

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD RIPARIA Y
PROPUESTA PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE
LA CUENCA ALTA DEL RÍO REVENTAZÓN, CARTAGO,
COSTA RICA.

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL CON EL
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA.

YERLIN VARGAS SOLANO

CARTAGO, COSTA RICA, 2017



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD RIPARIA Y
PROPUESTA PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE
LA CUENCA ALTA DEL RÍO REVENTAZÓN, CARTAGO,
COSTA RICA.

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL CON EL
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA.

YERLIN VARGAS SOLANO
CARTAGO, COSTA RICA, 2017



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

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD RIPARIA Y PROPUESTA PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO REVENTAZÓN, CARTAGO, COSTA RICA.

Yerlin Vargas Solano*

Resumen

El aumento en la actividad agrícola, ha provocado un constante deterioro del medio ambiente, incluyendo los ecosistemas riparios, los cuales al perder su cobertura forestal pierden también su capacidad de sostener la tierra, lo que provoca que una gran cantidad de sedimentos corran río abajo y disminuyan la vida útil de las represas hidroeléctricas al desembocar en ellas. Por tal razón, los objetivos del presente estudio fueron primeramente diagnosticar el estado actual de las riberas de la cuenca alta del Río Reventazón en la zona Norte de Cartago, Costa Rica, específicamente en las faldas del Volcán Irazú, para identificar aquellas con mayor degradación y promover su restauración ecológica. Para esto, se realizó una clasificación supervisada de una imagen satelital con el fin de obtener los sitios con menor cobertura vegetal, los cuales se visitaron y evaluaron mediante la aplicación del Índice de Calidad Riparia, logrando así determinar su nivel de degradación. Luego con la clasificación propuesta por dicho índice, se seleccionaron las zonas prioritarias a restaurar, que serán las principales áreas para una propuesta de restauración ecológica de la cual consiste el segundo objetivo. Para el cual se aplicaron entrevistas a los propietarios de fincas colindantes con los ríos y quebradas de interés, de las comunidades trabajadas, con las cuales se determinó su conocimiento en el tema, su disponibilidad de participar y sus expectativas del proyecto. Seguidamente por medio de una revisión bibliográfica se creó una lista de especies originarias de la zona y aptas para su utilización en el campo. Quedando la propuesta compuesta por tres opciones distintas, adaptadas a tres condiciones de fincas diferentes, más una técnica de bioingeniería recomendada para orillas con pendientes muy quebradas y un programa de monitoreo. Este trabajo se desarrolló para ser aplicado en los cuerpos de agua Ríos Chinchilla y Taticú y las Quebradas Rodeo, Arriaz, Coyote y Ortiga, sin embargo, se puede extrapolar a otras zonas.

Palabras clave: Clasificación supervisada, índice de calidad riparia, restauración ecológica, bioingeniería.

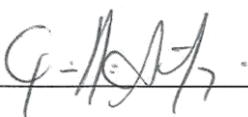
Abstract

The increase in agricultural activity has caused a constant deterioration of the environment, including the riparian ecosystems. When they are losing their forest cover, also lose their ability to sustain the soil, which causes a significant amount of sediment carried downstream, and also decrease the useful life of hydroelectric dams when they flow into them. For this reason, the objectives of the present study were first to diagnose the current state of the river strip of the upper Reventazón River basin in the northern zone of Cartago, Costa Rica, specifically in the foothills of the Irazú Volcano, to identify those with more significant degradation and promote its ecological restoration. For this, through a supervised classification of a satellite image sites with the lowest vegetation coverage were identified, and visited and evaluated by applying the Riparian Quality Index (IQR) used for determining the level of degradation. Areas to be restored were selected according to the IQR results, and it is developed in Chapter 2 of this work. As a first step for the restoration plan, an interview was applied among farmers who owned lands adjacent to the rivers and streams of interest in the communities studied. The interviews gave essential information about the knowledge of the owners about the topic, the willingness to participate and the project expectations of the farmers. Then, through a bibliographic review a list of species was created and suitable for use in the field. The proposal is composed of three different options, adapted to three conditions of farms, and a bioengineering technique is recommended for shores with very steep slopes and a monitoring program. This work was developed to be applied in the water bodies Chinchilla and Tatiscú rivers and the Rodeo, Arriaz, Coyote and Ortiga streams, however, it can be extrapolated to other areas.

Keywords: Supervised classification, riparian quality index, ecological restoration, bioengineering.

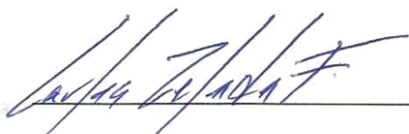
*Vargas, Y. (2017). Determinación del índice de calidad riparia y propuesta para la restauración ecológica de la cuenca alta del Río Reventazón, Cartago, Costa Rica. (Trabajo final de graduación para optar por el grado de licenciatura). Escuela de Ingeniería Forestal. ITCR. Cartago, Costa Rica.

Trabajo final de graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por MAP. Luis Guillermo Acosta Vargas, MAP. Carlos Zelada Fonseca, M.Sc. Casia Soto Montoya como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Forestal, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



Luis Guillermo Acosta Vargas, Ing.

Director de Tesis



Carlos Zelada Fonseca, MAP

Ing Forestal del área socio-ambiental Huetar Norte, ICE.



Casia Soto Montoya, M.Sc.

Profesora lectora



Dorian Carvajal Vanegas

Coordinador Trabajos

Finales de Graduación



Yerlin Dayanna Vargas Solano

Estudiante

Dedicatoria

A mi Dios amoroso y protector que me ha guiado, protegido e iluminado cada día de mi vida.

A mis padres, porque gracias al esfuerzo que han hecho siempre, por ser un ejemplo y darnos lo mejor, hoy soy lo que soy y he podido llegar hasta aquí.

Esto es para ustedes pa y ma, los amo.

A una persona súper especial, que siempre confió en mis capacidades y me impulsó a dar en todo momento lo mejor de mí. Gracias niña Xenia Barquero, por ser pilar esencial en mi educación.

Agradecimientos

A Dios, porque no me canso de agradecerle tantas bendiciones que me da día con día.

Al Instituto Costarricense de Electricidad, específicamente a Carlos Zelada, por permitirme realizar este trabajo y por todo su apoyo. Y al resto del equipo por aceptarme con tanta alegría.

A Luis Acosta por apoyarme siempre y no dejarme flaquear, gracias profe por tenerme tanta paciencia y confiar siempre en mí.

A mis papás por sembrar en mí la fe, el respeto y el amor más puro e incondicional de todos. Gracias ma por enseñarme el valor de la confianza y la sinceridad, y a pa por inculcar en mí la paciencia y alentarme siempre que quebranto.

A mis hermanos lala y rafi, por ser siempre mi apoyo y mi guía y por regalarme los 4 tesoros más grandes que tengo, mis chiquitines. Gracias mis amores porque ustedes son mi inspiración para ser cada día mejor y poder darles el mejor ejemplo. Gracias por alegrar mi vida.

A Ale y Andrés que con sus diferentes maneras de ser le agregaron felicidad y un poco de locura a nuestra familia.

A Iván por ser mi mejor amigo, compañero de fiestas y trabajos y por luchar a mi lado todos los días para conseguir nuestros sueños. Gracias mi amor por enseñarme a confiar en mí misma y ver el mundo por su lado bello y positivo.

A Bran, María Sharon, Tierno y Robert porque sin ustedes este proceso no hubiera sido el mismo, gracias por tantas risas, lágrimas, y loqueras. Siempre los voy a llevar en mi corazón.

A mi brujita preferida que, aunque no sé cómo me soporta lo hace con todo el amor del mundo, me apoya y me enseña a ser una mujer fuerte y luchar siempre por mis anhelos.

Los quiero muchísimo.

Índice general:

Capítulo 1. Diagnóstico del estado actual y selección de las zonas prioritarias de las riberas de los cuerpos de agua de la cuenca alta del Río Reventazón, Cartago, Costa Rica.	1
Resumen:	1
Abstract:.....	2
Introducción:	3
Material y métodos:.....	4
Área de estudio:	4
Análisis de imágenes satelitales:	5
Validación de la clasificación:.....	7
Índice de Calidad Riparia (IQR):	8
Selección de zonas prioritarias:	10
Resultados:.....	11
Análisis de imágenes satelitales:	11
Validación de la clasificación:.....	13
Índice de Calidad Riparia (IQR):	14
Selección de zonas prioritarias:	15
Discusión:	17
Análisis de imágenes satelitales y validación de la clasificación:.....	17
Índice de calidad riparia (IQR):.....	19
Selección de zonas prioritarias:	20
Conclusiones:.....	22
Recomendaciones:.....	22
Referencias:.....	23

Capítulo 2. Propuesta para la restauración ecológica de las riberas de seis cuerpos de agua en la cuenca alta del Río Reventazón, Cartago, Costa Rica.	25
Resumen:	25
Abstract:	26
Introducción:	26
Material y métodos:	29
Área de estudio:	29
Recolección de datos de propietarios:	30
Selección de especies:	30
Resultados:	31
Recolección de datos de propietarios:	31
Selección de especies:	33
Plan de restauración de riberas de los cuerpos de agua analizados:	34
Barreras a la restauración:	34
Ejecución:	36
Material vegetal:	37
Estrategia de restauración:	37
Opción 1:	37
Opción 2:	39
Opción 3:	40
Disposiciones generales:	41
Monitoreo:	42
Discusión:	43
Conclusiones:	46
Recomendaciones:	47
Referencias:	48

Anexos:	52
----------------------	-----------

Índice de cuadros:

Cuadro 1. Valores del índice IQR y calidad de las riberas, según la condición ecológica de los atributos analizados en la zona de Llano Grande y Tierra Blanca, Cartago, Costa Rica, 2017	10
Cuadro 2. Matriz de error de la clasificación supervisada realizada para la zona de Llano Grande y Tierra Blanca, Cartago, Costa Rica, 2017.....	13
Cuadro 3. Valores de exactitud logrados con la clasificación realizada para la zona de Llano Grande y Tierra Blanca, Cartago, Costa Rica, 2017.....	14
Cuadro 4. Resultados de la aplicación del índice de calidad riparia (IQR) en las zonas de Llano Grande y Tierra Blanca, Cartago, Costa Rica, 2017.	14
Cuadro 5. Resultados por parcela de muestreo del índice de calidad riparia (IQR), aplicado en las zonas de Llano Grande y Tierra Blanca, Cartago, Costa Rica, 2017.	15
Cuadro 6. Descripción ecológica de los estados seleccionados como zonas prioritarias a restaurar en las comunidades de Llano Grande y Tierra Blanca de Cartago, Costa Rica, 2017.	17
Cuadro 7. Lista de especies recomendadas a utilizar durante el proceso de restauración de las riberas en las zonas de Tierra Blanca y Llano Grande, Cartago, Costa Rica, 2017.....	33

Índice de figuras:

Figura 1. Ubicación del área de estudio, Cartago Costa Rica, 2017.	5
Figura 2. Ubicación de los ríos estudiados para la selección de las posibles zonas a restaurar, Cartago, Costa Rica, 2017.....	6
Figura 3. Atributos que caracterizan el funcionamiento hidrológico de las riberas, en relación al equilibrio de la vegetación riparia (Parte 1).....	9
Figura 4. Atributos que caracterizan el funcionamiento hidrológico de las riberas, en relación al equilibrio de la vegetación riparia (Parte 2).....	9

Figura 5. Clasificación supervisada de una imagen RapidEye del año 2014 para la parte alta de la cuenca del río Reventazón, Cartago, Costa Rica, 2017.	11
Figura 6. Uso del suelo de las riberas de los ríos ubicados en las zonas de Tierra Blanca y Llano Grande, Cartago, Costa Rica, 2017.	12
Figura 7. Porcentaje de uso forestal y no forestal de las riberas de los ríos analizados en las zonas de Tierra Blanca y Llano Grande, Cartago, Costa Rica, 2017.	13
Figura 8. Estado actual de las riberas, en los diferentes sitios analizados, en la zona de Llano Grande y Tierra Blanca, Cartago, Costa Rica, 2017.	16
Figura 9. Ubicación del área de estudio, Cartago, Costa Rica, 2017.	29
Figura 10. Cuerpos de agua con cobertura forestal inferior al 50% y ubicación de los sitios de aplicación de las entrevistas, Cartago, Costa Rica, 2017.	31
Figura 11. Gráficos de los resultados de las entrevistas aplicadas en la zona de Tierra Blanca y Llano Grande, Cartago, Costa Rica, 2017.	32
Figura 12. Opción 1 de la propuesta de restauración ecológica para las zonas de Llano Grande y Tierra Blanca, Cartago, Costa Rica, 2107.	39
Figura 13. Opción 2 de la propuesta de restauración ecológica para las zonas de Llano Grande y Tierra Blanca, Cartago, Costa Rica, 2017.	40
Figura 14. Opción 3 de la propuesta de restauración ecológica para las zonas de Llano Grande y Tierra Blanca, Cartago, Costa Rica, 2017.	41
Figura 15. Técnica de bioingeniería recomendada para la aplicación en paredones con inclinaciones muy pronunciadas, Cartago, Costa Rica, 2017.	42
Índice de anexos:	
Anexo 1. Modelo cartográfico para la clasificación supervisada del uso del suelo de la parte alta de la cuenca del río Reventazón, Cartago, Costa Rica. ArcGis 10.3.1	52
Anexo 2. Entrevista para la determinación de información esencial para la ejecución del proyecto.	53

Capítulo 1. Diagnóstico del estado actual y selección de las zonas prioritarias de las riberas de los cuerpos de agua de la cuenca alta del Río Reventazón, Cartago, Costa Rica.

Yerlin Vargas Solano¹

Resumen:

El objetivo del presente trabajo es la identificación del estado actual de las riberas de los cauces de la parte alta de la cuenca del Río Reventazón, con el objetivo de seleccionar las zonas prioritarias a restaurar. La zona de estudio, se localizó en la parte alta de la cuenca del Río Reventazón, específicamente en las faldas del Volcán Irazú, lugar con una alta afectación principalmente por la actividad agrícola. Para ello, primeramente, con la finalidad de reducir las visitas de campo e identificar las zonas con poca cobertura vegetal, se realizó una clasificación supervisada del uso del suelo, de una imagen satelital RapidEye de la zona evaluada. Seguidamente, se aplicó el índice de calidad riparia (IQR) en siete de los 14 ríos identificados con cobertura inferior al 50%. Se analizó la información y se seleccionó las zonas prioritarias a restaurar. Los resultados mostraron, que la clasificación supervisada tuvo una exactitud general de un 80% y un valor Kappa considerable de 0,69. En cuanto a los siete sitios evaluados en campo, seis de ellos fueron seleccionados como prioritarios por su nivel de degradación, siendo el Río Reventado, el único con un buen estado ecológico. También se determinó la gran problemática que sufre la zona en cuanto a la erosión de la tierra en época lluviosa y la sequía en época seca, lo que afecta la producción del terreno y la disponibilidad de hábitats para la fauna local.

Palabras clave: Cobertura forestal, clasificación supervisada; índice de calidad riparia; estadístico kappa.

¹Yerlin Vargas Solano
Cartago, Costa Rica
Estudiante del Instituto Tecnológico de Costa Rica
Correo: yervs24@gmail.com

Abstract:

The goal of this work was the identification of the current state of the river strips in the upper part of the Reventazón river watershed, with the purpose of select priority zones to be restored. The study area was the upper part of the Reventazón river watershed, specifically in the foothills of the Irazú Volcano, a place, with a high impact due to agricultural and livestock activity. A land use supervised classification of a RapidEye satellite image from the evaluated area reduce the field trips and identify areas with poor forest coverage. Then the riparian quality index (IQR) was applied in seven of 14 identified rivers with less than 50% of coverage; the information obtained was analyzed to select areas to be restored. The results showed that the supervised classification had a general accuracy of 80%, and a considerable Kappa value of 0.69. Regarding the seven sites evaluated in the field, six of them were selected as priority sites to restore due to their level of degradation, being the Reventado River the only one with a good ecological status. Also, it was determined that the studied area has problems of erosion by winds and rains during the dry and rainy season respectively, and at the same time, this erosion affects the land production and the availability of habitats and shelters for local fauna.

Keywords: Forest cover, supervised classification, riparian quality index, kappa statistical,

Introducción:

El desarrollo agropecuario de Costa Rica, ha sufrido cambios constantes a través de los años, algunos de los más importantes se dieron en la década de los 50, donde inició la producción agrícola extensiva del país. La cual comenzó con el objetivo de sustituir las importaciones por productos nacionales, además de fortalecer la exportación de café, caña de azúcar y banano (Sáenz, 2013).

Sin embargo, para el año 1980 inicia un nuevo modelo económico en Costa Rica, el primario exportador. Este tenía como finalidad aumentar las exportaciones, por lo que el gobierno vigente disminuyó los impuestos, incrementó las posibilidades de financiamiento y repartió tierras a los agricultores, para incrementar la productividad y calidad de los productos nacionales (Sáenz, 2013). Para lograrlo se amplió su variedad, estableciendo otros productos de exportación como flores, plantas ornamentales, raíces, tubérculos entre otros.

Como consecuencia del nuevo modelo económico y las facilidades que consigo traía, se promovió la explotación irracional de los recursos naturales, donde zonas como la parte alta de Cartago, específicamente el sector sur de las faldas del Volcán Irazú, recibió a un gran número de productores, que, atraídos por los fértiles suelos volcánicos de la región y las frías condiciones climáticas, encontraron el lugar indicado para el cultivo de flores, plantas ornamentales, tubérculos y otros (González, 1984).

Además, cabe mencionar que debido a la actividad volcánica ocurrida entre los años 1963-1965 (Salgado, 2002), estas áreas ya habían sufrido pérdida de la cobertura boscosa previo al ingreso de la agricultura, lo cual, aunado a lo anterior, provocó que no se pudieran llevar a cabo los procesos de regeneración natural de sitios como los ecosistemas riparios, los cuales, por su gran diversidad de fauna y flora, son de suma importancia ecológica.

Por otro lado, la zona de estudio se ubica dentro de la cuenca alta del Río Reventazón, el cual se encuentra captado en su parte media para la producción eléctrica, no obstante, la poca cobertura vegetal que tienen las riberas en su parte alta provoca que una gran cantidad de sedimentos se acumulen en este y otros embalses cercanos año con año. Lo cual, según Gracia (1986), puede llegar a

inutilizar la estructura en algún momento, debido a la constante pérdida de capacidad de almacenamiento. Además, la afectación en el libre transporte del agua y la necesidad frecuente de dar mantenimiento al embalse representa altos costos para la empresa propietaria, reduciendo significativamente su vida útil (Jiménez *et al*, 2003).

Por lo que, si no se toman las medidas respectivas, en un futuro los recursos dejarán de ser suficientes, perderán su resiliencia, y en el peor de los casos llegarán a extinguirse (Telleria, 2013).

Los objetivos de este trabajo fueron diagnosticar el estado actual de las riberas de los cuerpos de agua de la cuenca alta del Río Reventazón, para con ello identificar las zonas con mayor degradación y poder seleccionarlas como prioritarias para la promoción de su restauración ecológica.

Material y métodos:

Área de estudio:

El Río Reventazón, se ubica en la provincia de Cartago, Costa Rica. Cuenta con una longitud de 145 km, y con una cuenca de 2950 km² (Mora, 1997). Inicia en la divisoria continental y desemboca en el Mar Caribe (Arce, 2004). El proyecto se realizó durante el segundo semestre de 2017, el área de estudio consistió en la parte alta de la cuenca, entre las coordenadas 1102944,28 X - 1093348,11 X y 506749,21Y - 516789,90Y la cuales se encuentran en el sistema de coordenadas CRTM05 (Figura 1).

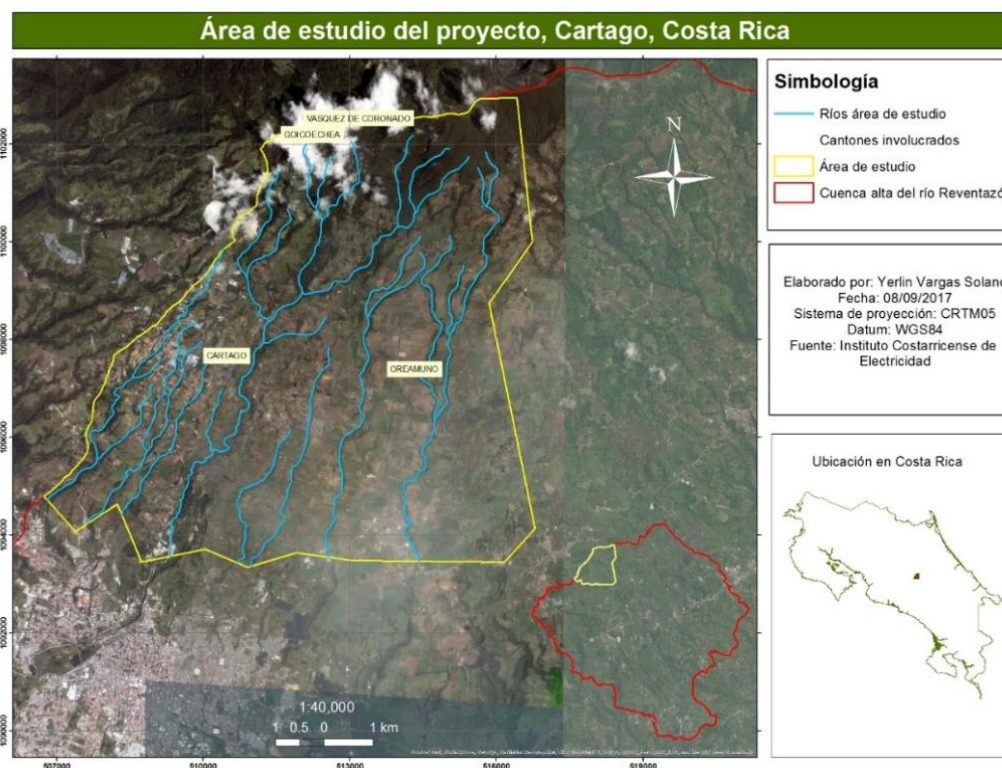


Figura 1. Ubicación del área de estudio, Cartago Costa Rica, 2017.

La precipitación media de la cuenca alta varía entre 1500 y 2500 mm anuales (Arce, 2004), y su temperatura oscila entre los 8°C y los 20°C (Ortiz, 2014). Por su cercanía con los Volcanes Irazú y Turrialba, presenta suelos andisoles, de origen volcánico, con grandes cantidades de nutrientes. Por las condiciones orográficas y de pendientes variadas, se encuentran desde los 1400 msnm hasta los 3300 msnm, con los siguientes pisos altitudinales: montano, montano bajo y premontano, y las siguientes zonas de vida: Bosque Húmedo Premontano (bh-P), Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB), Bosque muy Húmedo Montano (bmh-M), Bosque Pluvial Montano (bp-M) (Holdridge, 1987).

Análisis de imágenes satelitales:

Se realizó un análisis de imágenes satelitales con el Software ArcGis 10.3.1, donde se efectuó un análisis de cobertura del área de estudio anteriormente descrita, y que es de especial interés para el Instituto Costarricense de

Electricidad (ICE), para lo cual se generó una clasificación de uso de suelo (Anexo 1). Dicha clasificación se realizó por medio de la herramienta *Maximum Likelihood Classification* de la caja de herramientas *Spatial Analyst* del Software antes mencionado. Para ello, se utilizó una imagen RapidEye de la zona, la capa de ríos del Atlas Digital de Costa Rica, ambas del año 2014 y una base de puntos tomados en campo con el uso de suelo actual obtenida de un histórico de 1233 datos, tomados por estudiantes de los cursos de Sistemas de Información Geográfica básico y avanzado y Sistemas de Sensores Remotos del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Una vez obtenida la clasificación, se creó un buffer de 50 m a los cuerpos de agua de interés, para así determinar si contaban o no con cobertura forestal, y poder optimizar las visitas de campo. Para consolidar los resultados, se generó un análisis a través del uso del programa Excel 2016, en el que se calculó el área por uso de suelo y se obtuvo el porcentaje con cobertura forestal de cada río. Aquellos ríos, con menor cobertura, se tomaron como posibles zonas prioritarias del proyecto (Figura 2).

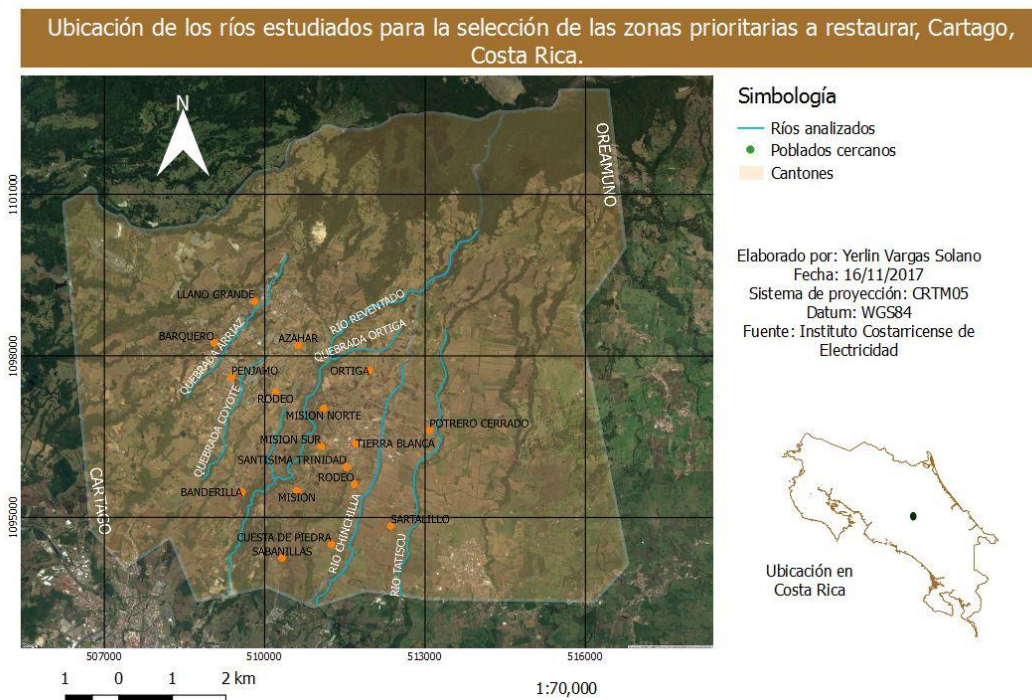


Figura 2. Ubicación de los ríos estudiados para la selección de las posibles zonas a restaurar, Cartago, Costa Rica, 2017.

Validación de la clasificación:

Para determinar la exactitud de los resultados obtenidos con la clasificación de la imagen satelital, se aplicó una matriz de error con los datos reservados para la validación. Para ello, se utilizó la herramienta de tablas dinámicas del software Excel 2016, donde en las columnas se colocó la clase determinada con la clasificación supervisada, y en las filas la clase observada con los puntos de campo, siendo los valores ubicados en la diagonal mayor los correctamente clasificados. Además, se calculó la exactitud de la clase bosque y no bosque, ya que es el dato que se buscaba diferenciar, para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$\frac{X}{Y} * 100 \quad \text{Fórmula 1}$$

Dónde:

X: Número de unidades correctamente clasificadas como bosque o no bosque, según clasificación supervisada.

Y: Número de unidades totales en cada clase.

Seguidamente se calculó el estadístico Kappa (K_{hat}), el cual indica la concordancia entre dos o más categorías (Cerde Y Villarroel, 2008), más allá, de lo que sucedería al azar (Borrás *et al*, 2017). Para esto se aplicó la fórmula:

$$K_{hat} = \frac{N * \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})}{N^2 - \sum (X_{i+} * X_{+i})} \quad \text{Fórmula 2}$$

Dónde:

r: es el número de filas en la matriz

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

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

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

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

Los valores fluctúan entre cero y uno, siendo cero la concordancia esperada exclusivamente por el azar y uno la mayor concordancia posible (López y Pita, 2001). Dicha validación fue realizada por la Ingeniera Casia Soto Montoya de la Escuela de Ingeniería Forestal, del Instituto Tecnológico de Costa Rica, debido a que se recomienda que la clasificación y validación no sean realizadas por una misma persona.

Índice de Calidad Riparia (IQR):

Para determinar el estado actual de las riberas, se aplicó la metodología del Índice de Calidad Riparia (IQR por sus siglas en inglés), en transectos de 100 m de largo a ambos lados del cuerpo de agua, y replicada tres veces por río, quebrada o naciente. El IQR, analiza siete aspectos: 1) Continuidad longitudinal de la vegetación riparia natural estrato arbóreo y arbustivo. 2) Dimensiones en anchura del espacio ripario con vegetación natural asociada al río (vegetación leñosa y heliófitos). 3) Composición y estructura de la vegetación riparia. 4) Regeneración natural de la vegetación riparia (estrato arbóreo y arbustivo). 5) Condición de las orillas. 6) Conectividad lateral de la ribera con el cauce. 7) Permeabilidad y grado de alteración del relieve y suelo ripario (González *et al*, 2006) (Figuras 3 y 4).

Para cada uno de ellos, se consideraron cuatro estados de la vegetación: óptimo, bueno, regular y malo. Donde cada estado cambia de significado y composición dependiendo de la variable estudiada.



Figura 3. Atributos que caracterizan el funcionamiento hidrológico de las riberas, en relación al equilibrio de la vegetación riparia (Parte 1).

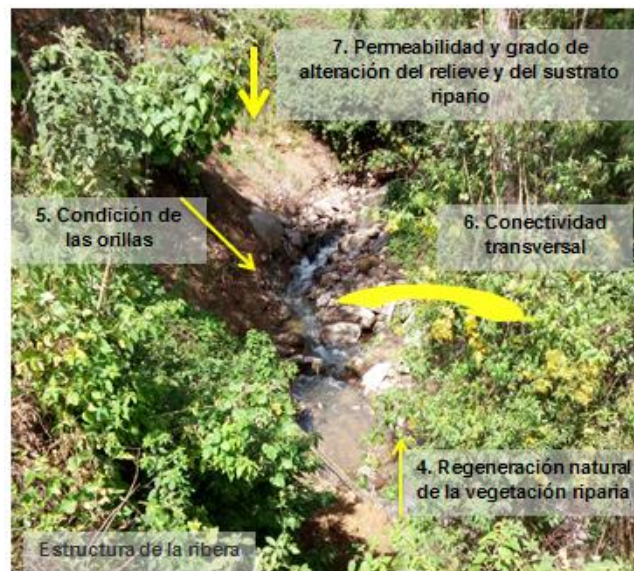


Figura 4. Atributos que caracterizan el funcionamiento hidrológico de las riberas, en relación al equilibrio de la vegetación riparia (Parte 2).

La valoración de los aspectos dos y tres, se dio basada en el tipo de valle en el que se encuentra la ribera, clasificación propuesta por Rosgen (1996) y adaptada por González *et al* (2004), donde se consideraron seis tipos de valles, según la

inclinación dominante de las laderas vertientes, su distancia respecto al cauce y las dimensiones del espacio con influencia fluvial.

Selección de zonas prioritarias:

La puntuación del IQR fluctúa entre 10 y 120 puntos, yendo desde muy pobre hasta muy buena. Se utilizaron rangos de 10-39, 40-59, 60-79, 80-99, y 100-120 para asignar una categoría a la calidad de la ribera (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores del índice IQR y calidad de las riberas, según la condición ecológica de los atributos analizados en la zona de Llano Grande y Tierra Blanca, Cartago, Costa Rica, 2017

Valor del IQR	Estado de la ribera	Condición ecológica	Estrategias de gestión
120-100	Muy Bueno	Los atributos de las riberas no presentan amenazas en su funcionamiento, encontrándose en un estado de elevada naturalidad (máximo tres atributos con una puntuación inferior al óptimo, correspondiente al estado "bueno")	Gran interés de conservación para mantener el estado actual y prevenir la alteración de las funciones riparias.
99-80	Bueno	Al menos dos o tres atributos de las riberas están amenazados en su funcionamiento (máximo tres atributos con una puntuación inferior, correspondiente al estado "regular")	Interés de protección para prevenir la alteración y mejorar la integridad de las funciones riparias.
79-80	Regular	Al menos dos o tres atributos de las riberas están degradados en su funcionamiento y el resto tiene amenazas de degradación (máximo tres atributos con una puntuación inferior, correspondiente al estado "malo")	Necesidad de restauración para asegurar la funcionalidad hidrológica y ecológica de las riberas.
59-40	Pobre	Más de tres atributos de las riberas están seriamente alterados en su funcionamiento y el resto también se encuentra degradado.	Necesidad de rehabilitación y restauración para recuperar la funcionalidad hidrológica y ecológica de las riberas.
39-10	Muy Pobre	Más de tres atributos de las riberas están muy degradados en su funcionamiento y el resto está también degradado.	Necesidad de rehabilitación y restauración para reintroducir la funcionalidad hidrológica y ecológica de las riberas o mejorar su situación actual respecto a su estado de máximo potencial.

González *et al*, 2006

Al final, se sumaron los datos obtenidos para cada ribera analizada, se clasificaron con un rango de estado de muy pobre a muy bueno, y finalmente con ello se determinaron las zonas de estados "Regular", "Pobre" y "Muy pobre" como las zonas prioritarias del proyecto, identificando a la vez las estrategias de gestión necesarias a seguir.

Resultados:

Análisis de imágenes satelitales:

La clasificación realizada presentó resultados concordantes con la cobertura y uso de la tierra observadas en el sitio. Donde las zonas con mayor cobertura vegetal se ubican en las faldas del Parque Nacional Volcán Irazú, y dicha cobertura comienza a disminuir conforme se desciende hacia el centro de Cartago, sitio con mayor influencia humana por urbanismo y actividades agrícolas (Figura 5).

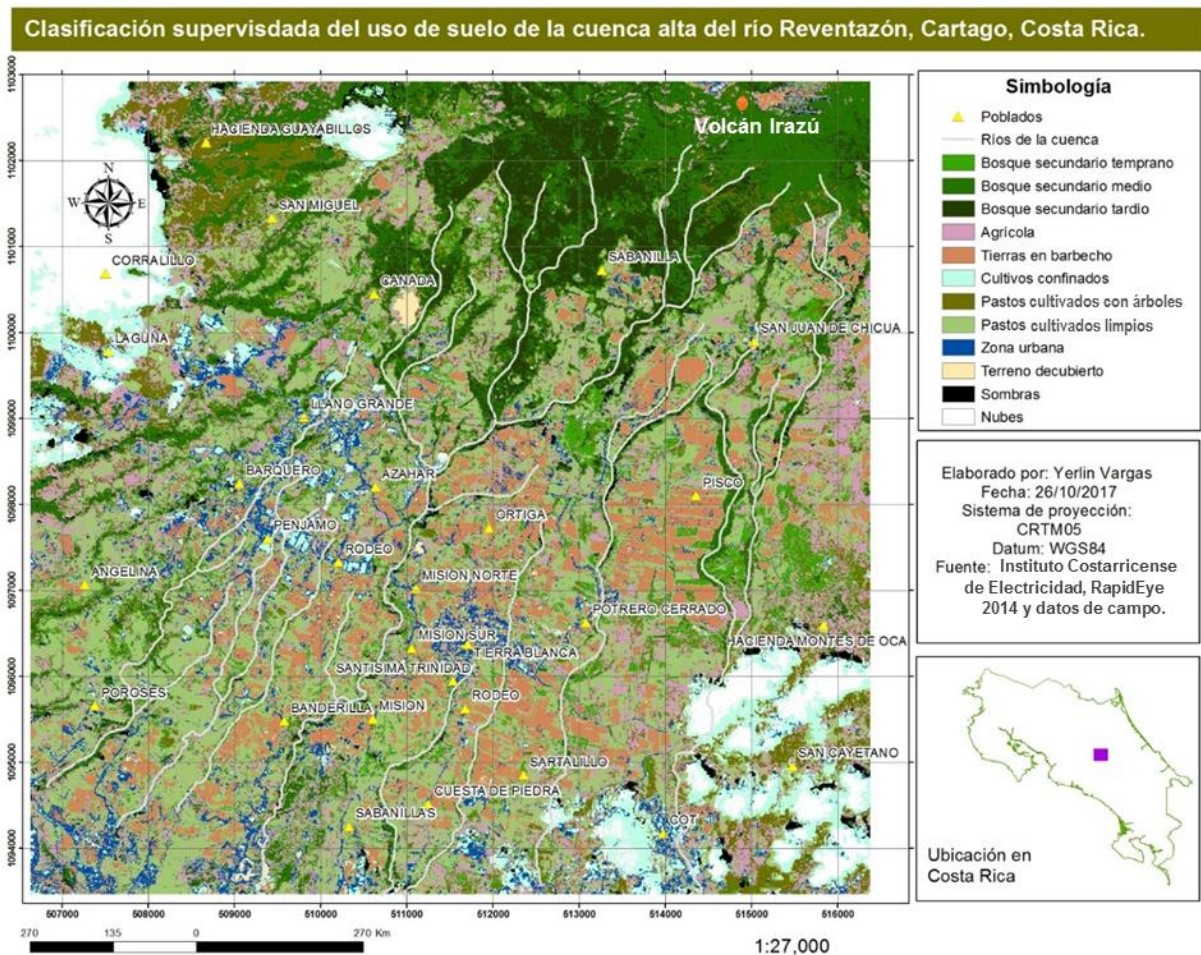


Figura 5. Clasificación supervisada de una imagen RapidEye del año 2014 para la parte alta de la cuenca del río Reventazón, Cartago, Costa Rica, 2017.

La aplicación del buffer de 50 m realizado a cada río, con su uso de suelo clasificado en Forestal y No forestal en la zona de estudio, mostró que existe una gran cantidad de zonas degradadas o descubiertas en la parte inferior de esta,

mientras que las que cuentan con cobertura vegetal, se distribuyen como parches a lo largo de los cuerpos de agua hasta formar un bosque más denso y continuo en la parte superior de la imagen (Figura 6).

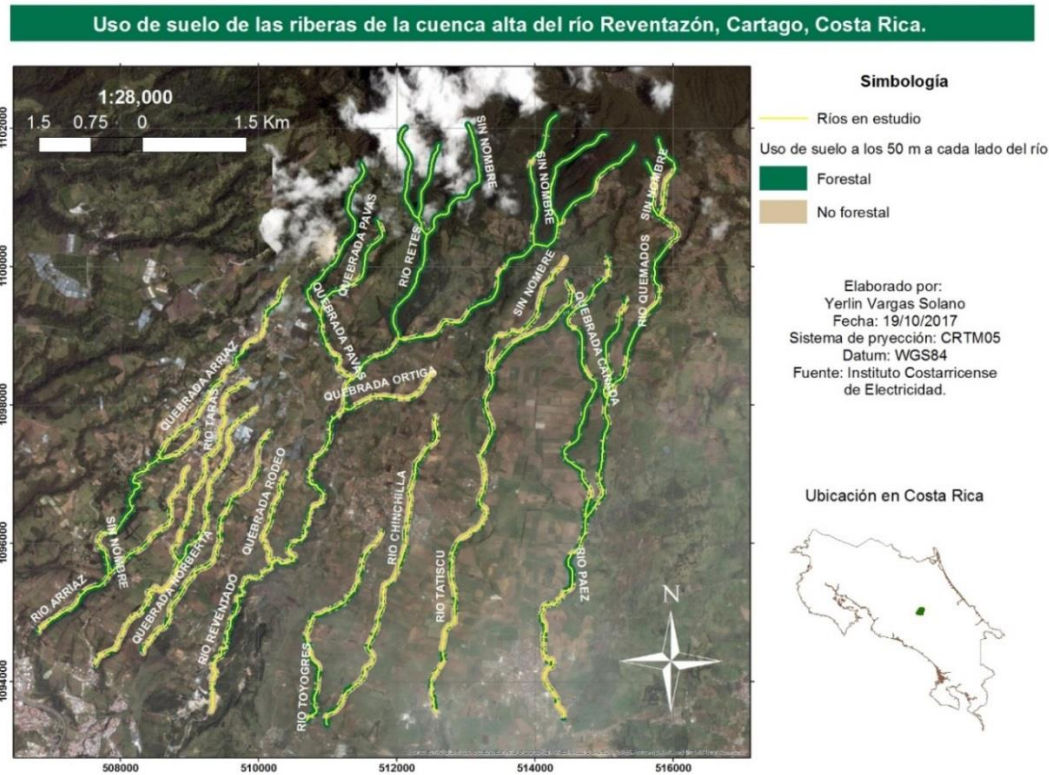


Figura 6. Uso del suelo de las riberas de los ríos ubicados en las zonas de Tierra Blanca y Llano Grande, Cartago, Costa Rica, 2017.

Del análisis de cobertura de los ríos de la región, se determinó que 14 de los 21 cuerpos de agua estudiados presentan una cobertura vegetal en sus riberas inferior al 50% (línea punteada roja, Figura 7).

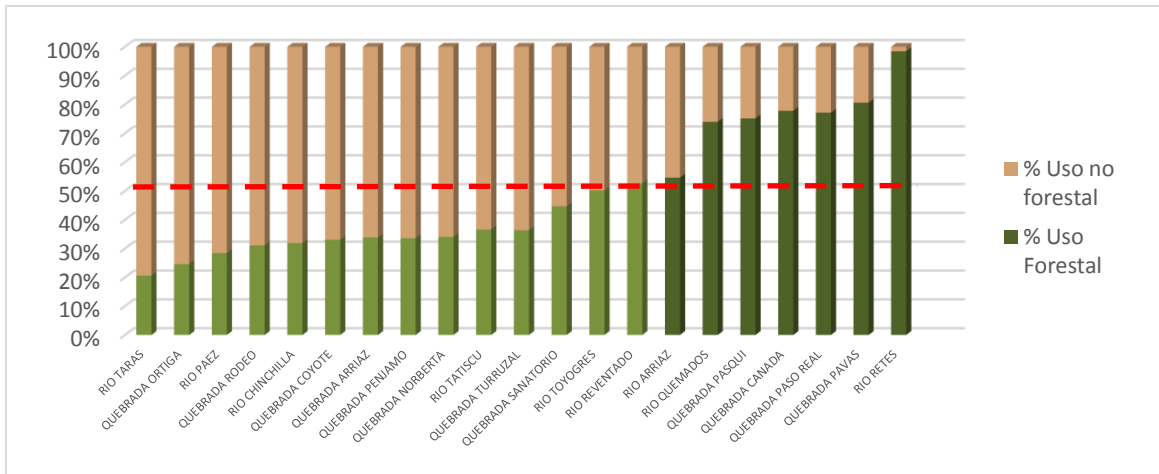


Figura 7. Porcentaje de uso forestal y no forestal de las riberas de los ríos analizados en las zonas de Tierra Blanca y Llano Grande, Cartago, Costa Rica, 2017.

Validación de la clasificación:

La clasificación de bosque, se confunde entre los estadios de sucesión, pero logra una alta separabilidad con respecto a las demás coberturas, excepto con los pastos cultivados con árboles y arbustos y la agricultura, cuando esta es permanente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Matriz de error de la clasificación supervisada realizada para la zona de Llano Grande y Tierra Blanca, Cartago, Costa Rica, 2017.

Clase	Bosque Secundario Temprano	Bosque Secundario Medio	Bosque Secundario Tardío	Agricultura	Tierras en barbecho o quemadas	Cultivos confinados	Pastos cultivados con árboles y arbustos	Pastos cultivados limpios	Infraestructura	Descubierto/Roca	Sombras	Nubes	Total
Bosque Secundario Temprano	8	5	1	2			3	6					25
Bosque Secundario Medio	4	184	49	4			3				9		253
Bosque Secundario Tardío		1	29								2		32
Agricultura	16			63	1		7	22	4				113
Tierras en barbecho o quemadas				1	45			7	1				54
Cultivos confinados						50			8			5	63
Pastos cultivados con árboles y arbustos	32	7		70	2		38	80					229
Pastos cultivados limpios	3			3	8	1	1	34	2				52
Infraestructura					6	3		4	20			2	35
Descubierto/Roca					3			1	11	42			57
Sombras		5	1	3		9			1		85		104
Nubes						100						1554	1654
Total	63	202	80	146	65	163	52	154	47	42	96	1561	2671

La separabilidad obtenida con la clase de bosque constituye la más importante del proyecto, ya que el objetivo de la clasificación fue determinar los sitios con y sin cobertura forestal. La exactitud, fue de un 90,6%, lo que indica que es una clasificación confiable (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores de exactitud logrados con la clasificación realizada para la zona de Llano Grande y Tierra Blanca, Cartago, Costa Rica, 2017.

Estadístico	Valor
Exactitud de la clasificación de bosque (%)	90,6
Exactitud de la clasificación de no bosque (%)	98,8
Exactitud total (%)	80,6
Estadístico Kappa	0,69

Índice de Calidad Riparia (IQR):

Los resultados de la aplicación del índice de calidad riparia (IQR), mostraron el nivel generalizado de degradación que presentan los cuerpos de agua analizados, solo uno de ellos reveló un estado “Muy Bueno” (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resultados de la aplicación del índice de calidad riparia (IQR) en las zonas de Llano Grande y Tierra Blanca, Cartago, Costa Rica, 2017.

Cuerpo de agua	Valor del IQR	Estado de la ribera	Estrategias de gestión
Río Reventado	118	Muy Bueno	Gran interés de conservación para mantener el estado actual y prevenir la alteración de las funciones riparias.
Río Chinchilla	77	Regular	Necesidad de restauración para asegurar la funcionalidad hidrológica y ecológica de las riberas.
Río Tatiscú	59	Pobre	Necesidad de rehabilitación y restauración para recuperar la funcionalidad hidrológica y ecológica de las riberas.
Quebrada Rodeo	52	Pobre	
Quebrada Arriaz	49	Pobre	
Quebrada Coyote	35	Muy Pobre	Necesidad de rehabilitación y restauración para reintroducir la funcionalidad hidrológica y ecológica de las riberas o mejorar su situación actual respecto a su estado de máximo potencial.
Quebrada Ortiga	31	Muy Pobre	

Las estrategias de gestión analizadas son las recomendadas por el índice aplicado (Cuadro 1) y fungen como base para el plan de gestión propuesto en el presente trabajo.

Selección de zonas prioritarias:

Para determinar las zonas prioritarias, se analizó la información por cada parcela de muestreo, dentro de cada cuerpo de agua. Esto debido a que, en ocasiones un mismo río o quebrada mostró diferentes estados a lo largo de su muestreo (Cuadro 5). En el caso del Río Reventado, al ser el límite entre ambas comunidades y tener antecedentes de inundaciones importantes, se le realizó una cuarta medición ubicada hacia el sur de la tercera muestra.

Cuadro 5. Resultados por parcela de muestreo del índice de calidad riparia (IQR), aplicado en las zonas de Llano Grande y Tierra Blanca, Cartago, Costa Rica, 2017.

Cuerpo de agua	Valor del IQR	Estado de la ribera
Quebrada Ortiga 1	21	Muy Pobre
Quebrada Ortiga 2	49	Pobre
Quebrada Ortiga 3	24	Muy Pobre
Quebrada Arriaz 1	67	Regular
Quebrada Arriaz 2	29	Muy Pobre
Quebrada Arriaz 3	51	Pobre
Quebrada Coyote 1	26	Muy Pobre
Quebrada Coyote 2	36	Muy Pobre
Quebrada Coyote 3	43	Pobre
Quebrada Rodeo 1	56	Pobre
Quebrada Rodeo 2	51	Pobre
Quebrada Rodeo 3	50	Pobre
Río Reventado 1	120	Muy Bueno
Río Reventado 2	116	Muy Bueno
Río Reventado 3	118	Muy Bueno
Río Reventado 4	120	Muy Bueno
Río Tatiscú 1	49	Pobre
Río Tatiscú 2	38	Muy Pobre
Río Tatiscú 3	89	Bueno
Río Chinchilla 1	102	Muy Bueno
Río Chinchilla 2	32	Muy Pobre
Río Chinchilla 3	96	Bueno

Dónde: 1 se refiere a la parta más alta del cuerpo de agua, 2 a la parte media y el 3 a la parte baja.

De los cuerpos de agua estudiados, únicamente el Río Reventado presentó un estado “Muy Bueno” a lo largo de todas sus mediciones. En el caso de la Quebrada Sanatorio, que más abajo se convierte en el Río Chinchilla, se presenta una unidad de muestreo con un estado “Muy Bueno”, no obstante, al descender hacia Cartago las otras dos mostraron estados inferiores. En este caso es importante recalcar que la medición de la parte media de este cauce se realizó dentro de una comunidad. Esto da una tendencia de deterioro de los cuerpos de agua conforme se desciende (Figura 8, Cuadro 3).

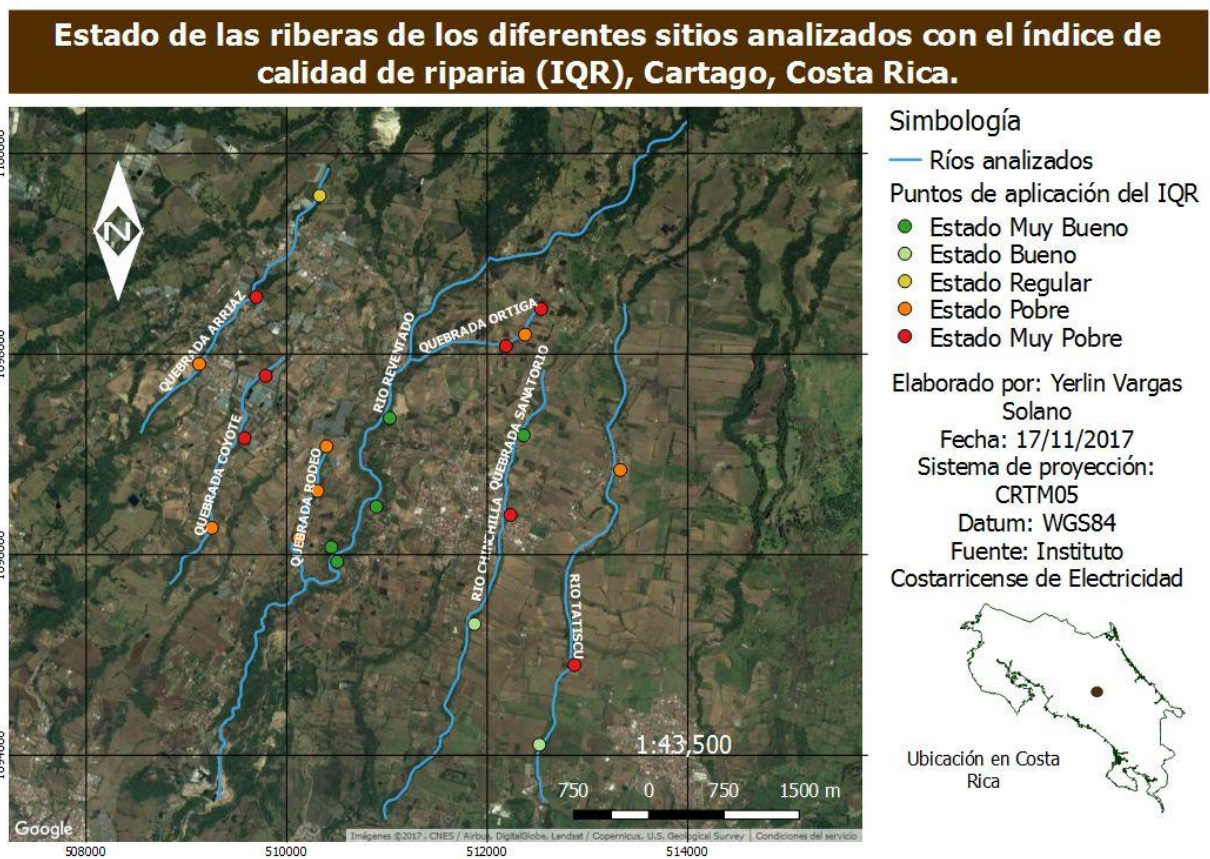


Figura 8. Estado actual de las riberas, en los diferentes sitios analizados, en la zona de Llano Grande y Tierra Blanca, Cartago, Costa Rica, 2017.

Como se mencionó al inicio de este apartado y se refuerza en el Cuadro 3 y Figura 8, de los 22 sitios analizados, 15 se ubicaron dentro de las categorías de “Regular” (amarillo), “Pobre” (naranja) y “Muy Pobre” (rojo), por lo que se definen como las

zonas prioritarias a restaurar las cuales son descritas de acuerdo a sus atributos ecológicos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Descripción ecológica de los estados seleccionados como zonas prioritarias a restaurar en las comunidades de Llano Grande y Tierra Blanca de Cartago, Costa Rica, 2017.

Estado de la ribera	Descripción ecológica	Ilustración
Regular	<p>Zonas donde la vegetación asociada al río se presenta en al menos una hilera de parches de bosque con tres estratos maso menos densos, que cubren alrededor del 50% y el 75% de la ribera, su composición se encuentra moderadamente dominada por herbáceas, pero a la vez muestra una importante presencia de arbustos y especies leñosas. La regeneración es escasa lo que quiere decir que presenta una modificación moderada, al igual que el relieve de sus orillas, por lo que la frecuencia de inundaciones es muy baja debido a la poca conectividad lateral que muestra. Sus orillas están descubiertas y tras la orilla existe otro uso de la tierra como agricultura o ganadería.</p>	
Pobre	<p>Riberas con cobertura vegetal ubicada dentro del lecho del río que cubre entre un 25% y un 50% de la longitud de este. Presenta una importante abundancia de herbáceas y especies introducidas, además de escasas de especies leñosas de mayor tamaño, por lo que muestra únicamente dos estratos bien definidos, donde el bajo es el más denso. La regeneración natural es casi nula y cuenta con orillas de bastante a muy sobrelevadas que limitan su conectividad lateral, presentando inundaciones sólo en avenidas muy extraordinarias. La orilla y tras la orilla están dedicadas a la agricultura o la ganadería.</p>	
Muy Pobre	<p>Sitios donde la vegetación asociada al río es casi inexistente, representando menos de una 25% de la ribera y distribuidos como pequeños parches aislados, hay una dominancia de la vegetación herbácea, una ausencia de árboles y una escasa presencia de arbustos. En la mayoría de los casos sólo muestra un estrato muy abierto, con regeneración natural nula y orillas muy sobrelevadas con graves problemas de erosión. Las inundaciones se dan de manera extraordinaria por el relieve tan quebrado que presentan, lo que imposibilita la conectividad lateral. Los cultivos o pastos llegan hasta el cauce del agua, si es posible, y en los casos en los que la pendiente no lo permite llegan hasta la orilla.</p>	

Discusión:

Análisis de imágenes satelitales y validación de la clasificación:

La utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG), como una herramienta para la clasificación del uso del suelo se torna cada vez más común. Sin embargo, su aplicación se puede ajustar a otros objetivos, más allá de sólo el conocimiento del uso actual del terreno. Esto permite que, proyectos tanto de mitigación como conservación y restauración sean capaces de aprovechar sus beneficios (Rainer 2009, Gomarasca 2004, Nuñez *et al*, 2010), y aplicarlos en

estrategias como el monitoreo de especies, modelación de su distribución futura y mapeo de su ubicación en un área determinada. También, se utilizan para conocer los ecosistemas, estudiar los fenómenos naturales que los afectan y poder predecir y evaluar los cambios que estos presentan (CONABIO, 2012).

No obstante, para su aplicación, se deben obtener valores de exactitud altos, que respalden las clases presentadas y su similitud con la realidad. Para ello, el proceso de clasificación supervisada conlleva una labor minuciosa y detallada, siendo importante recalcar, que debido a que la base de datos del uso actual provino de un recuento histórico elaborado por diferentes grupos de estudiantes, previo a la ejecución de la clasificación, fue necesaria una meticulosa revisión de los datos, ya que se encontraron diversas inconsistencias en la clasificación de un mismo uso de suelo. Una vez identificados los puntos discordantes, se procedió a la eliminación de estos, lo cual fue posible y no afectó la clasificación debido a la cantidad de puntos de la base.

En el presente trabajo, se obtuvo una exactitud en la separabilidad de las clases generales de Bosque y No bosque de un 90,6%, lo que quiere decir que presentó una confiabilidad alta (Cuadro 3). Dicho valor se vio afectado debido a que la herramienta utilizada lo que realiza es una separación de las celdas del ráster según la radiación que reflejan (ESRI, 2016), la cual según la Agencia Espacial Europea (2009) está en función de su longitud de onda (firma espectral). Por lo que al observar los resultados de la matriz de error (Cuadro 2), se aprecia como las clases de bosque presentan una buena separabilidad con el resto, a excepción de la agricultura y los pastos cultivados con árboles, para el estadio temprano. Esto se debe principalmente, en el caso de la agricultura, a que la zona estudiada cuenta con muchos sitios con cafetales arbolados, los cuales en muchas ocasiones son abandonados y adquieren características similares a un bosque temprano. Y en el caso de los pastos cultivados con árboles, se debe a que si estos presentan una alta cantidad de árboles dispersos en su matriz la reflectancia de los mismos se confunde con la del estadio antes especificado, por lo que se torna difícil lograr una buena exactitud en la separación de dichos usos.

Al calcular el estadístico Kappa, se obtuvo un valor de 0,69, el cual según Landis y Koch (1977) es considerable, pero al compararlo con otros estudios como el realizado por Fonseca, Chaves y Rey (2010), el cual obtuvo un resultado de 0,38-0,39, se aprecia que es un valor alto. De la misma forma sucede con Dedios (2006), donde se alcanzó un valor Kappa de 0,43 para la primera clasificación, y otro equivalente al calculado en el presente trabajo para la segunda clasificación realizada (0,69). Por esta razón, se muestra confiabilidad en los resultados obtenidos, ya que la concordancia entre clases es de un 69%, mayor que lo dado únicamente por el azar.

Además, si se compara con la clasificación realizada por Campos (2010), para la cuenca del Río Reventazón, se puede apreciar como las categorías de ambas clasificaciones son similares, específicamente en la parte alta de dicha cuenca, zona Norte de Cartago, donde predomina la presencia de cultivos y pastos, factores importantes en la degradación del terreno. Quedando las zonas más conservadas, en su mayoría, dentro del área de conservación del Parque Nacional Volcán Irazú.

Índice de calidad riparia (IQR):

Al comparar los resultados del índice de calidad riparia, con la información obtenida en la clasificación de la imagen satelital, se refuerza la validez de las clases, ya que, según la clasificación, los cuerpos de agua Quebrada Ortiga, Rodeo, Coyote, Arriaz y Río Chinchilla se encuentran dentro de los siete más dañados, con una cobertura vegetal inferior al 30%. Mientras que según los resultados del IQR (Cuadro 4) los sitios más degradados fueron Quebrada Ortiga, Coyote, Arriaz y Rodeo, respectivamente, con categorías entre Pobre y Muy Pobre, lo que quiere decir, que cuentan como máximo con un 50% de cobertura forestal (Cuadro 6). Demostrando que los resultados concuerdan entre sí.

Actualmente la aplicación del IQR no es tan común, siendo el índice de Calidad de Bosque de Ribera (QBR) el más utilizado, no obstante, se decide emplear el IQR debido a que este es una modificación del QBR que abarca más aspectos a evaluar. Por tanto, la comparación de resultados a través del índice aplicado en el

presente trabajo se torna difícil, lo que conlleva a contrastar los valores obtenidos con los reportados por autores como Araya y Fernández (2017), quienes aplicaron el QBR en seis diferentes zonas de muestreo ubicadas en las provincias de Heredia y Alajuela, Costa Rica, y concluyeron que las categorías adquiridas fueron dos sitios con calidad “Muy buena”, dos con “Mala” y otros dos con “Muy Mala”. Estos mismos autores, realizaron a su vez una modificación del QBR incorporando el componente social por medio de la aplicación de entrevistas a los pobladores de las zonas evaluadas, no obstante, al comparar estadísticamente los resultados obtenidos con el QBR original, concluyeron que no hay diferencias significativas, por lo que no se puede sobreponer la modificación sobre el original. Sin embargo, recalcan que al realizar las entrevistas se incorpora más a las comunidades en el proceso y se comienza a inculcar en ellas la importancia de cuidar el medio ambiente.

Por su parte Cortés (2015), realiza la aplicación del QBR en el Río Torres en la provincia de San José, Costa Rica, donde se obtuvo como resultados que, de ocho sitios analizados, tres se ubicaron dentro de la categoría de “Muy Buena” calidad, uno en categoría “Intermedia” y los cuatro restantes en calidad “Mala”. Esta tendencia reportada, se asemeja con los resultados obtenidos de la evaluación, donde de siete fincas evaluadas, solo una mostró una calidad “Muy Buena”, una de calidad “Regular”, tres en calidad “Pobre” y dos en “Muy Pobre” (Cuadro 4). Lo que evidenció el grado de afectación que están sufriendo los bosques de ribera en distintas zonas del país, debido a que en su mayoría muestran altos valores de degradación, siendo pocos los que aún cuentan con buena cobertura y estructura vegetal.

Selección de zonas prioritarias:

La clasificación propuesta por González *et al* (2006), mostró una serie de estrategias de gestión a tomar en cuenta, según las categorías de degradación que presenta cada cuerpo de agua, donde a partir de la calidad “Regular” se vuelve necesaria la restauración ecológica del sitio, debido a la gran vulnerabilidad ambiental que muestra. Por lo que, basados en ese principio y en que el objetivo

del proyecto es recuperar los ecosistemas riparios, se decide seleccionar como zonas prioritarias aquellas que fueron ubicadas en las categorías de “Regular”, “Malo” y “Muy Malo”, correspondiendo a seis del total de sitios evaluados. Dichas zonas seleccionadas, además, de la poca cobertura vegetal o forestal que mostraron, presentaron otras problemáticas, como lo es la alta contaminación por residuos sólidos, químicos y material fecal, que es provocada por la explotación desmedida que se genera a sus alrededores, y por el pésimo manejo que se les da a los residuos en general. No obstante, si se le agrega el hecho de que son desechos de productos tóxicos provenientes de plaguicidas, la situación se complica aún más.

Por este motivo se priorizaron dichos sitios, ya que la recuperación de su ecosistema y la protección de sus hábitats se vuelve de carácter urgente, en especial si se considera la cantidad de terreno que se está perdiendo en la zona, debido a la erosión del suelo. En algunos casos, los deslizamientos ponen en peligro la vida de los propios habitantes de las comunidades.

Razón por la cual, se debe procurar comenzar la restauración desde la naciente, debido a que durante las giras de campo se observó que estas no están siendo protegidas. Por lo que muchas de las quebradas estudiadas en este trabajo, podrían llegar a perder la totalidad de su caudal para la época seca, lo cual implica una afectación negativa tanto en la producción de cultivos como de leche y carne, ya que la escasez de agua, en algunos periodos, es extrema.

Pero, no sólo se pierde la capacidad productiva de la zona, sino también, el servicio de hábitats para la fauna local, tanto terrestre como acuática, lo que a su vez, conlleva a un aumento en la presencia de plagas y enfermedades, ya que estudios como el de Ceccon (2003) demuestran que las aves que sitúan su nicho en los bosques de ribera funcionan como depredadores de los roedores e insectos que atacan los cultivos.

Conclusiones:

- Se logró determinar el estado actual de las riberas analizadas mediante la aplicación del IQR, donde se evidenció que el único cuerpo de agua con estado “Muy Bueno” fue el Río Reventado.
- Debido al alto nivel de degradación que presentaron las Quebradas Ortiga, Coyote, Arriaz y Rodeo y los ríos Taticú y Chinchilla, y por lo tanto su gran aporte de sedimentos en diversos embalses, se clasificaron como zonas prioritarias a restaurar.
- Al realizar la clasificación supervisada, se obtuvieron resultados que concuerdan con los obtenidos con el índice de calidad riparia. Dicha corroboración de resultados expresa que es factible extrapolar, a los otros cuerpos de agua dentro del área de estudio identificados con cobertura inferior al 50% por medio de la clasificación, el grado de degradación que presentan las riberas de estos cauces sin la necesidad de nuevas aplicaciones del IQR en ellos.
- Debido a la dificultad de diferenciar entre las firmas espectrales de algunos usos de suelo identificados en la zona de estudio, la clasificación generó una exactitud total de un 80%, específicamente una separabilidad de las clases bosque y no bosque de un 90%. Además, de un valor Kappa de 0,69, lo que genera confianza en los resultados obtenidos.

Recomendaciones:

- Siguiendo el ejemplo de Fernández y Araya (2017) y debido a que el IQR tampoco incluye ningún aspecto social se recomienda complementar los resultados de este con entrevistas a los pobladores aledaños a los sitios evaluados, con preguntas relacionadas al estado de las riberas, brindándole, si es posible, una puntuación a estas que modifique y se refleje en los resultados del índice.
- Realizar estudios similares en las partes media y baja de la cuenca analizada, para identificar sus zonas prioritarias a restaurar y establecer un manejo integrado en la totalidad de la cuenca.

Referencias:

- Araya, F., Fernández, A. (2017). Modificación del índice de calidad de riberas: Inclusión del componente social en la evaluación de la calidad ribereña de la microcuenca del río Burío-Quebrada Seca. *Revista UNICIENCIA*, 31(1), 39-49.
- Arce, R. (2004). Resumen diagnóstico cuenca Reventazón. Proyecto Redes Comunitarias Para La Gestión Del Riesgo Costa Rica, 1-15.
- Borrás, J., Delegido, J., Pezzola, A., Pereira, M., Morassi, G., Camps-Valls, G. (2017). Land use classification from Sentinel-2 imagery. *Revista de Teledetección*, 48, 55-66. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7133>
- Campos, C. (2010). Análisis de los cambios de cobertura de la cuenca alta y media del Río Reventazón, costa rica, periodo 2000-2010. (Tesis para optar por el grado de licenciatura). Escuela de Ingeniería Forestal. ITCR. Cartago, Costa Rica.
- Carias, D., Chaves, A., Hernández, A., Retana, A., Zeledón, A., Camacho, S., . . . Gutiérrez, E. (2008). Estudio de impacto ambiental proyecto hidroeléctrico reventazón [Resumen ejecutivo]. Expediente No. 0331-08-Setena 1-303.
- Ceccon, E. (2003). Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. *Revista Ciencias*, 72, 46-53.
- Cerda, L., Villarroel, L. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista chilena de pediatría*, 79(1), 54-58.
- CONABIO. (2012). In Sarukhán, J., Seco, R. (Ed.), *Dos décadas de historia* (1era ed.). Distrito Federal, México: Redacta, S.A. de C.V.
- Cortés, R. (2015). Uso del índice de calidad de ribera para la restauración del paisaje forestal, en la parte alta del corredor biológico interurbano Río Torres, San José, Costa Rica. (Tesis para optar por el grado de licenciatura). Escuela de Ingeniería Forestal. ITCR. Cartago, Costa Rica.
- Dedios, N. (2006). Análisis de diferentes métodos de clasificación de una imagen de satélite para caracterizar la superficie afectada por incendio forestal en

- ecosistemas de bosque seco. Recuperado de: http://www.fire.uni-freiburg.de/GlobalNetworks/Caribbean/SIMFOR%202006/Mimbela_es.pdf.
- ESRI. (2016). Clasificación de máxima verosimilitud. Recuperado de: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/maximum-likelihood-classification.htm>
- European Space Agency. (2009). Firmas espectrales. Recuperado de: http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/SEM6DYD3GXF_0.html#a
- Fonseca, W., Chaves, H., Rey, José. (2010). Cambios en la cobertura del suelo y áreas prioritarias para la restauración forestal en el Caribe de Costa Rica. *Revista Recursos Naturales y Ambiente*, 59(60), 99-107.
- Gomarasca, M. (2004). Basics of Geomatics. National Research Council of Italy, Institute for the Electromagnetic Sensing of the Environment, Milan, Italia. ISBN 978-1-4020-9013-4.
- González, M., De Jalón, D., Y Directive, W. (2006). Índice RQI para la valoración de las riberas fluviales en el contexto de la directiva marco del agua. *Ingeniería Civil*, 143, 97-108.
- González, Y. (1984). La producción de alimentos básicos en el Valle Central de Costa Rica (1575 -1821). *Anuario De Estudios Centroamericanos*, 10, 125-141.
- Gracia, J. (1986). Capítulo 18: Sedimentación de Embalses. En UNAM (Ed.) *Manual de Ingeniería de Ríos*. Distrito Federal, Mexico.
- Holdridge, L. 1987. Ecología basada en zonas de vida. Trad. H Jiménez. San José, CR, IICA. p. 8-9.
- Jiménez, O., Rodríguez, C., Y Olsen, N. (2003). Sedimentación del embalse del P.H. Angostura, estudios y experiencias. 4. Instituto Costarricense de Electricidad. San José, Costa Rica.
- Landis, J., Koch G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33:159-174.
- López, G., Pita, S. (2001). Medidas de concordancia: el índice de Kappa. *Revista Cadernos de Atención Primaria*, 6, 169-171.

- Mora, D. (1997). Contaminación fecal del río Reventazón: Período 1994 - 1995. *Revista Costarricense De Salud Pública*, 6(10), 09-13.
- Núñez, J., Rodríguez, Y., Carrillo, K., Madrigal, J. (2010). Esquema para el monitoreo de impacto sobre la cubierta forestal en corredores biológicos de Chiapas. XIV Simposio SELPER, Guanajuato, México. ISBN 978-607-441-100-3.
- Ortiz, E. (2014). *Atlas Digital de Costa Rica* (1era ed). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Rainer Andreas, R. (2009). Aplicaciones de Geomática para el corredor biológico mesoamericano México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad Corredor Biológico Mesoamericano. México.
- Sáenz, F. (2013). Política agrícola en Costa Rica y su efecto sobre el campesinado. ¿Tendrá la educación “alguna vela en este entierro”? *Revista Educare*, 3, 87-101.
- Salgado, D. (2002). Problemática del río Reventado, Cartago: Los aspectos de ocupación en área de amenaza natural múltiple y los conflictos de uso del suelo en áreas con regulaciones preventivas. San José, Costa Rica. Comisión Nacional de Emergencias. 19.
- Tellería, J. (2013). Pérdida de biodiversidad. Causas y consecuencias de la desaparición de las especies. *Memorias De La Real Sociedad Española De Historia Natural*, 10, 13-25.

Capítulo 2. Propuesta para la restauración ecológica de las riberas de seis cuerpos de agua en la cuenca alta del Río Reventazón, Cartago, Costa Rica.

Yerlin Vargas Solano¹

Resumen:

La finalidad del presente trabajo es la elaboración de una propuesta de restauración ecológica para diferentes cuerpos de agua ubicados en la cuenca alta del río Reventazón. Para lograrlo, en primera instancia se aplicó una entrevista a los propietarios que colindan con los ríos Reventado, Chinchilla y Taticú, además de las quebradas Ortiga, Rodeo, Coyote y Arriaz. Esto con el objetivo de obtener información sobre la disponibilidad de los finqueros de participar en el proyecto y sus consideraciones sobre el estado de las riberas estudiadas. Seguidamente, se realizó una revisión bibliográfica sobre distintas especies que sean nativas de la zona, que se adapten a ecosistemas riparios y que colaboren con la recuperación de los servicios ecosistémicos. Los resultados generaron una lista de 21 especies distintas clasificadas según su porte o tamaño. Además, se elaboraron tres opciones de restauración adaptables a las condiciones de tres sitios con características diferentes, donde la primera será para fincas grandes y la distancia que se cubrirá de árboles será de 15 m desde la orilla del río hasta el uso productivo. La segunda para fincas medianas con una distancia de 10 m, y la última para fincas pequeñas donde la distancia corresponderá a cinco metros. La combinación de especies dependerá de las necesidades y condiciones del dueño de la finca. En el caso de riberas con un relieve muy empinado, se aplicará una técnica de bioingeniería, donde se creará un tipo de “malla natural” que al crecer formará una capa que protegerá y amarrará el terreno.

Palabras clave: Río reventazón; restauración ecológica; especies nativas; bioingeniería.

¹Yerlin Vargas Solano
Cartago, costa Rica
Estudiante del Instituto Tecnológico de Costa Rica
Correo: yervs24mail.com

Abstract:

The goal of this work is the development of a proposal for river strip restoration of different rivers and creeks located in the upper watershed of the Reventazón River. As a first step, a survey was applied to the farm owners next to the rivers Reventado, Chinchilla and Tatiscú, as well as the streams Ortiga, Rodeo, Coyote and Arriaz, with the objective of obtaining information about the availability of the farmers to participate in the project and their considerations about the state of the river strips studied. A bibliographic review was carried out to select tree species that are native to the area, with two main characteristics, they can be adapted to riparian ecosystems, and they collaborate with the recovery of ecosystem services. As a result, 21 different species were selected and classified according to their size or usu. Here, three different restoration options for three farm conditions are described. The first option for large farms with at least 15 m wide river strip to be restored. The second option is for medium-sized farms with 10 m wide river strip to be restored. The third option for small farms with 5 m wide river strip to be restored. The combination of species will depend on the needs and conditions of the owner of the farm. In the case of river strips with a very steep relief, a bioengineering technique will be applied, where a type of "natural mesh" will be created that, when grown, will form a layer that will protect and tie the ground.

Keywords: Reventazón river; ecological restoration; native species; bioengineering; river strip

Introducción:

Hablar de un ecosistema ripario, es referirse a las interrelaciones existentes entre un conjunto de hábitats, individuos y condiciones que se encuentran en las cercanías de un cuerpo de agua. Arcos (2005), lo define como un ecosistema ubicado a ambos lados de quebradas y ríos, donde se incluyen bancos aluviales y humedales, terrazas de inundación, vegetación dependiente de un suministro constante de agua en el suelo, ecosistemas adyacentes a drenajes y canales que desembocan en quebradas ríos o humedales, o áreas que rodean lagos. Estos, debido a su riqueza en elementos básicos para sobrevivir, contienen una gran

cantidad de diversidad biológica, tanto de fauna como de flora. Además, por su longitud y capacidad de conectar diferentes ríos, son muy utilizados por las especies como corredores biológicos, y se consideran comúnmente como refugios para especies vulnerables.

Sin embargo, por sus suelos fértiles y constante presencia de agua cuentan con un gran valor ecológico, económico y social, por lo que se tornan altamente atractivos para la producción, lo cual ha provocado que se hayan ido degradando por la acción humana (Robins & Cain, 2002).

Lowrance *et al* (2001), señalan como consecuencia de la pérdida de cobertura riparia, la disminución de biodiversidad del sitio, dada por la mortalidad de individuos a causa de la desaparición de sus hábitats, y la reducción de la distribución natural de las especies propias de la zona afectada. Además, se da la reducción de la calidad del agua, ocasionada por sedimentación producto de la erosión, hay degradación de las cuencas hidrográficas por la afectación en el ciclo del agua al eliminar la cobertura vegetal, y todos los efectos secundarios que esto conlleva. Lo anterior, desemboca en problemas ecológicos, económicos, sociales y de salud.

En el área analizada Bolaños *et al* (2005) reconoce cuatro zonas de vida: Bosque Húmedo Premontano (bh-P), Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB), Bosque muy Húmedo Montano (bmh-M) y Bosque Pluvial Montano (bp-M). Mientras que Quesada (2007) indica que las riberas deberían poseer ecosistemas con una estructura y composición características de las zonas de vida donde se encuentran; por lo que los géneros típicos para el caso del bh-P son *Nectandra*, *Persea*, *Cinnamomun* (Lauraceae), *Cupania* (Sapindaceae) y *Eugenia* (Myrtaceae).

Para el caso de la zona de vida de bh-MB se encuentra un bosque de baja altura, poco denso, y con gran abundancia de epífitas. Para el bmh-M, por su constante presencia de neblina (Bolaños *et al*, 2005) y su gran variación en la topografía se ubican como especies típicas el *Alnus acuminata*, *Cornus disciflora*, *Magnolia poasana* y el género *Quercus* (Quesada, 2007). Y finalmente, en el caso del bp-M se encuentra una vegetación muy similar a la del bmh-M, con algunas especies

extra como la *Chusquea* sp, *Artostaphylos* sp, *Pernetia* sp, *Vaccinium consanguineum* y *Senecio* sp. (Fournier, 1980). Sin embargo, se reconoce que por la alteración del sitio los ecosistemas han perdido sus características y condiciones originales por lo que se torna necesario realizar acciones que permitan recuperar dichos ecosistemas y sus servicios.

Razón por la cual la restauración ecológica se ha vuelto más importante con el paso de los años, ya que la pérdida de los ecosistemas amenaza fuertemente el bienestar tanto humano como del planeta en general. Jackson (1993) define la restauración como "El proceso de alterar intencionalmente un sitio para establecer un ecosistema", mientras que Vargas (2011) agrega que se denomina restauración activa al momento en el que un ecosistema requiere de asistencia humana, debido a que se encuentra tan degradado que no es capaz de recuperarse por sus propios medios.

Existen tres métodos para lograr que un ecosistema recobre su bienestar ecológico, los cuales son: la recuperación, que se da cuando simplemente se cubre de vegetación el sitio con especies adecuadas; la rehabilitación, en la cual se da una mezcla de especies nativas e introducidas y la restauración que es la imitación más próxima a las condiciones originales, introduciendo especies tanto de fauna como de flora propias del lugar (Machlis, 1993).

De allí, la importancia de realizar el estudio de las distintas áreas de interés, para determinar para cada una de ellas las especies y metodologías ideales para su restauración. A manera de ejemplo, el trabajo elaborado por Rojas (2010), indica que para restaurar la ribera del río Reventado las especies recomendadas son *Acacia angustissima* (Mill.) Kuntze, *Acnistus arborescens* (L.) Schldl y *Citharexylum donnell-smithii* Greenm, especies de suma importancia en la producción de alimentos para fauna, especialmente aves.

Dada la importancia que tienen los bosques de ribera, el presente trabajo tiene como objetivo realizar una propuesta para la restauración ecológica de la cobertura vegetal de las riberas de los cuerpos de agua Río Chinchilla y Taticú, y las quebradas Rodeo, Arriaz, Coyote y Ortiga.

Material y métodos:

Área de estudio:

El río Reventazón, se ubica en la provincia de Cartago, Costa Rica. Cuenta con una longitud de 145 km, y con una cuenca de 2950 km² (Mora, 1997). Inicia en la divisoria continental y desemboca en el Mar Caribe (Arce, 2004). El proyecto se realizó el segundo semestre del año 2017 y el área de estudio correspondió a la parte alta de la cuenca, entre las coordenadas 1102944,28 X - 1093348,11 X y 506749,21 Y - 516789,90 Y, la cuales se encuentran en el sistema de coordenadas CRTM05, ubicados específicamente las subcuencas de los siguientes cuerpos de agua: Río Chinchilla y Tatiscú, y las quebradas Rodeo, Arriaz, Coyote y Ortiga (Figura 9).

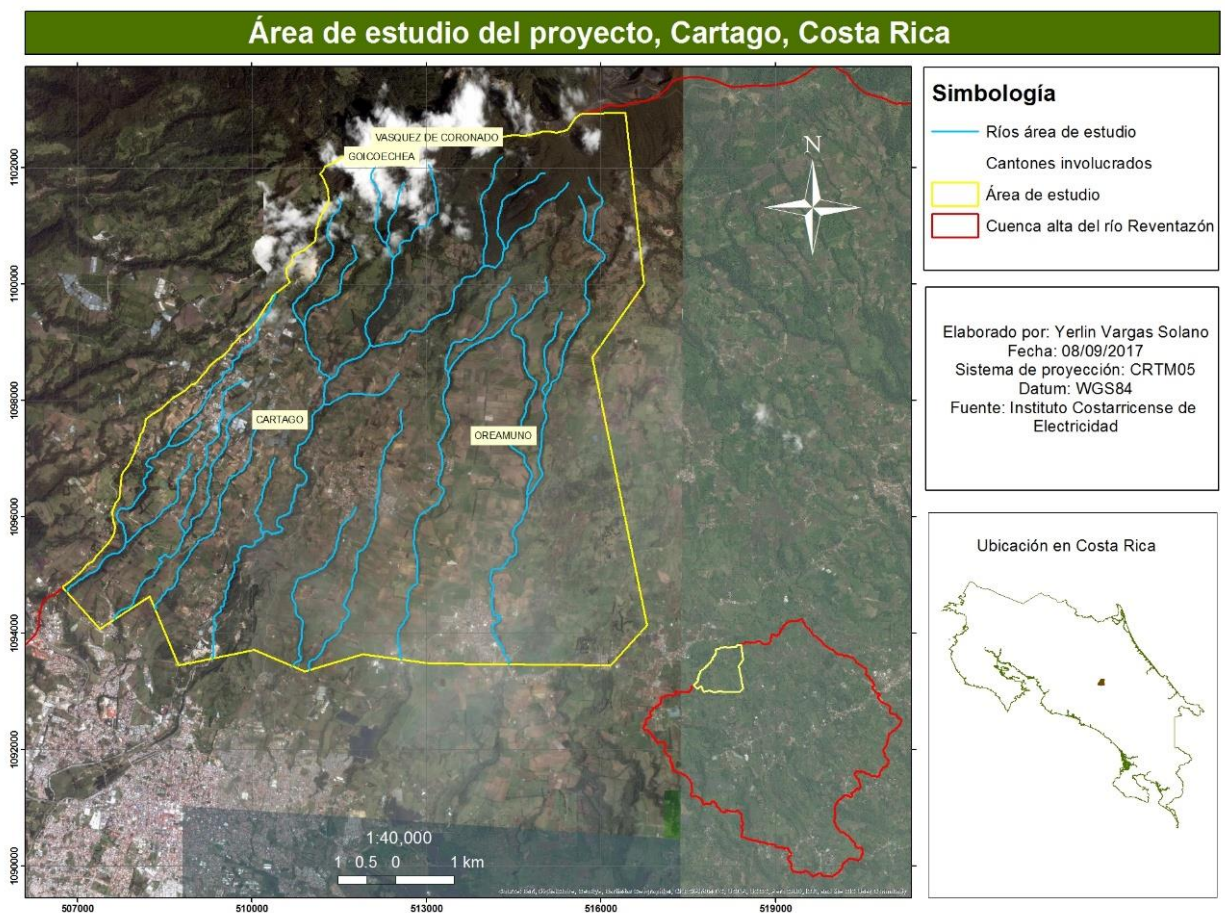


Figura 9. Ubicación del área de estudio, Cartago, Costa Rica, 2017.

La precipitación media de la cuenca alta varía entre 1500 y 2500 mm (Arce 2004), y su temperatura oscila entre los 8°C y los 20°C (Ortiz, 2014). Por su cercanía con los Volcanes Irazú y Turrialba, presenta suelos andisoles, de origen volcánico, con grandes cantidades de nutrientes. Por las condiciones orográficas y de pendientes variadas, se encuentran desde los 1400 msnm hasta los 3300 msnm, con los siguientes pisos altitudinales: montano, montano bajo y premontano, y las siguientes zonas de vida: Bosque Húmedo Premontano (bh-P), Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB), Bosque muy Húmedo Montano (bmh-M), Bosque Pluvial Montano (bp-M) (Holdridge,1987).

Recolección de datos de propietarios:

Se identificaron todos los propietarios de las fincas dentro del área de estudio por medio del análisis del censo realizado en la zona, por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (INEC, 2015). Una vez obtenida esta información, se realizó una verificación de campo. Se aplicó una entrevista a cada propietario donde se recopiló información esencial para determinar su conocimiento en el tema y grado de interés en el proyecto (Anexo 2). Finalmente, como trabajo de oficina se procesó dicha información y se sintetizó por medio de gráficos con el uso del programa Excel 2016.

Selección de especies:

Se investigó y analizó por zonas de vida, ubicación y condiciones de las áreas prioritarias, para identificar las especies nativas que pertenecen al ecosistema nativo de los sitios en estudio, para su posterior uso. Esto, procurando favorecer la sucesión natural, para recuperar la estructura y funciones originales del sitio. La lista de especies, se elaboró consultando la página de Germinar 2.0 (2011), donde se tomó en cuenta aspectos como su distribución natural, su capacidad de colaborar con la recuperación de zonas degradadas, su atractivo escénico o de alimento, ya sea de fauna o humanos y el porte de cada especie.

Resultados:

Recolección de datos de propietarios:

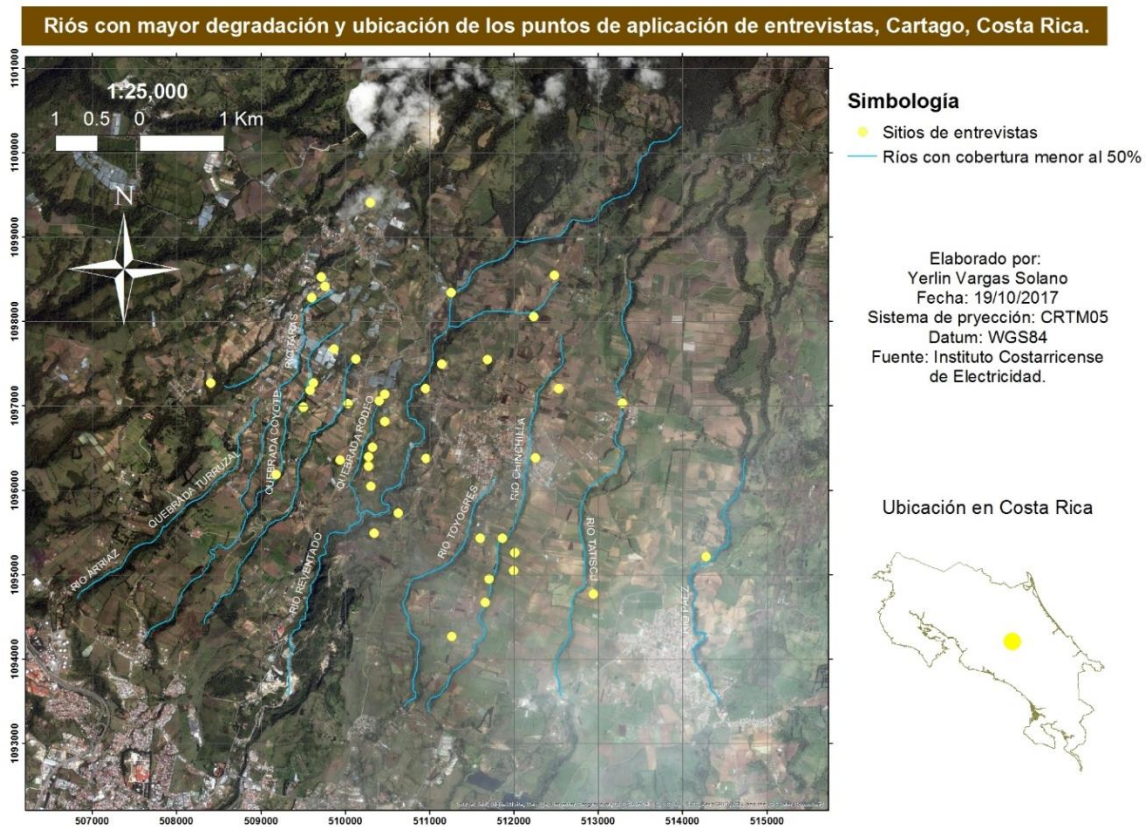


Figura 10. Cuerpos de agua con cobertura forestal inferior al 50% y ubicación de los sitios de aplicación de las entrevistas, Cartago, Costa Rica, 2017.

Las entrevistas fueron aplicadas en las comunidades de Tierra Blanca y Llano Grande de Cartago, Costa Rica, utilizando como insumo, los resultados obtenidos en el Capítulo 1, de este trabajo (Figura 10). Con las entrevistas, se obtuvo información del estado actual de la ribera según la perspectiva de cada dueño, donde se obtuvieron que del total de finqueros evaluados (42 fincas), un 53% aseguró tener un estado regular, un 33% un estado bueno y un 14% un mal estado (Figura 10). Por lo que, al analizar estos resultados se logró determinar la necesidad de programas de educación ambiental de calidad, que les permita a los pobladores hacer un uso racional y sostenible de los recursos naturales, y

comprender la afectación que están provocando por el mal manejo que dan a los desechos sólidos, tanto en sus hogares como en sitios productivos.

Adicionalmente, se obtuvo información de: uso actual del suelo en cada propiedad, los posibles aportes de cada uno de los propietarios al proyecto, los entes públicos que reconocen en el área que se interesen en el tema y las expectativas que tienen al realizar y finalizar el proyecto (Figura 11).

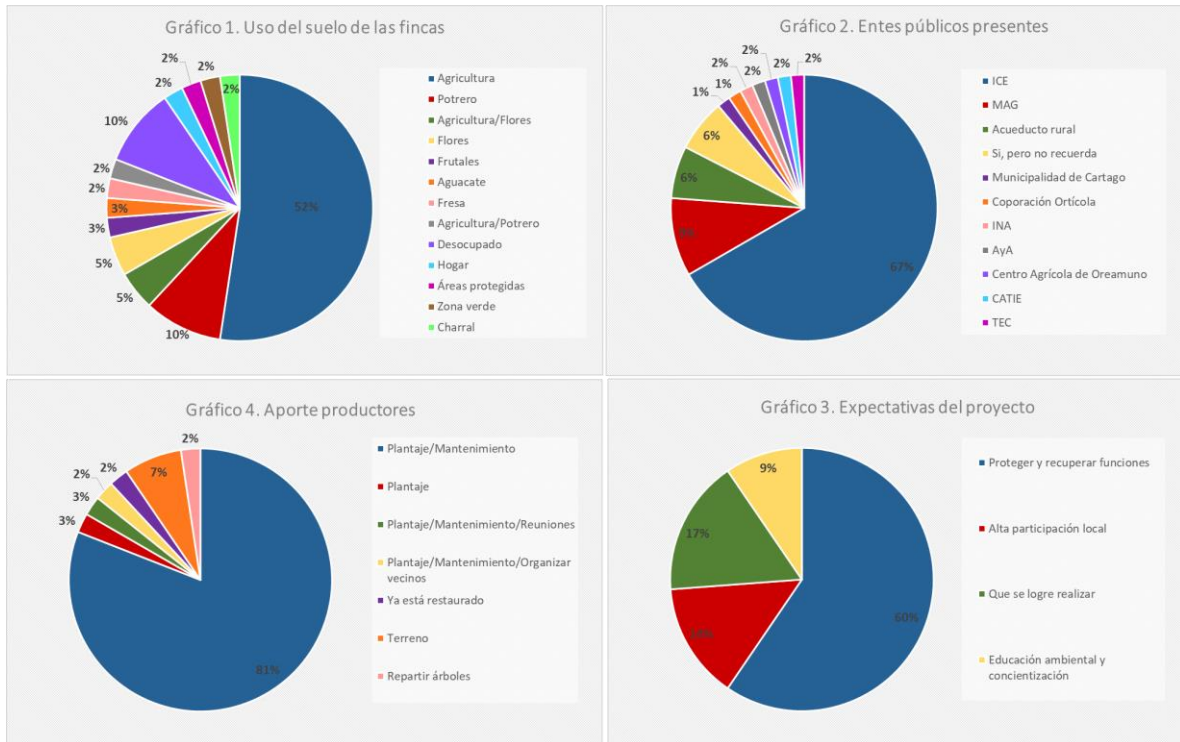


Figura 11. Gráficos de los resultados de las entrevistas aplicadas en la zona de Tierra Blanca y Llano Grande, Cartago, Costa Rica, 2017.

La información obtenida, indica que la población de estas localidades, en su mayoría agricultores, aceptan el planteamiento del proyecto, ya que ninguno se opuso a participar, por el contrario, se interesaron en este, tienen gran disponibilidad de colaborar y mantienen altas expectativas para su ejecución (Figura 11, Gráfico 1 y 4).

Por otro lado, se puede identificar la preocupación de los propietarios por recuperar las funciones y servicios ecosistémicos (Figura 11, Gráfico 3), donde según los resultados de las entrevistas son principalmente el sostén del suelo y la

producción de calidad y cantidad de agua, esto debido al sin número de problemas que la pérdida de estos servicios ecosistémicos les ha ocasionado.

Finalmente, se tomó en cuenta las consideraciones o limitaciones específicas mencionadas por cada productor para seleccionar las especies a ser utilizadas en la restauración de riberas, las opiniones se distribuyen de la siguiente manera:

- Un 36%, que sean especies de porte bajo, para evitar afectación a cultivos por exceso de humedad, sombra y goteo.
- Un 30%, que sean especies frutales, aspecto de gran valor.
- Un 20%, consideran que no existe limitación alguna para su finca.
- Un 17%, que sean especies que sirvan para recuperar los servicios ecosistémicos.

Selección de especies:

Seguido del análisis se obtuvo la siguiente lista (Cuadro 7), donde se muestra la especie recomendada sus funciones y su porte. Esto último es importante por la limitación de tamaño que algunos agricultores expresaron.

Cuadro 7. Lista de especies recomendadas a utilizar durante el proceso de restauración de las riberas en las zonas de Tierra Blanca y Llano Grande, Cartago, Costa Rica, 2017.

Nombre científico	Nombre común	Conservación de agua	Control de erosión	Estabilización de suelos	Alimento fauna	Frutal	Porte
<i>Ardisia compressa</i>	Tucuico	X	X	X	X		Bajo
<i>Ficus carica</i>	Higo		X	X		X	Bajo
<i>Persea americana</i>	Aguacate	X	X		X	X	Bajo
<i>Prunus persica</i>	Durazno				X	X	Bajo
<i>Ricinus communis</i>	Higuerilla	X	X	X			Bajo
<i>Acnistus arborescens</i>	Güitite	X			X		Mediano-bajo
<i>Anona cherimola</i>	Anona		X		X	X	Mediano-bajo
<i>Croton niveus</i>	Colpachí	X	X	X	X		Mediano-bajo
<i>Brunellia costaricensis</i>	Cedrillo	X	X	X	X		Mediano-alto
<i>Oreopanax xalapensis</i>	Cacho de venado	X	X		X		Mediano-alto
<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce	X	X	X			Mediano-alto
<i>Vismia baccifera</i>	Achotillo	X	X	X	X		Mediano-alto
<i>Alnus acuminata</i>	Jaúl	X	X	X	X		Alto
<i>Cedrela tonduzzi</i>	Cedro dulce						Alto
<i>Citharexylum donnell-smithii</i>	Dama	X	X	X	X		Alto
<i>Croton draco</i>	Targuá	X	X		X		Alto
<i>Ehretia latifolia</i>	Raspaguacal	x	X		x		Alto
<i>Erythrina berteroaana</i>	Poró tico		X				Alto
<i>Persea schiedeana</i>	Yas	x	X		x		Alto
<i>Ulmus mexicana</i>	Tirrá						Alto

Germinar 2.0 (2011)

La lista se conforma por 20 especies que se pueden llegar a combinar de distintas maneras, dependiendo de las necesidades del sitio. También presenta la capacidad de cada una de estas de colaborar con la recuperación de los sitios, lo que las califica como candidatas para su utilización en el proyecto.

Plan de restauración de riberas de los cuerpos de agua analizados:

Se seleccionaron especies que cuentan con la capacidad, principalmente, de estabilizar y controlar la erosión del suelo y conservar el agua, ya que estas son las afectaciones que representan la mayor preocupación en las comunidades de Llano Grande y Tierra Blanca, a causa de la gran cantidad de deslizamientos que se generan en la época lluviosa y la fuerte sequía que ataca en época seca. Factores que afectan tanto la producción de sus cultivos como la seguridad de sus pobladores.

Barreras a la restauración:

Por ser el sitio de estudio una zona tan productiva y degradada, se identificaron barreras o filtros fuertes a la restauración, que se deben vencer para poder ejecutar el proyecto, dentro de ellas sobresalen:

- La importancia productiva de la tierra, ya que cada metro menos de terreno representa un valor económico significativo para su propietario, por lo que se debe dar a entender a los finqueros la importancia de participar del proyecto y cuidar el medio ambiente, recalcando el riesgo de perder su finca por erosión si no protegen sus riberas.
- Riesgo de invasiones biológicas, ya que, al encontrarse las zonas a restaurar tan cercanas con los cultivos, pueden ser invadidas por estos, lo cual, aunque no provocaría una afectación muy grave, si ralentizaría el proceso de restauración y representaría un riesgo de que se retome el terreno para la siembra. Por lo que se recomienda mantener una franja con gramíneas entre la zona a restaurar y el cultivo más próximo.
- Existe un alto riesgo de contaminación por agroquímicos, que pueden llegar a afectar el desarrollo de las plántulas, y más importante aún, los

árboles estarán expuestos a las diferentes plagas y enfermedades que pueden atacar los cultivos. Siendo de esta manera importante considerar la opción de brindar un manejo diferenciado de los cultivos más cercanos a la zona de restauración, agregando cantidades menores de lo normal o utilizando productos orgánicos.

- El viento y la lluvia representan una barrera, ya que, al ser un terreno tan suelto, hidrofóbico y con partículas tan pequeñas, es muy afectado por la erosión, ocasionada por estas dos condiciones, las cuales al ser climáticas no se pueden ni prevenir ni controlar, no obstante, es importante mantener como mínimo una capa de vegetación pequeña, como gramíneas que proteja el suelo del impacto directo de estos.
- Inestabilidad de bordes de las riberas ocasionadas por la poca vegetación que tienen, las altas pendientes que presentan y por el punto mencionado anteriormente, ya que al estar descubiertas cuando llueve el golpe del agua cae directo al suelo, lo cual aunado a lo anterior provoca que éste ceda con facilidad y cause deslizamientos. Al ser esta barrera una consecuencia de la barrera anterior se propone su manejo de la forma descrita para esta.
- Las fuentes de material genético (propágulos), podrían representar una dificultad para el proyecto debido a la poca presencia de árboles madre que funcionen como proveedores de material genético. Además, por la gran fragmentación del paisaje que existe en la zona, donde hay riberas que se encuentran completamente descubiertas y a distancias grandes de un parche de bosque, por lo que dependerán exclusivamente de los individuos que sean introducidos directamente por el proyecto. Los cuales por la poca presencia de muestras de bosque maduro también implicarán una alta dificultad para conseguirlos y propagarlos. Para este caso, se propone ubicar la máxima cantidad de árboles madre posibles que se encuentren en la zona, identificándolos y protegiéndolos de manera especial, para prevenir su desaparición y asegurar una fuente de material

genético. Además, de realizar un esquema estratégico de restauración en el paisaje que permita la dispersión de las especies.

- Finalmente, otra barrera que se presentó mucho en la zona y que repercute en una gran cantidad de complicaciones para la producción de cualquier material vegetal en el sitio, es la sobrepoblación de *Orthogeomys* sp, comúnmente conocida como taltuza, la cual es considerada por los productores como una plaga. Este roedor es rigurosamente herbívoro y se alimenta de una gran variedad de plantas, afectando tanto hortalizas como especies leñosas, que en muchos casos las utilizan como un medio para desgastar sus dientes, debido a que estos nunca dejan de crecer. No obstante, es importante reconocer que es una especie en vías de extinción, por lo que se recomienda un combate biológico, ya que este se encuentra regulado por la Ley N° 7317 Ley de la Conservación de la Vida Silvestre y su reglamento (Villalobos, 2013).

Ejecución:

Uno de los aspectos más importantes para llevar a cabo con éxito un programa de restauración, es la participación comunitaria (Vargas, 2011). Por lo que con el objetivo de lograr la adopción del proyecto en las comunidades de Llano Grande y Tierra Blanca y una correcta ejecución de las directrices del mismo, se recomienda la realización de capacitaciones o charlas con los propietarios, donde se explicarán los objetivos y la importancia del proyecto, los resultados del estudio previo y las pautas a seguir para la implementación en los sitios seleccionados como prioritarios.

Además, es importante que se dé un acompañamiento técnico a los propietarios al momento de seleccionar la opción de restauración que se aplicará en cada finca, debido a que se debe ajustar a las condiciones de cada productor, para evitar el riesgo de futuros problemas por la restauración. Ya que el objetivo del presente trabajo es que se identifiquen y reconozcan los beneficios que pueden obtener los dueños al proteger las riberas de sus fincas y no las dificultades.

Por esta razón, será necesaria la capacitación de los participantes al inicio de la implementación, pero también, se recomienda mantener contacto con ellos

realizando nuevas reuniones a mediados y finales del periodo del proyecto. Esto para que se encuentren al tanto del avance del proceso, y que ellos mismos, sean capaces de ir notando los cambios que se irán generando gracias a la restauración.

Material vegetal:

El material que se utilizará será donando por el ICE. De esta manera, los participantes no incurrirán en gastos por conseguir los árboles, pero si deben proporcionar el transporte de estos desde los viveros del ICE hasta sus respectivas fincas. En cuanto al plantaje y mantenimiento, este correrá por parte de cada propietario, a excepción de algunos casos en los que se trabajará en ríos que pasan por medio del poblado, por lo que se procurará reunir la comunidad y crear una campaña de plantación, para que ellos mismos lo ejecuten y sean parte del proceso.

Estrategia de restauración:

Una vez analizados los datos obtenidos en los apartados anteriores, se plantearon tres opciones de restauración para los sitios estudiados, acordes a las diferentes condiciones, limitantes y requerimientos que cada finca contiene.

La selección de las especies a utilizar se llevará a cabo basándose en la lista recomendada (Cuadro 7). Se debe tener cuidado de utilizar individuos del porte indicado por la opción seleccionada. Para ello, la lista presenta diferentes especies para los cuatro portes a trabajar. También, se debe considerar la disponibilidad de material vegetal de las especies deseadas y la preferencia de los propietarios, por esta razón no se brinda una combinación única, sino que se permite la variación en la mezcla de especies. Cabe mencionar, que los requerimientos de material, deben de ser coordinados con anterioridad para asegurar la cantidad y calidad de las especies requeridas, procurando el uso de fuentes de semilla locales.

Opción 1:

Está dirigida a fincas de mayor tamaño, en las que se puede disponer de más área para aplicar la propuesta. En ella, la distancia que será cubierta de árboles es de 15 m o más, desde la orilla del río hasta el último árbol, el cual representará el límite con el uso productivo de la finca. Allí se establecerán tres estratos, donde se

aplicarán especies tanto de porte alto como medio y bajo. Se ubicarán iniciando por árboles pequeños, seguidos por medianos, altos, medianos y de nuevo pequeños. Esto con el fin, de que los individuos más cercanos a los cultivos u otro uso del suelo sean de porte bajo, y no representen un problema de sombra o humedad para los propietarios. En este caso, se recomienda utilizar especies frutales para maximizar su aprovechamiento y crear una barrera que separe el cultivo y su manejo de las especies no frutales.

Para el centro, se busca que sea un porte de mayor tamaño para con ello propiciar la infiltración, disminuir la escorrentía, aumentar el control de la humedad y el sostén del suelo. Finalmente, los más cercanos al río de nuevo serán pequeños, para evitar el riesgo de que sean arrastrados por este y generen una problemática mayor, además de la posibilidad de agregar mucho peso a las orillas, las cuales pueden estar dañadas y no soportarlo.

En cuanto al distanciamiento, según la Oficina Nacional Forestal (ONF, 2009) el valor estándar para especies no frutales es de tres por tres metros, por lo que se utilizarán tres metros entre árboles y tres metros entre filas, para esta opción. Para especies frutales CATIE (2009), recomienda un distanciamiento desde siete por siete hasta doce por doce metros para la plantación de aguacate. En el caso del higo Vásquez *et al* (1999), presenta valores similares a los del aguacate, ya que varían de seis por seis metros hasta doce por doce metros. Por otro lado, el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 1991) reporta distanciamientos de cinco a seis metros entre filas y cuatro metros entre árboles para el cultivo de melocotón, de esta manera basándose en dicha información se recomienda utilizar una distancia estándar de seis metros entre los árboles de las especies frutales incluidas en el proyecto, y del valor indicado por cada opción entre las filas (tres metros en este caso).

En el caso de que la distancia disponible para restaurar sea mucho mayor a 15 m, se recomienda considerar la opción de aumentar el número de hileras por porte.

Para obtener una mejor comprensión se muestra el esquema de plantación (Figura 12).

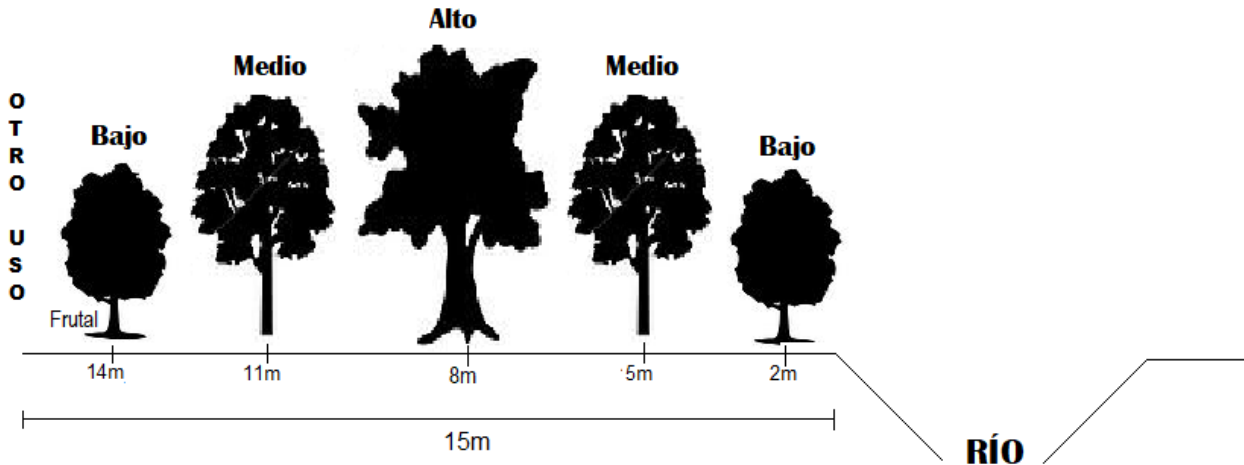


Figura 12. Opción 1 de la propuesta de restauración ecológica para las zonas de Llano Grande y Tierra Blanca, Cartago, Costa Rica, 2107.

Opción 2:

La segunda opción se recomienda utilizarla en fincas medianas, donde su disposición sea de hasta diez metros con respecto a la orilla del río. En este caso, sólo se utilizarán los árboles de porte mediano-alto y bajo, logrando formar dos estratos, los cuales se dispondrán en cuatro hileras de la siguiente manera: bajo, mediano-alto, bajo y bajo. Su disposición sigue los mismos principios que la Opción 1. Sin embargo, por ser fincas de menor área se disminuye el número de hileras y la altura de los árboles. Para con ello prevenir posibles excesos de humedad o sombra.

En cuanto al distanciamiento será igual de tres metros entre árboles no frutales y seis metros entre especies frutales, pero de cinco metros entre las filas uno y dos, con respecto al uso productivo, para distanciar un poco los frutales de los no frutales, y de 2,5 m entre las tres y cuatro. Quedando los individuos de la primera hilera ubicados al metro cero, los de la segunda al metro 2,5, de la tercera al metro cinco y los de la última al metro diez con respecto a la orilla del río. Su distribución será en tresbolillo con el fin de maximizar el área disponible (Figura 13).

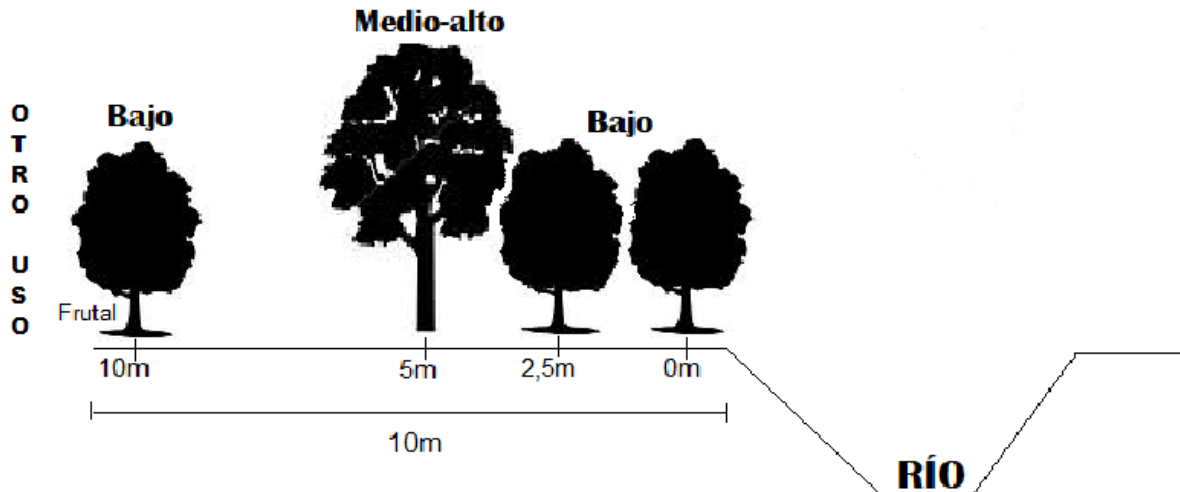


Figura 13. Opción 2 de la propuesta de restauración ecológica para las zonas de Llano Grande y Tierra Blanca, Cartago, Costa Rica, 2017.

Opción 3:

La tercera y última opción, está elaborada pensada para fincas pequeñas y por lo tanto con muy poca disponibilidad de terreno. Esta será menor o igual a cinco metros. Aquí se acudirá a la utilización de las especies denominadas de porte mediano-bajo y bajo, obteniendo al igual que en el caso anterior solamente dos estratos, conformados por tres hileras: bajo, mediano-bajo y bajo. Su selección y distribución se basa en las razones anteriormente explicadas, y en que la aplicación de árboles con gran altura repercutiría en una alta afectación en el uso productivo de la finca por cuestiones de exceso de humedad, sombra y goteo.

Para este caso, se aplicará la misma distribución entre árboles que la Opción 2 (tres y seis metros) y la distancia entre filas será de 2,5 m entre cada una. Ubicando la hilera uno sobre el metro cero, la dos sobre el metro 2,5 y la tres al metro cinco, representando el límite con el uso productivo. De igual forma se plantarán en tresbolillo (Figura 14).

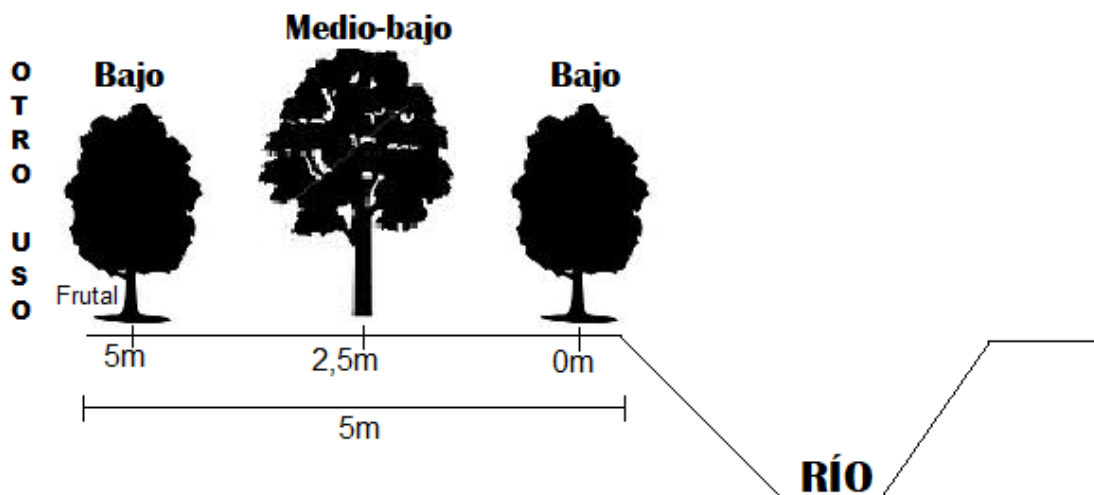


Figura 14. Opción 3 de la propuesta de restauración ecológica para las zonas de Llano Grande y Tierra Blanca, Cartago, Costa Rica, 2017.

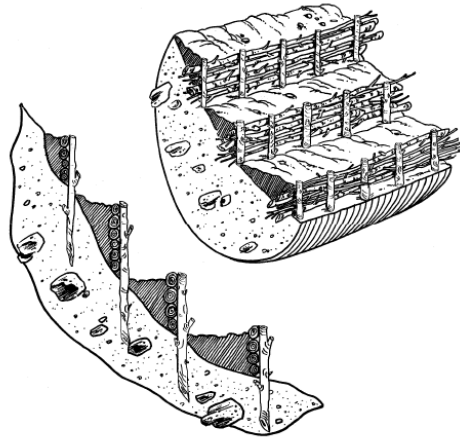
Disposiciones generales:

En algunos sectores el deslizamiento del terreno presentaba tal inclinación que la aplicación de árboles en esos sitios sería poco funcional. Por lo que se recomienda la utilización de una técnica de bioingeniería llamada Wattle Fences, vallas de zarzo en español, la cual consiste en la combinación de materiales inertes con materiales vegetales vivos (Calle *et al*, 2013) por medio de la técnica del zarzo, que se basa en el “tejido de varas, cañas, mimbres o juncos, que forma una superficie plana” (RAE, 2017).

Esta se construirá de abajo hacia arriba, ascendiendo por el paredón por medio de un escalonado en contorno con el terreno, los esquejes serán de 1,25 m de altura y de unos cinco a ocho centímetros de ancho y se ubicarán a una distancia de un metro entre sí, donde se clavarán en la tierra dejando de 25 a 50 cm fuera de esta (Hatchet & Seed, 2016). Luego con varillas delgadas y lo más largas posible se rellenará de forma horizontal hasta cubrir la altura de la malla (Figura 15). La especie a utilizar debe presentar un alto nivel de establecimiento, crecimiento, y reproducción. Además, se deben utilizar estacas recientemente cortadas, ya que el objetivo es que comiencen a desarrollarse y conformen una cobertura que le de protección y sostén al terreno. Por lo que en este caso la especie ideal es *Salix*

humboldtiana, la cual, aunque no es propia del lugar, mostró una alta presencia en los sitios estudiados y una buena adaptabilidad a la zona.

Esta técnica, es recomendada para sitios con una alta humedad, la cual favorezca el crecimiento de los esquejes (Polster, 2002), por lo que se adapta perfectamente a las condiciones estudiadas.



Tomado de Polster (2002)

Figura 15. Técnica de bioingeniería recomendada para la aplicación en paredones con inclinaciones muy pronunciadas, Cartago, Costa Rica, 2017.

Monitoreo:

Una de las fases más importantes en un proyecto de restauración es el monitoreo, ya que con él se evalúa la eficiencia, a corto y mediano plazo, de la ejecución del trabajo y el estado de los sitios restaurados (Tavarez, 2010). Por esta razón para la propuesta aquí presentada se incluye como programa de monitoreo la evaluación de siete aspectos diferentes con el objetivo de reconocer si se están logrando los objetivos de recuperar el ecosistema y sus funciones. Como primer elemento se propone evaluar la frecuencia de deslizamientos de terreno para determinar si hay o no un mayor control en la erosión del sitio, para ello se puede tomar en cuenta también la cantidad de sedimentos que desembocan a la represa. El segundo se refiere a la supervivencia de las plántulas introducidas y su crecimiento en altura a corto plazo y altura y diámetro una vez alcancen el 1,3 m. Seguidamente determinar la presencia de fauna nueva, o crecimiento en las

comunidades preexistentes, lo que permitiría también evaluar la disponibilidad de hábitats, esto mediante reportes de los vecinos de las zonas restauradas. Además, por medio de entrevistas se evaluará la percepción que tienen los pobladores sobre la buena o mala ejecución del proyecto y los avances que muestra con el tiempo. Concluyendo con la determinación de la permanencia del caudal de los cauces restaurados a través de las diferentes épocas del año y la calidad de su agua mediante análisis químicos de laboratorio.

Debido a que el proyecto se llevará a cabo en diferentes lugares y momentos, se recomienda que el monitoreo de la zona restaurada se realice de forma anual durante al menos diez años desde el momento en el que esta fue modificada, esto debido a que la recuperación de un ecosistema es paulatina y conlleva tiempo.

Discusión:

Al comparar las declaraciones sobre el estado de las riberas obtenidas con las entrevistas, con los resultados del Capítulo 1, se determina la falta de información y acompañamiento técnico, con respecto a la gestión de los recursos ambientales, que tienen los propietarios de las fincas visitadas, ya que los sitios evaluados con el IQR presentaron, en su mayoría, un alto nivel de degradación, mientras que en las entrevistas sólo un 14% de sus dueños indicaron un mal estado.

Lo que se evidencia al analizar el gráfico 2, del cual se concluye que son pocas las instituciones públicas que se interesan en trabajar el tema de protección ambiental en una de las zonas más productivas, y por lo tanto más explotadas, a nivel nacional. Lo cual, aunado al mal manejo brindado por los productores conlleva a la situación actual de la zona, donde, el nivel de degradación está comenzando a provocar impactos negativos de tal magnitud, que han causado la pérdida de vidas humanas.

De esta manera, la participación del gobierno en proyectos de restauración ecológica en Costa Rica es poco reconocida por los habitantes de las comunidades de Llano Grande y Tierra Blanca, ya que la mayoría de los entrevistados indicaron que solo el ICE ha realizado esfuerzos por introducirse en esta área, mientras que en Colombia una recopilación de resultados de diferentes

proyectos de restauración reconoce que su gobierno es uno de los actores principales cuando se trata de restauración ecológica, especificando que en sólo el 8,9% de un total de 119 trabajos evaluados no hubo ninguna participación por parte del estado (Murcia & Guariguata, 2014).

Por otro lado, actualmente no se cuenta con mucha experiencia en la ejecución de dicho proceso, por lo que la planificación, establecimiento y monitoreo de este sigue siendo experimental. Magdaleno (2008), en su manual de principios y técnicas para la restauración fluvial indica que la aplicación práctica de estos proyectos muestra mucha incertidumbre, específicamente a la hora de seleccionar el método de restauración, por lo que recomienda algunas técnicas generales, como lo son el aumento en la conectividad del cauce, control de procesos erosivos y la reintroducción, como bandas riparias, de material vegetal. El cual según Murcia & Guariguata (2014) debe componerse por especies originarias de la zona, con capacidad de colaborar en la recuperación de las funciones del ecosistema, de importancia ecológica y que sean fáciles de propagar, requisitos que cumplen las especies seleccionadas para utilizar en la propuesta elaborada.

Además, Magdaleno (2008) recalca la importancia de la utilización de nuevas tecnologías de restauración, donde menciona la aplicación de sistemas de información geográfica como teledetección, tratamiento digital de imágenes e inteligencia artificial. Recalcando que se debe comprobar la fiabilidad del uso de estos métodos (Magdaleno *et al*, 2004), recomendaciones que se tomaron en cuenta en la creación de la presente propuesta.

Por otro lado, en el manual de restauración para humedales mediterráneos (Montes *et al*, 2007) se reconoce como una alternativa la utilización de principios de bioingeniería con el objetivo de recuperar sitios altamente afectados por la erosión del suelo, técnica que de igual manera fue recomendada en el presente trabajo. Así mismo recalca la importancia de incorporar en la planificación del proyecto la participación de las comunidades y medidas que permitan concientizar e interferir en el manejo de los recursos, para atacar de esta manera la fuente de degradación del sitio.

Zamora *et al* (2011), concuerda con Montes *et al* (2007), y agrega que durante los talleres se deben identificar las debilidades y fortalezas de las comunidades, para que la planificación se oriente hacia la transformación de dichas debilidades en fortalezas y a la determinación de las principales necesidades y problemáticas que los pobladores reconocen, para poder enfocarse en la solución de estas. Razón por la que en la ejecución de la propuesta aquí planteada se indica la importancia de tomar en cuenta las comunidades y mantenerlas activas durante todo el proceso.

Murcia & Guariguata (2014), también recalcan un punto muy importante de los proyectos de restauración ecológica y es que estos normalmente cuentan con pluralidad de objetivos, buscando resolver más de una problemática a la vez. Estos mismos autores mencionan que las dos metas más comunes son la recuperación de procesos ecológicos y el aumento en el área con cobertura forestal y por tanto su conectividad en el paisaje. Siendo este último un factor directamente relacionado con la existencia de buenas fuentes de propágulos en las cercanías de las zonas restauradas, lo que promueve una mejor recuperación del sitio, no obstante, por el nivel de degradación de las comunidades evaluadas por el presente trabajo, este elemento se determina como una barrera a la restauración. Otra de las barreras detectadas en este estudio consiste en la inestabilidad de las riberas producto de las altas pendientes, el viento y las lluvias, lo que coincide con lo reportado por los anteriores autores, donde 15 de los proyectos que evaluaron revelaron estas mismas limitantes.

A su vez Magdaleno (2008), indica que el programa de monitoreo debe cumplir funciones como evaluar el éxito de las acciones incluidas en la ejecución del proyecto, minimizar las prácticas que se identifiquen como mal ejecutadas, impulsar la cooperación entre todos los autores involucrados en el proceso y permitir una mejor distribución del presupuesto. Sobre este aspecto de las siete variables propuestas en la presente investigación, para su monitoreo, seis de estas concuerdan con lo analizado por diversos proyectos de restauración en Colombia (Murcia & Guariguata, 2014). Reiterando de esta manera, la importancia que tiene la ejecución de proyectos como el presentado en este documento, ya

que se requiere de una acción inmediata, que procure detener el deterioro de dichos terrenos y la excedida contaminación que en ellos se genera.

Finalmente, esta propuesta cumple con la legislación vigente del país, según la Ley de Aguas N° 276 (1942), Artículo 148, la cual indica que:

“Los propietarios de terrenos atravesados por ríos, arroyos, o aquellos en los cuales existan manantiales, en cuyas vegas o contornos hayan sido destruidos los bosques que les servían de abrigo, están obligados a sembrar árboles en las márgenes de los mismos ríos, arroyos o manantiales, a una distancia no mayor de cinco metros de las expresadas aguas, en todo el trayecto y su curso, comprendido en la respectiva propiedad”.

No obstante, actualmente se encuentra en estudio un proyecto de ley que podría sustituir la Ley de Aguas vigente, una vez que este entre a regir, por lo que la distancia mínima cambiaría a 15 m en zonas rurales, diez metros en zonas urbanas y 50 m en sitios quebrados según el Artículo 29 del Proyecto de Ley para la gestión integrada del recurso hídrico (Expediente N° 20.212, 2016), valores que coinciden con lo demarcado por la Ley Forestal actual N° 7575 (1996) en su Artículo 33. Sin embargo, esos rangos en la Ley Forestal, son definidos como áreas de protección, lo que implica que en dichos sitios no se puede realizar la corta y extracción de árboles, y si los mismos ya están descubiertos, no es obligatoria su restauración ecológica. Por esta razón, no se puede forzar a los propietarios a cumplir con una distancia mayor a cinco metros, para lo cual se crearon tres opciones que promueven como mínimo lo indicado en la actual Ley de Aguas, esperando que con el tiempo estas zonas se vayan incrementando hasta alcanzar el valor mínimo establecido por la Ley Forestal.

Conclusiones:

- Mediante el análisis realizado se logró crear una propuesta de restauración para las riberas seleccionadas, la cual se compone de tres opciones distintas adaptadas cada una a una situación específica. Además, de la

aplicación de una técnica de bioingeniería llamada vallas de zarzo para los casos de riberas con taludes muy empinados.

- Los resultados de las entrevistas evidencian que los pobladores de Llano Grande y Tierra Blanca debido a la gran problemática de erosión de suelo y falta de agua que sufren, asociadas al mal uso de los recursos naturales, reconocen la importancia del proyecto y cuentan con la disponibilidad de participar en él.
- Por la característica productiva del sitio y sus condiciones climáticas, se lograron identificar barreras fuertes a la restauración, por lo que es de suma importancia la operación conjunta del ICE con los pobladores de las comunidades, para lograr superar dichas barreras y ejecutar de manera exitosa el proyecto.
- Se deben realizar capacitaciones bien planificadas en la zona que informen y eduquen a los productores en la correcta selección y ejecución de la propuesta de restauración según las condiciones y características de su finca, para con ello lograr la recuperación de las riberas de los ríos, mejorar las prácticas agrícolas y de manejo de residuos y mitigar parcial o totalmente los efectos negativos.

Recomendaciones:

- Realizar un paquete tecnológico con todo lo relevante al mantenimiento de los árboles, el cual se brinde a los productores como fichas técnicas, donde estos puedan consultar las pautas a seguir.
- Debido a la categoría de protección de la taltuza, para su combate se recomienda el uso de la especie conocida como misha curandera (*Brugmansia suaveolens*) la cual funciona como un control biológico para el roedor (Villalobos, 2013).
- El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), debe realizar una buena planificación en sus viveros para poder brindar a los participantes las especies requeridas en el tiempo y cantidad indicados.
- El material genético, a la medida de lo posible, se debe tomar de zonas con condiciones ecológicas similares para asegurar su adaptación al sitio.

- Sería de importancia realizar estudios del banco de semillas del suelo de los sitios a restaurar y de su capacidad de autorecuperación, para con ello discernir sobre la necesidad de aplicar restauración activa y a qué nivel, para con esto reducir los costos del proyecto.
- Se debe mantener, tanto a los participantes del proyecto como al resto de las comunidades, informados sobre el avance de este, para promover su apropiación y aumentar su participación e interés en el cuidado del medio ambiente.
- De ser posible se recomienda brindar charlas sobre educación ambiental, manejo de residuos, uso sostenible de los recursos e importancia de proteger las riberas, enfocado en la erosión del terreno. Con miras a la creación de comités locales, en conjunto con las instituciones públicas del lugar que velen por estos temas y mantengan la educación ambiental de la zona.

Referencias:

- Arce, R. (2004). Resumen diagnóstico cuenca Reventazón [Resumen]. Proyecto Redes Comunitarias Para La Gestión Del Riesgo Costa Rica, 1-15.
- Arcos, I. (2005). *Efecto del ancho de los ecosistemas riparios en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del Río Sesesmiles, Copán, Honduras*. (Tesis Magistral). CATIE, Cartago, Costa Rica.
- Bolaños, R.; Watson, V., y Tosi, J. (2005). *Mapa ecológico de Costa Rica (Zonas de Vida), según el sistema de clasificación de zonas de vida del mundo de L.R. Holdridge*, Escala 1:750 000. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica.
- Calle, Z., Giraldo, A., Agudelo, O., Carvajal, M. (2013). *Uso de la Restauración Ecológica y la Bioingeniería para el tratamiento de procesos erosivos severos con afectación a las comunidades rurales. Tres ejemplos prácticos*. Centro Para La Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción

- Agropecuaria. Cali, Colombia. Recuperado de:
http://elti.fesprojects.net/2013%20Cali2/m.carvajal_bioingenieria.pdf
- CATIE. (2009). *Manejo agronómico de frutales (Mango, Aguacate, Cítricos y Papaya)*. (1era ed.). Managua, Nicaragua: CATIE.
- Expediente N° 20.212. (2016). Proyecto de ley N° 17742, Ley para la gestión integrada del recurso hídrico. Asamblea legislativa. San José, Costa Rica.
- Fournier, L. 1980. Esfuerzo fitogeográfico de Costa Rica. En: *Introducción a la Flora de Costa Rica*.
- Hatchet & Seed. (2016). The Need for Living Slopes. Recuperado de:
<https://hatchetnseed.ca/soil-bio-engineering-for-erosion-control/>
- Holdridge L. 1987. *Ecología basada en zonas de vida*. Trad. H Jiménez. San José, CR, IICA. p. 8-9.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2015). *VI Censo Nacional Agropecuario*. San José, Costa Rica.
- Jackson, L. (1992). The role of ecological restoration in conservation biology. In: Fielder and Jain (eds).
- Ley de Aguas N° 276. (27 de agosto de 1942). Ley de Aguas. (página 142). San José, Costa Rica: Colección de leyes y decretos 2.
- Ley Forestal N° 7575. (16 de abril de 1996). Ley Forestal. (página 21). San José, Costa Rica: La Gaceta 72, Alcance 21.
- Lowrance, R; Williams, G; Inamdar, P; Bosch, D; Sheridan, M. (2001). Evaluation of coastal plain conservation buffers using the riparian ecosystem management model. *Journal of the American Water Resources Association*, 37 (6): 1445-1455.
- Machlis, G. (1993). Áreas protegidas en un mundo cambiante: Los aspectos científicos. En *Parques y progreso*. UICN, BID. IV Congreso mundial de parques y áreas protegidas, Caracas, Venezuela. 37-53.
- MAG. (1991). *Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica*. (1era ed.). San José, Costa Rica: Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola

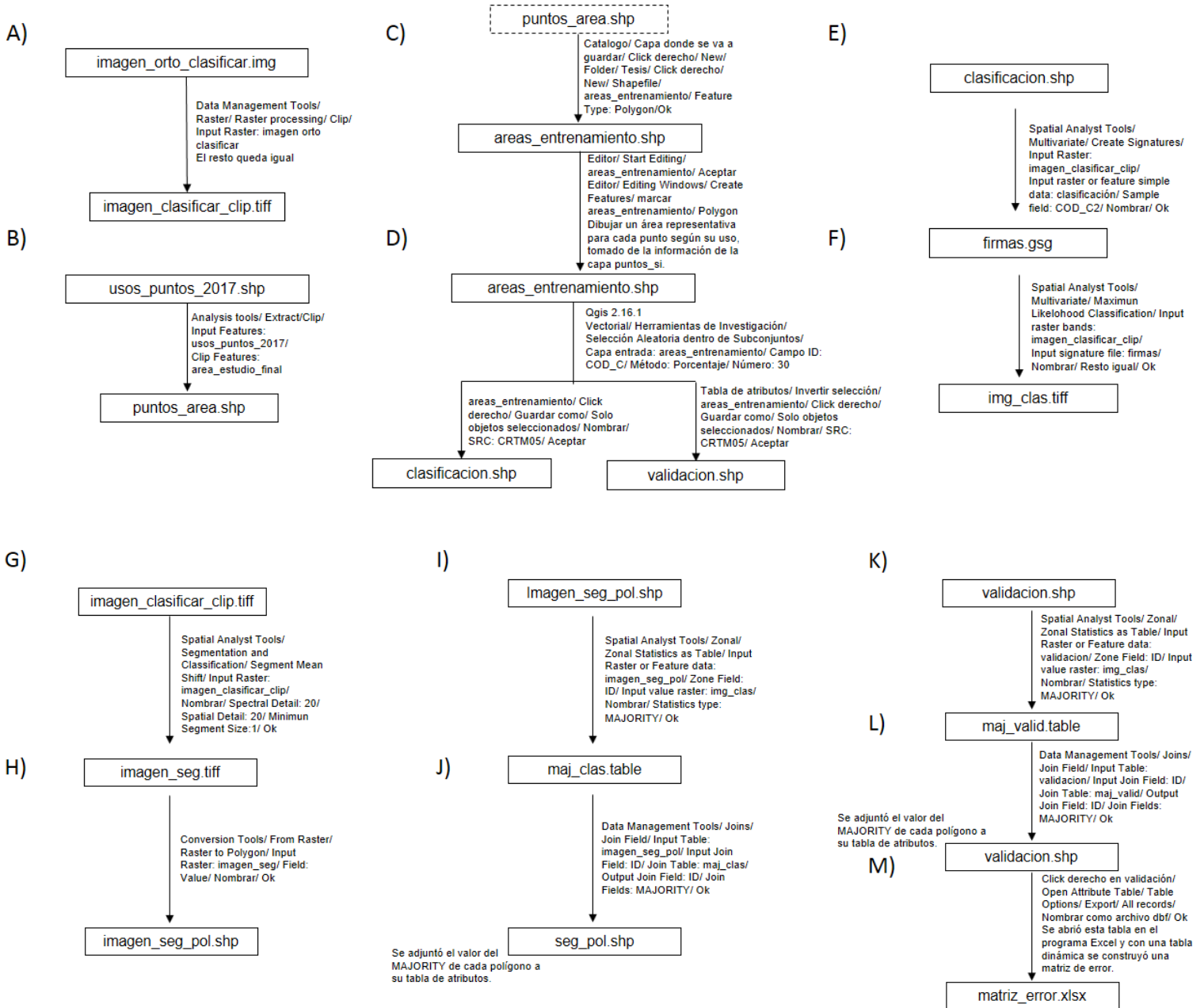
- Magdaleno, F. (2008). Manual de técnicas de restauración fluvial. (1era Ed.). Madrid, España. ISBN: 978-84-7790-522-6.
- Magdaleno, F., Olaya, V., Merino, S. (2004). Interaction between environmental Flow requirements and fluvial morphology analyzed through remote sensing, GIS and DIP. *In: Fifth Symposium on Ecohydraulics*. Madrid, Spain.
- Montes, C., Rendón, M., Varela L., Cappa M. (2007). Manual de restauración de humedales mediterráneos. Sevilla, España: Consejería de Medio Ambiente.
- Mora, D. (1997). Contaminación fecal del río reventazón: Período 1994 - 1995. *Revista Costarricense De Salud Pública*, 6(10), 09-13.
- Murcia, C., Guariguata, M. (2014). La restauración ecológica en Colombia: Tendencias, necesidades y oportunidades. Documentos Ocasionales 107. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- ONF. (2009). Guía del productor para el establecimiento y manejo de plantaciones forestales comerciales (1era ed.). San José, Costa Rica: Comunicaciones Milenio.
- Ortiz, E. (2014). *Atlas Digital de Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Polster, D. (2002). Soil Bioengineering techniques for riparian restoration. *En: Actas del XXVI Simposio sobre de la reclamación de minas*. Dawson Creek, Colombia Británica,
- Quesada, R. (2007). *Los bosques de Costa Rica*. Centro De Investigación Integración Bosque Industria. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Real Academia Española. (2017). Diccionario de la lengua española (23.a ed.). Consultado en <http://www.rae.es/rae.html>
- Robins, J.; Cain J. (2002). *The past and present condition of the Marsh Creek watershed*. Berkeley, CA: Natural Heritage Institute. 71p.
- Rojas Guerrero, C. (2010). Propuesta para restauración de la zona de los diques, reserva nacional Río Reventado. (Tesis de Licenciatura). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

- Tavarez, C. (2010). Restauración ecológica del área afectada por incendio forestal en el predio "El Taray", Municipio de Arteaga, Coahuila. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. FQ015. Distrito Federal, México: Consultores Asociados en Manejo de Ecosistemas Forestales S.C.
- Torres, G., Carvajal, D., Arguedas, M. (2011). Germinar (2.0) [Software]. Recuperado de: https://www.tec.ac.cr/sites/default/files/media/swf/Germinar_2/Germinar-2.swf
- Vargas, O. (2011). Los pasos fundamentales en la restauración ecológica. La Restauración Ecológica en la Práctica: Memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica y II Simposio Nacional de Experiencias en Restauración Ecológica. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (pp. 19-40).
- Vargas, O. (2011). Restauración ecológica: biodiversidad y conservación. *Acta Biológica Colombiana*, 16(2), 222-246.
- Vázquez, C., Batis, A., Alcocer M., Gual, M., Sánchez C. (1999). Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO - Instituto de Ecología, UNAM.
- Villalobos, C. (Setiembre, 2013). Taltuza (*Orthogeomys sp.*); roedor fosorial plaga en caña de azúcar, en Costa Rica. Documento presentado en el XIX Congreso de Técnicos Azucareros de Centro América (ATACA). Heredia, Costa Rica. Recuperado de: <https://www.laica.co.cr/biblioteca/servlet/DownloadServlet?c=443&s=2521&d=12517>.
- Zamora, C., Jiménez, J., Cardona, A., González, C., Garza, H., Herrera, G., Sánchez, G. (2011). Participación comunitaria en la restauración ecológica de la laguna Madre, Tamaulipas. *CienciaUAT*, 6(1), 38-47.

Anexos:

Anexo 1. Modelo cartográfico para la clasificación supervisada del uso del suelo de la parte alta de la cuenca del río Reventazón, Cartago, Costa Rica. ArcGis

10.3.1



Anexo 2. Entrevista para la determinación de información esencial para la ejecución del proyecto.

Nombre completo:

Número telefónico:

Preguntas:

1. ¿Cuál es la ocupación actual de su finca?

2. ¿De bueno regular o malo en qué grado de degradación considera usted que está la ribera ubicada en su finca?

3. ¿Conoce el término restauración ecológica?

4. ¿Estaría usted de acuerdo en ser partícipe de un proceso de restauración para la ribera de su finca? Si su respuesta es no, ¿por qué?

5. Si su respuesta a la pregunta 3 es sí, ¿cuál podría ser su participación? Ejemplo con mano de obra para la siembra, proporcionando los árboles a plantar o con el mantenimiento de estos.

6. ¿Qué especies considera usted que son importantes para restaurar la zona?

7. ¿Reconoce usted algún ente público que le pueda brindar soporte una vez que comience el proceso de restauración? ¿Cuál?

8. ¿Qué expectativas tiene usted al finalizar el proceso de restauración?
