

# Mapeo de áreas prioritarias para la restauración del paisaje forestal y mejora de los medios de vida de comunidades rurales en el altiplano de San Marcos, Guatemala

Felipe VELUK GUTIERREZ<sup>1</sup>  
Ronnie DE CAMINO<sup>1</sup>  
Alejandro IMBACH<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)  
7170 Turrialba  
Cartago - 30501  
Costa Rica



Montañas del altiplano de San Marcos, Guatemala.  
Fuente: F. Veluk Gutierrez.

## RÉSUMÉ

### CARTOGRAPHIE DES AIRES PRIORITAIRES POUR LA RESTAURATION DES PAYSAGES FORESTIERS ET L'AMÉLIORATION DES MOYENS DE SUBSISTANCE RURAUX SUR L'ALTIPLANO DE SAN MARCOS AU GUATEMALA

Le projet de recherche a été mené au sein de trois petits bassins versants localisés dans l'altiplano du département de San Marcos, dans la région Sud-Ouest du Guatemala. L'objectif principal était d'analyser les attributs spatiaux du territoire et de cartographier les aires prioritaires pour aider les parties prenantes aux prises de décision de mise en œuvre de futurs efforts régionaux de développement, d'aménagement et de conservation des ressources naturelles. Ce travail a pris en compte différents outils et approches techniques tels que: la restauration du paysage forestier (Rpf), les milieux de vie durables, les services écosystémiques, le système d'information géographique (Sig) et l'analyse décisionnelle avec de multiples critères spatiaux. Cette cartographie a identifié et mis en exergue trois lignes stratégiques de Rpf en accord avec chaque modèle spatial ainsi créé, qui sont par ordre d'importance croissante, l'aménagement et la conservation des résidus forestiers, le reboisement ou la régénération de terres dégradées et, surtout, la mise en place de systèmes agroforestiers. Chaque modèle a été établi à partir d'attributs géographiques spécifiques en accord avec les besoins élémentaires des moyens de vie et aussi à partir des données spatiales disponibles. En outre, différents services écosystémiques ont été mis à profit pour orienter la construction de la structure cartographique, parmi lesquels : l'approvisionnement en bois énergie et bois d'œuvre, la régulation hydrique, la protection des sols et la réduction des risques de glissement de terrain et le gel, la production/sécurité alimentaire et la conservation de la biodiversité. Le Sig s'est avérée être un outil assez puissant et innovant pour comprendre et intégrer le large et complexe réseau de facteurs et/ou lignes de force (mosaïque d'usage du sol, moyens de vie locaux, relations et enjeux sociaux, parmi d'autres caractéristiques géographiques) qui définissent le paysage et ses habitants et consolident ainsi les futurs efforts ou plans régionaux de Rpf. L'analyse spatiale et l'identification d'aires prioritaires à choisir pour la Rpf constituent ainsi les éléments clés d'appui auprès des responsables locaux et des décideurs en vue de l'usage optimal de leurs ressources techniques et financières afin d'élaborer un avenir le plus durable possible vis-à-vis des communautés et de leur environnement.

**Mots-clés :** restauration du paysage forestier, milieux de vie, développement territorial, services écosystémiques, Sig, altiplano, San Marcos, Guatemala.

## ABSTRACT

### MAPPING PRIORITY AREAS FOR FOREST LANDSCAPE RESTORATION AND IMPROVEMENT OF RURAL COMMUNITY LIVELIHOODS IN GUATEMALA'S SAN MARCOS HIGHLANDS

This research project was undertaken in three small catchment basins in the highlands of San Marcos in south-western Guatemala. The main goal was to analyze the area's spatial features and to map priority areas in order to support local decision-makers in their future regional development and natural resource management and conservation efforts. The work involved different approaches and techniques, including Forest Landscape Restoration (FLR), Sustainable Livelihoods, Ecosystem Services, Geographical Information System (GIS) and Multi-criteria Decision Analysis. The mapping approach identified three priority areas for FLR according to each spatial model created. These are, in order of increasing importance, management and conservation of forest fragments, reforestation or natural regeneration in degraded lands and, most importantly, implementation of agroforestry systems. Each model was designed in accordance with specific geographical features related to basic local livelihood needs and with the spatial data available. Different ecosystem services were integrated in order to guide the mapping process, including wood and fuel wood provision, water regulation, soil protection and reduction of landslide and frost risks, food production, food security and biodiversity conservation. The GIS proved to be a highly effective and innovative tool in order to understand and integrate the complexity of the factors or lines of force (land-use mosaic, local livelihoods, ecosystem services, stakeholder interests and relationships, among other geographic characteristics) that define the landscape and its people, thus making a robust contribution to future FLR efforts or plans in the region. The spatial analysis and identification of priority areas for FLR were also of key importance in helping local leaders and decision makers to use and optimize their technical and financial resources to move towards a more sustainable future for local communities and their environment.

**Keywords:** forest landscape restoration, livelihoods, territorial development, ecosystem services, GIS, highlands, San Marcos, Guatemala.

## RESUMEN

### MAPEO DE ÁREAS PRIORITARIAS PARA LA RESTAURACIÓN DEL PAISAJE FORESTAL Y MEJORA DE LOS MEDIOS DE VIDA DE COMUNIDADES RURALES EN EL ALTIPLANO DE SAN MARCOS, GUATEMALA

Este proyecto de investigación fue realizado en tres microcuencas ubicadas en el altiplano del departamento de San Marcos, en la región suroeste de Guatemala. Su objetivo principal fue analizar atributos espaciales del territorio y mapear áreas prioritarias para ayudar a los tomadores de decisiones en el diseño de futuros esfuerzos regionales de desarrollo, manejo y conservación de recursos naturales. Este trabajo incluyó diferentes enfoques y herramientas, tales como: Restauración del Paisaje Forestal (RPF), Medios de Vida Sostenibles, Servicios Ecosistémicos, Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Análisis de Decisión con Múltiples Criterios Espaciales. Este mapeo identificó y priorizó tres líneas estratégicas de RPF de acuerdo con cada modelo espacial creado. Por orden de importancia creciente, estas líneas son: el manejo y conservación de remanentes forestales, la reforestación o regeneración natural en tierras degradadas y la implementación de sistemas agroforestales. Cada modelo fue diseñado basándose en atributos geográficos específicos relacionados con las necesidades básicas de los medios de vida locales y también a partir de la base de datos espaciales disponible. Adicionalmente, se utilizaron diferentes servicios ecosistémicos para guiar la construcción de la estructura de mapeo, entre ellos: provisión de leña y madera, regulación hídrica, protección del suelo y mitigación del riesgo frente a deslizamientos y heladas, producción de alimentos y seguridad alimentaria y conservación de la biodiversidad. El SIG ha probado ser una herramienta bastante potente e innovadora para comprender e integrar la gran y compleja red de factores o fuerzas (mosaico de uso del suelo, medios de vida locales, servicios ecosistémicos, intereses y relaciones sociales, entre otras características geográficas) que definen el paisaje y su gente y contribuye, por ende, de forma sólida a futuros esfuerzos o planes de RPF. Así pues, el análisis espacial y la identificación y selección de áreas prioritarias para la RPF constituyen elementos clave para ayudar a líderes locales y tomadores de decisiones en el uso óptimo de sus recursos técnicos y financieros de cara al diseño de un futuro más sostenible para las comunidades y su medio ambiente.

**Palabras clave:** restauración del paisaje forestal, medios de vida, desarrollo territorial, servicios ecosistémicos, SIG, altiplano, San Marcos, Guatemala.

## Introducción

Los retos actuales involucrados con los diferentes procesos de conservación ambiental y desarrollo socioeconómico, fundamentalmente en los países en vías de desarrollo, han generado durante los últimos años la necesidad de proyectos mejor adaptados a la complejidad de escenarios urbanos y rurales, a la multiplicidad de actores e intereses presentes, así como sus conexiones y cambios bajo distintas escalas de tiempo y espacio. En este contexto surgieron temas como el Enfoque Ecosistémico (CBD, 2000; SAYER *et al.*, 2004; SHEPHERD, 2004), lineamiento estratégico definido en 2000 por el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD) y compuesto por doce fundamentos guía, también conocidos como los Principios de Malawi, y otros conceptos o herramientas de gestión a escala territorial como Corredores de Biodiversidad, Bosques Modelo, Manejo de Cuencas Hidrográficas (BENNET, 2004; CAMPOS *et al.*, 2005; FAUSTINO *et al.*, 2007; DE CAMINO *et al.*, 2010) y finalmente el tema aquí estudiado: la Restauración del Paisaje Forestal (RPF) (MAGINNIS, JACKSON, 2005; MANSOURIAN *et al.*, 2005).

En América Latina, del total de la población bajo la línea de pobreza, se estima que el 76% se encuentra en regiones rurales, es decir, alrededor o dentro – de forma general – de las áreas de bosques. Eso sirve para comprender mejor el alto grado de relación existente entre el uso adecuado de los bosques y el paisaje rural, y los procesos de combate a la pobreza y en pro del desarrollo humano en la región (UMAÑA, 2004).

Guatemala, pese a su gran diversidad sociocultural y riqueza de recursos naturales es uno de los países con el más bajo Índice de Desarrollo Humano (IDH) de América Latina y el Caribe (PNUD<sup>1</sup>, 2005). El departamento de San Marcos, zona predominantemente rural, es una de las regiones más pobres del país y por lo tanto ha tenido reciente-

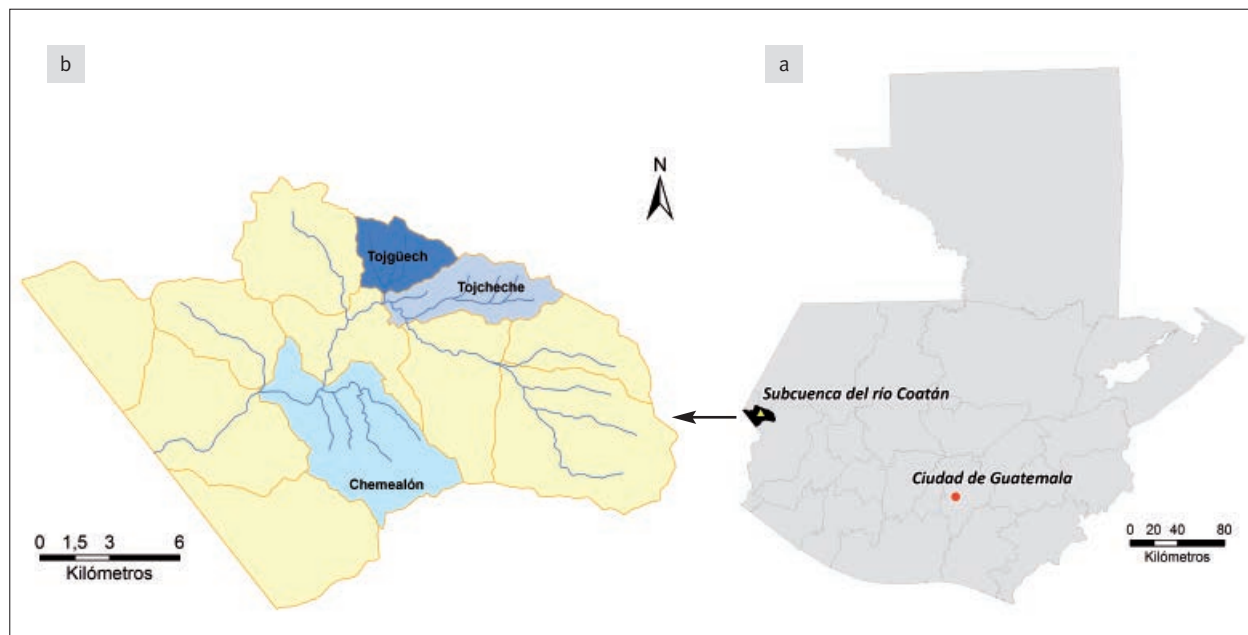
mente alta prioridad dentro de las políticas y estrategias de desarrollo socioeconómico y ambiental del gobierno local y agencias internacionales, principalmente después de los severos daños causados por la tormenta tropical Stan que asoló parte del territorio nacional en el 2005 (UICN<sup>2</sup>, 2006).

La región del altiplano del departamento, particularmente, ha experimentado durante las últimas décadas un acelerado proceso de degradación socio-ambiental, condición esta que ha sido alimentada por peculiaridades históricas locales, como, la alta densidad poblacional, los alarmantes índices de pobreza y desarrollo humano (IDH), la tenencia y uso inadecuado de la tierra, las severas condiciones de clima y suelo, la falta de apoyo político-institucional, etc. Inseguridad alimentaria, deforestación y degradación de bosques, erosión de suelos y sedimentación de cauces de ríos, deslizamientos e inundaciones, contaminación y disminución del agua disponible para uso agrícola-humano, entre otros, han sido algunas de las principales consecuencias de este proceso que ha puesto en riesgo tanto a los recursos naturales como al bienestar y la supervivencia de los habitantes locales (UICN, 2003).

El objetivo de esta investigación ha sido analizar atributos espaciales del territorio y mapear áreas prioritarias para la implementación de acciones de restauración del paisaje forestal (RPF) orientadas a promover el desarrollo local, el manejo y la conservación de los recursos naturales y los bienes y servicios asociados a estos. En la tesis de VELUK (2010) se plasman más detalladamente el enfoque y la metodología utilizados y presentados en este artículo.

<sup>1</sup> PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

<sup>2</sup> UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.



**Figura 1.**  
Mapas de ubicación de la subcuenca del río Coatán en Guatemala (a)  
y de las microcuencas del estudio (b).



## Materiales y Métodos

### Área del estudio

La investigación fue realizada en las microcuencas (figuras 1 y 2) de los ríos Tojgüech, Tojcheche y Chemealón (5.642 ha y 16.600 habitantes), ubicadas en la parte alta (subcuenca) de la cuenca del río Coatán, en la región sur occidental de Guatemala (América Central), departamento de San Marcos, cerca a la frontera con México, a una distancia aproximada de 250 kilómetros de la capital del país (Ciudad de Guatemala).

La región posee una topografía de relieve montañoso (1.950 a 3.400 msnm). Tiene una temperatura promedio anual de 16°C, mínimas de - 5°C y máximas de 35°C, con una alta incidencia de heladas/frentes fríos. La media anual de precipitación está entre 2.000 y 2.500 mm, con períodos secos (noviembre a abril) y lluviosos (mayo a octubre) bien definidos. Está caracterizada por las zonas de vida Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical y Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical según el sistema Holdridge (SNU<sup>3</sup>, 2001). En la zona hay dos categorías de bosques<sup>4</sup>, los de coníferas (ocupan una mayor proporción del territorio) y los de especies mixtas, compuesto por coníferas y una minoría de latifoliadas (GODÍNEZ, 2000; MUNICIPALIDAD DE TACANÁ, 2008; UICN, 2008).

Más del 90% de la población vive en el área rural, dedicándose principalmente a la agricultura de subsistencia (fundamentalmente maíz y papa) y al trabajo como jornalero – en fincas de café de México y Guatemala – en búsqueda de oportunidades laborales y fuentes alternativas de ingreso. De forma general, las principales amenazas socioeconómicas y ambientales identificadas en la región son: la situación de pobreza (85%) y pobreza extrema (15%), el alto crecimiento y densidad poblacional (357 habitantes/km<sup>2</sup>), falta de fuentes de trabajo/ingresos, el predominio de fincas de pequeño tamaño (minifundios inferiores a 2 o 3 ha), las severas condiciones de clima y suelo (baja productividad agrícola), la inseguridad alimentaria, la ausencia de prácticas de manejo y conservación de suelos y agua, la deforestación y degradación de bosques por aprovechamiento no regulado (el 99% de las viviendas depende de leña para cocinar) y finalmente, la débil estructura social comunitaria y el insuficiente apoyo institucional (GEOTECNOLÓGICA, 2009; UICN, 2003; MUNICIPALIDAD DE TACANÁ, 2008). Conforme se puede observar, todos estos factores están conectados entre sí e influyen uno al otro, la población local se encuentra entonces atrapada en un círculo de pobreza y degradación socio-ambiental de difícil reversión.

<sup>3</sup> SNU: Sistema de las Naciones Unidas.

<sup>4</sup> Un listado general de las principales especies arbóreas y arbustivas nativas encontradas en la región podrá ser verificado en VELUK (2010).

## Restauración del paisaje forestal (RPF) – Mapeo de áreas prioritarias

### Aspectos generales

GILMOUR (2005) y DE JONG (2005) definen un paisaje como un complejo y dinámico mosaico geográfico estructurado a partir de distintos componentes espaciales y temporales, formando un verdadero “rompecabezas” biofísico, sociocultural, económico, político e institucional. Frente a esta gran diversidad de factores y a una frecuente limitación de recursos técnicos y financieros para su real implementación, muchos programas regionales de conservación y desarrollo a escala de paisaje han tenido últimamente la necesidad de priorizar sus esfuerzos para traspasar estas barreras y obtener mejores resultados para la manutención de la funcionalidad de los territorios y medios de vida.

A partir de este contexto, SAYER *et al.* (2003), LAMB (2005) y PULLAR y LAMB (2007) señalan la importancia y el potencial del uso de diferentes herramientas SIG (Sistema de Información Geográfica) de análisis y modelaje espacial. Estas herramientas son capaces de estudiar zonas o escenarios de paisajes multifuncionales con una gran cantidad, diversidad y complejidad de información, facilitando así muchas veces la toma de decisión y la inversión óptima de recursos y actividades en diferentes proyectos de restauración.

En este estudio, el proceso de análisis espacial e identificación de áreas prioritarias para la implementación de un plan estratégico (IMBACH, 2008) de restauración del paisaje forestal se basó fundamentalmente en las características de la región y sus comunidades, en el concepto de la RPF (MAGINNIS, JACKSON, 2005), en la metodología “Análisis de Decisión con Múltiples Criterios Espaciales” propuesta por MALCZEWSKI (1999) y en el uso del programa ArcGIS 9.2 de Esri (Environmental Systems Research Institute). La primera fase consistió en definir las líneas estratégicas espaciales del modelo SIG (Sistema de información geográfica) de acuerdo con el objetivo central del análisis, las necesidades socio-



**Figura 2.**

Mosaico sobre aspectos generales del paisaje y medios de vida del área de estudio.

Fuente: F. Veluk Gutierrez.

ambientales y financieras identificadas en el diagnóstico territorial sobre los medios de vida (FLORA *et al.*, 2005; IFAD, 2007) y la base de datos geográficos disponible. El diagnóstico territorial y la metodología utilizada en este estudio pueden ser examinados en mayor detalle en la tesis de VELUK (2010).

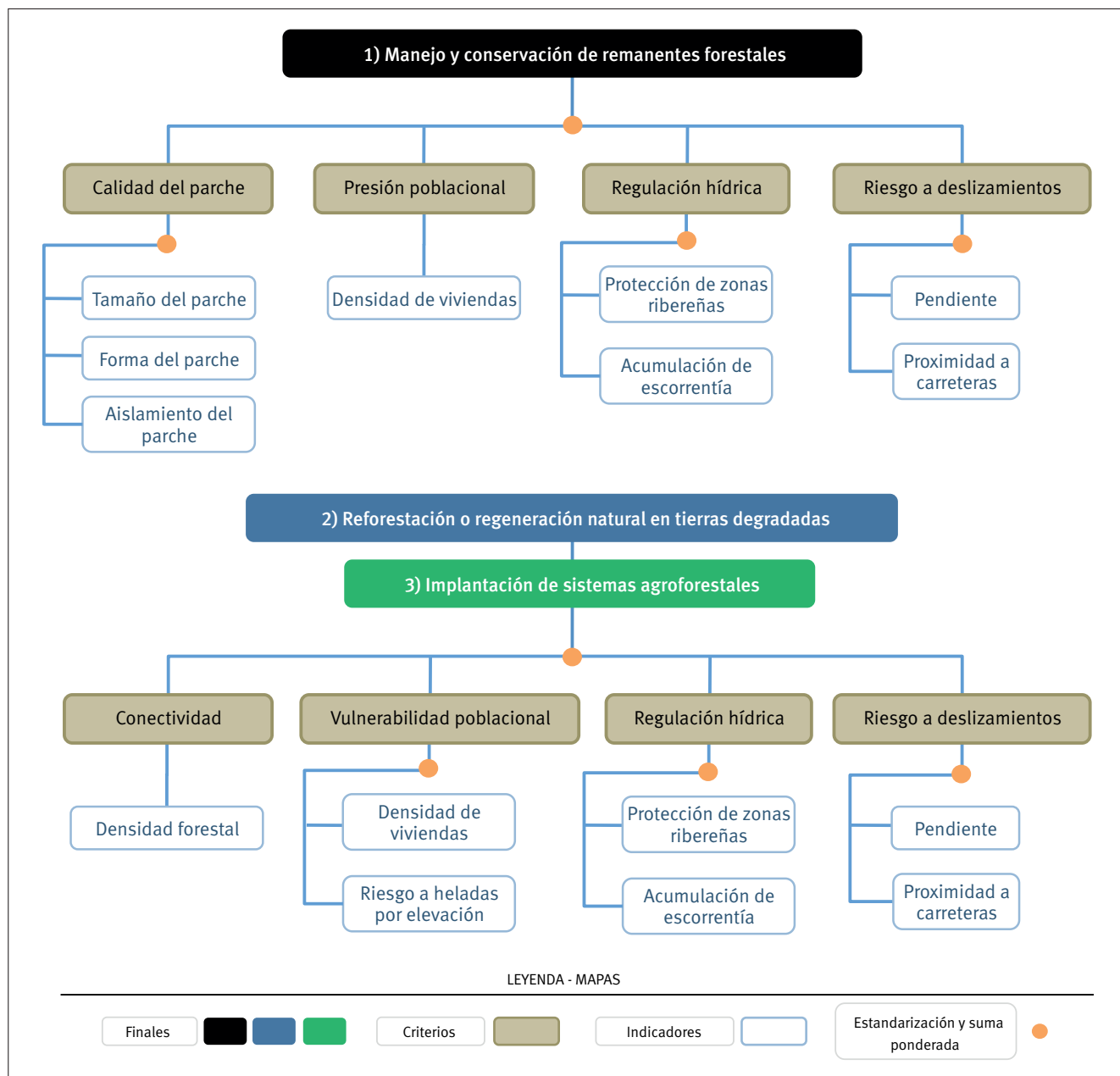
Las 3 líneas estratégicas espaciales definidas fueron las siguientes:

- Manejo y conservación de remanentes forestales (consideró solamente los usos de suelo<sup>5</sup> clasificados como “Bosque natural”);
- Reforestación o regeneración natural en tierras degradadas (análisis aplicado estrictamente a las categorías de uso del suelo “Arbustos – matorrales” y “Pastos naturales y/o yerbales”);

- Implementación de sistemas agroforestales (exclusivamente para usos del suelo identificados como “Agricultura”).

El mapa final de uso del suelo utilizado en esta investigación fue concluido a partir del análisis inicial del “Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra a escala 1:50.000 de la República de Guatemala - Año 2003” citado por MAGA (2006) y corrección y ajustes a través de la interpretación de las fotografías aéreas (escala de trabajo 1:2.500) del año 2006 disponibles para el área de estudio.

<sup>5</sup> Las definiciones de las diferentes categorías de uso de suelo (Bosque natural, Arbustos-matorrales, Pastos naturales y/o yerbales, Agricultura) utilizadas en esta investigación pueden ser verificadas en MAGA (2006).



**Figura 3.** Diagrama jerárquico de mapas criterios e indicadores para la identificación de áreas prioritarias de restauración del paisaje forestal según línea estratégica.

Los principales servicios ecosistémicos (DE GROOT *et al.*, 2002; ANDINO *et al.*, 2006) seleccionados para apoyar la construcción de los modelos espaciales e identificación de áreas prioritarias fueron: la conservación de la biodiversidad<sup>6</sup>, el aprovisionamiento de leña, madera y otros productos no maderables para las comunidades, la regulación hídrica, la protección del suelo y mitigación del riesgo frente a deslizamientos y heladas, la producción de alimentos y disminución de la inseguridad alimentaria general. Segunda fase: la estructura de los modelos espaciales y los mapas criterios e indicadores (figura 3) asociados a estos fueron adaptados a partir de las metodologías propuestas por IMBACH (2005), INAB<sup>7</sup> (2005) y GEOTECNOLÓGICA (2009), y mediante consultas sobre el tema en la región. Los mapas indicadores, a un nivel inferior, componen los mapas criterios, y estos a su vez, son responsables por la definición de los mapas finales relativos a cada línea estratégica espacial específica.

Los mapas indicadores y criterios utilizados en el análisis poseen diferentes objetivos, unidades y escalas de medición, por ende, se hizo necesario transformarlos en unidades o escalas conmensurables. Este ajuste fue realizado a través de la metodología de estandarización "Score Range Procedure" citada por MALCZEWSKI (1999) e IMBACH (2005), donde para los criterios e indicadores de beneficio (el valor es directamente proporcional a su importancia: cuanto más alto el valor, más significativo es) se utilizó la Ecuación 1a y para los criterios e indicadores de costo (el valor es inversamente proporcional a su importancia: cuanto más alto el valor, menos significativo es) la Ecuación 1b:

Ecuaciones de estandarización utilizadas en el análisis espacial, adaptado de IMBACH (2005).

$$X^*ij = (Xij - Xjmín) / (Xjmáx - Xjmín) \times 100 \quad \text{Ecuación 1a}$$

$$X^*ij = (Xjmáx - Xij) / (Xjmáx - Xjmín) \times 100 \quad \text{Ecuación 1b}$$

Donde:

$X^*ij$  = valor (pixel o polígono) estandarizado ;  $Xij$  = valor (pixel o polígono);

$Xjmáx$  = máximo valor (pixel o polígono);  $Xjmín$  = mínimo valor (pixel o polígono).

La atribución de pesos o valor de importancia a los criterios de evaluación e indicadores espaciales fue realizada – de forma independiente para cada línea estratégica – a través de consultas con expertos en el área forestal, en sistemas de información geográfica y en la región del estudio. El método "Pairwise Comparison" desarrollado por Saati y citado por IMBACH (2005) fue utilizado para definir los pesos

de los criterios de cada línea estratégica, mientras que el método "Ratio Estimation Procedure" fue utilizado en la definición de los pesos de los indicadores espaciales. El cálculo para la identificación de áreas prioritarias de restauración del paisaje forestal según línea estratégica fue realizado a partir de la suma ponderada de los criterios de evaluación conforme indican las ecuaciones abajo (Ecuación2):

Ecuaciones generales para la suma de criterios en los modelos espaciales.

$$\text{Línea estratégica } n = \Sigma [(criterio1 \times P1), (criterio2 \times P2)... (criterio n \times Pn)] \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

P = peso del criterio

$$\text{Línea estratégica 1} = \Sigma [(CP \times 0,466), (PP \times 0,315), (RH \times 0,140), (RD \times 0,078)] \quad \text{Ecuación 2a}$$

$$\text{Línea estratégica 2} = \Sigma [(CN \times 0,084), (VP \times 0,491), (RH \times 0,164), (RD \times 0,261)] \quad \text{Ecuación 2b}$$

$$\text{Línea estratégica 3} = \Sigma [(CN \times 0,084), (VP \times 0,491), (RH \times 0,199), (RD \times 0,225)] \quad \text{Ecuación 2c}$$

Donde:

CP = Calidad del parche;

PP = Presión poblacional;

CN = Conectividad;

VP = Vulnerabilidad poblacional;

RH = Regulación hídrica;

RD = Riesgo a deslizamientos.

### Criterios e indicadores espaciales

#### Calidad del parche (CP)

Este criterio está compuesto por tres indicadores (Ecuación 3): el tamaño, la forma y el grado de aislamiento de cada parche de bosque (mayor a 2 ha) del área de estudio. La conservación de la biodiversidad, la protección del suelo, la regulación hídrica y el suministro de leña y madera representan algunos de los principales bienes y servicios ecosistémicos evaluados por este criterio (Ecuación 3):

$$CP = \Sigma [(Tamaño \times 0,583), (Forma \times 0,126), (Grado de aislamiento \times 0,291)] \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

▪ **Tamaño del parche:** los parches fueron clasificados de acuerdo con sus tamaños (m<sup>2</sup>). Se asume que parches más grandes poseen mayor importancia no sólo para la conservación de la biodiversidad, sino también para el suministro de los demás bienes y servicios ecosistémicos ya mencionados arriba.

▪ **Forma del parche:** cada parche fue evaluado por el Índice de Dimensión Fractal (IDF) propuesto por MCGARIGAL y MARKS (1994). Parches menos irregulares y deformes tienden a tener un menor efecto de borde y por lo tanto suelen ser considerados más propicios a la conservación de la biodiversidad (Ecuación 4):

<sup>6</sup> La región carece de informaciones precisas y estudios de base ecológica (diversidad, tamaño y comportamiento de poblaciones de flora y fauna, dependencia y relaciones de hábitat, grado de amenaza de especies, etc.) capaces de orientar esfuerzos o programas más amplios de conservación biológica. Además, se reconoce la importancia de enfocarse en este estudio principalmente en los críticos retos socio-económicos y ambientales presentados anteriormente. Así mismo, por tratarse de un estudio para el desarrollo de una estrategia de restauración a escala de paisaje, fueron considerados también en el análisis elementos más orientados a la conservación biológica general (INAB, 2005; BENNET, 2004; CÉSPEDES AGÜERO, 2006) como el tamaño, la forma, el aislamiento y la conectividad de los parches de bosque de la región.

<sup>7</sup> INAB: Instituto Nacional de Bosques.

$$IDF = 2 \ln pij / \ln aij$$

Ecuación 4

Donde:

$pij$  = perímetro del parche

$aij$  = área del parche

▪ Aislamiento del parche: el grado de aislamiento de los parches fue calculado a partir de la distancia o trayecto lineal (m) desde el borde del parche de interés hasta el borde del parche vecino más cercano. Se supone que parches más cercanos poseen un mayor valor para la conservación de la biodiversidad.

### Presión (PP) y vulnerabilidad poblacional (VP)

Ambos criterios sirven para estimar la presión<sup>8</sup> que los habitantes ejercen sobre los recursos naturales de la región, sin embargo, el criterio “Vulnerabilidad poblacional” posee un indicador adicional que evalúa también las zonas con mayor riesgo a heladas/frentes fríos según la altitud o elevación (Ecuación 5):

$$VP = \Sigma [(Densidad \text{ de viviendas} \times 0,763), (\text{Riesgo a heladas por elevación} \times 0,237)]$$

Ecuación 5

Donde:

▪ Densidad de viviendas: se calculó la densidad de viviendas por km<sup>2</sup>, con un radio de búsqueda de 500m alrededor de cada píxel o celda raster de salida. Las áreas con mayor densidad representan los sitios que se asume que ejercen una mayor presión poblacional sobre los recursos naturales. El criterio Vulnerabilidad poblacional (VP) tiene objetivos y estructura muy semejantes al criterio Presión poblacional (PP), conforme mencionado anteriormente, sin embargo, fue utilizado solamente en el análisis de las líneas estratégicas 2 y 3;

▪ Riesgo a heladas por elevación: para este criterio se utilizó la metodología propuesta por MAGA e INSIVUMEH (2002)<sup>9</sup>, a partir de la cual el mapa del modelo digital de terreno de la región del estudio fue dividido en tres categorías de elevación (msnm) según su probabilidad de ocurrencia de heladas: 1.500 a 2.150 (baja), 2.150 a 2.800 (media) y 2.800 a 3.400 (alta). Áreas con mayor riesgo a heladas serán consideradas prioritarias a la restauración y la construcción de barreras contra el viento. Es importante destacar que el indicador “Riesgo a heladas por elevación” recibió en el análisis un peso (0,237) o valor de importancia 3 veces inferior al peso (0,763) del indicador “Densidad de viviendas”.

<sup>8</sup> Principalmente sobre los bosques y la conservación del suelo y agua. La deforestación y degradación de los bosques locales se debe, por un lado por la conversión del uso del suelo hacia la agricultura de subsistencia, y por otro, debido a la extracción descontrolada de madera y la alta dependencia energética de leña para uso doméstico, conforme comentado anteriormente.

<sup>9</sup> MAGA: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación; INSIVUMEH: Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

### Regulación hídrica (RH)

Representa una de las prioridades dentro del proceso de manejo del paisaje en la región del estudio. Este criterio posee dos indicadores (Ecuación 6) que fueron seleccionados según su grado de importancia y de acuerdo con las informaciones espaciales disponibles para su evaluación (Ecuación 6):

La protección de las zonas ribereñas y la acumulación de la escorrentía superficial.

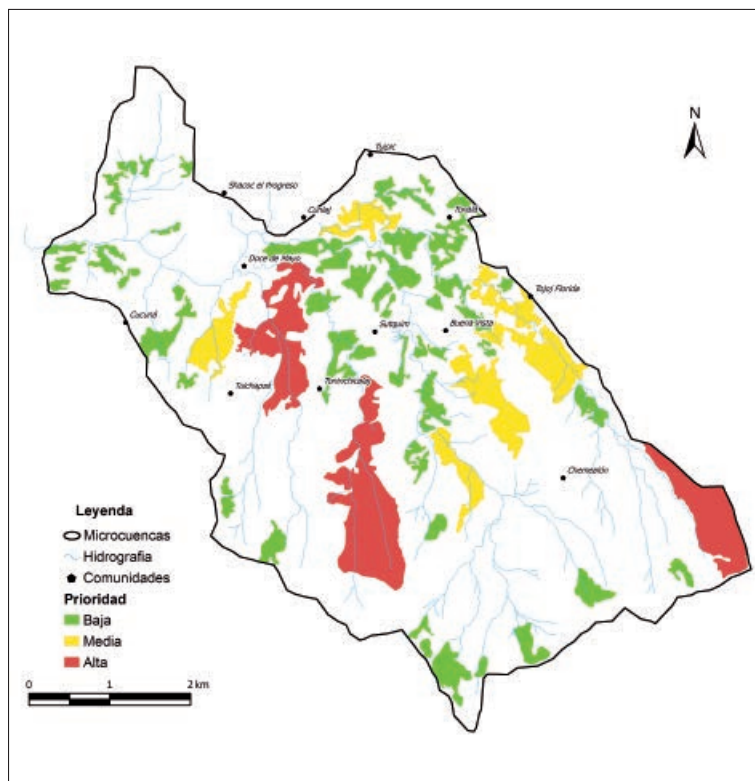
$$RH = \Sigma [(Protección \text{ de zonas ribereñas} \times 0,560), (\text{Acumulación de escorrentía} \times 0,440)]$$

Ecuación 6

Donde:

▪ Protección de zonas ribereñas: estas áreas desempeñan un papel fundamental no sólo en la regulación del ciclo hidrológico y conservación de suelos, sino que también en la conservación de la vida silvestre, principalmente en la protección de la fauna local ya que funcionan también como corredores de hábitats naturales. Basado en INAB (2003) y en consulta con expertos, se definió una zona de amortiguamiento (“buffer” por su terminología en inglés) de 100 m a cada lado del río. Solamente las áreas internas al buffer fueron consideradas como áreas de protección.

▪ Acumulación de escorrentía: la porción de precipitación que no se infiltra y discurre libremente sobre la superficie del terreno hasta alcanzar los cursos de agua superficiales es conocida como escorrentía superficial. Las áreas con o sin acumulación de escorrentía fueron calculadas a partir de los mapas de pendiente y a través de la herramienta “Hidrology - Flow Accumulation” del programa ArcGIS 9.2.



**Figura 4.** Áreas prioritarias para manejo y conservación de remanentes forestales (línea estratégica 01).



### Riesgos a deslizamientos (RD)

Este criterio está conformado por dos indicadores espaciales (Ecuación 7):

Pendiente y proximidad a carreteras

$$RD = \Sigma [(Pendiente \times 0,681), (Proximidad \text{ a carreteras} \times 0,319)]$$

Ecuación 7

▪ Pendiente y proximidad a carreteras: el análisis del riesgo a deslizamientos estuvo basado en las metodologías propuestas por MAGA (2002) y GEOTECNOLÓGICA (2009). Para identificar las áreas con mayor riesgo según el indicador pendiente, el mapa de relieve fue clasificado en tres categorías, en orden creciente de riesgo, en rangos de pendiente de 0 a 40% (nulo), 40 a 65% (mediano) y mayor que 65% (alto).

Las áreas de riesgo según el indicador proximidad a carreteras – considerando tanto el posible impacto sobre viviendas como las propias carreteras – fueron definidas por las zonas de amortiguamiento creadas a 100 m de cada lado de las principales carreteras y caminos de la región.

### Conectividad (CN)

La conectividad entre los parches de bosque fue calculada a partir de la metodología “Densidad de Cobertura Forestal” propuesta y utilizada por INAB (2005) y GEOTECNOLÓGICA (2009). Este criterio fue calculado a través del indicador Densidad forestal descrito a continuación.

▪ Densidad forestal: este indicador fue calculado a través del análisis de vecindad forestal por la herramienta “Neighborhood Statistics” del programa ArcGIS 9.2. De acuerdo con INAB (2005), los rangos de valor de densidad de cobertura forestal y su relación con la conectividad del paisaje fueron definidos como, 0 (zona de conectividad nula), 1 a 10 (zona de conectividad baja), 11 a 20 (zona de conectividad media), 21 a 30 (zona de conectividad alta), 31 a 40 (zona de bosque de borde) y 41 a 49 (zona de bosque denso).

## Resultados y discusión

Los resultados finales del proceso de análisis e identificación de áreas prioritarias para la implementación de las 3 líneas estratégicas espaciales del plan de restauración del paisaje forestal (RPF) se presentan a continuación: los mapas y tabla indican las áreas (ubicación y tamaño) según su grado de prioridad (verde = baja, amarillo = media y rojo = alta) de implementación por línea estratégica (figuras 4 a 6, cuadro 1).

Para efecto de una mejor visualización de la información presente en cada mapa, en este documento están presentados exclusivamente los resultados del análisis para la microcuenca del río Chemealón. Por esta misma razón, están expuestos únicamente los mapas finales de áreas prioritarias por línea estratégica espacial. Los respectivos mapas criterios e indicadores – para esta y otras microcuencas – utilizados en la construcción de cada uno de estos modelos espaciales podrán ser verificados en VELUK (2010). Todos los mapas del estudio fueron confeccionados bajo la proyección cartográfica UTM (Universal Transversa de Mercator), Zona 15N, Datum WGS (World Geodetic System) 1984. La base de datos espaciales proviene de UICN, GEOTECNOLÓGICA y MAGA.

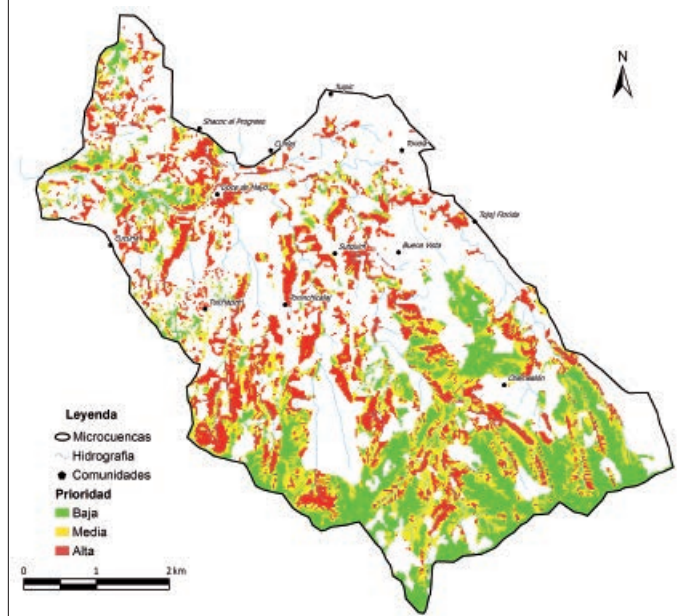


Figura 5.

Áreas prioritarias para reforestación o regeneración natural en tierras degradadas (línea estratégica 02).

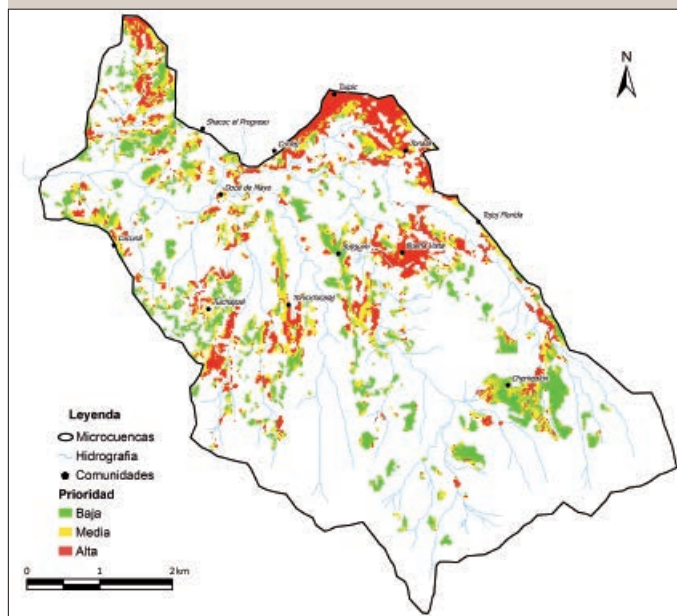


Figura 6.

Áreas prioritarias para implementación de sistemas agroforestales (línea estratégica 03).

Conforme se logró verificar a través del análisis espacial, los mapas de áreas prioritarias revelan algunos patrones espaciales de uso del suelo directamente relacionados con la dinámica entre los medios de vida y la configuración biofísica del paisaje. Existe una relación inversamente proporcional entre el tamaño y ubicación de las áreas boscosas y la densidad poblacional de las microcuencas, es decir, se puede observar una mayor y más uniforme cobertura forestal en las regiones menos pobladas de las microcuencas y viceversa. Esta situación puede ser explicada principalmente por: el relieve más ondulado o escarpado de estas zonas, lo que en algunos sectores coincide con la franjas ribereñas de las microcuencas, por la mayor dificultad de acceso y posibilidad para construcción de caminos o carreteras y por la presencia de suelos con menor aptitud para la agricultura. Esta combinación de factores resulta en regiones menos propicias al asentamiento y desarrollo comunitario general y por lo tanto con menos presión para cambio de uso.



Contrariamente a lo mencionado anteriormente, el tamaño y la distribución de las zonas agrícolas poseen una relación directa y proporcional a la densidad poblacional de las microcuencas, es decir, cuanto mayor la concentración humana, mayor y más extenso es, por lo general, el sector del paisaje destinado al uso agrícola. Estas áreas están ubicadas en regiones de relieve menos ondulado o escarpado, con mayor facilidad de acceso o transporte y una cercanía periférica a los cuerpos de agua de las microcuencas. Las áreas clasificadas como Arbustos – matorrales y Pastos naturales y/o yerbazales – con potencial para la reforestación o regeneración natural – ocupan las demás porciones del paisaje, en zonas limítrofes entre el uso agrícola y la cobertura forestal.

Por lo tanto, la configuración espacial y la dependencia entre los medios de vida y recursos biofísicos de este mosaico territorial corroboran la idea de que el proceso de RPF debe tener un Enfoque Ecosistémico (SHEPHERD, 2004; MAGINNIS, JACKSON, 2005; DE CAMINO *et al.*, 2010) basado en los distintos usos de suelo de las microcuencas, o sea, trabajando no sólo con el manejo y conservación de la cobertura forestal remanente (línea estratégica 1), sino que también con la cobertura forestal y agroforestal que se pueda recuperar (líneas estratégicas 2 y 3) o integrar.

La elección y extensión de las áreas a invertir los esfuerzos relacionados a cada una de las 3 líneas estratégicas espaciales del plan dependerán de los recursos financieros, técnicos y materiales disponibles para su ejecución, pero principalmente del contexto social, diálogo e intereses compartidos con los habitantes locales. Los trabajos de implementación deberán preferentemente enfocarse inicialmente en las áreas de alta prioridad (830 ha o 26,5 %) y posteriormente expandirse hasta las regiones de prioridad media (1.180 ha o 38 %) y baja (1.106 ha o 35,5%). Se sugiere el uso de diferentes herramientas de mapeo participativo (EVANS *et al.*, 2006; DI GESSA *et al.*, 2008; VELUK, 2010) con el objetivo principal de estrechar el diálogo entre actores locales en el proceso de diseño e implementación del plan, profundizando así la identificación en campo de áreas prioritarias a invertir los esfuerzos de restauración del paisaje.

## Conclusión y recomendaciones

El SIG (Sistema de información geográfica) y el Análisis de Decisión con Múltiples Criterios Espaciales han mostrado ser poderosas y efectivas herramientas de apoyo en la identificación de áreas prioritarias para la implementación del plan de restauración del paisaje forestal. Estas herramientas posibilitaron la integración y el análisis geográfico de una gran diversidad y complejidad de información, así como la evaluación de distintos contextos y dinámicas del paisaje.

La inclusión más directa de los medios de vida en el análisis espacial (a través de los criterios e indicadores: presión y vulnerabilidad poblacional, densidad de viviendas) permitió una mejor percepción de la relación, causa y efecto, entre los habitantes y su territorio, lo que facilitará la toma de futuras decisiones y construcción del plan.

El buen uso de los mapas de áreas prioritarias y el éxito en la elaboración e implementación del plan de restauración dependerán directamente de la participación de los grupos comunitarios locales y la formación de alianzas estratégicas junto a organizaciones externas y sectores del gobierno. El plan debe reconocer a los habitantes de las microcuencas y su diversidad sociocultural como elementos clave en el manejo y conservación del paisaje.

Fundamentalmente, el plan de restauración deberá comprender la situación de vulnerabilidad socio-ambiental de las comunidades y sus medios de vida (identificada en el mapeo de áreas prioritarias) y trabajar directamente para apalancar no sólo la parte forestal, sino también el desarrollo agrícola y las condiciones productivas familiares, conforme ilustrado el análisis espacial. Eso podrá ser facilitado a través de incentivos al mejoramiento y diversificación productiva, garantizando así mejores opciones para la generación de ingresos, una menor dependencia y degradación sobre los recursos naturales locales y una mayor seguridad alimentaria general.

Con el objetivo promover un mejor uso de los resultados generados por cada mapa de áreas prioritarias, así como también maximizar más profundamente la viabilidad (téc-

**Cuadro I.**  
**Relación de áreas prioritarias por línea estratégica de RPF en la microcuenca del río Chemealón.**

Línea Estratégica – RPF	Prioridad	Área	
		(ha)	(%)
Manejo y conservación de remanentes forestales	Alta	266,9	8,6
	Mediana	196,1	6,3
	Baja	317,1	10,2
Reforestación o regeneración natural en tierras degradadas	Alta	405,6	13,0
	Mediana	640,2	20,5
	Baja	535,5	17,2
Implementación de sistemas agroforestales	Alta	157,8	5,1
	Mediana	343,4	11,0
	Baja	253,4	8,1
<b>TOTAL</b>		<b>3.116,0*</b>	<b>100,0</b>

Nota \* El área total de este análisis no coincide con el área de la microcuenca debido a usos del suelo que no fueron considerados para la implementación del plan.

nico-financiera, sociocultural, biofísica y ecológica) de implementación del plan, se sugiere que diferentes técnicas de manejo, conservación y restauración sean estudiadas en áreas demostrativas para que posteriormente sean aplicadas a nivel regional: tratamientos silviculturales, configuraciones espaciales, diversidad y asociación de especies, incluyendo árboles nativos y exóticos de rápido crecimiento.

La implementación de los ejes estratégicos espaciales deberá ocurrir de forma conjunta y sincronizada para que las distintas acciones del plan de restauración puedan avanzar de forma gradual y complementaria, optimizando así los esfuerzos y recursos disponibles y principalmente los impactos sobre el paisaje y sus comunidades.

El análisis SIG y la priorización de los principales servicios ecosistémicos relacionados con el mantenimiento del paisaje y bienestar de los medios de vida de las comunidades locales fueron elementos decisivos en la identificación de áreas críticas y en la optimización de los recursos y actividades para establecimiento del plan de restauración. Estos aspectos muchas veces resultan ser las principales limitantes para proyectos a gran escala o con enfoque territorial. Por esa razón, se sugiere que estos modelos de análisis geográfico sean utilizados como ejemplos de herramientas de soporte fundamental en el proceso de toma de decisión de cualquier programa de restauración forestal/agroforestal a escala de paisaje, sobre todo en los países en vías de desarrollo.

Algunos aspectos – preguntas abiertas de esta investigación – sugeridos para considerarse en futuros estudios y en el diseño e implementación del plan de restauración del paisaje forestal en la región son: a) la identificación de áreas específicas (fincas, parches de bosques, tierras degradadas, etc.) para la implementación del plan, b) la definición de costos y modelos (especies, arreglos espaciales, tratamientos silviculturales) de restauración, c) la identificación de actividades productivas (no agrícolas o forestales) para promover el desarrollo económico local, d) los ajustes en la legislación, estructura y procesos de gobernanza y e) la creación o adaptación de fuentes o mecanismos de incentivo financiero.

## Referencias bibliográficas

- ANDINO J., CAMPOS J. J., VILLALOBOS R., PRINS C., FAUSTINO J., 2006. Manejo de recursos naturales a partir de servicios ambientales prioritarios en la cuenca del lago de Yojoa, Honduras. *Recursos Naturales y Ambiente/n*, 48: 47-56.
- BENNET A. F., 2004. Enlazando el paisaje: el papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. San José, C.R.: IUCN, 2004, 1 278 p.
- CAMPOS J. J., VILLALOBOS R., LOUMAN B., 2005. Poor farmers and fragmented landscapes in Central America. *In*: SAYER J., MAGINNIS S., *Ecosystem Approaches to Sustainability*. WWF International Forests for Life Programme, IUCN Forest Conservation Programme, Earthscan, Cap. 9: 129-146.
- CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY (CBD), 2000. Decision VII/11: Ecosystem Approach. CBD. En línea, disponible en [www.cbd.int](http://www.cbd.int)
- CÉSPEDES AGÜERO M. V., 2006. Diseño de una red ecológica de conservación entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas del Área de Conservación Osa, Costa Rica. 121 p.
- DE CAMINO R., MCAFFEE B. J., BURTON P. J., EDDY, B., FÄHSER, L., MESSIER, C., REED M. G., SPIES T., VIDES R., BAKER C., BARRIGA M., CAMPOS J., CORRALES O., ESPINOZA L., GIBSON S., GLATTHORN J., MARTINEAU-DELSISLE C., PRINS C., ROSE N. A., 2010. Managing Forested Landscapes for Socio-Ecological Resilience. *In*: G. MERY, P. KATILA, G. GALLOWAY, R. I. ALFARO, M. KANNINEN, M. LOBOVIKOV AND J. VARJO (Eds), *Forests and Society – Responding to Global Drivers of Change*, IUFRO World Series Volume 25. International Union of Forest Research Organizations (IUFRO), Vantaa, Finland, Chapter 22: 399-440. En línea, disponible en [www.infoandina.org](http://www.infoandina.org)
- DE GROOT R., 2005. Function-analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable, multi-functional landscapes. *Landscape and Urban Planning* 75. Wageningen, Nederland. En línea, disponible en <http://lim050.upc.es>
- DE JONG W., 2005. La dinámica del paisaje forestal. *In*: IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, CH), OIMT (Organización Internacional de Maderas Tropicales, JP). *Restaurando el paisaje forestal: Introducción al arte y ciencia de la restauración de paisajes forestales*. Serie Técnica OIMT no. 23. En línea.
- DI GESSA S., 2008. Participatory Mapping as a tool for empowerment: Experiences and lessons learned from the ILC network. Rome, Italia, ILC (International Land Coalition). *Knowledge for Change*, Series no. 5. En línea, disponible en [www.landcoalition.org](http://www.landcoalition.org)
- EVANS K., DE JONG W., CRONKLETON P., SHEIL D., LYNAM T., KUSUMANTO T., COLFER C. J. P., 2006. *Guide to Participatory Tools for Forest Communities*. Bogor, Indonesia, CIFOR, 37 p. En línea, disponible en [www.cifor.cgiar.org](http://www.cifor.cgiar.org)
- FAUSTINO J., JIMÉNEZ F., KAMMERBAUER H., 2007. La cogestión de cuencas hidrográficas en América Central: planteamiento conceptual y experiencias de implementación. *In*: *Innovación, Aprendizaje y Comunicación para la Cogestión Adaptativa de Cuencas*, ASDI y CATIE, 25 p.
- FLORA C. B., EMERY M., FEY S., BREGENDAHL C., 2005. *Community Capitals: A Tool for Evaluating Strategic Interventions and Projects*. Iowa, US, North Central Regional Center for Rural Development. En línea, disponible en [www.ncrcrd.iastate.edu](http://www.ncrcrd.iastate.edu)
- GEOTECNOLÓGICA, 2009. *Estrategia para el manejo del paisaje forestal: microcuencas Coatancito, Esquichá, Sibinal y Las Barrancas*. GT, Geotecnológica y IUCN. 50 p.

- GILMOUR D., 2005. El Mosaico del paisaje. *In*: UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, CH), OIMT (Organización Internacional de Maderas Tropicales, JP). Restaurando el paisaje forestal: Introducción al arte y ciencia de la restauración de paisajes forestales. Serie Técnica OIMT, no. 23. En línea.
- GODÍNEZ S. M., 2000. Manejo Forestal Participativo en bosques comunales de pino. Heredia, Costa Rica, Revista Forestal Centroamericana, CATIE, no. 29:30-33.
- IMBACH A., 2008. Curso - Diseño y evaluación de proyectos: plataforma de planificación de proyectos. Diapositivas, CATIE, Costa Rica.
- IMBACH P., 2005. Priority areas for payment for environmental services (PES) in Costa Rica. Tesis, CATIE, Costa Rica, 106 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES (INAB), 2005. Identificación y Priorización de Corredores Forestales en Guatemala. - Estudio Piloto en la Región Nororiental: Las Verapaces, Izabal, Zacapa y El Progreso. GT, INAB. 95 p. En línea, disponible en [www.infoiarna.org.gt](http://www.infoiarna.org.gt)
- INTERNATIONAL FUND FOR AGRICULTURAL DEVELOPMENT (IFAD), 2007. Sustainable Livelihoods Approach. En línea, disponible en [www.ifad.org](http://www.ifad.org)
- LAMB, D., 2005. Desarrollo de modelos para optimizar los resultados. *In* UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, CH), OIMT (Organización Internacional de Maderas Tropicales, JP). Restaurando el paisaje forestal: Introducción al arte y ciencia de la restauración de paisajes forestales. Serie Técnica OIMT, no. 23. En línea.
- MAGA, 2002. Método utilizado para la elaboración del "Mapa de amenaza por deslizamientos". GT, MAGA, p. 1-15
- INSIVUMEH, 2002. Estimación de Amenazas Inducidas por Fenómenos Hidrometeorológicos en la República de Guatemala. GT, MAGA e INSIVUMEH, 25 p.
- MAGINNIS S., JACKSON W., 2005. ¿En qué consiste la RPF y cómo se diferencia de los métodos actuales? *In*: UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, CH), OIMT (Organización Internacional de Maderas Tropicales, JP). Restaurando el paisaje forestal: Introducción al arte y ciencia de la restauración de paisajes forestales. Serie Técnica OIMT no. 23. En línea, disponible en [www.itto.or.jp](http://www.itto.or.jp)
- MALCZEWSKI J., 1999. GIS and Multicriteria Decision Analysis. New York, US, John Wiley and Sons, p. 81-254.
- MANSOURIAN S., VALLAURI D., DUDLEY N., eds (in cooperation with WWF International), 2005. Forest Restoration in Landscapes: Beyond Planting Trees. Springer, New York, 427 p.
- MCGARIGAL K., MARKS B. J., 1994. Fragstats Metrics. Massachusetts, US, University of Massachusetts. En línea, disponible en [www.umass.edu](http://www.umass.edu)
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN (MAGA, GT), 2006. Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala-Año2003. GT, MAGA. 214 p. En línea, disponible en [www.sigmaga.com.gt](http://www.sigmaga.com.gt)
- MUNICIPALIDAD DE TACANÁ, 2008. Caracterización del Municipio de Tacaná. GT, Municipalidad De Tacaná, 86 p.
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD), 2005. Human Development Reports. New York, US, PNUD. En línea, disponible en <http://hdrstats.undp.org>
- PULLAR D., LAMB D., 2007. Scenario Analysis with Performance Indicators: a Case Study for Forest Linkage Restoration. Queensland, AU, University of Queensland, 16 p.
- ROSITO MONZÓN J. C. (Ed.), 2003. Consideraciones Técnicas y Propuesta de Normas de Manejo Forestal para la Conservación de Suelo y Agua. GT, INAB. 34 p. En línea, disponible en <http://portal.inab.gob.gt>
- SAYER J. A., CHOKKALINGAM U., POULSEN J., 2004. The restoration of forest biodiversity and ecological values. Forest Ecology and Management, 201: 3-11.
- SAYER J. A., KAPOS V, MANSOURIAN S, MAGINNIS S., 2003. Forest Landscape Restoration: the role of forest restoration in achieving multifunctional landscapes. En línea, disponible en [www.fao.org](http://www.fao.org)
- SHEPHERD G., 2004. The Ecosystem Approach: Five Steps to Implementation. IUCN, Gland, Switzerland and UK Cambridge, Vi. 30 p.
- SISTEMA DE LAS NACIONES UNIDAS (SNU), 2001. El Financiamiento del Desarrollo Humano: SISTEMA DE LAS NACIONES UNIDAS Cuarto informe 2001. Ciudad de Guatemala, GT, Sistema de las Naciones Unidas en Guatemala. 394 p.
- UICN (UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA), 2008. Diagnósticos de los medios de vida de las microcuencas de los ríos Tojgüech, Tojcheche y Chemealón. GT, UICN.
- UICN, 2006. Proyecto Tacaná Guatemala Fase II: Producción de agua en armonía con la Cultura y la Naturaleza en las cuencas de los ríos Suchiate y Coatán, San Marcos, Guatemala. 45 p.
- UICN, 2003. Proyecto Manejo Integrado de las Cuencas Asociadas al Volcán Tacaná (Guatemala y México). 90 p.
- UMAÑA M. J., 2004. Agua como fuente de seguridad alimentaria. Tercera Conferencia de la 'Inter-American Scientific-Conference. Series Henry A. Wallace'. Turrialba, CR, CATIE.
- VELUK F. G., 2010. Restauración del paisaje forestal y planificación participativa como herramientas para la transformación del territorio y medios de vida en el altiplano del departamento de San Marcos, Guatemala. Tesis, CATIE, Costa Rica, 164 p. En línea, disponible en <http://orton.catie.ac.cr>