que estos sectores son los que presentan menor continuidad del bosque.

El índice de continuidad del bosque de Vogelmann —en adelante, FCI (por sus siglas en inglés)— confirma lo descrito anteriormente: el sector del PNJCB, con un FCI de 4,02, es el que presenta mayor continuidad del bosque; por el contrario, el sector de Las Brisas es el menos continuo, con un FCI de 2,74. Por su parte, para los sectores de Pueblo Nuevo y Tapezco el FCI arrojó valores de 3,29 y 3,10, respectivamente. En estos dos sectores la intensidad y configuración de los usos agropecuarios ha impedido un patrón continuo del bosque, presentando una matriz con menor cantidad de hábitats remanentes y más distanciados. De acuerdo con Fahrig (2003), dicho entorno circundante genera mayor vulnerabilidad para los parches relicto.

Tabla 2. Métricas de coberturas vegetales por sector, subcuenca del río Tapezco

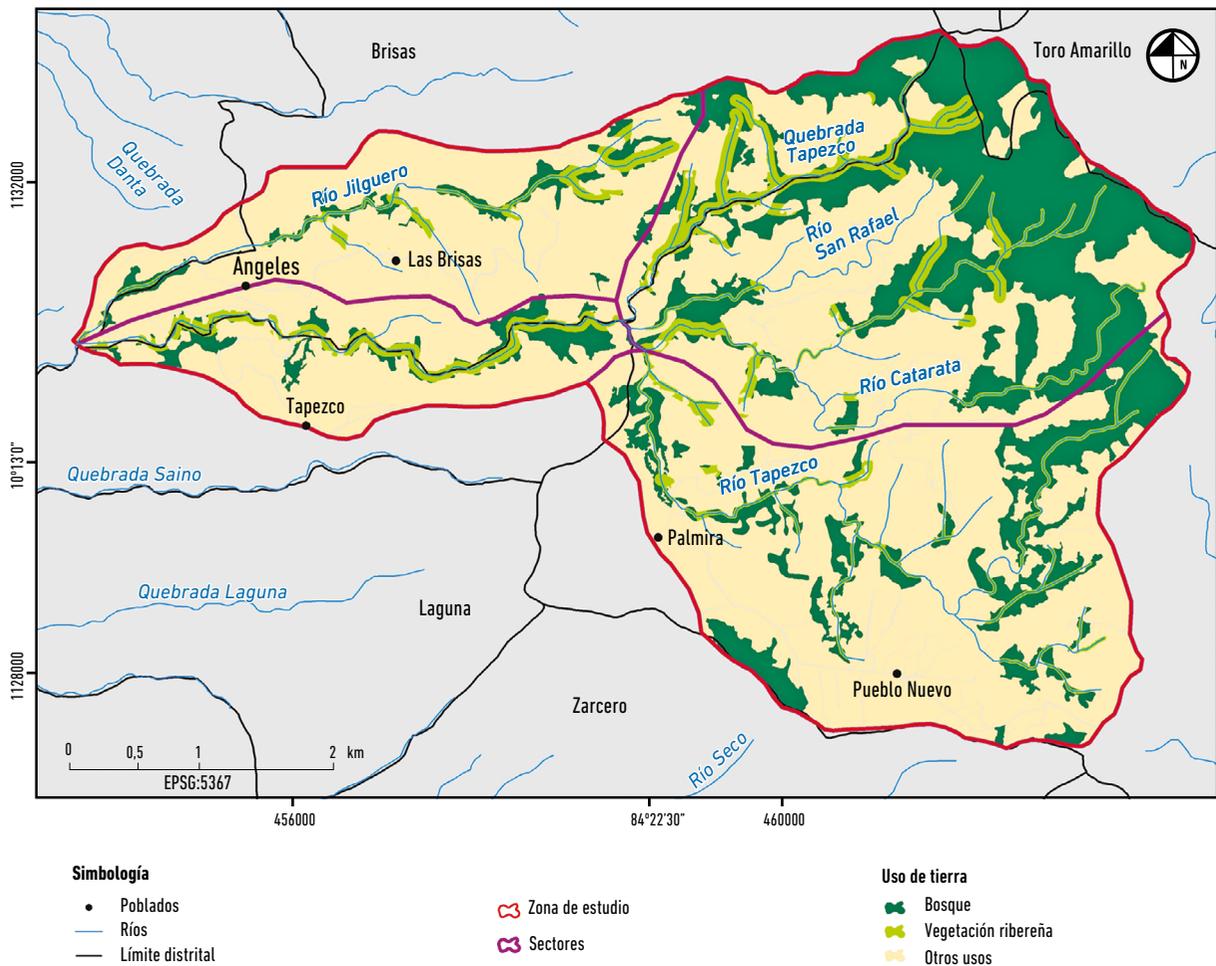
Usos	Número de parches	Tamaño promedio (ha)	Índice de forma	Distancia promedio (m)	Rango de distancia respecto del vecino más cercano	Mediana vecino más cercano
<b>Sector de Las Brisas</b>						
Bosque	51	0,80	2,02	32,50	1,35 - 392,59	24,40
Bosque en regeneración	9	1,79	1,38	121,72	29,99 - 485,66	29,99
Pasto con árboles dispersos	12	1,61	1,55	168,57	36,70 - 359,23	132,88
<b>Sector del Parque Nacional Juan Castro Blanco</b>						
Bosque	57	7,75	1,97	24,56	3,90 - 110,91	29,99
Bosque en regeneración	23	4,4	1,74	94,29	1,62 - 631,13	29,99
Pasto con árboles dispersos	29	6,30	3,31	79,78	3,07 - 577,15	35,83
<b>Sector de Pueblo Nuevo</b>						
Bosque	86	2,09	2,56	29,68	4,21 - 302,34	27,40
Bosque en regeneración	14	1,39	1,72	219,87	5,48 - 1264,28	29,99
Pasto con árboles dispersos	27	6,24	2,00	83,80	1,75 - 557,70	46,58
<b>Sector de Tapezco</b>						
Bosque	30	1,87	2,19	27,00	1,24 - 175,50	19,29
Bosque en regeneración	5	1,24	1,69	518,14	23,13 - 2484,48	29,94
Pasto con árboles dispersos	10	1,70	1,51	205,86	6,81 - 1118,64	221,03

Datos: derivados de fotointerpretación de PRIAS y NASA 2005, procesados mediante la herramienta Patch Analyst de ArcGIS 10.

Respecto de la caracterización del sistema hidrográfico, se identificó que la subcuenca del río Tapezco presenta una forma alargada e irregular, donde el sistema de drenaje, según su forma, se cataloga como dendrítico. En cuanto al número de orden de cauces y según escala de trabajo, se considera la subcuenca de orden cuatro y el tipo de actividades socioeconómicas desarrolladas en la subcuenca hacen que esta se defina como agropecuaria, principalmente para la producción de hortalizas, así como para el desarrollo de la producción de leche. Estas actividades se extienden, en varios casos, hasta las márgenes de los ríos donde ha sido eliminada la vegetación de ribera, lo que aumenta el riesgo de contaminación por vertido de agroquímicos y efluentes de las explotaciones agropecuarias. Este riesgo aumenta en zonas donde la cobertura vegetal es escasa o inexistente, ya que la presencia de esta contribuiría a mejorar el flujo y calidad del agua (Allan 2004; Bruijnzeel 2004; Carvalho-Santos, Honrado y Hein 2014).

La estrecha relación que la vegetación de ribera tiene con el estado del medio fluvial hace que las alteraciones de estos sistemas susciten graves problemas para el

mantenimiento y conservación de ambos. La vegetación ribereña modera una gran cantidad de procesos ecológicos en los cursos fluviales, influye en los regímenes de temperatura y luz, y produce detritos orgánicos, como restos leñosos y de hojas, encauzamiento del agua y de los sedimentos, así como la estructuración del hábitat físico en diferentes escalas, proporcionando sustrato y hábitat para la actividad biológica (Ward et ál. 2002). Debido a esta importante interacción, el análisis de la red de drenaje que comprendió la relación entre la densidad de parches, según número de parches y su área, además de la densidad de drenaje, permitió tener una noción clara de la cobertura de bosque existente con respecto a la red hídrica, como un aporte de base para futuros estudios a profundidad en materia de calidad de agua. Como resultado, se encontró que los parches de bosque obedecen generalmente a un patrón de distribución a lo largo de la red hídrica, lo que, además de los aportes mencionados para la conectividad estructural y ecológica, resulta muy beneficioso en términos de protección de los cauces. Estos cálculos se realizaron para cada sector de la subcuenca (tabla 3) y se representan en la figura 6.



**Figura 6.** Relación distribución y densidad de parches de bosque-densidad de drenaje, subcuenca del río Tapezco (2012). Datos: derivados de fotointerpretación de PRIAS y NASA 2005.

**Tabla 3.** Relación parches de bosque-densidad de drenaje por sector, subcuenca del río Tapezco (2012)

Sector	Densidad de drenaje	Número de parches por km <sup>2</sup>	Área de parches en m <sup>2</sup> por km <sup>2</sup>
PNJCB	2,51	0,05	4.224,18
Pueblo Nuevo	1,98	0,09	1.913,42
Tapezco	1,90	0,09	1.726,72
Las Brisas	1,95	0,11	857,57
<b>Total de la subcuenca</b>	<b>2,17</b>	<b>0,08</b>	<b>2.577,48</b>

Datos: derivados de fotointerpretación de PRIAS y NASA 2005.

El sector del PNJCB presenta menor densidad de parches por número y mayor densidad de parches por área, es decir, pocos parches de bosque, pero de gran tamaño y con mayor densidad de drenaje, debido a que corresponde

a la parte alta de la subcuenca, donde la red es más intrincada. El sector de Las Brisas presenta un mayor número de parches y de menor tamaño respecto de la red hídrica, lo que expresa una menor continuidad y mayor fragmentación de las coberturas vegetales, debido a la presión de usos de la tierra en ese sector.

Se ha comprobado que la cobertura boscosa ofrece una serie de servicios hidrológicos en la escala más amplia del paisaje y en la red hidrográfica (Carvalho-Santos, Honrado y Hein 2014), ya que la presencia no solamente de parches extensos de bosque, sino también de vegetación ribereña, árboles dispersos en pastos y cercas vivas, mediante el sistema de raíces y el dosel, contribuye a los procesos de infiltración de agua en el suelo y disminución de escorrentía, lo que la intercepción de humedad por las copas de los árboles (Ilstedt et ál. 2007). La calidad del agua se ve favorecida, en términos de carga de sedimentos, debido también al mejoramiento de la estabilidad del suelo (Calder 2002; Lele 2009).

De acuerdo con los resultados obtenidos de las métricas de fragmentación para cada sector, se tiene que el sector del PNJCB es el que presenta mejores condiciones en cuanto a continuidad, densidad y superficie de bosque. Por el contrario, al sector de Las Brisas corresponde al sector más afectado en términos de distancia entre fragmentos y tamaño más reducido, así como en su continuidad. Esto permite identificar una marcada diferencia entre la parte alta y baja de la subcuenca, en cuanto a la configuración espacial de los parches de bosque.

En las partes bajas el bosque se localiza principalmente en las orillas de los cauces, mientras que en las partes altas los parches, además de estar a lo largo de la red hídrica, también se presentan fuera de esta y con mayores dimensiones. Esto obedece a que en las partes bajas la topografía es menos abrupta y existen más y mejores vías de comunicación para el desarrollo de las actividades económicas, por lo que hay mayor presión en el uso de la tierra y son menores las oportunidades para adquirir terrenos que se dediquen a la regeneración.

En las partes altas la presión sobre el uso de la tierra es menor, debido a condiciones topográficas y a que los esfuerzos de conservación se han concentrado en esta sección de la subcuenca para dar continuidad a los ecosistemas boscosos del PNJCB.

Respecto de estos patrones de diferenciación de usos y coberturas Cotler y Pineda López (2005), señalan que en las cuencas hidrográficas la identificación y el reconocimiento de las interconexiones existentes entre la parte alta y baja de aquellas resultan fundamentales, considerando las externalidades generadas por las actividades productivas de forma integrada en todo el sistema hidrográfico.

### Formulación de enlaces de vegetación

Los diferentes usos de la tierra, su dinamismo en cuanto a los cambios temporales y su disposición en el espacio juegan un papel determinante en diferentes aspectos relativos a las propiedades y el funcionamiento de los sistemas fluviales (Njue et ál. 2016; Uriarte et ál. 2011). Siguiendo estas consideraciones y en el caso de la subcuenca del río Tapezco, se encontró que la vegetación ribereña ha sufrido cambios pocos significativos en el periodo 2005-2012, presentando una leve mejoría en cuanto al porcentaje de vegetación faltante (tabla 4). Las áreas con más grandes vacíos de vegetación se ubican en los afluentes de los ríos principales (Tapezco, San Rafael, Catarata y Jilguero), que corresponden a zonas de mayor pendiente y donde se llevan a cabo actividades agrícolas y de pastoreo.

**Tabla 4.** Porcentaje de vacíos de vegetación, subcuenca del río Tapezco (2005, 2008 y 2012)

Año	Cobertura ideal según la Ley forestal 7575 (ha)	Área sin cobertura (ha)	Cobertura faltante (%)
2005	368,19	165,31	44,90
2008	368,19	125,27	34,02
2012	368,19	153,75	41,76

Datos: derivados comprobación en campo, de fotointerpretación de PRIAS y NASA 2005.

Un análisis más detallado de dichos vacíos se realizó para cada sector de la subcuenca y se determinó el área de cobertura vegetal faltante a lo largo de la red hídrica y las nacientes. Los resultados se muestran en la tabla 5 y figura 7.

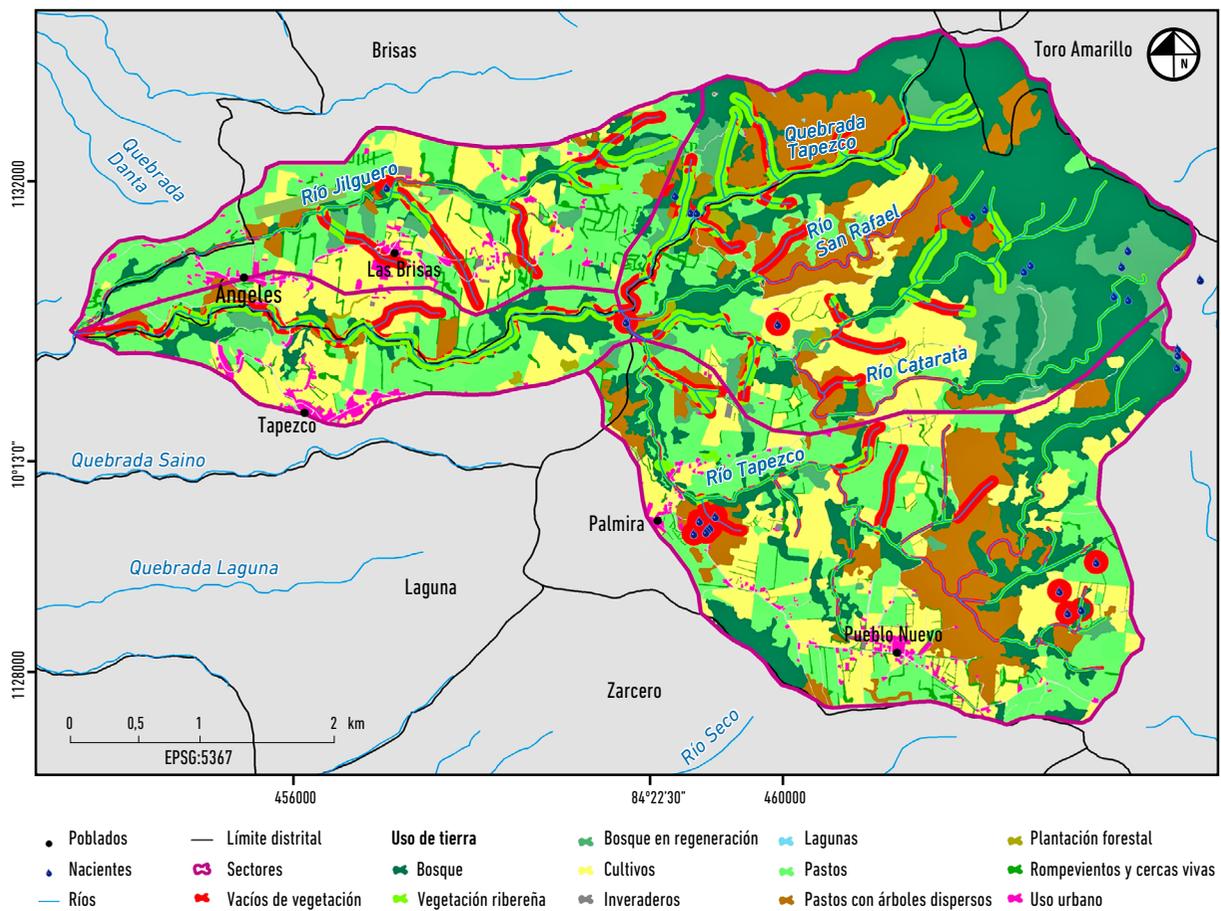
**Tabla 5.** Vegetación ribereña faltante por sector, según Ley forestal 7575, subcuenca del río Tapezco Zarcero, 2012

Sector	Vegetación ribereña actual (ha)	Vegetación ribereña faltante (ha)	Vegetación ribereña faltante (%)
Tapezco	38,75	21,18	35,34
Pueblo Nuevo	37,01	42,44	53,41
PNJCB	109,38	57,56	34,48
Las Brisas	28,83	32,57	53,04
<b>Total</b>	<b>213,97</b>	<b>153,75</b>	<b>41,84</b>

Datos: derivados de comprobación en campo y fotointerpretación de PRIAS y NASA 2005.

El sector de Pueblo Nuevo presenta el mayor porcentaje de vegetación ribereña faltante, debido a que existen zonas con pendientes mayores al 15% que deberían tener una banda ancha de cobertura vegetal según la Ley forestal y que están desprovistas de ella, por lo que dichas zonas son ocupadas por cultivos, pastos con árboles o solamente pastos.

En el sector de Las Brisas, los vacíos de vegetación se concentran, de igual forma, en las zonas de alta pendiente. Este sector se caracteriza por una mayor presión en el uso de la tierra, por lo cual, la mayor parte de los vacíos están ocupados por cultivos e incluso algunas riberas están ocupadas por algún tipo de infraestructura urbana. En la parte baja de la subcuenca, el sector de Tapezco presenta junto con el PNJCB, en la parte alta, el menor porcentaje de vegetación ribereña faltante, esto obedece a que casi la totalidad del bosque en este sector se localiza a lo largo de la red hídrica. En el sector del PNJCB



**Figura 7.** Vacíos de vegetación, según Ley forestal 7575, subcuenca del río Tapezco (2012).

Datos: derivados de fotointerpretación de PRIAS y NASA 2005, procesados mediante la herramienta *Buffer* de ArcGIS 10.0.

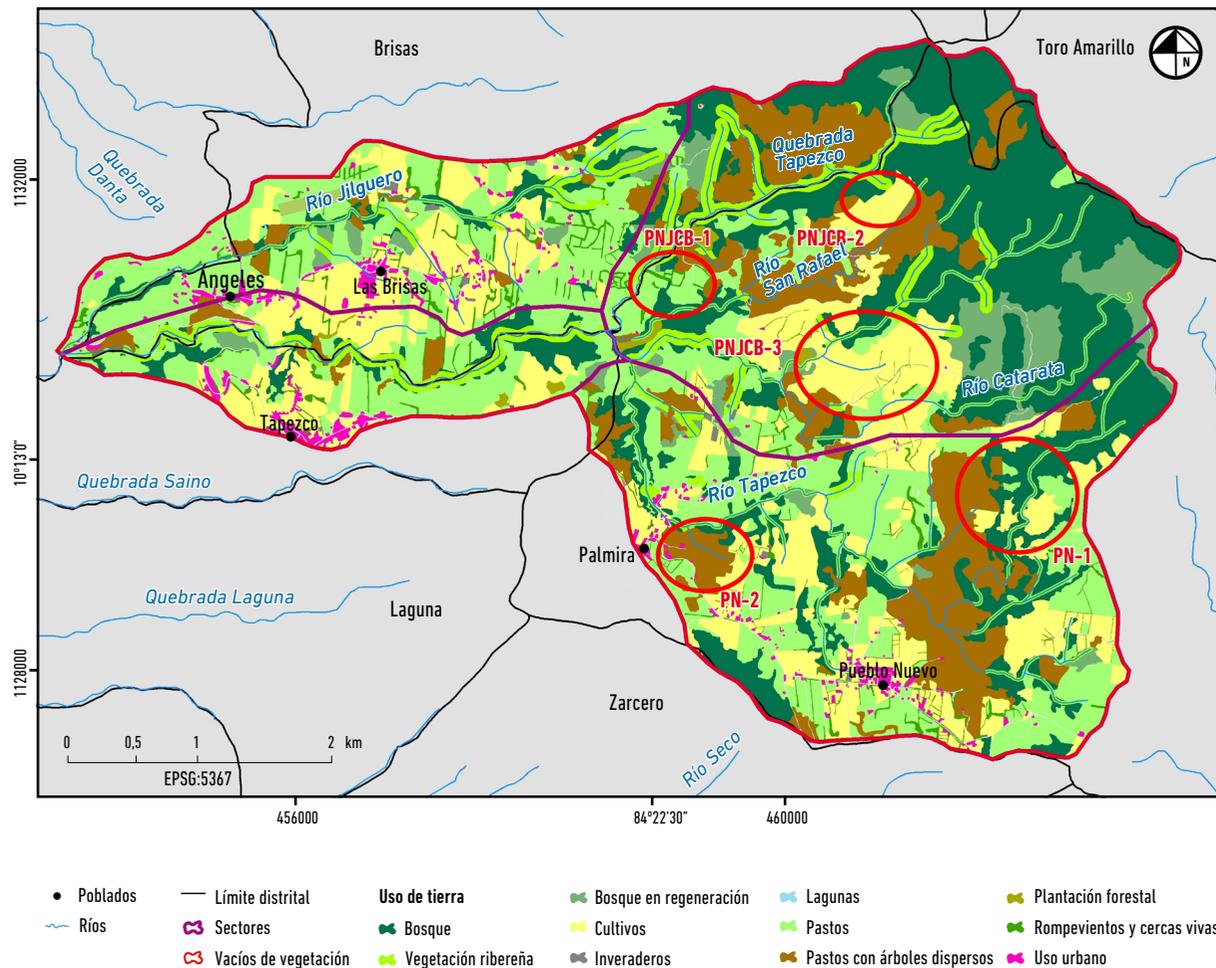
se encuentra la mayor área de bosque en la subcuenca, lo cual corresponde también con el menor porcentaje de vegetación ribereña faltante, con apenas un 34,48%.

Con relación a los usos de la tierra, la subcuenca del río Tapezco se caracteriza por la gran intensidad en la ocupación de ella, pero a la vez las actividades que se realizan cambian rápidamente con el paso del tiempo. Se trata del cultivo de hortalizas, que pueden ser sustituidos por otros cultivos o por el pastoreo en periodos cortos. Esta práctica resulta atractiva para los propietarios, ya que con ella estos diversifican la producción y tienen más posibilidades de obtener ingresos.

El análisis del cambio de uso de la tierra permitió, a partir de las capas de uso del 2005, 2008 y 2012, determinar las zonas que presentan mayor dinamismo en dicho cambio y cómo este afecta las coberturas boscosas en términos de fragmentación, así como la relación de estos cambios con la red de drenaje. Esto contribuyó a la identificación de zonas prioritarias para establecer enlaces de vegetación, las cuales se representan en la figura 8.

El sector de Tapezco presenta una disminución importante de la vegetación de ribera, pasando de 11% del área total del sector en el 2005 a apenas 4% en el 2012. Algunas áreas que estaban ocupadas por bosque fueron reemplazadas por pastos. Aquí se presenta una situación similar a la del sector de Las Brisas, ya que ambos espacios constituyen la parte media-baja de la subcuenca y se encuentran muy degradados desde el 2005, punto de partida del análisis. La vegetación de ribera experimentó una disminución significativa en el periodo estudiado por lo que se presentan considerables vacíos.

Además del análisis del dinamismo en el uso de la tierra, el SDI permitió también tener una noción más acertada de la variación de los usos a través del tiempo. Se comprobó que la heterogeneidad aumentó de un valor de 1.714 en el 2005 a 1.766 en el 2012. Este aumento en la heterogeneidad del paisaje obedece a que la tierra históricamente ha sido dividida en pequeñas parcelas, que permiten mayor cambio en periodos cortos. Además de esto, la intensidad del uso de la tierra es cada vez mayor,



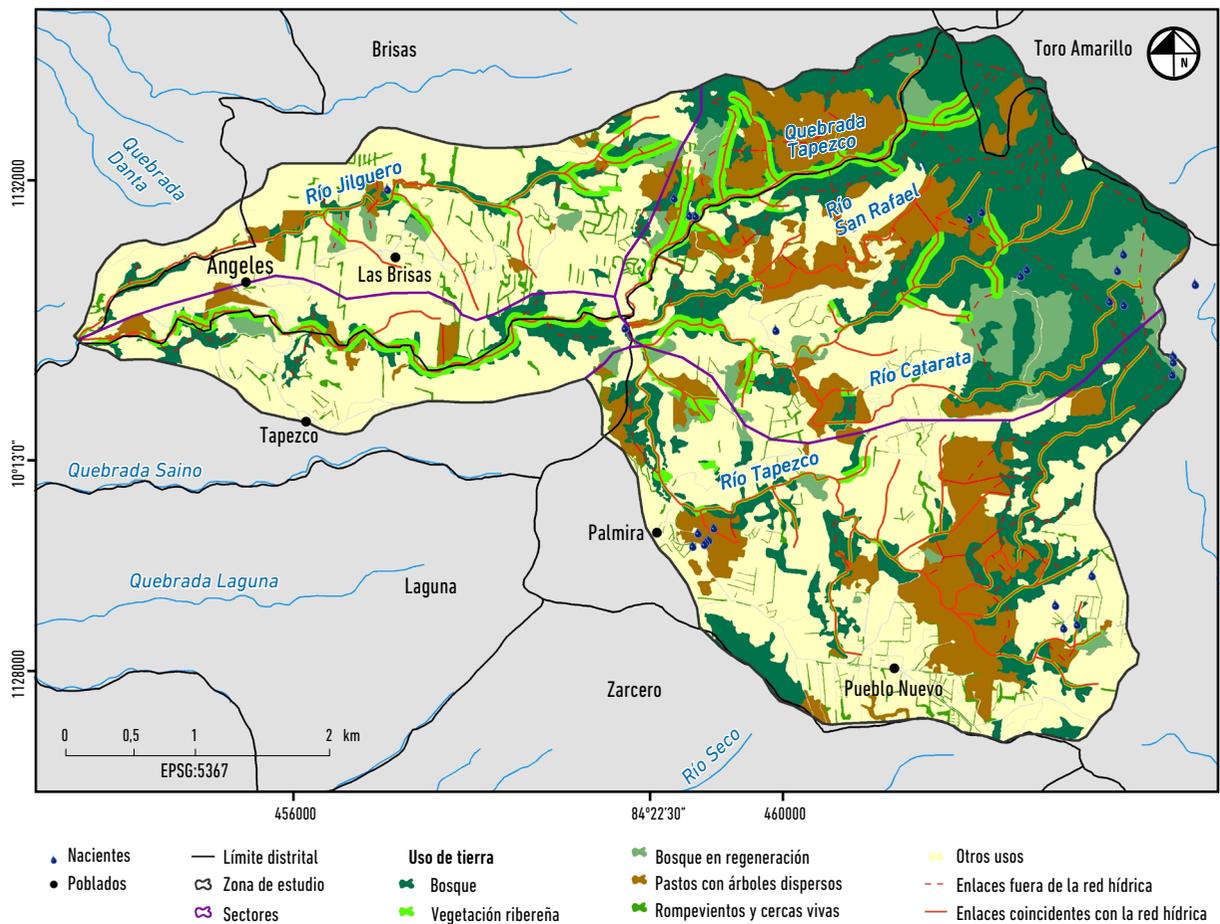
**Figura 8.** Zonas críticas por dinamismo en el uso de la tierra, subcuenca del río Tapezco (2012).  
 Datos: derivados de fotointerpretación de PRIAS y NASA 2005.

lo que responde a las exigencias del mercado interno. La heterogeneidad de usos en el paisaje refleja la complejidad espacial en el mosaico y genera impactos no solo en el funcionamiento de los procesos ecológicos, sino también en los recursos hídricos. Esto también fue abordado en el estudio de Uriarte et ál. (2011), donde los autores encontraron que los cambios de uso y cobertura entre periodos de medición, más que en la variación espacial, influyeron en la variación de la calidad del agua, según el indicador analizado. El tipo de cobertura presentó diferentes implicaciones en la calidad del agua, así como también varió la escala espacial de afectación según el indicador estudiado. En la subcuenca del río Tapezco es necesario contar con este tipo de análisis de mayor profundidad, para establecer los efectos producidos por cambios de uso y coberturas en la calidad de las aguas, considerando también diversas escalas.

### Análisis integrado para la formulación de los enlaces

Los elementos que componen el paisaje presentan relaciones estructurales. Este vínculo estructural se analiza en términos de conectividad y está determinado por la disposición espacial de elementos. Cada sector de la subcuenca presenta un patrón de distribución distinto de dichos elementos y por esta razón se estudiaron por separado.

En el sector del PNJCB los vacíos de vegetación están ocupados mayormente por pastos arbolados y pastos. La mayoría de los vacíos se localiza en los afluentes de los cauces principales; sin embargo, se observa que el río San Rafael está descubierto en un 65% de su cauce, por lo que requeriría una mayor atención a la hora de realizarse los enlaces de vegetación. La presencia de pastos arbolados es importante, porque casi todos se encuentran en medio



**Figura 9.** Propuesta de red de conectividad en la subcuenca del río Tapezco.

Datos: derivados de fotointerpretación de PRIAS y NASA 2005, procesados mediante la herramienta Cost Path de ArcGIS 10.0.

de parches de bosque, por lo que son un elemento clave para la conectividad entre dichos parches. En términos de cobertura vegetal, a lo largo de la red hídrica este sector presenta poca conectividad; sin embargo, en términos de conectividad entre parches la situación es más favorable, debido al tamaño y forma de estos.

En el sector de Pueblo Nuevo existen pocos parches de bosque en regeneración que puedan ser utilizados como potenciales conectores entre parches boscosos; como alternativa a esto, existe un área importante de pastos arbolados, que eventualmente podrían ser utilizados para el establecimiento de enlaces de vegetación. La vegetación arbórea a lo largo de la red hídrica en este sector presenta poca conectividad y aunque existen varios parches de bosque, estos presentan un patrón de distribución muy disperso, por lo que no se ve favorecida la conectividad.

Los sectores de Tapezco y Las Brisas se analizaron en conjunto, porque presentan características similares. La

cobertura vegetal a lo largo de los cauces, aunque presenta cierta continuidad, es escasa en cuanto a área y existen varios afluentes desprovistos de cobertura boscosa, cuya área está ocupada por cultivos y pastos. Los escasos parches de bosque, presentan muy baja conectividad espacial, a pesar de que su distribución corresponde en su mayoría con la red hídrica. Las cercas vivas y las cortinas rompevientos son elementos del paisaje que podrían mejorar la conectividad en este sector. Los resultados del análisis integrado se presentan en la figura 9.

## Conclusiones

El grado de fragmentación que presenta la subcuenca del río Tapezco es producto de un intenso proceso histórico de ocupación y uso de la tierra, que inició desde la colonización del cantón de Zarcerro. El uso actual de la tierra continúa reflejando gran diversidad en su empleo,

presentando gran heterogeneidad en la configuración espacial del paisaje. Los usos de pastos y cultivos ocupan casi un 46% del total de área de la subcuenca, lo que da lugar a una matriz agropecuaria con una distribución muy dispersa de dichas coberturas. Este patrón resulta poco beneficioso para la continuidad del bosque, ya que aumenta la distancia entre los parches y, generalmente, las coberturas existentes entre ellos no facilitan la conectividad.

La fragmentación es desigual en la subcuenca, a partir de la cual se distinguen dos áreas diferenciadas: a) la parte alta, donde la cercanía al PNJCB influye de forma determinante en las políticas y acciones de conservación, por lo que existe una mejor conectividad y continuidad de la cobertura boscosa, es decir, una menor fragmentación; b) la parte baja de la subcuenca, debido a una mayor ocupación humana, variedad y dinamismo en el uso de la tierra, presenta una mayor fragmentación, con parches de bosque ubicados casi exclusivamente a orilla de los ríos.

Esta diferenciación se manifiesta también en la relación de densidad de parches de bosque y la densidad de drenaje por área en la subcuenca, donde una relación positiva entre estos aspectos se encontró solamente en el sector del PNJCB, contrario a lo hallado en el sector de Las Brisas, en la parte baja de la subcuenca, donde la cantidad de parches es mucho mayor y cubre menos área que en el resto de los sectores, lo cual evidenció una mayor fragmentación del bosque.

La cobertura boscosa presenta, en la mayor parte del área de estudio, una configuración que sigue el patrón de la red hídrica, con excepción del sector del PNJCB, donde, además de esto, el bosque se presenta concentrado en la parte más alta de la subcuenca, debido a que corresponde al área protegida PNJCB.

Según el análisis de cambio en el uso de la tierra, se constató que la subcuenca presenta un alto dinamismo en la transformación de los usos. Esto se comprobó mediante la determinación de las zonas críticas en los cuatro sectores que ameritan mayor atención para la mejora de la conectividad.

De manera consecuente con los resultados del análisis de fragmentación y conectividad, así como del dinamismo en el cambio de usos, los enlaces de vegetación propuestos en los sectores de la parte alta de la subcuenca se determinaron de una forma más localizada, en la mayoría de los casos, uniendo parches de bosque a través de pastos arbolados y siguiendo los recorridos más cortos entre ellos. Por su parte, en la subcuenca baja, la poca presencia de parches de bosque y las numerosas áreas de pastos y

cultivos impidieron la formulación de enlaces localizados. Los enlaces propuestos en estos sectores se orientaron a mejorar la continuidad de la vegetación ribereña.

De manera complementaria a los enlaces propuestos, las barreras rompevientos y las cercas vivas fueron otro tipo de estructuras vegetales lineales de importancia en el paisaje estudiado, las cuales pueden contribuir a la conectividad estructural en un paisaje agropecuario de uso muy intensivo como el estudiado.

## Referencias

- Allan, J. David. 2004. "Landscapes and Riverscapes: The Influence of Land Use on Stream Ecosystems." *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35:257-284. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122.
- Bennett, Andrew F. 2004. *Enlazando el paisaje*. San José, Costa Rica: International Union for Conservation of Nature (IUCN) - The World Conservation Union.
- Bruijnzeel, L. A. 2004. "Hydrological Functions of Tropical Forests: Not Seeing the Soil for the Trees?" *Agriculture, Ecosystems & Environment* 104 (1): 185-228. doi: 10.1016/j.agee.2004.01.015.
- Calder, Ian R. 2002. "Forests and Hydrological Services: Reconciling Public and Science Perceptions." *Land Use and Water Resources Research* 2:1-12.
- Carvalho-Santos, Claudia, João Pradinho Honrado, y Lars Hein. 2014. "Hydrological Services and the Role of Forests: Conceptualization and Indicator-Based Analysis with an Illustration at a Regional Scale." *Ecological Complexity* 20 (December): 69-80. doi: 10.1016/j.ecocom.2014.09.001.
- Chorley, Richard. 1995. "Horton, R. E. 1945: Erosional Development of Streams and their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. Bulletin of The Geological Society of America 56:275-370." *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* 19 (4): 533-554. doi: 10.1177/030913339501900406.
- Cotler, Helena, y Raúl Pineda López. 2005. "Manejo integral de cuencas en México ¿hacia dónde vamos?" *Boletín del Archivo Histórico del Agua* 39:16-21.
- Fahrig, Lenore. 2003. "Effects of Habitat Transformation on Biodiversity." *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 34:487-515. doi: 10.1146/annurev.ecolsus.34.011802.132419.
- Fahrig, Lenore, Jacques Baudry, Lluís Brotons, Françoise G. Burel, Thomas O. Crist, Robert J. Fuller, Clelia Sirami, Gavin M. Siriwardena, y Jean-Louis Martin. 2010. "Functional Landscape Heterogeneity and Animal Biodiversity in Agricultural Landscapes." *Ecology Letters* 14:101-112. doi: 10.1111/j.1461-0248.2010.01559.

- Farina, Almo. 2006. *Principles and Methods in Landscape Ecology*. Dordrecht: Springer.
- Feoli Boraschi, Sergio. 2009. "Corredores biológicos: una estrategia de conservación en el manejo de cuencas hidrográficas." *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* 6 (17): 1-5.
- Guariguata, Manuel R, y Gustavo H. Kattán. 2002. *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Cartago, Costa Rica: Libro Universitario Regional (LUR).
- Gurrutxaga San Vicente, Mikel, y Pedro J. Lozano Valencia. 2006. "Efectos de la fragmentación de hábitats y pérdida de la conectividad ecológica dentro de la dinámica territorial." *Polígonos: Revista de Geografía* 16:35-54.
- Gurrutxaga San Vicente, Mikel, y Pedro J. Lozano Valencia. 2010. "Causas de los procesos territoriales de fragmentación de hábitats." *Lurralde: Investigación y Espacio* 33:147-158.
- Gurrutxaga, Mikel, Pedro J. Lozano, y Gabriel del Barrio. 2010. "GIS-Based Approach for Incorporating the Connectivity of Ecological Networks Into Regional Planning." *Journal for Nature Conservation* 18 (4): 318-326. doi: 10.1016/j.jnc.2010.01.005.
- Harvey, Celia A., Arnulfo Medina, Dalia Merlo Sánchez, Sergio Vilchez, Blas Hernández, Joel C. Saenz, Jean Michel Maes, Fernando Casanoves, y Fergus L. Sinclair. 2006. "Patterns of Animal Diversity in Different Forms of Tree Cover in Agricultural Landscapes." *Ecological Applications* 16 (5): 1986-1999. doi: 10.1890/1051-0761(2006)016[1986:poad id]2.0.co;2.
- Harvey, Celia A., C. F. Guindon, W. A. Harber, D. Hamilton, y K. G. Murray. 2008. "Importancia de los fragmentos de bosque, los árboles dispersos y las cortinas rompevientos para la biodiversidad local y regional de Monteverde, Costa Rica." En *Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica*, editado por C. A. Harvey y J. C. Sáenz, 289-326. Heredia: Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio).
- Herrera, José Manuel. 2011. "El papel de la matriz en el mantenimiento de la biodiversidad en hábitats fragmentados: de la teoría ecológica al desarrollo de estrategias de conservación." *Ecosistemas* 20 (2-3): 21-34.
- Herrera, José Manuel, y Daniel García. 2009. "The Role of Remnant Trees in Seed Dispersal Through the Matrix: Being Alone is not Always so Sad." *Biological Conservation* 142 (1): 149-158. doi: 10.1016/j.biocon.2008.10.008.
- Holdridge, Leslie R. 1987. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Ilstedt, Ulrik, Anders Malmer, Elke Verbeeten, y Daniel Murdiyarsó. 2007. "The Effect of Afforestation on Water Infiltration in the Tropics: A Systematic Review and Meta-Analysis." *Forest Ecology and Management* 251 (1-2): 45-51. doi: 10.1016/j.foreco.2007.06.014.
- Kappelle, Maarten, y Alejandro D. Brown, eds. 2001. *Bosques nubladados del Neotrópico*. Costa Rica: INBio.
- Lele, Sharachchandra. 2009. "Watershed Services of Tropical Forests: From Hydrology to Economic Valuation to Integrated Analysis." *Current Opinion in Environmental Sustainability* 1 (2): 148-155. doi: 10.1016/j.cosust.2009.10.007.
- McGarigal, Kevin, y Barbara J. Marks. 1995. *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*. Estados Unidos: Department of Agriculture, Pacific Northwest Research Station, General Technica Report PNW-GTR-351.
- Meddens, Arjan J. H., Andrew T. Hudak, Jeffrey S. Evans, William A. Gould, y Grizelle González. 2008. "Characterizing Forest Fragments in Boreal, Temperate, and Tropical Ecosystems." *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 37 (7-8): 569-576. doi: 0.1579/0044-7447-37.7.569.
- Murillo Vargas, Juan Ramón. 2009. *Misael Solís: un siglo en Zarcero*. San José: Editorial de la Universidad Estatal a Distancia (EUNED).
- Njue, Naomi, Eric Koech, Joseph Hitimana, y Peter Sirmah. 2016. "Influence of Land Use Activities on Riparian Vegetation, Soil and Water Quality: An Indicator of Biodiversity Loss, South West Mau Forest, Kenya." *Open Journal of Forestry* 6 (5): 373-385. doi: 10.4236/ojf.2016.65030.
- Ortiz-Malavassi, Edgar. 2008. *Atlas digital de Costa Rica*. DVD. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Perfecto, Ivette, y John Vandermeer. 2012. "Separación o integración para la conservación de biodiversidad: la ideología detrás del debate 'land-sharing' frente a 'land-sparing'." *Ecosistemas* 21 (1-2): 180-191.
- Presidencia de la República de Costa Rica. 1994. "Decreto 23214-MAG-MIRENEM: Metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica." *La Gaceta* 107. <http://www.mag.go.cr/informacion/imagenes-nama-cafe-taller/Decreto-Ejecutivo-23214-MAG-MIRENEM.pdf>
- PRIAS (Programa de Investigaciones Aerotransportadas y Sensores Remotos), y NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio de Estados Unidos). 2005. "Misión CARTA 2005: Costa Rica Airborne Research and Technology Applications." San José: Centro Nacional de Alta Tecnología-Consejo Nacional de Rectores.
- Santos, Tomás, y José Luis Tellería. 2006. "Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies." *Ecosistemas* 15 (2): 3-12.
- República de Costa Rica. 1996. *Ley Forestal 7575*. San José, Costa Rica: Imprenta Nacional.

- Tenza Peral, Alicia, Luis Enrique García Barrios, y Andrés Giménez Casaldueiro. 2011. "Agricultura y conservación en Latinoamérica en el siglo XXI: ¿festejamos la 'transición forestal' o construimos activamente la 'matriz de la naturaleza'?" *Interciencia: Revista de Ciencia y Tecnología de América* 36 (7): 500-507.
- Turner, Monica Goigel, Robert H Gardner, y Robert V. O'Neill. 2015. *Landscape Ecology in Theory and Practice*. New York: Springer.
- Uriarte, María, Charles B. Yackulic, Yili Lim, y Javier A. Arce-Nazario. 2011. "Influence of Land Use on Water Quality in a Tropical Landscape: A Multi-scale Analysis." *Landscape Ecology* 26 (8): 1151-1164. doi: 10.1007/s10980-011-9642-y.
- Vandermeer, John, e Ivette Perfecto. 2007. "The Agricultural Matrix and a Future Paradigm for Conservation." *Conservation Biology* 21 (1): 274-277. doi: 10.1111/j.1523-1739.2006.00582.x.
- Vila, Josep, Diego Varga, Albert Llausas, y Anna Ribas. 2006. "Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (*landscape ecology*): una interpretación desde la geografía." *Análisis Geográfico* 48:151-166.
- Vogelmann, James E. 1995. "Assessment of Forest Fragmentation in Southern New England Using Remote Sensing and Geographic Information Systems Technology." *Conservation Biology* 9 (2): 439-449. doi: 10.1046/j.1523-1739.1995.9020439.
- Ward, J. V., Klement Tockner, David B. Arscott, y Cecile Claret. 2002. "Riverine Landscape Diversity." *Freshwater Biology* 47 (4): 517-539. doi: 10.1046/j.1365-427.2002.00893.
- Williams, Nicholas S. G., John W. Morgan, Michael A. McCarthy, y Mark J. McDonnell. 2006. "Local Extinction of Grassland Plants: The Landscape Matrix is More Important than Patch Attributes." *Ecology* 87 (12): 3000-3006. doi: 10.1890/0012-9658(2006)87[3000:leogpt]2.0.co;2.

### Lecturas recomendadas

- Vandermeer, John, Ivette Perfecto, Stacy Michelle Philpott, y Michael Jahi Chappell. 2008. "Reenfocando la conservación en el paisaje: la importancia de la matriz." En *Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica*, editado por Celia A. Harvey y J. C. Sáenz, 75-104. Heredia: INBio.

### Yazmín León-Alfaro

Geógrafa y magíster en Planificación y Desarrollo Territorial Sostenible de la Universidad Autónoma de Madrid (España). Se desempeña como docente en la sección de Historia y Geografía de la Universidad de Costa Rica. Está desarrollando su tesis en el Doctorado en Ciencias Humanas: Geografía, Antropología y Estudios de África y Asia de la Universidad Autónoma de Madrid. Sus líneas de investigación son la conservación en paisajes agrícolas en contacto con áreas protegidas, agrobiodiversidad y autonomía alimentaria.