

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE USO DEL SUELO EN EL
CORREDOR BIOLÓGICO INTERURBANO RÍO TORRES,
SAN JOSÉ, COSTA RICA**

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL CON EL
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA

OSVALDO GUILLERMO NAVARRO CECILIANO

CARTAGO, COSTA RICA, 2019



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE USO DEL SUELO EN EL
CORREDOR BIOLÓGICO INTERURBANO RÍO TORRES, SAN
JOSÉ, COSTA RICA**

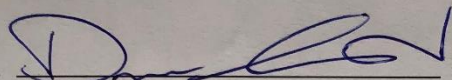
TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL CON EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIATURA

OSVALDO GUILLERMO NAVARRO CECILIANO

CARTAGO, COSTA RICA, 2019

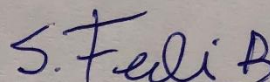
CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Trabajo final de graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por M.Sc. Dorian Carvajal Vanegas, M.Sc. Sergio Feoli Borashi, y M.Sc. Vladimir Jiménez Salazar, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Forestal, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



Dorian Carvajal Vanegas, M.Sc.

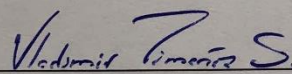
Director de tesis



Sergio Feoli Borashi, M.Sc.

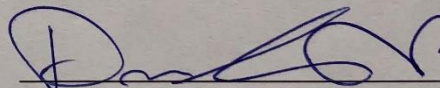
Departamento de Gestión Ambiental

Compañía Nacional de Fuerza y Luz



Vladimir Jiménez Salazar, M.Sc.

Profesor Lector



Dorian Carvajal Vanegas, M.Sc.

Coordinador de Trabajos Finales de

Graduación



Osvaldo Navarro Ceciliano

Estudiante

Agradecimientos

A Dios, porque me permitió concluir esta etapa con éxito.

A mi familia, por apoyarme siempre.

A mi profesor tutor, por todo el apoyo brindado en este proceso.

A mis amigos que de una u otra forma me ayudaron para lograr realizar este proyecto.

A la Compañía Nacional de Fuerza y Luz por el apoyo brindado durante este trabajo.

Estudio de la capacidad de uso del suelo en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, San José, Costa Rica

Study of land-use capacity in the Biological Corridor Inter Urban Río Torres, San Jose, Costa Rica

Oswaldo Navarro-Ceciliano¹

Resumen

Para determinar el uso óptimo del suelo en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres fue necesario definir inicialmente el uso actual, como resultado se obtuvo que gran parte del corredor pertenece a la clase zonas urbanizadas (53,62%), seguido en menor representación por las clases cobertura vegetal (25,7%) y ganadería y pastos (19,91%). Además, por medio de las variables físicas del suelo (profundidad efectiva, pendiente del terreno y pedregosidad) se calculó la capacidad de uso, este proceso demostró que el corredor se encuentra polarizado principalmente entre dos categorías de máxima y mínima intensidad de uso posible, las cuales son agricultura sin limitaciones y tierras forestales para protección. Seguidamente, se identificaron las zonas que poseen uso inadecuado, representando un 68,35% del área total del corredor, para las cuales se definieron actividades y prácticas forestales con el fin de disminuir la degradación del suelo. Por último, se evaluó la fragmentación de la cobertura vegetal, donde se obtuvo que existe un alto nivel de segmentación, por lo que se recomendaron estrategias para restablecer la conexión entre las áreas verdes aisladas.

Palabras clave: uso actual, intensidad de uso, degradación del suelo, fragmentación.

1. Escuela de Ingeniería Forestal, Tecnológico de Costa Rica, (Trabajo de graduación para optar por el título de Ingeniero Forestal con el grado académico de Licenciatura); Cartago, Costa Rica; ognc110@gmail.com

Abstract

In order to determine the optimal land use in the Río Torres Interurban Biological Corridor, it was necessary to initially define the current use, as a result it was obtained that a large part of the corridor belongs to the class urbanized areas (53.62%), followed in less representation by the classes vegetation cover (25.7%) and livestock and pastures (19.91%). In addition, through the physical soil variables (effective depth, slope of the terrain and stony) the capacity of use was calculated, this process showed that the corridor is polarized mainly between two categories of maximum and minimum possible intensity of use, the which are unrestricted agriculture and forest land for protection. Finally, the fragmentation of the vegetation cover was evaluated, where a high level of segmentation was obtained, so strategies were recommended to restore the connection between isolated green areas.

Key words: current use, intensity of use, soil degradation, fragmentation.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Índice general

Resumen	ii
Abstract	iii
Índice general	iv
Índice de figuras	vi
Índice de cuadros	vii
Introducción	1
Materiales y métodos	2
Descripción del área de estudio	2
Uso actual del suelo	3
Selección de la imagen satelital	3
Toma de datos	3
Clasificación supervisada.....	4
Validación de la clasificación.....	4
Capacidad de uso del suelo	5
Identificación de zonas con uso inadecuado del suelo	8
Fragmentación de la cobertura vegetal	8
Resultados y discusión	8

Uso actual del suelo	8
Clasificación del uso actual	8
Validación de la clasificación.....	9
Capacidad de uso del suelo	11
Zonas de uso correcto e incorrecto del suelo	13
Recomendaciones generales para las prácticas	17
Fragmentación de la cobertura vegetal	17
Conclusiones	19
Recomendaciones	20
Referencias	21

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio, Corredor Biológico Interurbano Río Torres.....	3
Figura 2. Uso actual del suelo en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, San José, Costa Rica.....	9
Figura 3. Capacidad de uso del suelo en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, San José, Costa Rica.....	11
Figura 4. Capacidad de uso del suelo considerando zonas de protección en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, San José, Costa Rica.....	12
Figura 5. Determinación de las zonas que presentan un uso inadecuado del suelo en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, San José, Costa Rica.	13
Figura 6. Uso actual incorrecto del suelo por categoría de uso en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, San José, Costa Rica.....	14
Figura 7. Grado de fragmentación de la cobertura vegetal en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, San José, Costa Rica.....	17

Índice de cuadros

Cuadro 1. Categorías de capacidad de uso según la metodología de Gómez [16].....	6
Cuadro 2. Matriz de capacidad de acogida del suelo según la metodología de Gómez [16].	6
Cuadro 3. Modificaciones a las categorías de capacidad de uso en función de la pedregosidad según la metodología de Gómez [16].	7
Cuadro 4. Matriz de confusión entre la información de la imagen satelital Lansat 8 y los resultados de la clasificación de uso del suelo del CBIRT, San José, Costa Rica.	10
Cuadro 5. Exactitud de los resultados de la clasificación de uso del suelo del CBIRT, San José, Costa Rica.	10

Introducción

Actualmente muchas plantas hidroeléctricas del país están siendo afectadas por la gran acumulación de sedimentos y residuos en sus embalses, representando un grave problema, debido a que afecta la producción de energía [1]. La Planta Hidroeléctrica Belén (PHB) fue instalada en 1914 sobre el río Virilla, con una potencia de 2 500 kW, esta se encuentra aún en funcionamiento y es administrada por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) [2], institución que se ha visto obligada a detener la producción de esta y otras plantas en repetidas ocasiones, con el fin de extraer una gran cantidad de sedimentos que se han acumulado, lo cual provoca pérdidas económicas y además reduce la vida útil de los proyectos [3].

Una alternativa para controlar esta situación es el manejo adecuado de las microcuencas que alimentan a las represas, como es el caso de la microcuenca del Río Torres que abastece el embalse de la PHB, por tal motivo la CNFL ha decidido llevar a cabo la instauración de un corredor biológico interurbano (CBI) que abarca una gran proporción de esta microcuenca [4], con el fin de implementar prácticas adecuadas de uso del suelo para disminuir la erosión [5] y cumplir la función de ser la base para el manejo sostenible de los recursos naturales [4].

La nueva modalidad de CBI hace referencia a un área urbana delimitada que permite la conectividad entre paisajes, ecosistemas y hábitats que han sido modificados, los cuales conectan principalmente microcuencas y zonas verdes (parques, calles y avenidas arborizadas, isletas, bosque a orilla de ríos, entre otros), con el objetivo de contribuir en la conservación de la flora y fauna [6], [7].

La última fase para concretar el CBI es la determinación de la capacidad de uso del suelo con el fin de definir el empleo adecuado del mismo, así como establecer diferentes estrategias de conservación para mejorar la calidad del agua que llega al embalse y disminuir la cantidad de residuos sólidos. Además, estas estrategias buscan aportar una mejora en la protección de la biodiversidad existente y elevar la calidad de vida de los habitantes de la zona [8]. Otro beneficio que se ha demostrado a través de varios estudios

es que los habitantes dentro de un área protegida toman mayor conciencia en conservar los recursos naturales y tienden a disminuir la contaminación [9].

El objetivo de este estudio es determinar el uso óptimo del suelo en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres (CBIRT) para recomendar actividades relacionadas al sector forestal que permitan disminuir la cantidad de sedimentos que llegan a las represas. De esta manera, se podrán definir las prácticas más adecuadas para una mejor protección y conservación en las zonas en condiciones de uso inadecuado y con alto riesgo de degradación, así como recomendar estrategias óptimas de conectividad entre las áreas verdes aisladas.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El CBIRT se encuentra dentro de la subcuenca del Río Virilla, posee una longitud de 26 km y un ancho de 300 metros a ambos lados del Río Torres, el área total del corredor es de 4 309 hectáreas. Este estudio abarcó parte de los cantones de Goicoechea, Montes de Oca, San José y Tibás [5]

La cobertura predominante en el corredor es la urbana, la misma presenta un crecimiento poco planificado, otras coberturas presentes son: bosque, agricultura y pastos. La elevación promedio es de 1 100 metros sobre el nivel del mar y la densidad promedio poblacional es de 5 112 habitantes por km² [10]. En la figura 1 se muestra la extensión y ubicación del CBIRT.



Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio, Corredor Biológico Interurbano Río Torres.

Uso actual del suelo

Selección de la imagen satelital

Se seleccionó una imagen satelital Landsat 8 de la página web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), la cual posee una resolución espacial de 30 metros [11], esta fue captada en febrero del año 2019, además se encontraba georreferenciada y ortorectificada [12]. Por último, se aplicó la corrección atmosférica y el preprocesamiento a la imagen por medio de programas de sistemas de información geográfica (SIG).

Toma de datos

Durante los meses de agosto y septiembre del año 2019 se procedió a visitar los sitios considerados por los expertos (ingenieros forestales de la Municipalidad de San José y Compañía Nacional de Fuerza y Luz) como claves para evaluar el uso del suelo, se tomaron puntos GPS de referencia en cada uno y se anotó el uso del suelo a diferentes distancias (50, 100 y 150 m). Se utilizó el documento Sistema de clasificación del uso y la cobertura de la tierra para Costa Rica [13] como referencia para definir las clases de uso del suelo.

A cada punto se le estableció las coordenadas “x” y “y”, luego se calcularon las coordenadas reales de las diferentes distancias, mediante las fórmulas 1 y 2 [14], en total se generaron 108 puntos.

$$X_R = X_C + \text{sen}(A) * D \quad (1)$$

$$Y_R = Y_C + \text{cos}(A) * D \quad (2)$$

Donde:

Xr / Yr: coordenadas reales.

Xc / Yc: coordenadas registradas (GPS).

A: dirección o azimut en radianes.

D: distancias de 50, 100 o 150.

Clasificación supervisada

A través de programas de SIG se realizó la clasificación supervisada de la imagen satelital utilizando como referencia los puntos generados.

Validación de la clasificación

La exactitud del resultado de la clasificación se validó mediante datos numéricos y estadísticos, por lo cual se establecieron 32 puntos de manera aleatoria en el área de estudio, a estos se les asignó el tipo de uso según lo observado en imágenes satelitales de alta resolución, como Google Earth. Luego se elaboró una matriz de confusión para comparar el uso registrado en la imagen satelital con respecto al uso definido por la clasificación.

Por medio de lo anterior se calculó el porcentaje de exactitud global de la clasificación, como lo proponen Boca y Rodríguez [15], además, se determinó la exactitud del clasificador y la exactitud del usuario. Asimismo, se realizó un análisis de probabilidad mediante el estadístico Kappa a través de la fórmula 3.

$$K_{\text{hat}} = \frac{N * \sum_{i=r}^r X_{ii} - \sum_{i=r}^r (X_{i+} * X_{+i})}{N^2 - \sum (X_{i+} * X_{+i})} \quad (3)$$

Donde:

r: número de filas en la matriz.

X_{ii} : suma de observaciones en la fila i, y columna i (los valores en la diagonal).

X_{i+} : total de observaciones en la fila i (el total en la fila i a la derecha de la matriz).

X_{+i} : total de observaciones en la columna i (total en la columna i debajo de la matriz).

N: número total de observaciones o puntos de control usados en la validación.

Para determinar si el uso del suelo en el CBIRT ha sufrido cambios durante los últimos años, se comparó el resultado generado con respecto a lo establecido por Sánchez et al [3] para el año 2016.

Capacidad de uso del suelo

La metodología utilizada para determinar la capacidad de uso del suelo fue establecida por Gómez [16], la cual define como factores determinantes la profundidad efectiva del suelo y la pendiente del terreno. Adicionalmente se consideran la pedregosidad (superficial e interna) y el drenaje superficial como factores que en forma temporal o permanente pueden modificar la capacidad de uso.

Esta metodología menciona que las zonas urbanizadas deben ser excluidas del estudio la capacidad de uso del suelo, sin embargo, más del 50% del CBIRT está conformado por estas, por lo que se consideró de suma importancia tomarlas en cuenta, debido a que permitiría identificarlas como zonas de uso inadecuado.

Se establecen varias categorías de capacidad de uso, estas se muestran en el cuadro 1, con un ordenamiento de mayor a menor intensidad de uso posible.

Cuadro 1. Categorías de capacidad de uso según la metodología de Gómez [16].

Categorías	
Más permisivas →	Agricultura sin limitaciones (A)
	Agricultura con mejoras (Am)
	Agroforestería con cultivos anuales (Aa)
	Sistemas silvopastoriles (Ss)
	Agroforestería con cultivos permanentes (Ap)
	Tierras forestales para producción (F)
	Tierras forestales de protección (Fp)
	→ Menos permisivas

La CNFL facilitó la información de las variables profundidad efectiva del suelo y pedregosidad, adicionalmente, la variable pendiente se estimó mediante un modelo de elevación digital. La variable drenaje superficial no fue considerada, ya que, a diferencia de las demás, no se contaba con los datos correspondientes, también, se consideró que la misma no influye en la limitación de la capacidad de uso por las características de relieve que posee el área de estudio [17] y aún más importante, la recolección de estos datos representaba una alta inversión en tiempo y recursos económicos no disponibles.

Al obtener las variables se procedió a trabajar con las matrices de decisión y asignación de categorías de uso. En el cuadro 2 se muestra la matriz que combina los factores profundidad del suelo y pendiente, lo que permitió la asignación del área de estudio entre diferentes categorías, cuando se consideró más de una categoría posible, se dio prioridad a la de menor intensidad de uso.

Cuadro 2. Matriz de capacidad de acogida del suelo según metodología de Gómez [16].

Profundidad del suelo (cm)	Pendientes (%)				
	0 - 12	12 - 25	25 - 50	50 - 70	>70
>90	A	Am/Aa	Ap/F	F/Fp	Fp
50 - 90	A	Am/Aa	Ap/F	F/Fp	Fp
20 - 50	Am/Aa	Aa/Ss	Ap/F	F/Fp	Fp
<20	Am/Aa	Ss	Fp	Fp	Fp

En el cuadro 3 se muestra la modificación de la capacidad de uso según el nivel en que se presenta el factor modificador de pedregosidad, en este se excluyó el factor limitante de drenaje por las razones explicadas anteriormente.

Cuadro 3. Modificaciones a las categorías de capacidad de uso en función de la pedregosidad según la metodología de Gómez [16].

Categoría sin modificar	Pedregosidad	Categoría modificada
A	No limitante	A
	Limitante	Ss
Am	No limitante	Am
	Limitante	Ss
Aa	No limitante	Aa
	Limitante	Ss
Ss	Limitante	F/Fp
Ap	No limitante	Ap
	Limitante	F/Fp
F	No limitante	F
	Limitante	Fp
<p>CASOS ESPECIALES: La categoría Ss por definición ya presenta limitaciones de pedregosidad y/o de drenaje, por lo que su grado de manifestación determina que permanezca como Ss o bien se modifique hacia F o Fp.</p>		

Para obtener la capacidad de uso del suelo real, Gómez [16] menciona la importancia de contemplar las zonas de protección dentro del área de estudio, las cuales se incluyeron en el resultado final dentro de la categoría de tierras forestales de protección, estas zonas corresponden a áreas de recarga facilitadas por el SENARA y áreas de protección aledañas a los cuerpos de agua (ríos, embalses y nacientes) establecidas según lo estipulado por la Ley Forestal 7575 [18].

Identificación de zonas con uso inadecuado del suelo

Se definieron las áreas que se encuentran actualmente en mal uso mediante los mapas obtenidos en los procesos anteriores, además se identificaron las zonas con uso inadecuado por categoría (zonas urbanizadas, agricultura, ganadería y pastos) esto se elaboró mediante programas de SIG. Posteriormente, se establecieron recomendaciones de prácticas de conservación, para las áreas que presentaban problemas, esto se definió con base a lo establecido en la Metodología Determinación Capacidad Uso Tierras Costa Rica [19], en el anexo 3.

Fragmentación de la cobertura vegetal

La fragmentación de la cobertura vegetal fue obtenida mediante el programa de SIG, Guidos Toolbox, con lo cual se identificaron las zonas donde es prioritario y recomendable establecer conectividad.

Resultados y discusión

Uso actual del suelo

Clasificación del uso actual

A partir de la clasificación supervisada se identificaron 5 clases de uso del suelo, como se muestran en la figura 3. Las zonas urbanizadas ocuparon el mayor porcentaje de uso con un 53,62%, seguidas por la cobertura arbórea con un 25,7%, donde se incluyen bosques secundarios, áreas verdes en zonas urbanas y plantaciones forestales; la clase de ganadería y pastos ocupa el 19,91% del corredor, en esta última incluye pastos arbolados, pastos limpios y charrales; por otra parte, en menor proporción se encuentran las clases agricultura y zonas húmedas con 0,75% y 0,02% respectivamente.

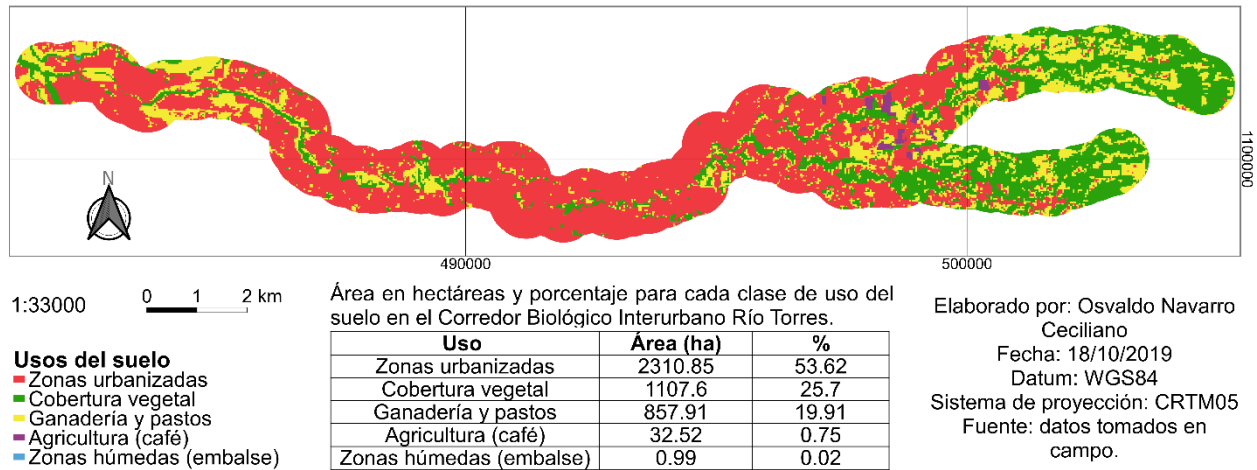


Figura 2. Uso actual del suelo en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, San José, Costa Rica.

La clase zonas urbanizadas se concentra principalmente en la parte media y baja del área de estudio; en lo que respecta al bosque, la mayor presencia de este se encuentra en la parte alta del corredor e igual sucede con los pastos dedicados a la ganadería; por su parte, la actividad agrícola, representada por cultivos de café, solo se concentra en un área, esto coincide con lo mencionado por Trujillo-Acosta et al [5].

Al comparar los resultados obtenidos con respecto a lo definido por Sánchez et al [3] para el año 2016, se observa que la cobertura vegetal ha disminuido al menos un 3%, esto se debe principalmente a que existe presión sobre los bosques en las zonas altas del corredor, ya que se busca expandir los territorios dedicados a la ganadería y pastos, evidenciado por un aumento de 4% para esta clase. Es importante destacar que la clase agricultura ha presentado una reducción bastante considerable, pasando de 4,28% a 0,75%, el principal motivo de esta situación es la caída del precio del café en el mercado internacional, provocando que la actividad sea poco rentable [20] y, por lo tanto, en la actualidad estas zonas son sustituidas por uso urbano.

Validación de la clasificación

A través de una matriz de confusión se validó la clasificación (cuadro 4), en las filas se colocaron los datos clasificados y en las columnas los datos tomados de la imagen satelital, la diagonal gris muestra la cantidad de puntos que fueron correctamente

clasificados por clase, a partir de esta se permitió demostrar el grado de exactitud obtenido de la clasificación, (cuadro 5), donde la exactitud global obtenida fue de 93,75%, además, el valor del estadístico Kappa (K_{hat}) obtenido es de 0,9125.

Cuadro 4. Matriz de confusión entre la información de la imagen satelital Lansat 8 y los resultados de la clasificación de uso del suelo del CBIRT, San José, Costa Rica.

		Información de imagen satelital					Total
		Clase	1000	2000	3000	4000	
Información de la clasificación	1000	11					11
	2000		2				2
	3000			7			7
	4000				1		1
	5000	1		1		9	11
	Total	12	2	8	1	9	32

Cuadro 5. Exactitud de los resultados de la clasificación de uso del suelo del CBIRT, San José, Costa Rica.

Exactitud	Clase				
	1000	2000	3000	4000	5000
Del productor	91,7	100	87,5	100	100
Del usuario	100	100	100	100	81,81
General	93,75				

La exactitud del productor o clasificador para las clases de agricultura (2000), zonas húmedas (4000) y zonas urbanizadas (5000) presentó una precisión de 100%, ya que todas las unidades muestreadas fueron correctamente clasificadas con respecto a los datos de referencia. Por otra parte, para la clase de cobertura vegetal (1000) se obtuvo una exactitud de 91,7% y con una menor precisión la clase de ganadería y pastos (87,5%), lo cual indica que solo un bajo porcentaje de las unidades muestreadas no concuerdan con los datos de referencia [21].

Con respecto a la exactitud del usuario la clase de zonas urbanizadas (5000) presentó una precisión con un valor de 81,8%, lo que significa que esta fue asignada de manera incorrecta en otros usos, además es importante destacar que las restantes clases obtuvieron un 100% de precisión.

La exactitud general o global es de 93,75%, esto quiere decir que la clasificación coincide en ese porcentaje con respecto a la realidad del uso actual del suelo en el corredor. Por otra parte, según el estadístico Kappa, la clasificación fue mejor en 91,25% que la realizada por el simple azar, siendo esta última similar a una clasificación visual en campo [22].

Capacidad de uso del suelo

El resultado de la capacidad de uso del suelo en el CBIRT se presenta en la figura 4, la categoría con mayor representación corresponde a la agricultura sin limitaciones (79,75%), seguido de agricultura con mejoras (15,04%), el porcentaje restante se distribuye entre las categorías tierras forestales para producción (3,06%), sistemas pastoriles (1,87%), tierras forestales de protección (0,1%), agroforestería con cultivos permanentes (0,16%) y anuales (0,02%).

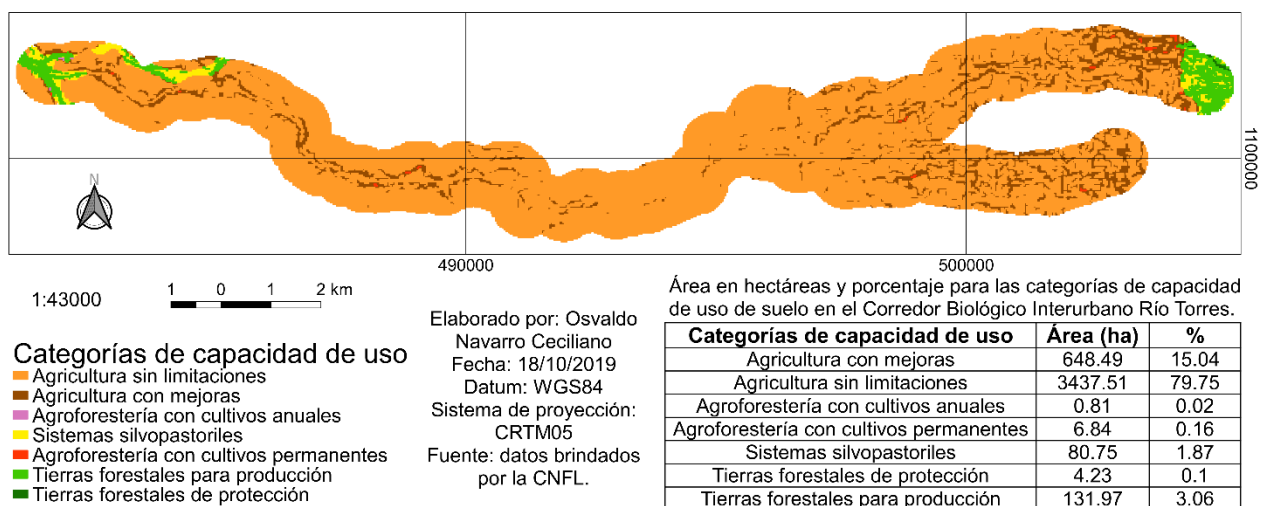


Figura 3. Capacidad de uso del suelo en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, San José, Costa Rica.

Según los resultados obtenidos de capacidad de uso, gran parte del corredor pertenece a la categoría agricultura sin limitaciones, lo cual indica que son sitios con aptitud para cultivos agrícolas (monocultivo o asociados), sin limitaciones por variables físicas y que demandan nulas o pocas prácticas de conservación de suelos [16].

Otra categoría con un grado significativo de representación es agricultura con mejoras, los sitios que pertenecen a esta presentan limitaciones de uso moderadas respecto a las variables físicas, entonces para poder implementar actividades relacionadas a la agricultura es necesario aplicar prácticas de manejo y conservación de suelos [16]. Así mismo, solo un bajo porcentaje del corredor está representado por las tierras forestales de protección, lo cual indica que el área con limitaciones severas de uso del suelo es muy reducida.

Sin embargo, el resultado anterior no consideró las zonas de protección definidas por la legislación del país, al incluirlas se obtuvieron cambios en los porcentajes de las categorías de capacidad de uso del suelo como se muestra en la figura 5, en este se puede observar que el cambio más representativo fue en el valor de las tierras forestales de protección pasando de 0,1% a 54,2 %, seguido por agricultura sin limitaciones que se redujo a 41,44%; las demás categorías presentan valores que oscilan entre 0,02 y 3,27 por ciento.

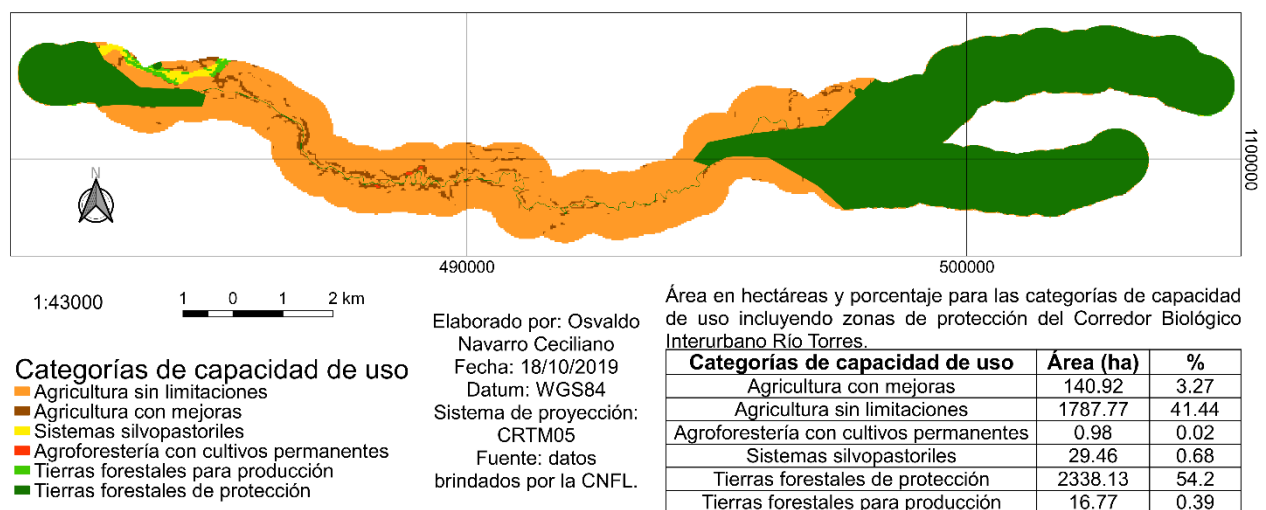


Figura 4. Capacidad de uso del suelo considerando zonas de protección en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, San José, Costa Rica.

El aumento en el porcentaje correspondiente a la categoría tierras forestales de protección refleja la importancia de tomar en cuenta las zonas de protección definidas por ley, debido a que estas son apropiadas exclusivamente para actividades forestales de conservación; por otra parte, la categoría agricultura sin limitaciones sigue abarcando un gran porcentaje, estos valores indican que el corredor se encuentra principalmente categorizado en zonas con severas y reducidas limitaciones de uso

Zonas de uso correcto e incorrecto del suelo

Al determinar las zonas de uso correcto e incorrecto del suelo (figura 6), se obtuvo que 1 364,55 (31,65%) hectáreas del territorio comprendido por el corredor se encuentran en uso adecuado, mientras que 2 947,1 (68,35%) hectáreas se encuentran en uso inadecuado.

Además, en la figura 7 se identifican las categorías que se encuentran en uso actual incorrecto, las cuales fueron agricultura, zonas urbanizadas y ganadería y pastos, se muestra también las hectáreas y el porcentaje que representa cada uno con respecto al total del área de uso incorrecto

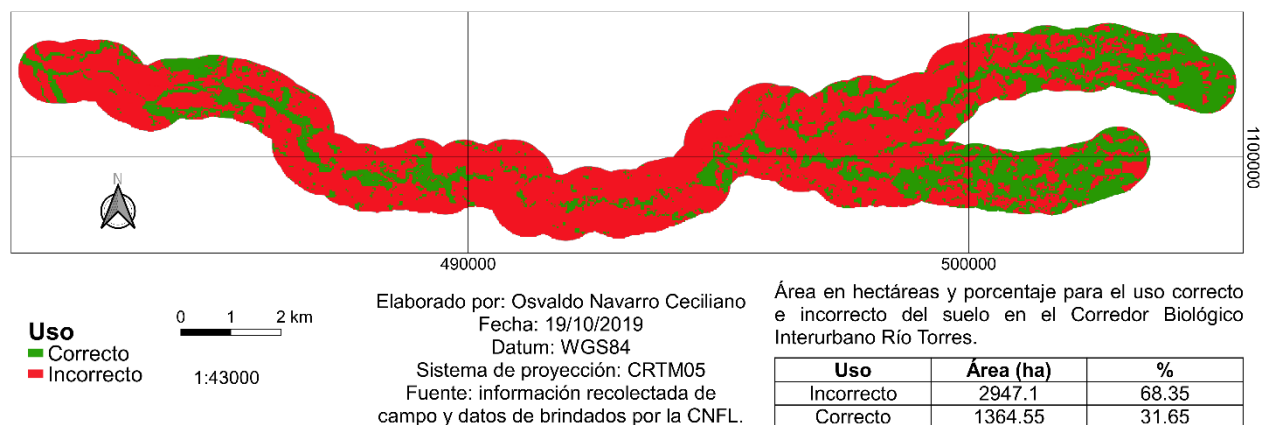


Figura 5. Determinación de las zonas que presentan un uso inadecuado del suelo en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, San José, Costa Rica.

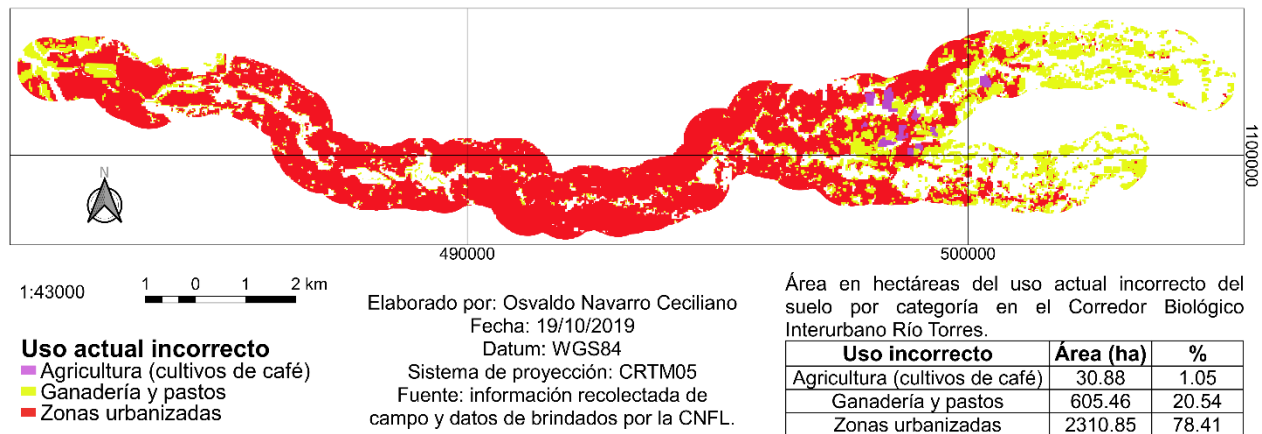


Figura 6. Uso actual incorrecto del suelo por categoría de uso en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, San José, Costa Rica.

Un alto porcentaje del área de estudio posee uso inadecuado por lo que es importante realizar actividades que mejoren su condición, tal como lo mencionan Felipó y Boixadera [23], con el fin de evitar daños que disminuyan las funciones y calidad del suelo.

La clase zonas urbanizadas posee la mayor área con uso incorrecto, sin embargo, esta es una actividad que no puede ser sustituida al ser parte de asentamientos humanos [16], por lo que se debe identificar dentro de esta las zonas factibles a ser recuperadas o protegidas, como parques, calles y avenidas, isletas, ribera de ríos, entre otros, con el objetivo de planificar de manera adecuada su gestión y tomando en cuenta las aptitudes que posean [23].

Por otra parte, en las áreas con uso inadecuado para las clases de agricultura y ganadería y pastos, se recomiendan establecer actividades de restauración y reforestación, esto debido a que las raíces de los árboles ofrecen estabilidad y apoyo mecánico para impedir desprendimientos de tierra en sitios con altas pendientes o disminuir la pérdida de suelo por la escorrentía del agua [24].

En el cuadro 6 se establecen las prácticas forestales más adecuadas por clase de uso para mejorar la protección del suelo en las zonas con uso incorrecto mencionadas.

Cuadro 6. Definición de prácticas forestales para mejorar el uso del suelo en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres.

Tipo de uso	Actividad propuesta	Procedimiento y recomendaciones	Especies recomendadas
Zonas urbanizadas	Plantar árboles en las aceras de calles y avenidas.	Se recomienda que los árboles al momento de plantarlos tengan una altura mínima de 1,5 m y 5 cm de diámetro en la base. El fuste debe verse recto y sin ramas, además, este debe estar libre de cualquier daño fitosanitario. Las especies seleccionadas no deben de crecer más de 10 m [17]	<i>Malpighia glabra</i> , <i>Ardisia</i> sp, <i>Posoqueria latifolia</i> , <i>Sanchezia parvibracteata</i> , <i>Eugenia uniflora</i> , <i>Roupala montana</i> , <i>Croton niveu</i> , <i>Plumeria rubra</i> , <i>Ligustrum lucidum</i> , <i>Callistemon</i> sp, <i>Bauhinia purpurea</i> .
	Reforestar parques urbanos y/o sustitución por especies idóneas.	Se recomienda que los árboles al momento de plantarlos tengan una altura mínima de 1,5 m y 5 cm de diámetro en la base. En estos casos se podrán seleccionar árboles de porte grande, con fustes gruesos y copas amplias o compactas, siempre que los individuos tengan suficiente espacio para desarrollarse sin peligro de afectar infraestructura. Será necesario escoger individuos de importancia ecológica con frutos y flores como atractivo para fauna silvestre [17].	<i>Malpighia glabra</i> , <i>Trichilia havanensis</i> , <i>Ardisia</i> sp, <i>Tabebuia ochracea</i> , <i>Tabebuia rosea</i> , <i>Posoqueria latifolia</i> , <i>Roupala montana</i> , <i>Diphysa americana</i> , <i>Genipa americana</i> , <i>Plumeria rubra</i> , <i>Psidium guajava</i> , <i>Ficus</i> sp, <i>Eriobotrya Japonica</i> , <i>Cojoba arbore</i> , <i>Mauria heterophyll</i> , <i>Jacaranda caucan</i> , <i>Dilodendron</i> sp.
	Restaurar las áreas degradadas de las riberas de ríos.	Seleccionar especies que se adecuen mejor al bosque ripario o de galería, además se debe considerar si los árboles estarán expuestos al tránsito de personas por lo que pueden sufrir daños, en estos casos es recomendable plantar árboles con una altura mínima de 1,5 m. El porte máximo sugerido para los individuos debe ser menor a 15 m y que sean árboles con buen atractivo (flores o frutos) [25].	<i>Luehea speciosa</i> , <i>Ochroma pyramidale</i> , <i>Stemmadenia donnell-smithii</i> , <i>Urera</i> sp, <i>Bursera simaruba</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Cecropia</i> sp, <i>Inga</i> sp, <i>Zygia longifolia</i> , <i>Clusia rosea</i> , <i>Ficus</i> sp, <i>Guazuma ulmifoli</i> , <i>Cassia grandis</i> , <i>Acnistus arborescens</i> .

Agricultura	Implementar sistema agro-forestal (SAF).	Se debe definir los objetivos del SAF, identificar las características del sitio y seleccionar especies con valor comercial, que se desarrollen adecuadamente en las condiciones de cada lugar, así mismo se deben planificar prácticas de manejo de los árboles seleccionados. En combinación con agricultura se recomienda establecer cortinas rompevientos, plantar árboles en asociación a los cultivos o establecer cercas vivas [26].	<i>Cordia alliodora</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Inga sp</i> , <i>Bursera simaruba</i> , <i>Tabebuia impetiginosa</i> , <i>Tabebuia ochracea</i> .
	Ganadería y pastos	Restaurar las áreas degradadas de las riberas de ríos.	El porte máximo sugerido para los individuos debe ser menor a 15 m. Lo ideal es que sean árboles con buen atractivo, tanto en flores o frutos (Subcomisión Heredia - CGICRG Tárcoles). Es importante considerar que los árboles se pueden encontrar expuestos a daños por el pastoreo del ganado, para estos casos es recomendable limitar el acceso a los animales en estas áreas [26].
Implementar sistema agro-forestal (SAF)		Se debe definir los objetivos del SAF, identificar las características del sitio y seleccionar especies con valor comercial, que se desarrollen adecuadamente en las condiciones de cada lugar, así mismo se deben planificar prácticas de manejo de los árboles seleccionados. En combinación con ganadería y pastos se recomienda establecer sistemas silvopastoriles, cortinas rompevientos. Es importante considerar que los árboles se pueden encontrar expuestos a daños por el pastoreo del ganado, para estos casos es recomendable limitar el acceso a los animales en estas áreas [26].	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> , <i>Cordia alliodora</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Ceiba pentandra</i> , <i>Magnolia poasana</i> , <i>Genipa americana</i> , <i>Carapa sp</i> , <i>Myroxylon balsamum</i> , <i>Quercus spp</i> .

Recomendaciones generales para las prácticas

Es importante que para el distanciamiento se consideren las características de las especies como el crecimiento en altura y el diámetro de la copa, por lo que este puede variar en cada caso. Por otra parte, es recomendable reforestar todas aquellas zonas que presenten altas pendientes, para esto se deben seleccionar especies de porte pequeño o mediano, ya que un árbol de porte grande constituirá mucho peso para este tipo de terreno, debido a que es altamente vulnerable a la erosión y al deslizamiento [17]. Las especies arbóreas recomendadas son *Bursera simaruba*, *Byrsonima crassifolia*, *Calliandra* sp, *Croton draco*, *Diphysa americana*, *Guazuma ulmifolia*, *Mauria heterophylla*, *Muntingia calabura*, *Psidium guajaba*, *Senna* sp. Para las actividades propuestas se recomienda realizar podas de formación, de mantenimiento y sanitarias durante los primeros 3 años [17].

Fragmentación de la cobertura vegetal

La figura 8 muestra el grado de fragmentación de la cobertura vegetal presente en el CBIRT, donde se obtuvieron cuatro niveles de segmentación, los mayores porcentajes corresponden a altamente fragmentado (46,61%) y fragmentación moderada (45,8%), por otra parte, en menor proporción se encuentran insularizado (4,17%) y sin fragmentación (3,42%).

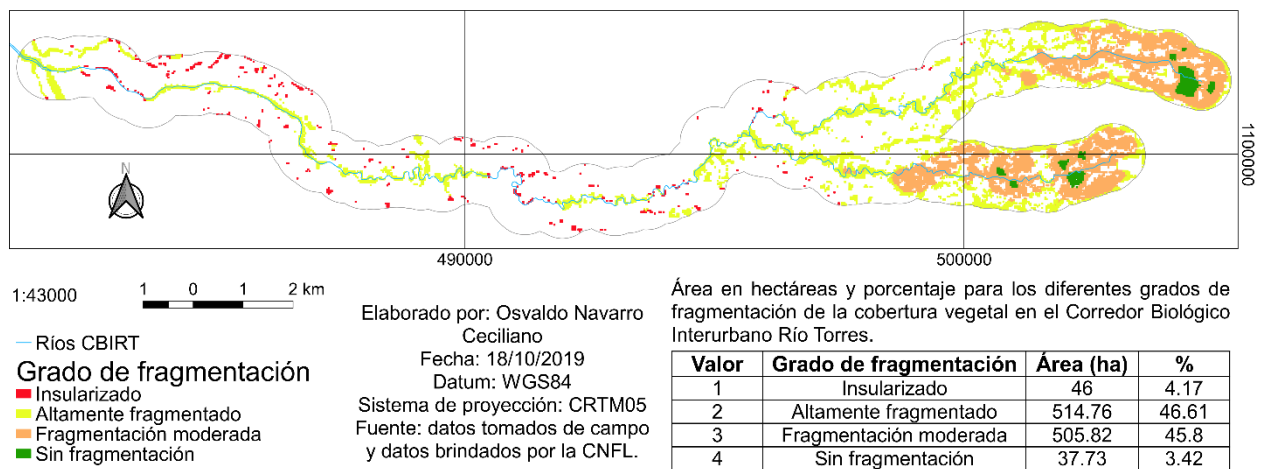


Figura 7. Grado de fragmentación de la cobertura vegetal en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, San José, Costa Rica.

El CBIRT ha sufrido una seria segmentación de la cobertura vegetal, esto se observa en las zonas media y baja del corredor, las cuales poseen un alto grado de fragmentación causado principalmente por la necesidad de establecer nuevos usos del suelo [27], lo que conlleva a cambios en la composición y estructura del bosque provocando afectación en la biodiversidad existente [28], [29], sin embargo, es importante destacar que la zona alta posee menor grado de fragmentación.

Para restablecer la conectividad de la cobertura vegetal se recomienda intervenir las áreas a orillas del río que presenten un grado de fragmentación insularizado, normalmente se consideraría que estas no son aptas para establecer conexión debido al nivel de aislamiento que poseen [30], pero en este caso se definen como áreas prioritarias al formar parte de la trama verde a lo largo del corredor, con el objetivo de permitir el paso e interacción de las diferentes especies [31], [32].

Además, es fundamental conectar las áreas que poseen el grado altamente fragmentado, considerando las rutas más factibles que mejoren la integridad ecológica y la conservación de los recursos naturales [33], [34], esto debido a que gran proporción de la cobertura vegetal del corredor posee esta condición.

En el caso de los sitios que presentan una fragmentación moderada, al tener un menor grado de aislamiento, no requieren la implementación inmediata de las actividades recomendadas, sin embargo, en la medida de lo posible debe procurarse mejorar la conectividad para no alcanzar mayores niveles de fragmentación, buscando resguardar la diversidad ecológica [35]. Con respecto a los parches de bosque que se encuentran sumamente aislados y que no forman parte de la trama principal de conexión del corredor, se recomienda implementar las estrategias de conectividad a largo plazo.

Conclusiones

El uso actual del suelo en el CBIRT mostró que un gran porcentaje de este corresponde a áreas urbanizadas, con un 53,62%, seguido por la cobertura vegetal, abarcando un 25,7%, por el contrario, en menor proporción se encontraron las clases agricultura (0,75%) y zonas húmedas (0,02%). Aunado a esto la clasificación obtuvo una exactitud global de 93,75%.

La categoría de capacidad de uso más representativa del área de estudio fue agricultura sin limitaciones, con un 79,75%, mientras que la menos representativa fue agroforestería con cultivos anuales (0,02%), demostrando que gran parte del corredor pertenece a categorías poco limitantes, esto sin tomar en cuenta las zonas de protección.

Al considerar las zonas de protección para determinar la capacidad de uso del suelo, se obtuvo que la categoría más representativa son las tierras forestales de protección con un porcentaje de 54,2, mientras que la categoría agricultura sin limitaciones ocupó un 41,44%, esto quiere decir que el CBIRT se categoriza entre zonas con altas y mínimas limitaciones.

En cuanto a la identificación del uso incorrecto del suelo en el CBIRT, se determinó que una alta proporción (2 947,1 hectáreas) del área se encuentra en uso inadecuado, de esta el 78,41% corresponde a zonas urbanizadas, 20,54% a ganadería y pastos y 1,05% a agricultura.

Las prácticas definidas en este estudio para mejorar las condiciones del suelo en las zonas con uso inadecuado, abarcan actividades de reforestación y/o restauración, procedimientos y recomendaciones, así como posibles especies a utilizar según tipo de uso.

En este estudio se evidencia que un 96,58% de la cobertura vegetal posee algún grado de fragmentación, sin embargo, solo un 4,17% del total está representado por el nivel más crítico (insularizado).

Recomendaciones

Se debe realizar un monitoreo continuo para detectar posibles cambios en el uso del suelo, con el objetivo de mantener un mayor control del uso óptimo del mismo y prevenir la pérdida de cobertura vegetal.

Se recomienda actualizar la información de las zonas de protección presentes en el CBIRT, debido a que la información utilizada en este estudio es obsoleta, por lo tanto, el país requiere de mapas actualizados que identifiquen las zonas de recarga.

Se recomienda que las actividades propuestas sean implementadas a corto plazo en las zonas que presentan un grado de fragmentación insularizado, dando prioridad a los sitios que se ubican a orillas del río, a fin de restablecer la conectividad del corredor.

Es importante aumentar la cobertura vegetal del corredor, por lo cual se recomienda implementar las prácticas propuestas en este estudio, a fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes y procurar la protección y conservación de la biodiversidad.

Se recomienda a la Comisión del Corredor Biológico Interurbano Río Torres brindar información y capacitación a los habitantes de la zona sobre los beneficios de instaurar un CBI, a fin de dar a conocer las actividades propuestas para mejorar la conectividad.

Se sugiere validar el resultado de la clasificación por medio de datos tomados en campo, debido a que este proceso es aún más preciso en comparación con validación realizada a través imágenes satelitales de alta resolución.

Referencias

- [1] L. Mao, Sedimentos, Hidráulica y Efectos Morfológicos. Recuperado de https://cambioglobal.uc.cl/images/proyectos/MesaHidro_Sedimentos_hidr%C3%A1ulica_y_efectos_morfol%C3%B3gicos.pdf p. 3-4. 2016.
- [2] ICE (Instituto Costarricense de Electricidad), Página principal. Recuperado de <https://www.grupoice.com/wps/portal/ICE/acercadelgrupoice/quienes-somos/historia-del-ice>. 2019.
- [3] G. Sánchez, D. Valle-Hidalgo, S. Feoli, y J. Murillo, Perfil del Corredor Biológico Interurbano Río Torres Reserva de la Biosfera. Recuperado de http://www.edumovil.com/conectividad_ecosistemas/wp-content/uploads/2017/11/Perfil_CBI-RT-RB_02-Mar-2017.pdf p. 1-2. 2016.
- [4] S. Feoli-Boraschi, Corredores biológicos: una estrategia de conservación en el manejo de cuencas hidrográficas. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 6(17), 1-5. Recuperado de <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/385>. 2012.
- [5] A. Trujillo-Acosta, M. Peraza-Estrella, J. Marina-Hipólito, y S. Boraschi, Evaluación del Corredor Interurbano Río Torres, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 14(34), 53-62. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v14i34.3001> p. 53-56. 2016.
- [6] SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación), Plan Estratégico 2018-2025 del Programa Nacional de Corredores Biológicos de Costa Rica (Informe Final). Programa Nacional de Corredores Biológicos. San José-Costa Rica. 52 p. 2018.
- [7] CONABIO, ¿Qué es un corredor biológico? *Biodiversidad mexicana*. Recuperado de <https://www.biodiversidad.gob.mx/corredor/pdf/quees.pdf> p. 1. 2009a.
- [8] Proyecto Corredores Biológicos Interurbanos, Página principal. Recuperado de <http://biocorredores.org/biodiver-city-sanjose/corredores-biologicos/corredor-biologico-interurbano-rio-torres-0>. 2019.

- [9] H. Riemann, R. Santes-Álvarez, y A. Pombo, El papel de las áreas naturales protegidas en el desarrollo local: El caso de la península de Baja California. *Scielo*, 20(1). Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792011000100004. 2010.
- [10] G. Pérez-Gómez, P. Gastezzi-Arias, y A. Vega-Quesada, Avifauna poco frecuente en la microcuenca del río Torres, San José, Costa Rica. *Zeledonia*. Recuperado de <https://www.zeledonia.com/uploads/7/0/1/0/70104897/zelnov2016-20-27.pdf> p. 21. 2016.
- [11] A. Ariza, Descripción y Corrección de Productos Landsat 8. [Versión 1.0]. Recuperado de <http://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf> p. 9. 2013.
- [12] O. Rodríguez y H. Arredondo, Manual para el manejo y procesamiento de imágenes satelitales obtenidas del sensor remoto MODIS de la NASA, aplicado en estudios de ingeniería civil. (Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil). Recuperado de <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis123.pdf> p. 20-24. 2005.
- [13] GRUPO G6. Sistema de Monitoreo de la Cobertura y Uso de la Tierra y Ecosistemas (SIMOCUTE). Sistema de clasificación del uso y la cobertura de la tierra para Costa Rica. Versión 1.1. San José, Costa Rica. 2018.
- [14] E. Montenegro, Atlas digital del plan regulador del cantón de Alvarado, Cartago, Costa Rica. (Tesis de Licenciatura en Ingeniería Forestal). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. p. 24-31. 2018.
- [15] T. Boca y G. Rodríguez, Métodos estadísticos de la evaluación de la exactitud de productos derivados de sensores remotos. Instituto de Clima y Agua, INTA Castelar. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-mtodos_est_sensores.pdf p. 13-15. 2012.

- [16] S. C. Gómez, Metodología para el estudio de la capacidad de acogida del suelo en cuencas hidrográficas. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5600> p. 74-87. 2014.
- [17] G. Sánchez, D. Valle, F. Scorza, S. Feoli y R. Artavia, Protocolo de Reforestación para la Rehabilitación y Mantenimiento en Áreas de Protección de la GAM. Recuperado de http://www.edumovil.com/conectividad_ecosistemas/wp-content/uploads/2017/11/Protocolo-Reforestacion-Rehab-Mant-de-AP-en-la-GAM.pdf p. 91. 2015.
- [18] Ley Forestal 7575, Artículo 33. Consultado el 06 de octubre de 2019. Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=41661&nValor3=94526&strTipM=TC. 1996.
- [19] Metodología Determinación Capacidad Uso Tierras Costa Rica, Decreto N°23214, Anexo 3. Consultado el 17 de abril de 2019. Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=17871&nValor3=69087&strTipM=TC. 1994.
- [20] Organización Internacional del café, Informe del mercado del café. Recuperado de <http://www.ico.org/documents/cy2018-19/cmr-0719-c.pdf> p. 1. 2019.
- [21] J. François, J. Díaz-Gallegos y A. Pérez, Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. *Scielo*. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n51/n51a5.pdf> p. 3-14. 2003.
- [22] G. Casco, L. Arias, H. Mareco, y A. Kindgard, Informe final de evaluación de exactitud temática del mapa de cobertura forestal y cambio de uso de la tierra para los años 2000, 2005 y 2011. Programa Nacional conjunto ONUREDD+PY-. Paraguay. Recuperado de http://www.infona.gov.py/application/files/6514/7405/3096/Evaluacion_exactitud_Mapas_000511_160516.pdf p. 6-9. 2016.

- [23] O. Felipó y L. Boixadera, Normativa sobre uso, gestión y protección del suelo en Cataluña. Recuperado de: <https://docplayer.es/92752272-Normativa-sobre-uso-gestion-y-proteccion-del-suelo-en-cataluna.html> p. 75-77. 2009.
- [24] FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), Los bosques y suelos forestales contribuyen de manera esencial a la producción agrícola y la seguridad alimentaria mundial. Recuperado de <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/285875/>. 2015.
- [25] Subcomisión Heredia-CGICRG Tárcoles, Protocolo de recuperación de áreas de protección y arborización para la provincia de Heredia. Recuperado de <https://www.belen.go.cr/documents/20181/76421/Protocolo+Reforestaci%C3%B3n+Heredia/c6e7d54d-f5ac-4bcb-bde5-676eb3051bf6> p. 33-35. (sf).
- [26] Metodología Determinación Capacidad Uso Tierras Costa Rica, Decreto N°23214, Anexo 3. Consultado el 17 de abril de 2019. Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=17871&nValor3=69087&strTipM=TC (sf).
- [27] P. Triviño, M. Vicedo y C. Soler, Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del índice de fragmentación de hábitats empleado por la agencia europea de medio ambiente. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com> p. 149-150. 2009.
- [28] CONABIO. Fragmentación. *Biodiversidad mexicana*. Recuperado de <https://www.biodiversidad.gob.mx/corredor/pdf/fragmentacion.pdf> p. 1. 2009b.
- [29] S. Trapp, C. Day, E. Flaherty, P. Zollner & W. Smith, Modeling impacts of landscape connectivity on dispersal movements of northern flying squirrels (*Glaucomys sabrinus griseifrons*). Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.12.025> p. 1. 2019.

- [30] A. Bennet, El Papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. Recuperado de http://svsch.ceachile.cl/e-Biblioteca/Documentos/Biodiversidad/2004_Corredores_Biologicos.pdf p. 12. 1999.
- [31] P. Gastezzi-Arias, V. Alvarado-García y G. Pérez-Gómez, La importancia de los ríos como corredores interurbanos. *Biocenosis*, 31(1-2). Recuperado a partir de <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/view/1725> p. 40-42. 2017.
- [32] Y. Rico, La conectividad del paisaje y su importancia para la biodiversidad. *SaberMás*, 34. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/321197535_La_conectividad_del_paisaje_y_su_importancia_para_la_biodiversidad p. 28-30. 2017.
- [33] O. Chassota, H. Chaves, B. Finengan y G. Monge, Dinámica de paisaje en la Zona Norte de Costa Rica: implicaciones para la conservación del bosque tropical muy húmedo. *Revista de Ciencias Ambientales*, 39(1). doi: <http://dx.doi.org/10.15359/rca.39-1.5> p. 2. 2010.
- [34] M. I. Reza, S. A. Abdullah, S. B. Nor & M. H. Ismail, Landscape Pattern and Connectivity Importance of Protected Areas in Kuala Lumpur Conurbation for Sustainable Urban Planning. Recuperado de: <http://ezproxy.itcr.ac.cr:2800/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=5&sid=927422ac-cbd3-4c1a-ab71-17f45dc2091d%40sessionmgr4006> p. 361-362. 2018.
- [35] H. Jacquemyn, J. Butaye, & M. Hermy, Influence of environmental and spatial variables on regional distribution of forest plant species in a fragmented and changing landscape. Recuperado de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.526.4384&rep=rep1&type=pdf> p. 768-769. 2003.