

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

TRABAJO DE GRADUACIÓN DE LICENCIATURA

**PROPUESTA PARA LA RESTAURACIÓN DE LA ZONA DE LOS DIQUES,  
RESERVA NACIONAL RÍO REVENTADO, CARTAGO, COSTA RICA.**

CARLOS ROBERTO ROJAS GUERRERO

CARTAGO, COSTA RICA

2010

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

TRABAJO DE GRADUACIÓN DE LICENCIATURA

**PROPUESTA PARA LA RESTAURACIÓN DE LA ZONA DE LOS DIQUES,  
RESERVA NACIONAL RÍO REVENTADO, CARTAGO, COSTA RICA.**

CARLOS ROBERTO ROJAS GUERRERO

CARTAGO, COSTA RICA

2010



# PROPUESTA PARA LA RESTAURACIÓN DE LA ZONA DE LOS DIQUES, RESERVA NACIONAL RÍO REVENTADO, CARTAGO, COSTA RICA.

CARLOS ROBERTO ROJAS GUERRERO <sup>1</sup>

## RESUMEN

El presente trabajo pretende realizar una propuesta inicial como base para la restauración de la zona de Los Diques, Reserva Nacional Río Reventado, Cartago, Costa Rica.

Se utilizó el software ArcGis 9.3 que permitió mediante el proceso de fotointerpretación y digitalización, utilizando como fuente principal ortofotomapas de las hojas cartográficas Ochomogo 3445 IV-17 y Tejar 3445-IV-22 escalas 1:10 000 de la Gran Área Metropolitana del proyecto PRUGAM, la zonificación del uso actual del suelo del área de Los Diques.

Se identificó distintas coberturas dentro de la zona sometida a estudio (129,7 ha) tales como: Pastos (51,5 %), zona urbana (50,4 %), bosque secundario en primera fase sucesional (18,2 %), plantaciones forestales (7,3 %), zona de extracción de materiales como piedra y arena (1,9 %) y pista de aeromodelismo (0,7 %).

Se seleccionó un área potencial para de 45,15 ha y se proponen 3 especies arbóreas arbustivas aptas para reforestar tales como: *Citharexylum donnell-smithii* (Dama), *Acnistus arborescens* (Güitite ) y *Acacia angustissima* (Carboncillo) con densidades de siembra de 100 árboles/ ha.

**Palabras clave:** corredor biológico COBRI SURAC, Reserva Nacional Río Reventado, restauración, reforestación.

---

<sup>1</sup> Rojas Guerrero,CR. 2010. Propuesta para la restauración de la zona de los diques, Reserva Nacional Río Reventado, Cartago, Costa Rica. Trabajo de graduación de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 97 pag. ( incluye CD con los mapas y base de datos de empresas potenciales para ayudar a la restauración, base de datos C-nuetral

# PROPOSAL FOR THE RESTORATION OF THE AREA OF DIKES, REVENTADO RIVER NATIONAL RESERVE, CARTAGO, COSTA RICA.

CARLOS ROBERTO ROJAS GUERRERO <sup>2</sup>

## ABSTRACT

This study is an initial proposal for restoring the area known as the Diques (flooded area) of the Reventado River National Reserve, Cartago, Costa Rica.

For this it was used the software ArcGIS 9.3 to conduct the photo interpretation and map digitization. The main orthophotomaps sheets used in this study were Ochoмого 3445- IV-17 and Tejar 3445-IV-22, scale 1:10 000, and acquired by the Greater Metropolitan Area PRUGAM Project for land use zoning.

Different land uses were identified within the study area of 129.7 ha such as: grasses (51.5%), urban (50.4%), secondary forest (18.2%), forest plantations (7.3%), extraction of materials such as stone and sand (1.9%) and runway model airplane (0.7%). A potential area of 45.15 hectares was identified for restoration with three suitable species for reforestation such as *Citharexylum donnell-smithii* (Dama), *Acnistus arborescens* (Güitite) and *Acacia angustissima* (Carboncillo) with densities of 100 trees / ha.

**Keywords:** COBRI-SURAC biological corridor, Reventado River National Park, restoration, reforestation.

---

<sup>2</sup> Rojas Guerrero,CR. 2010. Propuesta para la restauración de la zona de los diques, Reserva Nacional Río Reventado, Cartago, Costa Rica. Trabajo de graduación de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 97 pag. (incluye CD con los mapas y base de datos de empresas potenciales para ayudar a la restauración, base de datos C-neutral).

## **DEDICATORIA**

A mi madre por el amor y enseñanzas que me brindo y que gracias a ella llegue a ser la persona que soy ahora en mente y alma.

A mi padre Carlos, mi tía Marielos y mi hermana Nela, por el apoyo incondicional en mis estudios, por estar siempre presentes en mi vida, por creer en mí y brindarme apoyo en cada momento.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecerles a todos mis compañeros de estudio, de giras y de fiestas ya que nos convertimos en una gran familia durante todo este tiempo especialmente a Manuel, Iriabelle, Ana Julieta, Andrea la china, Allan, María Fernanda, Massiel, Jennifer, Freddy, Mauren, Oxana, Oscar Díaz, Victor y a todos los compañeros y amigos que en algún momento tuve que compartir dentro de la institución.

A mi tutor Julio Cesar Calvo por su comprensión, enseñanzas, apoyo e ideas.

A Ligia Quirós Quesada por todo su apoyo y por brindarme la oportunidad de aportar ideas novedosas al estudio. Además por disponer de su tiempo para acompañarme a efectuar las visitas de campo cuando las realice.

A todos los profesores de la escuela de forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica por sus grandes enseñanzas a lo largo de la carrera.

A todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron con el proyecto.

Este trabajo de graduación he sido aceptado por el tribunal Evaluador de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica y aprobado por el mismo como requisito parcial para optar por el grado de licenciatura.

PROPUESTA PARA LA RESTAURACIÓN DE LA ZONA DE LOS DIQUES,  
RESERVA NACIONAL RÍO REVENTADO, CARTAGO, COSTA RICA.

Miembros del tribunal evaluador

-----

Julio C. Calvo Alvarado, Ph.D

Director de Tesis

-----

Ligia Quirós Quesada, M Sc.

MINAET-SINAC-ACCVC (Subregión Oriental, Oficina Cartago)

-----

Carlos Roberto Rojas Guerrero

Estudiante

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	II
ABSTRACT .....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS .....	V
ÍNDICE GENERAL .....	VII
ÍNDICE DE CUADROS .....	IX
ÍNDICE DE ANEXOS .....	X
LISTA DE ACRÓNIMOS .....	XIV
INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
OBJETIVOS DEL ESTUDIO .....	3
REVISION DE LITERATURA .....	4
GENERALIDADES DE LA MICRO CUENCA DEL RÍO REVENTADO, CARTAGO. ....	4
Antecedentes de amenazas .....	4
Medidas de mitigación.....	7
Proceso de ocupación humana del sector de Los Diques, San Nicolás, Cartago. ....	8
Violaciones a las normativas existentes .....	10
Características generales de la población .....	12
Gestión de riesgos en el área de los Diques .....	16
Problemática actual.....	18
CORREDORES BIOLÓGICOS .....	22
Definición y funciones .....	22
Corredor Biológico Ribereño Interurbano-Subcuenca Reventado Agua Caliente (COBRISURAC, 2007). ....	24
MATERIALES Y MÉTODOS .....	27
ÁREA DE ESTUDIO .....	27

OBTENCIÓN Y ESPECIFICACIONES DE IMÁGENES AÉREAS.....	31
GEOREFERENCIACIÓN DE LAS IMÁGENES DIGITALES .....	31
FOTOINTERPRETACIÓN Y DIGITALIZACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO .....	32
CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS.....	35
ZONAS EN CONFLICTO.....	37
CUANTIFICACIÓN DE VOLUMEN DE MADERA DENTRO DE LA ZONA DE LOS DIQUES.....	38
SELECCIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS ARBUSTIVAS .....	40
RESULTADOS.....	41
USO DE LA TIERRA .....	41
CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS.....	42
CARACTERÍSTICAS DE LA VEGETACIÓN .....	44
ZONAS EN CONFLICTO.....	46
USO DE LA TIERRA EN EL SECTOR POTENCIAL A RESTAURAR Y ÁREAS A ELIMINAR DE LA RESERVA NACIONAL RÍO REVENTADO, ZONA DE LOS DIQUES.....	51
ÁREA POTENCIAL A REFORESTAR .....	54
ESPECIES RECOMENDADAS PARA EL PROGRAMA DE RESTAURACIÓN .....	55
<input type="checkbox"/> <i>Acacia angustissima</i> (Mill.) Kuntze .....	55
<input type="checkbox"/> <i>Acnistus arborescens</i> (L.) Schtdl. ....	57
<input type="checkbox"/> <i>Citharexylum donnell-smithii</i> Greenm.....	59
DISCUSIÓN.....	61
LINEAMIENTOS PARA ADMINISTRAR, CONTROLAR Y GESTIONAR EL USO DEL SUELO DE LA RESERVA NACIONAL RÍO REVENTADO, ZONA DE LOS DIQUES. ....	66
CONCLUSIONES .....	69
RECOMENDACIONES .....	71
BIBLIOGRAFÍA .....	72
ANEXOS.....	78

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.Efectos de la actividad volcánica del Irazú en los años 1963-1965. Fuente: Fallas y Gutiérrez (1992). .....	7
Cuadro 2.Asentamientos en condición de precarios y en tugurio de la Gran Área Metropolitana, Febrero 2005, zona de Los Diques, Cartago. Fuente: MIVAH (2005) .....	10
Cuadro 3. Distribución del área, según categoría de uso de la Reserva Nacional Río Reventado, Zona de Los Diques, Cartago. ....	42
Cuadro 4.Distribución de área según categoría de uso de la Reserva Nacional Río Reventado, Zona de Los Diques, Cartago. ....	44
Cuadro 5.Aspectos sobre salientes de la cuantificación del volumen de las plantaciones forestales de la Reserva Nacional Río Reventado, zona de Los Diques, Cartago. ....	45
Cuadro 6.Uso de la tierra en el sector potencial a restaurar y áreas a eliminar de la Reserva Nacional Río Reventado, zona de Los Diques. ....	53
Cuadro 7.Atributos de la especie <i>Acacia angustissima</i> según TEC (2007). ....	55
Cuadro 8.Atributos de la especie <i>Acnistus arborescens</i> según TEC (2007). ....	57
Cuadro 9.Atributos de la especie <i>Citharexylum donnell-smithii</i> según TEC (2007). ....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ilustración de la avalancha del año 1963. Fuente: Salgado (2002) .....	6
Figura 2. Fotografía tomada en el año 2001, Barrio Nuevo, zona de Los Diques. Fuente: Salgado (2002) .....	9
Figura 3. Origen de la población que vive en Los Diques. Fuente: Samudio et al 2003. ....	14
Figura 4. Materiales de construcción de las paredes de las viviendas de la zona de estudio. Fuente: Samudio et al 2003. ....	15
Figura 5. Fotografía tomada en marzo 2010 durante visitas realizadas al campo, mostrando el asentamiento humano conocido como Barrio La Cruz, San Nicolás, en el Cantón de Cartago. Foto: Roberto Rojas. ....	15
Figura 6. Foto aérea de Los Diques en San Nicolás. a) casas adentro del dique. B) ubicación de Barrio Nuevo. c) casas encima del dique. Fuente: www.mivah.go.cr..	19
Figura 7. Fotografía del asentamiento humano María Auxiliadora tomada en abril 2010 en visitas de campo, la cual muestra la ubicación de las viviendas dentro y encima del dique. Foto: Roberto Rojas. ....	19
Figura 8. Fotografías tomadas en enero 2010 durante visitas de campo. a) extracción de material en el playón del río continuo a puente provisional, San Nicolás. b) excavación manual de material en lugares donde no visibles desde la vía principal. c) acceso de vehículos para transportar el material extraído, con una capacidad estimada no menor a los 10 metros cúbicos. d) acumulación de material listo para transportar. Foto: Roberto Rojas G. ....	20
Figura 9. Fotografías tomadas en 2010 en durante de campo. A) desechos de bolsas plásticas. B) Escombros de construcción. C) Botellas plásticas y desechos de electrodomésticos. D) Residuos orgánicos. Foto: Roberto Rojas G. ....	21
Figura 10. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio, Reserva Nacional Río Reventado, Zona de Los Diques, San Nicolás, Cartago. ....	28
Figura 11. Vista aérea del área de estudio. Fuente: PRUGAM - IGN 2008. ....	29

Figura 12.Mapa de ubicación del área de estudio dentro del corredor biológico COBRI SURAC .Fuente TEC de Costa Rica 2008.....	30
Figura 13.Barra de herramienta de Georeferencing.....	32
Figura 14.Herramienta mosaic to new raster. ....	33
Figura 15.Creando un nuevo tema con la Herramienta ArcCatalog.....	33
Figura 16.Barra de herramienta Editor.....	34
Figura 17.Herramienta Clip.....	35
Figura 18.Propiedades de las características de la simbología de la capa temática de suelos.....	36
Figura 19.Formulario de campo para la evaluación de la calidad de plantaciones ....	39
Figura 20.Mapa de uso actual del suelo de la Reserva Nacional Río Reventado, Zona de Los Diques. ....	41
Figura 21.Mapa de características de los suelos de la Reserva nacional Río Reventado, Zona de Los Diques, Cartago. ....	43
Figura 22.Mapa de zonas en conflicto de la Reserva Nacional Río Reventado, Zona de Los Diques, Cartago. ....	46
Figura 23.Plantaciones de <i>Cupressus lusitanica</i> (ciprés) a la orilla de la calle pública. Fuente: Fotografía tomada en enero 2010 durante visitas de campo. Foto: Roberto Rojas G. ....	47
Figura 24.Cancha de baloncesto de Los Diques, San Nicolás. Fuente: fotografía tomada durante visitas de campo, mayo 2010. Foto: Roberto Rojas G. ....	48
Figura 25.Actividad recreativa de aeromodelismo, zona de los Diques. Fuente: Hugo Rivera, 2008.....	49
Figura 26.Ganado pastoreando en la Reserva Nacional Río Reventado, zona de Los Diques. Fuente: fotografía tomada durante visitas de campo, mayo 2010. Foto: Roberto Rojas G. ....	50
Figura 27.Tres de cuatro puentes ubicados dentro del área de estudio. A) Puente de Los Diques. B) Puente Tejar. C) Puente Los Gemelos. Fuente: fotografía tomada durante visitas de campo, mayo 2010. Foto: Roberto Rojas G.....	51

Figura 28.Mapa de zona potencial a restaurar y zonas de árboles a remover dentro de Reserva Nacional Río Reventado, zona de los Diques, San Nicolás, Cartago. ....	52
Figura 29.Mapa de áreas potenciales para reforestar de la Reserva Nacional Río Reventado, zona de Los Diques, Cartago. ....	54
Figura 30.Especie <i>Acacia angustissima</i> (carboncillo). Fuente: TEC (2007).....	56
Figura 31.Especie <i>Acnistus arborescens</i> (güitite). Fuente: GERMINAR©2007. ....	58
Figura 32.Especie <i>Citharexylum donnell-smithii</i> (Dama). Fuente: GERMINAR©2007. ....	60

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.Ortofotomapa escala 1:10 000, cartográficas Ochomogo 3445 IV-17 .....	78
Anexo 2.Ortofotomapa escala 1:10 000 hojas cartográficas Tejar 3445-IV-22.....	79
Anexo 3.Error de muestreo 1, de las 8 parcelas establecidas en el campo.....	80
Anexo 4 .Error de muestreo 2. ....	81

## LISTA DE ACRÓNIMOS

ACCVC	Área de Conservación Cordillera Volcánica Central
BMR	Bosque Modelo Reventazón
CNE	Comisión Nacional de Emergencias
COBRISURAC	Corredor Biológico Ribereño Inter Urbano Sub Cuenca Rio Reventado Reventazón
GAM	Gran Área Metropolitana
Ha/ha	Hectáreas
IGN	Instituto Geográfico Nacional
MINAET	Ministerio de Ambiente Energía y Telecomunicaciones
MSNM	Metros sobre el nivel del mar
PRUGAM	Programa de Urbanismo
SAT	Sistema de Alerta Temprana
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
SIG	Sistemas de Información Geográfica
Dap	Diámetro a la Altura del Pecho
ENCC	Estrategia Nacional de Cambio Climático

## INTRODUCCIÓN GENERAL

Costa Rica es un país que posee una variedad de relieves y está influenciada por características climáticas especiales, debido a esto se encuentra expuesta a diversas amenazas naturales entre las cuales podemos destacar las inundaciones, sismos, volcanes, avalanchas, deslizamientos, entre otros fenómenos.

El crecimiento desmedido de la población unido al uso, intervención y explotación del territorio costarricense, la deforestación y el cambio de uso del suelo, conforma factores fundamentales para propiciar escenarios idóneos para peligros naturales. Asimismo, el incremento de la vulnerabilidad de los asentamientos humanos que por las circunstancias se han visto obligados a requerir de más espacio y recursos, ha provocado una contaminación y degradación del territorio costarricense poniendo en peligro la estabilidad ambiental. Por otro lado las áreas de bosques demandan de un adecuado manejo y protección, de tal forma que no contribuyan a propiciar desastres naturales y afectar los aspectos socio-económicos y ambientales del sitio.

La ciudad de Cartago se caracteriza por ser un área propensa a eventos sísmicos y volcánicos, desborde de los ríos y presencia de grandes frentes de deslizamientos registrados en el área (Alvarado et. al 2006), tales como los eventos sucedidos en 1963, cuando el Río Reventado se desbordó debido al exceso de lluvia y cenizas, provocando muerte y desolación en San Nicolás de Cartago.

La cuenca alta de río Reventado, se ubica al oeste de la ciudad de Cartago, estuvo expuesto a las erupciones del Irazú durante el período comprendido entre marzo de 1963 y febrero de 1965. Las erupciones volcánicas generaron depósitos de ceniza y la eliminaron aproximadamente el 80% de la cobertura vegetal en la cuenca alta del Reventado, ocasionando cambios drásticos en el suelo e hidrología de la cuenca (Salgado, 2002).

Cabe anotar que este suceso afectó no sólo a la provincia de Cartago sino también gran parte del territorio nacional, lo que significó un evento de grandes magnitudes que influyó sobre las condiciones socio-económicas del país.

Mediante la ley No 3459 del 26 de noviembre de 1964 se declara Reserva nacional los terrenos dentro de una zona de un kilómetro de ancho a cada margen del Río Reventado desde su nacimiento hasta el puente que comunica hoy día las poblaciones de Tejar con Tobosí en el cantón del Guarco. En estas zonas de reserva nacional se construyeron obras de defensa (Diques de Cartago), con el propósito esencial la salvaguardar de la vida, salud y hacienda de las personas (CNE sa).

La zona de Los Diques, ubicada en la parte media baja de la cuenca del Río Reventado, es un área que está expuesta a diferentes amenazas naturales, en especial a deslizamientos, avalanchas e inundaciones, que ponen en riesgo a las comunidades conformadas por familias de bajos recursos que allí habitan, así como algunas poblaciones cercanas (Ramírez et. al , 2008).

Con el presente trabajo tiene el propósito formular una propuesta ambiental para la restauración de la Reserva Nacional Río Reventado, específicamente en la zona de Los Diques y así contribuir con el desarrollo del Corredor Biológico Ribereño Interurbano Subcuenca Reventado Agua Caliente( COBRI SURAC, 2007), como base para el establecimiento de alianzas estratégicas a escala de paisaje para:

- a) resolver conflictos ambientales locales
- b) aprovechar oportunidades de desarrollo sostenible
- c) mantener la diversidad biológica
- d) promover la capacidad de oferta de servicios ambientales y recreativos para beneficio de los vecinos.

## **OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

### **Objetivo General:**

Elaborar una propuesta base de estudio para la restauración de la vegetación de la Reserva nacional Río Reventado, específicamente en la zona de Los Diques, Cartago.

### **Objetivos específicos:**

- Diagnosticar el estado de uso de la zona de Los Diques.
- Identificar las áreas potenciales para restaurar.
- Recomendar las especies arbóreas y arbustivas a emplear en la restauración.
- Plantear un enfoque inicial para administrar, controlar y gestionar el uso del suelo de la zona de Los Diques.

# REVISION DE LITERATURA

## **Generalidades de la micro cuenca del Río Reventado, Cartago.**

### **Antecedentes de amenazas**

La micro cuenca del Río Reventado se origina en las faldas del volcán Irazú pertenece a la cuenca hidrográfica del Río Reventazón, ubicada al norte de la provincia de Cartago, ha generado históricamente avalanchas e inundaciones de proporciones importantes en el sector oeste de la ciudad de Cartago. El río Reventado estuvo expuesto a las erupciones del Volcán Irazú durante el período comprendido entre marzo de 1963 y febrero de 1965. Las erupciones volcánicas generaron depósitos de ceniza, además de una eliminación del 80% de la cobertura vegetal en la cuenca superior, ocasionando cambios drásticos en el suelo e hidrología de la cuenca (Salgado, 2002). Dicha ceniza se acumuló, causando cambio significativos en la parte superior de la micro cuenca, como la reducción de la infiltración y el aumento de la escorrentía superficial (Waldron, 1967).

Como resultado de la condición descrita y de la ocurrencia de fuertes precipitaciones, el caudal del río Reventado aumentó peligrosamente; según ICE (1965), se reportaron caudales de hasta 407 m<sup>3</sup>/s .

La eliminación de vegetación, la formación de una capa de ceniza impermeable, aunado a un régimen de lluvias intensas, ocasionaron en aquella época aproximadamente 47 avalanchas, caracterizadas por lodo y material erosionado, asociado a problemas de inestabilidad de laderas, básicamente en los sectores de fuerte pendiente ( ICE ,1965), trayendo como consecuencia inundaciones repentinas que debido a la acelerada erosión se convertían en avalanchas de detritos (Waldron, 1967, según Vahrson y Cartín (1992).

Las avalanchas produjeron un socavamiento en el cauce del Reventado, originando la inestabilidad de los taludes adyacentes conduciendo a un

incremento en la tasa de crecimiento de los deslizamientos existentes e iniciando la formación de nuevos deslizamientos a lo largo del cauce.

Algunas avenidas que se han registrado datan de : 1724, 1861, 1891, 1928, 1951, 1963, 1964 y 1965 (ICE 1965). La mayoría de estas avenidas fueron producidas por fuertes temporales y solo las de 1724 y 1963-1965 tenían relación con los eventos eruptivos del volcán Irazú. (Vahrson y Cartín, 1992).

Según el Instituto Costarricense de Electricidad, la dinámica de procesos hidrológicos y geomorfológicos producto de la actividad volcánica ocasionaron una movilización de 60 millones de metros cúbicos de tierra entre 1964 y 1965, lo cual produjo que en los sectores de la cuenca intermedia del Reventado y áreas circunvecinas, donde se ubicaban asentamientos humanos (quizás más pequeños que hoy), alcanzaran pérdidas de US\$ 3.5 millones y 20 vidas humanas (ICE, 1965).

Según Waldron (1967) abarco un área mayor a 126 ha, así como se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Ilustración de la avalancha del año 1963. Fuente: Salgado (2002)

En el Cuadro 1 se resumen algunos de los efectos de la actividad volcánica del Irazú entre los años de 1963 y 1965, los cuales fueron los factores más importantes para producir la gran inestabilidad del área de la cuenca media del río Reventado.

**Cuadro 1.** Efectos de la actividad volcánica del Irazú en los años 1963-1965. Fuente: Fallas y Gutiérrez (1992).

<b>Proceso</b>	<b>Fecha</b>	<b>Efecto</b>
Deposición de cenizas	Marzo 1963-Junio 1964	Eliminación 40 al 80% de la cobertura vegetal en la cuenca superior
Impermeabilización de la superficie	1963-1965	47 avenidas de lodo y detritos
Actividad volcánica, ausencia de vegetación y régimen de lluvia	1964	Reactivación: 4 deslizamientos Formación: 1 ó 2 nuevos
Erosión de cauces	Marzo de 1963-Marzo de 1965	Remoción y movilización de más 60 millones de metros cúbicos de detritos
Avenidas de lodos y detritos	1963-1965	Pérdidas materiales de alrededor de US \$3.5 millones y 20 muertos

### **Medidas de mitigación**

- a) Las medidas que se tomaron para mitigar el efecto de estos eventos fueron la construcción de zanjas de contorno, reforestación y construcción de diques pequeños para reducir la escorrentía superficial y construcción de diques grandes en la zona del abanico aluvial (Waldron 1967, ICE 1965).

Los diques poseen una longitud de 12.5 kilómetros. La rapidez con que fueron contruidos impidió que se respetaran las normas de diseño, colocación de los materiales, compactación, impermeabilización y resistencia (Azofeifa, 1996). En la actualidad, se encuentran deteriorados producto del poco mantenimiento que se les ha brindado, la ocupación y el socavado de material por las poblaciones precaristas que se han establecido dentro y sobre estos diques.

- b) Mediante la Ley N° 3459 del 26 de noviembre de 1964, se autorizó al Poder Ejecutivo para declarar reserva nacional los terrenos que estimare necesarios, dentro de una zona de un kilómetro de ancho, a cada margen del Río Reventado y desde su nacimiento hasta el puente que comunica hoy en día a las poblaciones de Tejar con Tobosí en el cantón de El Guarco, provincia de Cartago. En tales zonas de reserva nacional se construyeron las obras necesarias de defensa, llamadas "Diques de Cartago", siendo su propósito esencial salvaguardar la vida, salud y hacienda de las personas, principalmente de aquellas áreas que fueron afectadas con motivo de los fenómenos naturales sucedidos en el año 1964 (CNE sa,)

### **Proceso de ocupación humana del sector de Los Diques, San Nicolás, Cartago.**

Se considera que el proceso de ocupación de los diques se inicia a partir de la década de los ochenta (aproximadamente en 1982) y se ve incrementado en los años 90, cuando familias de escasos recursos vieron la posibilidad de construir sus viviendas en estas tierras desocupadas, ignorando el riesgo que esto significaba (Salgado 2002 ; Samudio *et al* 2003).

Según Salgado (2002), para que un vecino construyera se le solicitaba hoja de delincuencia, cartas de recomendación donde vivían anteriormente, y que garantizara que tuviera trabajo. Aprobado la solicitud por el comité correspondiente (en referencia a los comités de los primeros barrios), se procedían a la labores de asignar y medir el lote. Algunos requisitos que los comités solicitaban a los ocupantes aprobados eran que la construcción fuera humilde, con al menos puertas y ventanas, que fuera decente, con cerca, limpieza de caños y no tirar las aguas jabonosas al vecino.

Se efectuaron algunas gestiones por parte de la municipalidad, políticos (líderes de partidos políticos, autoridades municipales, regidores y síndicos de aquella época) y comités de aquel entonces, logrando promover la instalación de alumbrado público, agua potable y luz interna de las casas. De igual forma,

el MOPT ayudó en la construcción de los caminos. Estableciendo de esta manera, condiciones que propiciaron la permanencia de la población en esta área (Salgado 2002, Samudio *et al* 2003).

En la figura 2 se muestra el asentamiento humano consolidado por invasión espontánea, sector conocido como Barrio Nuevo, uno de los caseríos que prácticamente se asentó sobre los materiales de la avalancha del río Reventado e inconscientemente sobre el área de tránsito de avenidas mayores o avalanchas excepcionales ( Salgado 2002) .



**Figura 2.** Fotografía tomada en el año 2001, Barrio Nuevo, zona de Los Diques. Fuente: Salgado (2002)

La primera comunidad que se formó se llamó María Auxiliadora (Samudio *et al* 2003, Salgado 2002) en la década de los ochentas, luego con el paso del tiempo y la expansión demográfica en la cuenca del río Reventando se fueron sumando las demás. En la actualidad, la zona de Los Diques está conformada por diversas comunidades, el cuadro 2 muestra datos según el Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos para el año 2005, sin embargo se debe considerar que no toda la población brindó los datos exactos ya que en dichas comunidades habitan gran cantidad de emigrantes que por miedo a represalias del Estado o migración no facilitaron los datos con exactitud.

**Cuadro 2.**Asentamientos en condición de precarios y en tugurio de la Gran Área Metropolitana, Febrero 2005, zona de Los Diques, Cartago. Fuente: MIVAH (2005)

Cantón	distrito	Asentamiento	población (Habitantes)	familias
Cartago	2do occidental	Barrio la Esperanza	100	24
Cartago	2do occidental	Nazareth	310	62
Cartago	El Carmen	Barrio María Auxiliadora	200	100
Cartago	El Carmen	Barrio Nuevo	420	105
Cartago	El Carmen	Linda Vista	203	46
Cartago	El Carmen	Sagrado Corazón de Jesús	150	30
Cartago	El Carmen	Santa Elena	21	9
Cartago	El Carmen	Santa Teresita	27	5
Cartago	Guadalupe	barrio la Mora	350	70
Cartago	Guadalupe	Guadalupe	100	20
Cartago	Guadalupe	Los Ángeles	200	40
Cartago	San Nicolás	Barrio Fátima	150	30
Cartago	San Nicolás	La Cruz	400	100
Cartago	San Nicolás	La Unión	1475	295
Cartago	San Nicolás	Miguel Trejos	130	26
Cartago	San Nicolás	Miraflores-Higueron	175	35
El Guarco	El Tejar	San Francisco de Asis	250	50
El Guarco	El Tejar	Santa Gertrudis	250	50
TOTAL			4911	1097

### **Violaciones a las normativas existentes**

La población de familias que han invadido y actualmente habitan el área de Los Diques, violentan lo establecido en la ley No. 3459 del 26 de noviembre 1964 (CNE sa) la cual declaran como Reserva Nacional una zona de un kilómetro de ancho, a cada margen del Río Reventado y desde su nacimiento hasta el puente que comunica hoy en día a las poblaciones de Tejar con Tobosí en el cantón de El Guarco, provincia de Cartago y lo establecido en el decreto ejecutivo MOPT-MIVAH-CNE 22834 de 1994 (CNE sa) específicamente en los artículo 3 y 4, que indica textualmente:

### Artículo 3.

Para los efectos de la normativa urbana y con el propósito de facilitar la aplicación de estas disposiciones normativas por parte de las instituciones competentes, se divide la cuenca del Río Reventado y áreas próximas, comprendida entre sus nacientes y hasta su confluencia con el Río Purires, en dos sectores:

#### Sector 1:

Comprende el área de la cuenca del Río Reventado, delimitada por las divisorias de aguas, desde su nacimiento, hasta el puente La Turbina (Puente Bailey).

#### Sector 2:

Comprende la cuenca del Río Reventado y áreas vecinas, desde el puente La Turbina, hasta su confluencia con el Río Purires.

### Artículo 4.

Las regulaciones en el uso del suelo y la construcción de cualquier clase de estructura o edificación, se definen, en consecuencia, así:

#### a) Sector 1:

Se mantienen en reserva los terrenos definidos como tales por la Ley No. 3459 del 26 de noviembre de 1964.

El Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas regulará la concesión y explotación de los tajos en este sector, y las instituciones públicas de la región, particularmente la Municipalidad de Cartago, ejercerán la fiscalización pertinente.

En cualquier trámite deberá darse, de previo, audiencia a la Comisión Nacional de Emergencia a efecto de que emita la opinión pertinente.

b) Sector 2:

Su uso se determina de acuerdo con la siguiente zonificación: b.1 Zona 1.

Incluido el derecho de vía en los tramos donde no existen diques.

Deberá procederse a la erradicación en esta zona, de cualquier tipo de construcción residencial, comercial e industrial, su infraestructura y los servicios existentes.

Con respecto a lo anteriormente expuesto quiere decir que en ningún caso podrán hacer uso del suelo, levantar construcciones o ubicar asentamientos humanos en dichas áreas sin la autorización expresa de las instituciones pertinentes.

### **Características generales de la población**

Las familias de escasos recursos en búsqueda de alternativas de vivienda es lo que ha producido que invadan el área de Los Diques y sus alrededores.

Área que presenta condiciones óptimas para la invasión ya que carece de regulaciones legales de construcción (según la información anterior las regulaciones existen sin embargo no se aplican) y presentan una alta población inmigrante que brinda hospedaje a sus coterráneos (Samudio *et al* 2003).

Según Jara (1999) mediante un sondeo exploratorio de la concepción del riesgo del área de estudio y con el afán de aportar información básica para la Comisión Nacional de Emergencias, pudo observar ciertas características de la población tales como problemas graves socio económicos con hogares de extrema pobreza que se caracterizan por jefes de hogar desempleados, poseen como mínimo 3 hijos y viviendas totalmente inhabitables sin las adecuadas normas higiénicas aceptables tales como agua, luz, y servicios sanitarios en buenas condiciones entre otros. Además la existencia de focos de drogadicción, alcoholismo, prostitución y alta delincuencia el cual vuelve más

vulnerables a dichas comunidades. Asimismo, constató entre las personas entrevistadas existía muy baja o ninguna escolaridad y los principales empleos que ejercen la su mayoría son el área de seguridad, peones de construcción, maquila, empleadas domésticas, así mismo otra población que se encuentra desempleada y en algunos casos indigentes.

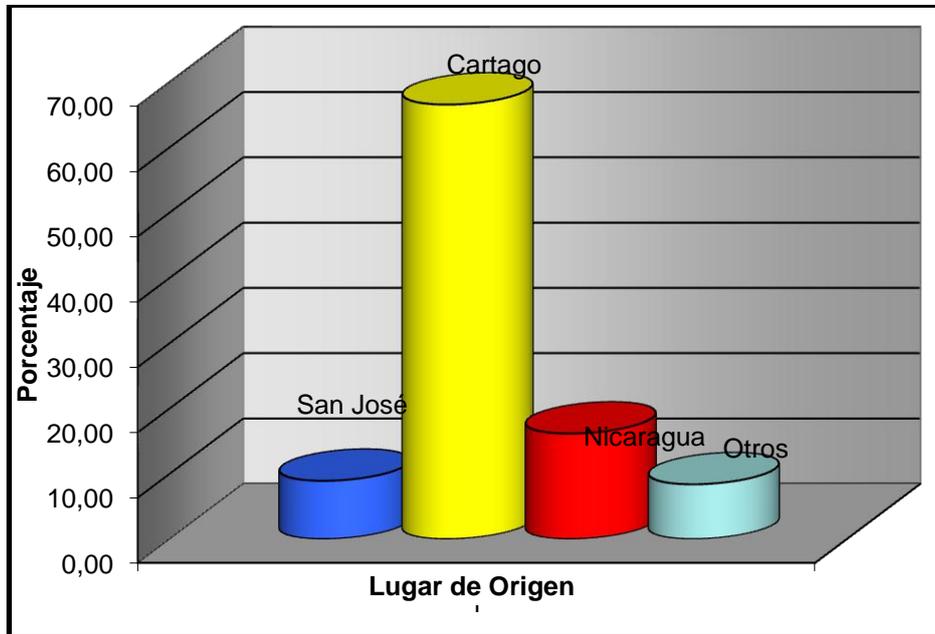
.

Otro aspecto a mencionar, es que los pobladores de estas comunidades era incrédulos y la religión en esta zona está fomentando que las personas se arraiguen al entorno en que viven, justificándolo “todos somos seres humanos y tenemos derecho a un lugar donde vivir”, lo que condicionan su modo de vida a la voluntad de Dios (Jara 1999, Samudio *et al* 2003).

Según el Censo del 2002 realizado por el INEC, en el sector de los diques habitaban alrededor de 1121 personas y en su mayoría eran originarios de la provincia de Cartago y el 16 % de Nicaragua (Figura 3). Sin embargo, la confianza de estos datos es cuestionable ya que según Samudio *et al* (2003) en este sector vive una alta tasa de inmigrantes ilegales que no brindan datos completos, por temor a represalias de las autoridades de migración. Para sobrellevar esta situación se solicitó el apoyo de los directivos de las comunidades para recopilar la información censal. Basándose en la información recopilada con el apoyo de los directivos de las comunidades en el 2002, se determinó que en los Diques habitan aproximadamente, dos mil familias con un promedio de cuatro personas por familia, lo que corresponde a una población total que oscila entre unas 6000 a 8000 personas. (Samudio *et al* 2003)

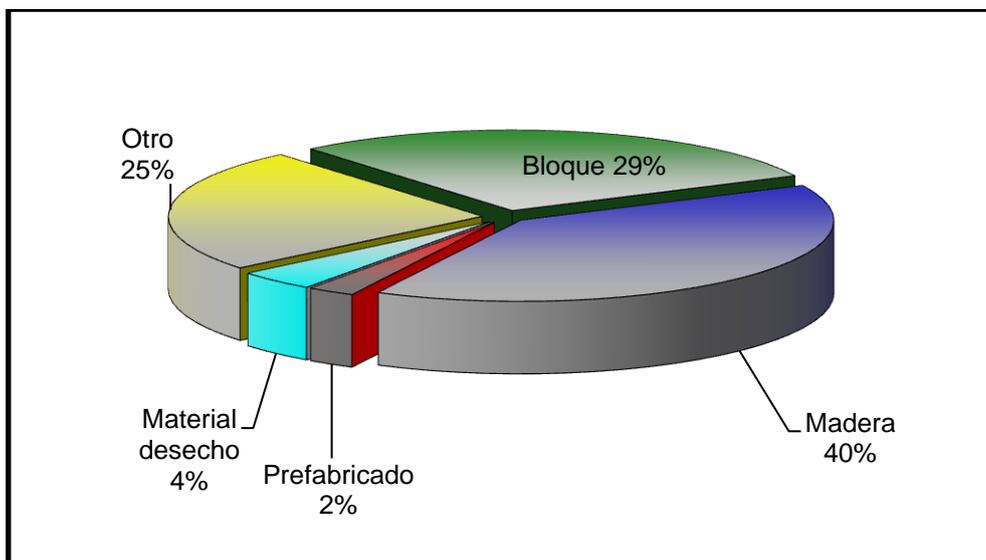
En cálculos realizados por la CNE en el año 2000 establecieron que en la zona de Los Diques existe una población entre 5800 y 6200 habitantes ( Salgado 2003, Alvarado *et al* 2006), por lo que podemos estar hablando en promedio de unas 6500 personas entre los años 2000 a 2002 y en la actualidad por el fenómeno de la expansión demográfica se estaría llegando a

más 7000 habitantes que han invadido dicha zona. Por otro lado, existe una gran población que es procedente de Nicaragua y su estadía en el país es ilegal (Salgado 2002, Samudio *et al* 2003).



**Figura 3.** Origen de la población que vive en Los Diques. Fuente: Samudio *et al* 2003.

Por último, la mayoría de las viviendas están construidas básicamente de madera reciclada, piso de concreto en algunos casos, láminas de zinc, cartones entre otros (Jara 1999, Salgado 2002, Samudio *et al* 2003) (Ver Figuras 4 y 5).



**Figura 4** .Materiales de construcción de las paredes de las viviendas de la zona de estudio.  
Fuente: Samudio et al 2003.

La figura 5 muestra caseríos que están ubicados encima y dentro la estructura del dique los cuales están construidos con materiales de todo tipo en su mayoría son de desecho como cartones, zinc, tablas o madera usada, etc.



**Figura 5.** Fotografía tomada en marzo 2010 durante visitas realizadas al campo, mostrando el asentamiento humano conocido como Barrio La Cruz, San Nicolás, en el Cantón de Cartago.  
Foto: Roberto Rojas.

Otra característica que se debe de tomar en cuenta es la percepción que tiene la población acerca de riesgo que corren, según Samudio *et al* (2003) y Salgado (2002) basándose en la encuesta realizada por el proyecto RELSAT en el 2000, se encontró que al iniciar el proyecto, la población no tenía un conocimiento profundo de las amenazas a las cuales podían estar expuestos, puesto que afirmaron en diferentes talleres de capacitación ente 2001-2002, que prácticamente no tenían conocimiento de los alcances de las regulaciones establecidos en la ley y decretos posteriormente mencionados, y que las instituciones públicas tanto de Cartago como del gobierno central nunca advirtieron de los peligros naturales de la zona y que por más de 15 años nunca se tocó el tema a pesar de los procesos de invasión se seguían dando año con año.

Hoy en día, las personas que conforman el comité comunal si están conscientes del riesgo y han participado en las capacitaciones organizadas por la comisión nacional de emergencia. El resto de la población que vive en los diques, a pesar de que han participado en algunos talleres, no tiene un discernimiento real del riesgo que corren y no poseen una memoria histórica referente a la actividad del año 1963. Muestra de ello es que las personas no acuden a los talleres donde se les habla sobre el riesgo, desmotivando a los miembros del comité que han pensado en abandonar el cargo (Samudio *et al* 2003).

## **Gestión de riesgos en el área de los Diques**

### Sistema de alerta temprana

En el 2001-2002 la Comisión Nacional de Emergencia instaló un sistema de alerta temprana cuyo objetivo primordial es promover la organización comunitaria en aspectos de prevención y preparación para desastres. Este sistema cuenta con una red de radios distribuidos en las comunidades Miraflores, Linda Vista, Barrio la Cruz interconectados con la Cruz Roja de Cartago, además de sensores de nivel del río y medidores de cantidad de lluvia, además se realizan monitoréos tres veces al día, sin embargo en temporada lluviosa es constante. La información recopilada por los puntos de control es transmitida al puesto Miraflores con el objetivo de apoyar a Base 44 que es la Cruz Roja. (Salgado 2002).

Para efectuar el monitoreo se implantaron cuatro puntos de control: Volcán Irazú, , Quebrador Ochomogo , Misión Norte y Piedra Grande, todos equipados con pluviómetros de lectura sencilla, con excepción del puesto Piedra Grande que a parte de un pluviómetro posee un sensor para monitorear el río. Este sensor se graduado de 0 a 8 y va incorporado a un circuito con lector digital. Cuando el sensor está registrando un valor entre 8 y 9, el puesto

Piedra Grande comunica a Miraflores y se cuenta con un tiempo de reacción estimado de 20 a 30 minutos para cerrar la vía que comunica a Cartago con San José y evacuar a las comunidades más vulnerables de los diques. Existen sirenas en la comunidad de Barrio Nuevo para alertar a la población (Samudio *et al* 2003).

De acuerdo a Salgado (2002), la sostenibilidad del Sistema de Alerta Temprana (SAT) de esta área es reducida debido a que se carece de recursos económicos para poder reemplazar el sistema de radiocomunicación que ya se encuentra obsoleto y sin repuestos para su reparación.

#### Reubicación de la población

Se han realizado varios intentos para reubicar a la población en dichas zonas de alta vulnerabilidad sin presentar resultados positivos. El último proyecto de reubicación fue el Manuel Jesús Jiménez (1993-1994), promovido por el Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos (MIVAH 2005). Este proyecto no dio los resultados esperados debido que se delegaron las funciones de administrar y controlar la reubicación a otras instituciones presentándose un deficiente control de las familias reubicadas, corrupción al entregar los lotes y politización, causando que personas ajenas a los diques se beneficiaran de este proyecto impidiendo la reubicación de la mayoría de las familias que habitaban los diques (Samudio *et al* 2003)

Además, no hubo un control para evitar el repoblamiento de las zonas trasladadas, presentándose de nuevo un establecimiento de ranchos o bien heredados los que ya estaban a familiares o vendidos a otras personas.

Según el Ministerio de Vivienda y Asentamiento Humanos (MIVAH 2005), para reubicarlos es necesaria la inversión de diez millones de dólares y un terreno

con 24 hectáreas de extensión, recursos que en la actualidad el Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos no dispone y agravándose por la presencia de ilegales que por ley no pueden ser sujetos de donaciones para construcción de vivienda.

#### Prohibición de nuevos suministros de servicios básicos.

Con la intención de desincentivar el incremento del poblamiento en la zona de Los Diques, la municipalidad aprobó la propuesta planteada por la Comisión para el Ordenamiento de la Cuenca del Río Reventazón (COMCURE), que solicita a todas las instituciones gubernamentales, bancos y organizaciones no gubernamentales que suspendan todos los servicios básicos como agua, electricidad, salud y educación entre otros, a estas poblaciones. Dicha situación ha generado que algunos moradores de los diques se conecten ilegalmente al tendido eléctrico y tuberías de agua principalmente (Samudio *et al* 2003).

#### **Problemática actual**

Según Alvarado *et al* (2006) el área de Los Diques se cataloga como una zona de alto riesgo y elevada vulnerabilidad económica, social y ecológica, por las múltiples amenazas naturales y antrópicas identificadas.

Esta es una de las microcuencas donde la presencia humana y su expansión demográfica ha sido determinante como factor desestabilizador. Evidentemente falta una verdadera política de ordenamiento territorial o que se cumpla la ya existente, permitiendo la zonificación del territorio para darle el uso más adecuado.

Notoriamente se puede apreciar el riesgo de las viviendas ya que algunas están ubicadas dentro del dique a nivel del río (figura 6) y otras en su mayoría encima del dique (figura 7) lo que provoca el debilitamiento de la estructura ya

que no fue diseñada y construida para soportar cargas adicionales y socavamientos .

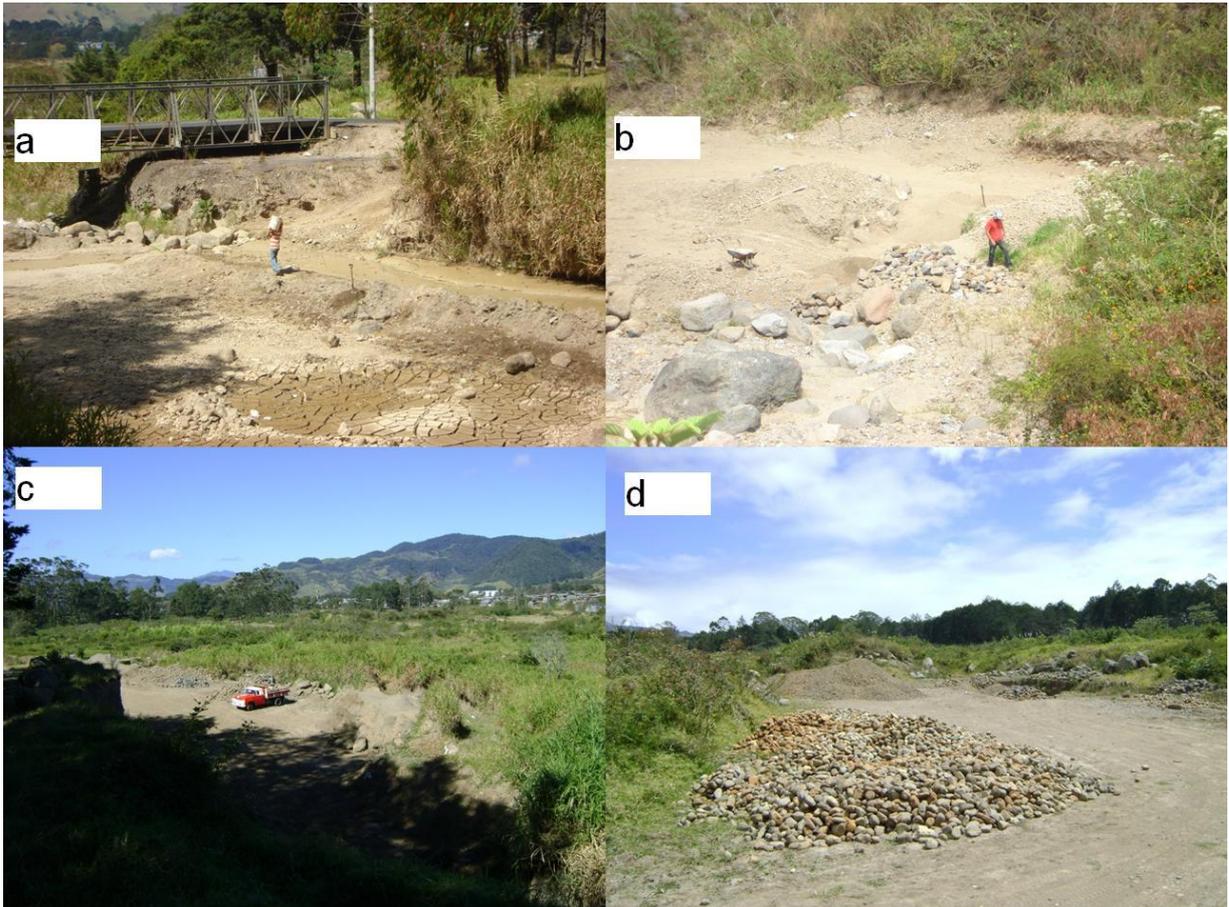


**Figura 6.** Foto aérea de Los Diques en San Nicolás. a) casas adentro del dique. B) ubicación de Barrio Nuevo. c) casas encima del dique. Fuente: [www.mivah.go.cr](http://www.mivah.go.cr)



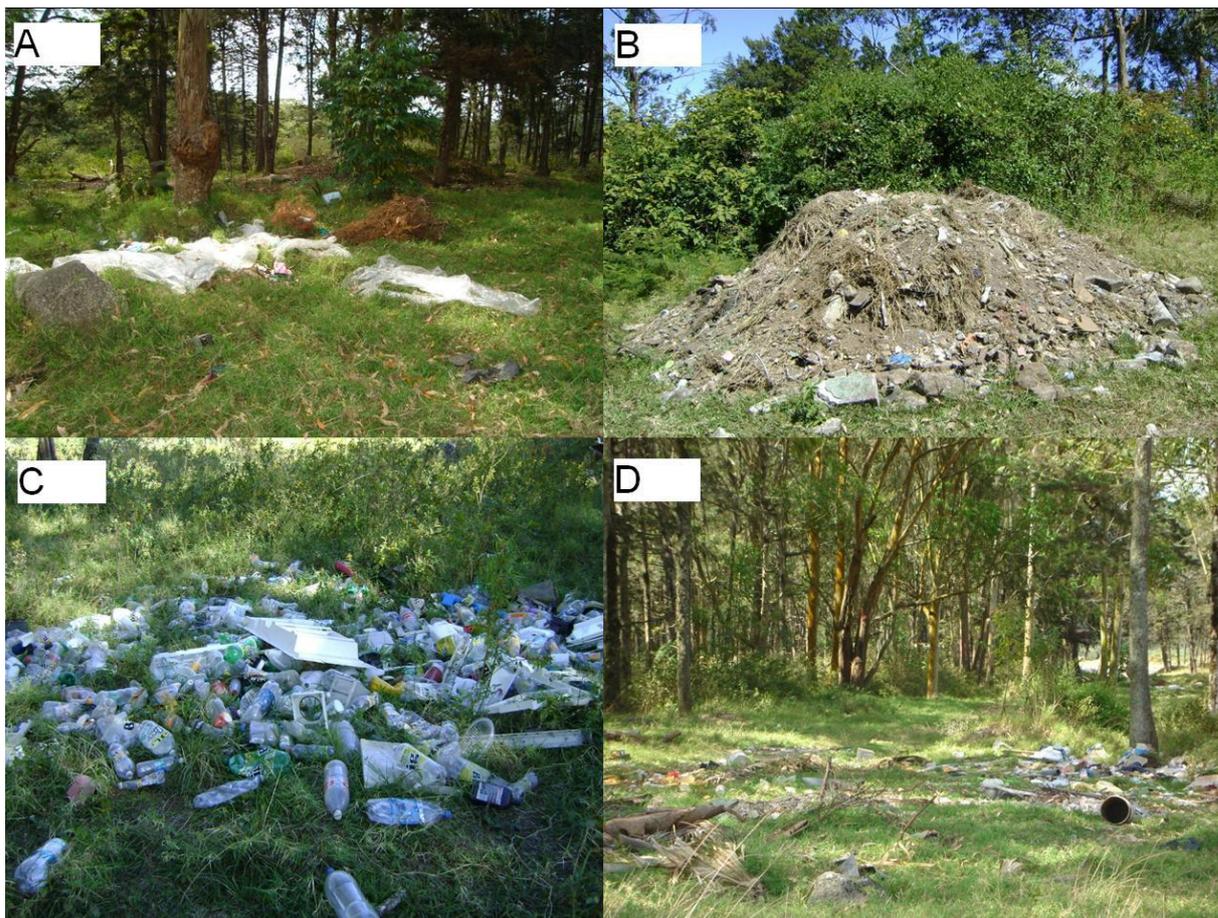
**Figura 7.** Fotografía del asentamiento humano María Auxiliadora tomada en abril 2010 en visitas de campo, la cual muestra la ubicación de las viviendas dentro y encima del dique. Foto: Roberto Rojas.

Dentro del área de estudio se está extrayendo materiales del río Reventado, ocasionando serios deterioros a las obras de defensa realizadas en su momento realizadas (decreto No. 22384 MOPT-MIVAH-CNE, 1994), esto sin control alguno por parte de entidades estatales, además de promover en algunos sectores la debilitación el playón del río (Jara 1999). (Figura 8)



**Figura 8.** Fotografías tomadas en enero 2010 durante visitas de campo. a) extracción de material en el playón del río continuo a puente provisional, San Nicolás. b) excavación manual de material en lugares donde no visibles desde la vía principal. c) acceso de vehículos para transportar el material extraído, con una capacidad estimada no menor a los 10 metros cúbicos. d) acumulación de material listo para transportar. Foto: Roberto Rojas G.

Otro elemento observado en el área de estudio es la presencia de gran cantidad de desechos sólidos tales como: llantas, muebles, plásticos y otros desechos arrojados dentro de la reserva nacional por los mismos pobladores, sin tener conciencia de la contaminación que produce. (Figura 9)



**Figura 9.** Fotografías tomadas en 2010 en durante de campo. A) desechos de bolsas plásticas. B) Escombros de construcción. C) Botellas plásticas y desechos de electrodomésticos. D) Residuos orgánicos. Foto: Roberto Rojas G.

Los problemas sanitarios también ocupan un lugar importante, por las consecuencias que pueden provocar en la salud de los habitantes de Los Diques y los lugares aledaños.

Además, no cuentan con servicios de recolección de residuos sólidos que se acumulan en áreas cercanas a las viviendas (figura 10), tampoco con alcantarillado sanitario y tanques sépticos, produciendo malos olores y reproducción de insectos, entre ellos: moscas y zancudos.

La microcuenca del Río Reventado a la que pertenece el área de estudio, presenta un escenario de multi amenazas (vulcanismo, sismicidad, deslizamientos e inundaciones focales especialmente), aunada a una degradación intensiva, caracterizada por una pérdida de suelos, erosión, contaminación físico- química, además de un inadecuado manejo de residuos sólidos. (Alvarado *et al* 2006).

Según Bergoing y Malavassi (1982), desde la naciente del río, formada por un anfiteatro de paredes casi verticales, éste baja por suelos compuestos de material de depósitos volcánicos donde la reptación y los deslizamientos por solifluxión se han reactivado al desaparecer la cubierta vegetal protectora. Según dichos autores bastaría con 15 días de lluvias excepcionales, que suelen suceder en períodos de 10 a 15 años para que los taludes se deslicen en masa dando origen a una nueva avenida de lodo y piedras que inundaría y sepultaría la parte media de la microcuenca del Río Reventado y una parte de la ciudad de Cartago.

## **CORREDORES BIOLÓGICOS**

### **Definición y funciones**

La conservación de la biodiversidad depende del mantenimiento de la conectividad tanto funcional como estructural entre fragmentos (Adriaensen *et al* 2003) .Es por lo anterior que los corredores biológicos han de facilitar la denominada conectividad, es decir, la capacidad de los organismos para desplazarse entre fragmentos separados de un determinado tipo de hábitat (Taylor *et al* 1993), desempeñando un papel fundamental que permite la interconexión entre distintos parches y reduciendo el efecto de la distancia entre los fragmentos (Wilson 1992 citado por Vila *et al* 2006).

De acuerdo con Bennett (2003) los corredores deben proveer recursos para sustentar especies a las cuales el paisaje modificado y les resulta inhóspito debido a que son nativas, especializadas de ciertos hábitats, con dependencia obligada de hábitats intactos o que tienen una escala limitada de

desplazamiento en relación con la distancia que deben atravesar. Además, los corredores deben brindar continuidad del paisaje y mantener procesos ecosistémicos que requieren de hábitats continuos para funcionar.

De acuerdo con Taylor *et al* (1993) y Forman (1995) es posible diferenciar hasta cinco funciones propias de los corredores:

(1) **función de hábitat**, permite diferenciar entre corredores lineales (que, con una modesta amplitud, se caracterizan por estar dominados por especies generalistas) y corredores de franja (que disponen de una dimensión suficiente para permitir la presencia de especies propias de hábitats más especializados).

(2) **función de conducción**, facilita el desplazamiento de elementos en su interior (animales, plantas, nutrientes, semillas, personas, agua, etc.). Esta función está condicionada por la amplitud del corredor, su longitud o la presencia de discontinuidades.

(3) **función de filtro**, al suponer una barrera absoluta para determinadas especies y parcial o inexistente para otras. Esta función estará también condicionada por las características físicas y biológicas del corredor.

(4) **función de fuente**, permite la distribución, expansión y migración de especies desde el corredor hasta la matriz.

(5) **función de sumidero**, da refugio o absorbe especies y otros tipos de elementos procedentes de la matriz circundante.

Los corredores también pueden favorecer un conjunto de riesgos, siendo los más comunes los asociados a la expansión de especies no deseadas, así como también los relacionados a bioinvasores, enfermedades, mayor exposición de determinadas especies animales a los predadores, facilidades para la propagación del fuego y otras perturbaciones abióticas (Bennett, 2003). Sin embargo, ha de quedar claro que aunque la conectividad implique riesgos

potenciales, estos quedan ampliamente compensados por los beneficios que ésta conlleva (Taylor *et al* 1993).

Para que las especies y comunidades de animales prosperen en paisajes que las personas han modificado mucho, la conectividad dentro del paisaje debe ser suficiente para que los animales se desplacen para conseguir los recursos que necesitan en diferentes fases de la vida. No existe una solución general para que un enlace satisfaga las necesidades de todas las especies. Un eslabón que es eficaz para una especie puede ser ineficaz para otras que se desplazan a escalas diferentes. Se requieren diferentes clases de enlaces ecológicos para desplazamientos que abarcan escalas diferentes (Bennett 2003).

### **Corredor Biológico Ribereño Interurbano-Subcuenca Reventado Agua Caliente (COBRISURAC, 2007).**

El COBRI SURAC está localizado en la provincia de Cartago, abarca los cantones de Oreamuno, El Guarco y Cartago, y se encuentra dentro del área de conservación cordillera volcánica central (ACCV). La iniciativa empezó en el 2006, abarca una superficie 18,451 ha y busca mantener y restablecer la conectividad biológica entre siete áreas silvestres protegidas: los parques nacionales Volcán Irazú y Tapantí-Macizo de la Muerte, las reservas forestales Cordillera Volcánica Central y Río Macho; las zonas protectoras Tiribí, Cerros de La Carpintera y Río Navarro – Río Sombrero .

Según COBRI SURAC (2007), las características de este corredor son:

- Variaciones altitudinales que van desde 1100 hasta 2600 msnm, con temperaturas que varían 25 y 14 oC y precipitaciones que oscilan entre 1500 y 2000 mm. Como consecuencia de esta variabilidad existe una diversidad biológica significativa.
- Al menos 419 especies de plantas de las cuales 34 son helechos. Están representadas principalmente por las familias orchidaceae ( 44 especies

, todas protegidas por CITES) y asteraceae (39 especies). De estas, 15 son endémicas.

- Se encuentran registradas 20 especies de mamíferos, entre ellas dos endémicas el ratón cantor ( *Scotinomys xerampelinus* ) y la taltuza ( *Orthogeomys heterodus*). Esta última clasificada como vulnerable según UICN.
- Están presentes 246 especies de aves (29% del total existentes en el país), 7 se encuentran amenazadas 1 en peligro de extinción y 20 son endémicas para Costa Rica y Panamá.
- Entre los insectos se registran 473 especies de mariposas.
- Existen varios usos de suelos: alrededor del 30 % se encuentra bajo cobertura forestal en diferentes etapas sucesionales, además de café, ornamentales, cultivos anuales y perennes. Cuenta con un área urbana significativa con una población aproximada de 160 000 habitantes.
- Con respecto a la riqueza cultural se registra cerca de 51 sitios arqueológicos, cuya función o naturaleza se establece entre las categorías de: funerarios, habitacionales y la combinación de ambos, con una ocupación humana que data entre el 300 a. C al 1550 d.C. Entre ellos destaca el sitio arqueológico Agua Caliente, considerado como una necrópolis y lugar sagrado en el que se encuentran al menos 50 cementerios de gran complejidad social, religiosa y política, donde destaca el cementerio principal de Purapura, capital de cacicazgo de El Guarco. Por su importancia fue declarado patrimonio nacional, bajo la categoría de Monumento Nacional.
- Se localizan inmuebles de valor patrimonio histórico y arqueológico de gran valor nacional: Basílica Nuestra Señora de los Ángeles, Ruinas de Santiago Apóstol, Colegio San Luis Gonzaga, las iglesias María Auxiliadora, Quircot, los Padres Capuchinos, la casa de ex presidente y mentor de la educación gratuita de Costa Rica, Jesús Jiménez Y el edificio Pirie, entre otros.
- Una de las grandes potencialidades del COBRI SURAC es su condición de corredor biológico ribereño e interurbano, donde el bosque ribereño constituye el eje articulador de la conectividad y la

arborización del casco urbano representa un reto. El corredor considera el 6 % de la provincia de Cartago, siendo ésta de importancia estratégica como oferente de servicios ambientales, principalmente de agua para consumo humano y producción de energía, tanto en el ámbito provincial como nacional

# MATERIALES Y MÉTODOS

## Área de estudio

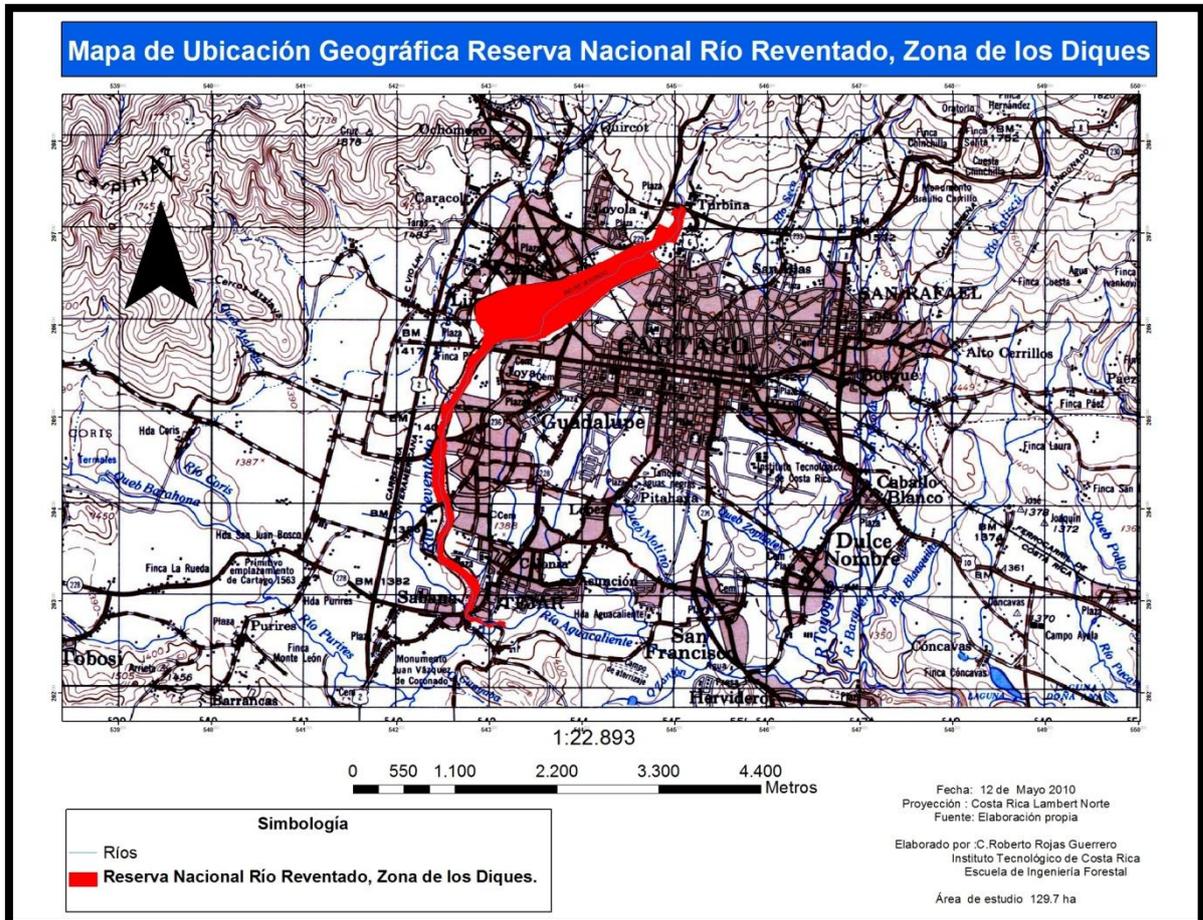
Está localizada en el Valle Central Oriental de Costa Rica, en la parte baja de la micro cuenca del río Reventado en la provincia de Cartago, abarca los cantones de Cartago y El Guarco, correspondiendo a los distritos de San Nicolás, Carmen, Guadalupe, Central Occidental y Tejar.

Se encuentra dentro del Área de Conservación Cordillera Volcánica Central (ACCVC) y se ubica dentro del corredor biológico COBRI-SURAC (Corredor Biológico Ribereño Interurbano Sub cuenca Reventado Agua Caliente).

La zona de vida es Bosque Húmedo Premontano (Bh-P), con una biotemperatura que oscila entre 18 a 24 oC (Holdridge 1987).

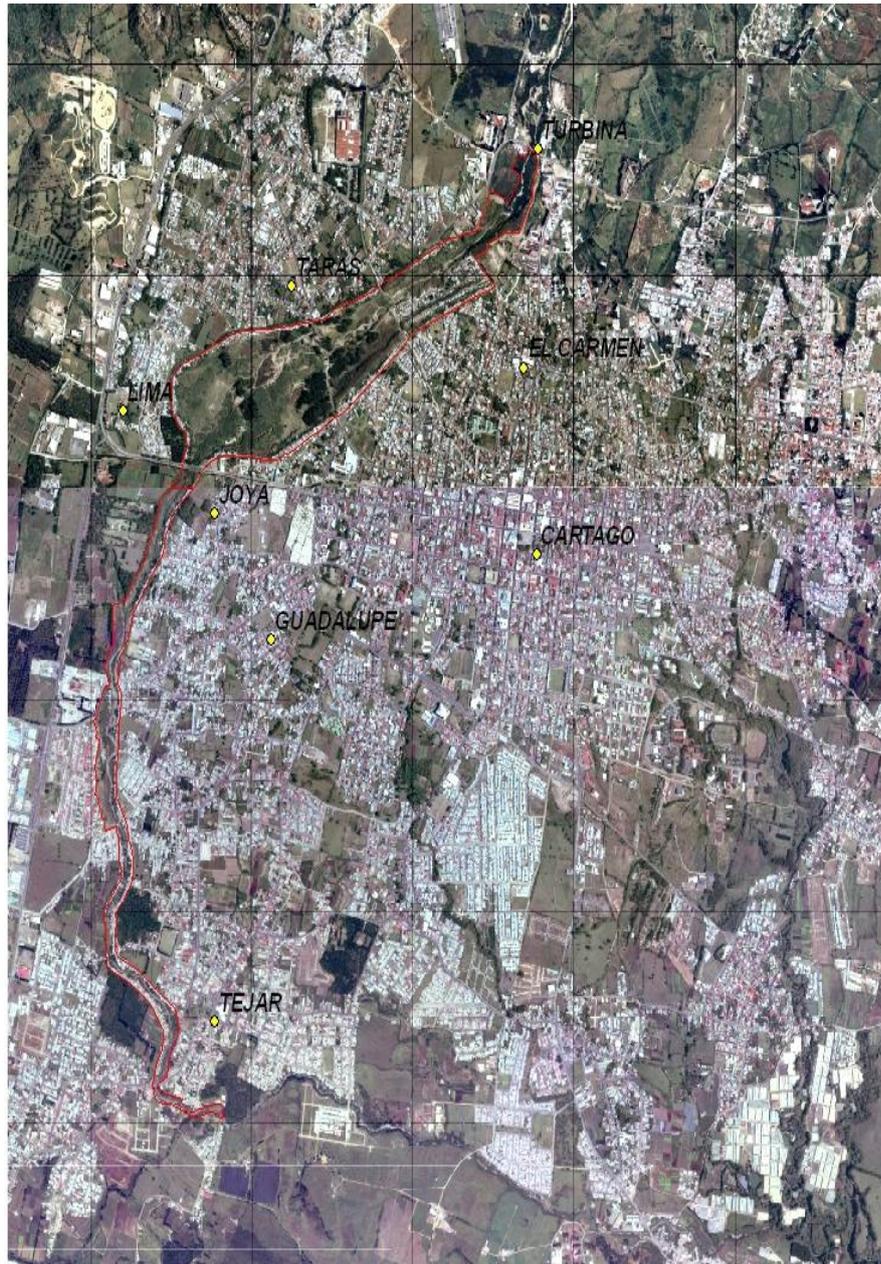
Abarca una superficie aproximada de 129,7 ha, con alturas que varían desde 1400 hasta 1490 msnm, con una temperatura promedio de 19.2oC y con precipitaciones anuales entre 1500 a 2000 mm.

La figura 10 muestra la ubicación geográfica del área de estudio, la fuente utilizada fue la Hoja Cartográfica Costa Rica 087 Istarú 3445 IV en coordenadas Lambert Norte.



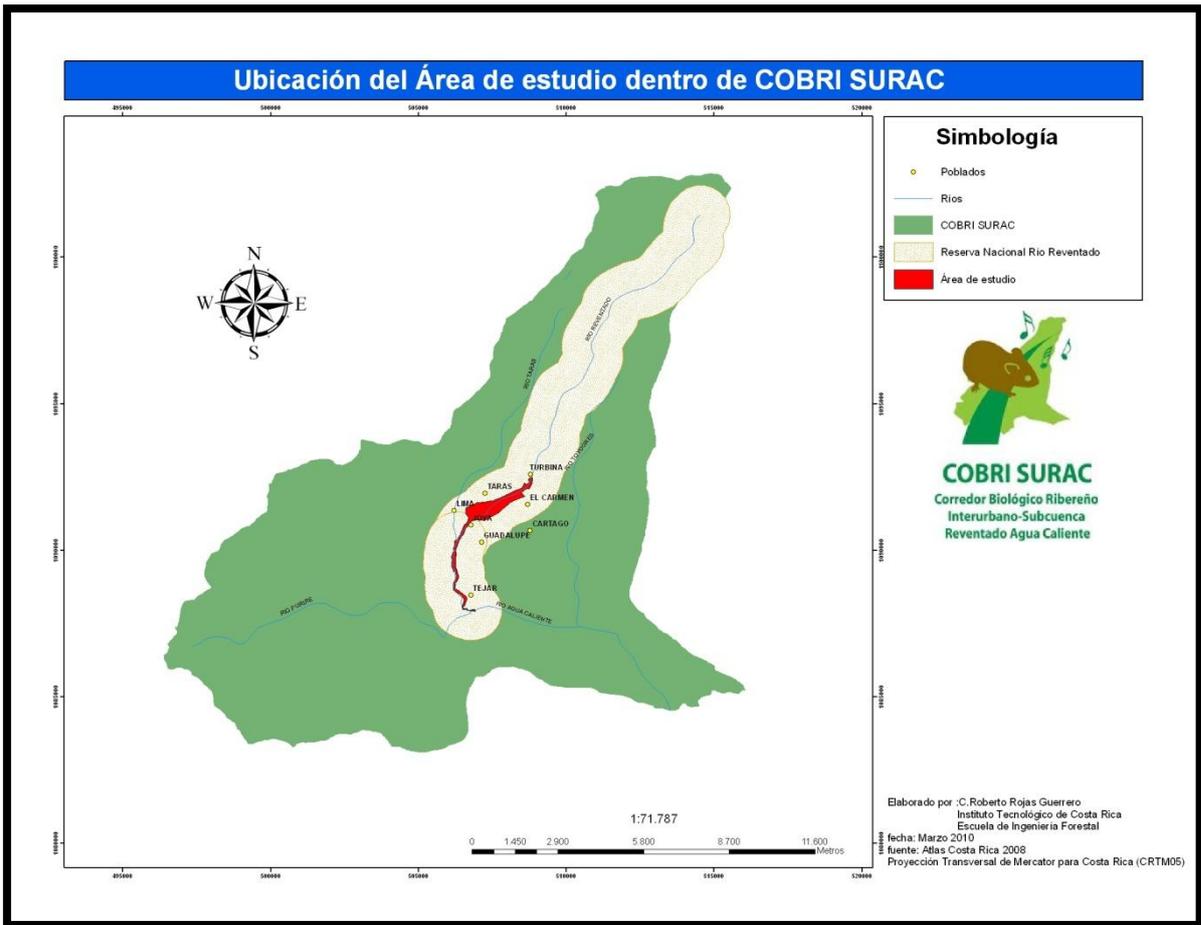
**Figura 10.** Mapa de ubicación geográfica del área de estudio, Reserva Nacional Río Reventado, Zona de Los Diques, San Nicolás, Cartago.

La figura 11 muestra una vista aérea del área de estudio.



**Figura 11.** Vista aérea del área de estudio. Fuente: PRUGAM - IGN 2008.

La figura 12 muestra la ubicación del área de estudio dentro del corredor biológico COBRI SURAC y dentro de la cobertura total de la Reserva Nacional Río Reventado según la Ley N° 3459 del 26 de noviembre de 1964.



**Figura 12.** Mapa de ubicación del área de estudio dentro del corredor biológico COBRI SURAC .Fuente TEC de Costa Rica 2008.

La Reserva Nacional Río Reventado tiene una cobertura aproximada 4000 hectáreas según lo estipulado por la ley anteriormente citada. De toda esta área el este proyecto se concentra en la zona de Los Diques por no contar con cobertura forestal continua, además de no poseer concentración de zona urbana.

## **Obtención y especificaciones de imágenes aéreas**

En atención al objetivo específico zonificar las áreas potenciales para restaurar o reforestar, se decidió trabajar con cartografía digital 1:10 000 de la Gran Área Metropolitana (GAM) del Proyecto de Planificación Regional y Urbana de la Gran Área Metropolitana (PRUGAM). La cartografía se puede consultar y está disponible en el link correspondiente en la página principal del PRUGAM o a través de la página WEB del Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos. ([www.mivah.go.cr](http://www.mivah.go.cr)).

Se trabajó con ortofotomapas escalas 1:10 000 de las hojas cartográficas Ochomogo 3445 IV-17 y Tejar 3445-IV-22, preparadas mediante el convenio Unión Europea-PRUGAM y bajo la revisión de Instituto Geográfico Nacional (IGN), copilados por métodos fotogramétricos digitales basados en fotografías aéreas tomadas en el 2005 en un vuelo realizado por la NASA (National Aeronautics and Space Administration), dentro del programa de regularización de catastro y registro. Control horizontal y vertical establecido por el proyecto PRUGAM. Clasificación de campo realizada en el año 2008. Los ortofotomapas poseen proyección Transversal de Mercator para Costa Rica (CRTM05), elipsoide WGS84 y datum CR05. (ANEXO 1 y 2).

## **Georeferenciación de las imágenes digitales**

En un sistema de información geográfica (SIG), la información de una fuente secundaria (mapa o fotografía digital) debe digitalizarse, ésto es, pasar la información de forma que pueda ser manejada vía computadora. El proceso más común consiste en adquirir o producir mediante escáner una imagen digital (tif, jpg, img, etc.) de fotos aéreas o mapas, georeferenciar la imagen y luego digitalizar los elementos geográficos deseados.

De acuerdo con Loaiza 2007, para el caso de fotografías aéreas de zonas montañosas o quebradas hay que hacer un paso adicional llamado ortorectificación que elimina los efectos de distorsión producido por

variaciones en la elevación. En este caso las imágenes utilizadas ya estaban previamente ortorectificadas bajo la revisión del Instituto Geográfico Nacional.

El proceso de georeferenciación de imágenes se realizó mediante el software ArcGis® 9.3 y la herramienta Georeferencing / add control points, se hizo en forma individual para cada imagen mediante puntos de control, que son rasgos para que usted ubique la posición geográfica, sea coordenadas geográficas o en coordenadas planas. Se debe aclarar que el mínimo de puntos para obtener un nivel de error de precisión aceptable es de cuatro puntos de control (Nuñez y Barrantes 2009).

Para este caso la posición de los puntos de control debe obtenerse directamente del ortofotomapa respectivo con la proyección CRTM05. Una vez incluidos todos los puntos y aceptado el error se procede a guardar la imagen georeferenciada mediante la herramienta Georeferencing / Rectify del software ArcGis® 9.3.

La figura 13 muestra la barra de herramienta de Georeferencing del software ArcGis® 9.3.

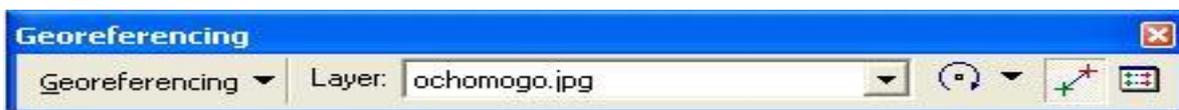
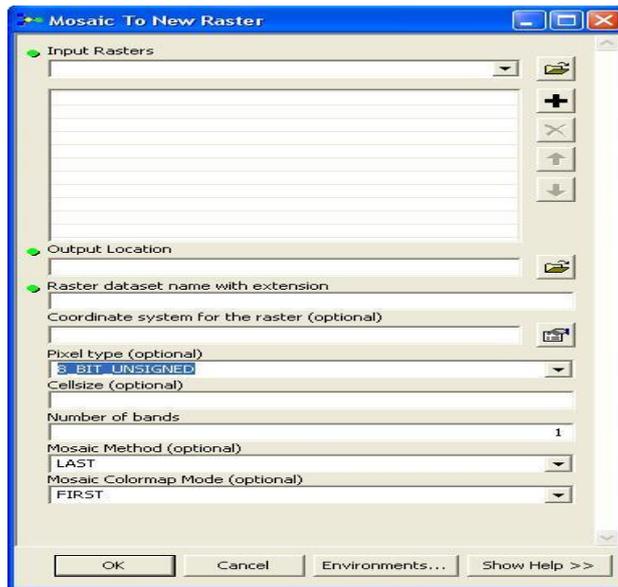


Figura 13. Barra de herramienta de Georeferencing.

### **Fotointerpretación y digitalización de área de estudio**

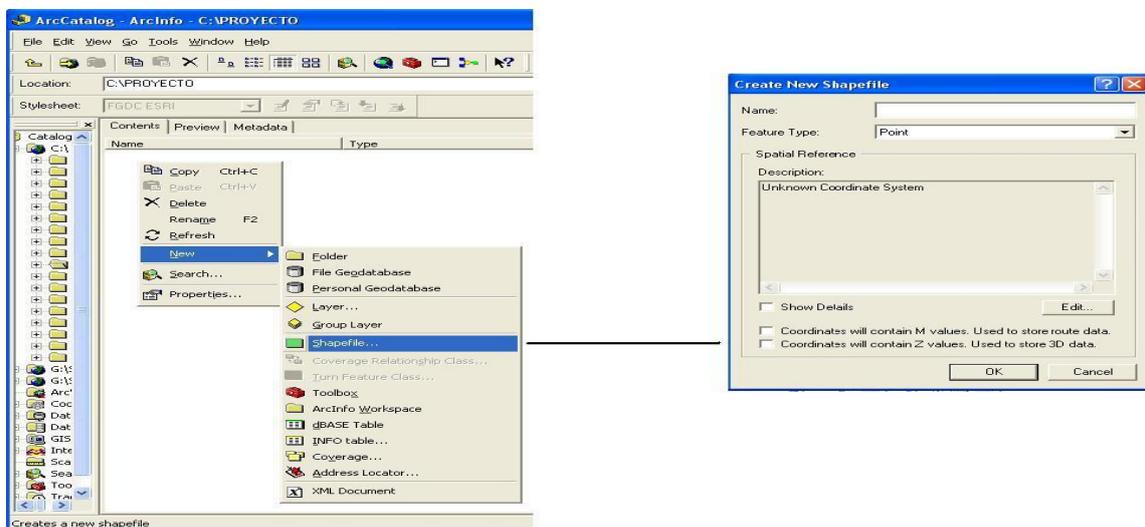
Antes de empezar con el proceso de digitalización, con la herramienta mosaic to new raster se unieron las dos imágenes georeferenciadas obteniendo un solo mosaico raster georeferenciado.

La figura 14 muestra la herramienta mosaic to new raster del software ArcGis® 9.3.



**Figura 14.**Herramienta mosaic to new raster.

El proceso de digitalización se inicia creando un nuevo tema en ArcCatalog, luego se procede a digitalizar los elementos geográficos observados en la imagen aérea, como se muestra en la figura 15.



**Figura 15.**Creando un nuevo tema con la Herramienta ArcCatalog.

La fotointerpretación y digitalización se realizó con el uso de ArcMap del software ArcGis® 9.3 creado para cada cobertura, editable mediante la herramienta editor y se digitó en pantalla nuevos polígonos según la cobertura presente en la(s) fotografía(s).



**Figura 16.** Barra de herramienta Editor

Las fotografías de 2005 (escala 1:10 000) se trabajaron a una escala de 1:5 000.

Los nuevos polígonos se clasificaron con base en la fotointerpretación de las fotografías, para ello se tomó en cuenta todos los elementos que las constituyen: textura, colores y tonos, sombras, contexto, formas y tamaños, etc. Además, se realizaron corroboraciones de campo para las coberturas de dudosa existencia, trabajando a su vez con ayuda del software Google™ earth ya que en la actualidad el uso del suelo pudo haber cambiado. Las áreas de cada tema o shape fueron calculadas mediante la extensión Xtool Pro 3.5 del software ArcMap de ArcGis® 9.3.

Se utilizó la siguiente clasificación para las fotografías aéreas:

#### Uso Forestal

- Bosque = bosque secundario, bosque intervenido y no intervenido

#### Uso No Forestal

- Potreros = pastos sin árboles

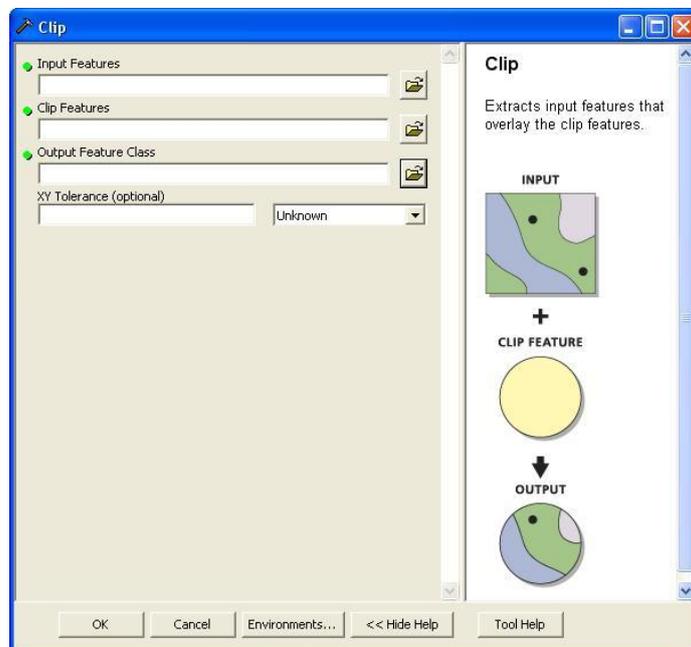
#### Otros

- Reforestación = plantaciones forestales
- Zona urbana = áreas cubiertas de construcciones realizadas por el hombre
- Zona de extracción de material
- Pista de aerodelismo

## Características de los suelos

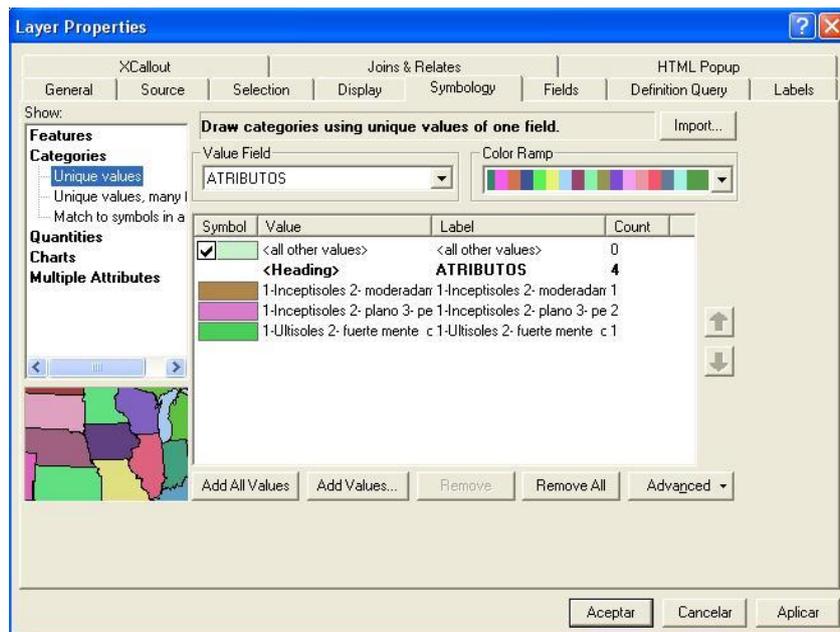
Mediante el software ArcMap de ArcGis® 9.3 y la opción Clip de la herramienta Analysis tools, se extrajo la información únicamente de la cobertura total de la Reserva Nacional Río Reventado, zona de Los Diques, seguido de una reclasificación de los atributos que permitió obtener el tipo de suelo y sus características (figura 21) a partir de las capas de suelos y de capacidad de uso disponibles en el TEC para Costa Rica 2008(TEC 2008).

La figura 17 muestra la herramienta clip ya mencionada para extraer la información de las capas de suelos y de capacidad de uso.



**Figura 17.**Herramienta Clip

La figura 18 indica el proceso de reclasificación de los atributos mediante la manipulación de las propiedades de cada capa de datos utilizada.



**Figura 18.** Propiedades de las características de la simbología de la capa temática de suelos.

La capa temática con la descripción de los tipos de suelo, posee la clasificación según FAO. Preparado para la FAO elaborado de acuerdo a la labor del Ing. Alexis Vazquez Morera 1989 (TEC 2008).

Para determinar la capacidad de uso de la tierra y su relación con los usos encontrados en la Reserva Nacional Río Reventado, zona de Los Diques, se utilizó la información basada en el ATLAS para Costa Rica 2008 (TEC 2008) con la capa de Capacidad de Uso. Dicha capa está fundamentada en la metodología oficial para determinar la capacidad de uso de la tierra (Decreto N° 23214-MAG-MIRENEM), donde se indican las siguientes categorías (MAG, 1996):

**Clase I:** Se incluyen tierras que no presentan ningún tipo de limitaciones para la producción agrícola, pecuaria o forestal adaptada ecológicamente a la zona, sin deterioro de la capacidad productiva de la tierra.

**Clase II:** Permite el desarrollo de casi cualquier actividad agropecuaria o forestal ecológicamente adaptada al lugar, pero con ligeras limitaciones que pueden reducir en algunos casos la elección de cultivos.

Clase III: facilita el desarrollo de cultivos limpios pero con prácticas muy intensas de manejo y/o conservación.

Clase IV: Esta tierra debe usarse en vegetación permanente y semipermanente dado al grado de limitaciones que presenta para el desarrollo de cultivos limpios y fuertes prácticas de manejo y/o conservación de suelos.

Clase V: Permite el desarrollo de vegetación permanente especialmente la ganadería.

Clase VI: Terrenos utilizables para la producción de cultivos perennes y forestería con prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos.

Clase VII: Por su alto riesgo de degradación sólo se permite la obtención en forma controlada de productos derivados de su vegetación natural, como el manejo del bosque.

Clase VIII: Tierras que no reúnen las condiciones mínimas para ninguna actividad agropecuaria o forestal. Tienen utilidad como zonas de preservación de flora y fauna, captación de acuíferos y belleza escénica.

### **Zonas en conflicto**

Son zonas ó infraestructura (puentes, áreas recreativas y otros), que tienen alguna restricción legal, como la violación, incumplimiento de algún decreto o ley, característica importante de resaltar y que no tiene control alguno de las entidades encargadas de gestionar el área de estudio. Estas zonas implican un problema territorial por la invasión de precarismo, contaminación por residuos sólidos, degradación de suelos y flora por pastoreo; Características importantes como: alturas de los puentes ubicados dentro del área de estudio, para prevenir obstrucciones por inundación, en caso de caída de árboles con alturas superiores a los mismos. También el uso y estado áreas recreativas

como canchas de baloncesto, canchas de futbol, pista de aerodelismo y otros.

Peligros de las plantaciones forestales como altura, ubicación, edad aproximada, refugio de delincuentes, daño del cableado eléctrico, etc. y por último las áreas no reforestables, por la existencia de construcciones en precario en la ribera del río, donde reforestar no es aconsejable. Estas áreas violan la ley No. 3459 (1964) y el decreto 22384-MOPT-MIVAH 1994, que restringe con fines preventivos el área de Los Diques de San Nicolás, además de las áreas de protección forestal (Art. 33) según la ley No7575.

Se utilizó el mapa de conflictos para determinar las áreas a segregar y reforestar.

### **Cuantificación de volumen de madera dentro de la zona de Los Diques**

La estimación de volumen, se realizó mediante la metodología propuesta por Murillo y Badilla (2004). Se instaló 8 parcelas circulares de 200 m<sup>2</sup> (radio de 7.98 m) con una intensidad de muestreo del 2 %, ubicadas en forma aleatoria. Dentro de la parcela se midió a cada árbol las siguientes variables:

dap (diámetro a la altura del pecho en cm), y las variables generales de calidad en cada una de las primeras 4 trozas (2,5 m de largo) . Las variables de calidad se evaluaron de acuerdo a la misma metodología propuesta. Cada troza se evalúa en forma independiente y será calificada en las siguientes clases de calidad:

**1 = Excelente:** Se designan así aquellas trozas cuyas calificaciones han sido absolutamente de 1 en todas las otras variables específicas. En especies con ramas en verticilos, con menos de 3 verticilos por metro y con 5-6 ramas por verticilo.

**2 = Muy Buena a Buena:** Son todas aquellas trozas que han recibido entre 1 y 2 veces al menos una calificación de 2 en alguna de las siguientes variables

específicas: rectitud, ángulo de inserción de ramas, presencia de reiteraciones, grosor de ramas, y estado fitosanitario. Es decir, es una troza con defectos leves, que solamente le disminuirán pero no le limitarán severamente su potencial productivo.

**3 = Aceptable:** Son todas aquellas trozas con limitaciones severas, pero que le permiten aprovechar al menos un 50% del fuste en producto de aserrío. Son todos aquellos árboles que han recibido más de 2-3 veces una calificación de 2; todos los que reciban calificación de 2 en las variables daño mecánico o gambas o aletones; aquellos árboles inclinados.

**4 = Sin valor comercial maderable:** Son aquellas trozas que se les pueden observar defectos que merecen una calificación de “3 en alguna de las variables específicas como rectitud o problemas fitosanitarios. En este grupo se deben ubicar aquellas trozas con presencia de bifurcaciones a muy baja altura, grano en espiral y a veces, con presencia de gambas o aletones bien prominentes en la primera troza. Su utilidad es exclusiva para leña, en postes rollizos o biomasa.

La figura 19 muestra el formulario de recolección de los datos de campo para realizar el avalúo de las plantaciones de la Reserva Nacional Río Reventado, zona de Los Diques.

Finca	Lote	Parcela	Árbol	DAP [cm]	Altura total (m)	Número de trozas comerciales posibles	T1	T2	T3	T4
Diques	1	1	1	42,50	2,50	6	1	1	1	2
Diques	1	1	3	63,40	2,50	6	1	1	1	2
Diques	1	1	4	34,50	2,50	5	1	1	1	2
Diques	1	1	5	34,20	2,50	6	1	2	2	3
Diques	1	2	1	51,30	2,50	5	1	1	1	2
Diques	1	2	2	39,90	2,50	6	1	1	1	2
Diques	1	2	3	44,50	2,50	6	1	1	1	2
Diques	1	2	4	48,20	2,50	6	1	1	1	2
Diques	1	2	5	44,00	2,50	6	2	2	2	3
Diques	1	2	6	31,80	2,50	6	1	1	2	2
Diques	1	2	7	32,20	2,50	5	1	1	1	3
Diques	1	2	8	24,50	2,50	4	1	2	3	3
Diques	2	1	1	33,00	2,50	6	1	1	2	2
Diques	2	1	2	21,30	2,50	5	1	1	2	3
Diques	2	1	3	33,40	2,50	6	1	1	1	2

Figura 19. Formulario de campo para la evaluación de la calidad de plantaciones

El procesamiento de los datos recolectados se realizó con el software desarrollado en la plataforma EXCEL por Murillo y Badilla, 2003.

### **Selección de especies arbóreas arbustivas**

Las especies propuestas se eligen en función de las características biofísicas específicas de área de estudio y características de los suelos así como de la capacidad de uso de la tierra. Se tomaron en cuenta las particularidades como especies de poca altura tipo arbustos, floración llamativa para belleza escénica, fijación de carbono, de origen nativa, conservación de suelos o aguas y alimento para fauna. Además se consideró especies que tuvieran estas características y que se encontraran o se observaran en el área de estudio.

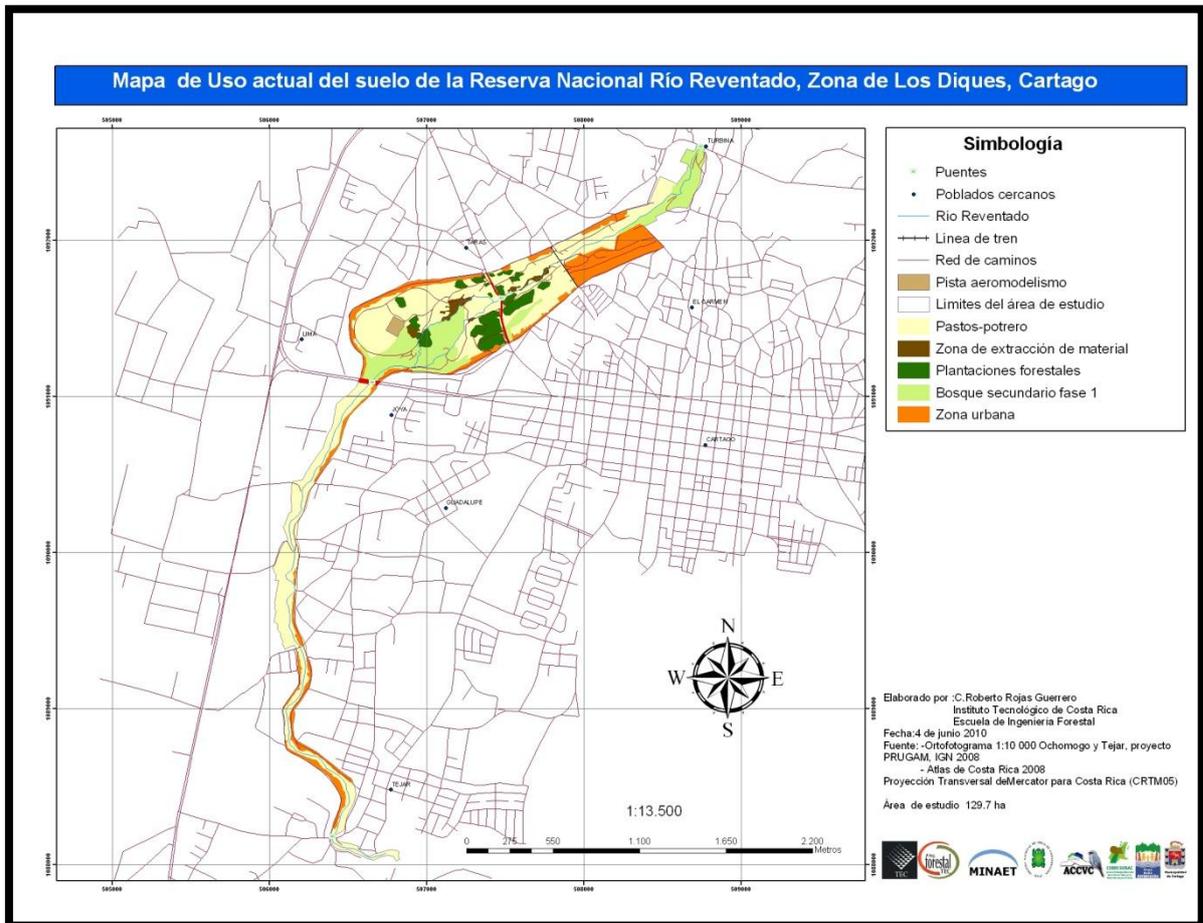
Usando el software GERMINAR©2007(TEC 2007), elaborado por la escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica, se recopiló información sobre las posibles especies candidatas. Dicho software brinda información variada sobre la taxonomía (nombre común o nombre científico), familia a la que pertenece, origen y distribución de la especie tanto en el mundo, como en Costa Rica, mapa de abundancia con la descripción visual de los lugares geográficos del Valle Central, donde se localiza la especie, incluye una descripción botánica sobre el tamaño, tipo de copa, follaje, hojas, flores, frutos, semillas, fuste, corteza, raíz, adaptación y tolerancia del clima y suelos, condición ecológica, demanda de luz, crecimiento, regeneración y capacidad de rebrote.

El propósito de enfatizar la plantación de especies de porte bajo, es precisamente la prevención de posibles presas de palos o troncos en los puentes en caso de inundaciones.

# RESULTADOS

## Uso de la tierra

El proceso de digitalización en pantalla mediante el software ArcMap de ArcGis® 9.3, permitió obtener la zonificación de la Reserva Nacional Río Reventado, zona de los Diques como se demuestra en la figura 20.



**Figura 20.** Mapa de uso actual del suelo de la Reserva Nacional Río Reventado, Zona de Los Diques.

El Cuadro 3 muestra los resultados obtenidos de uso del suelo para el año 2010 en la Reserva Nacional Río Reventado, Zona de Los Diques, Cartago. Las áreas fueron calculadas mediante la herramienta Xtools Pro 3,5 del software ArcMap 9,3.

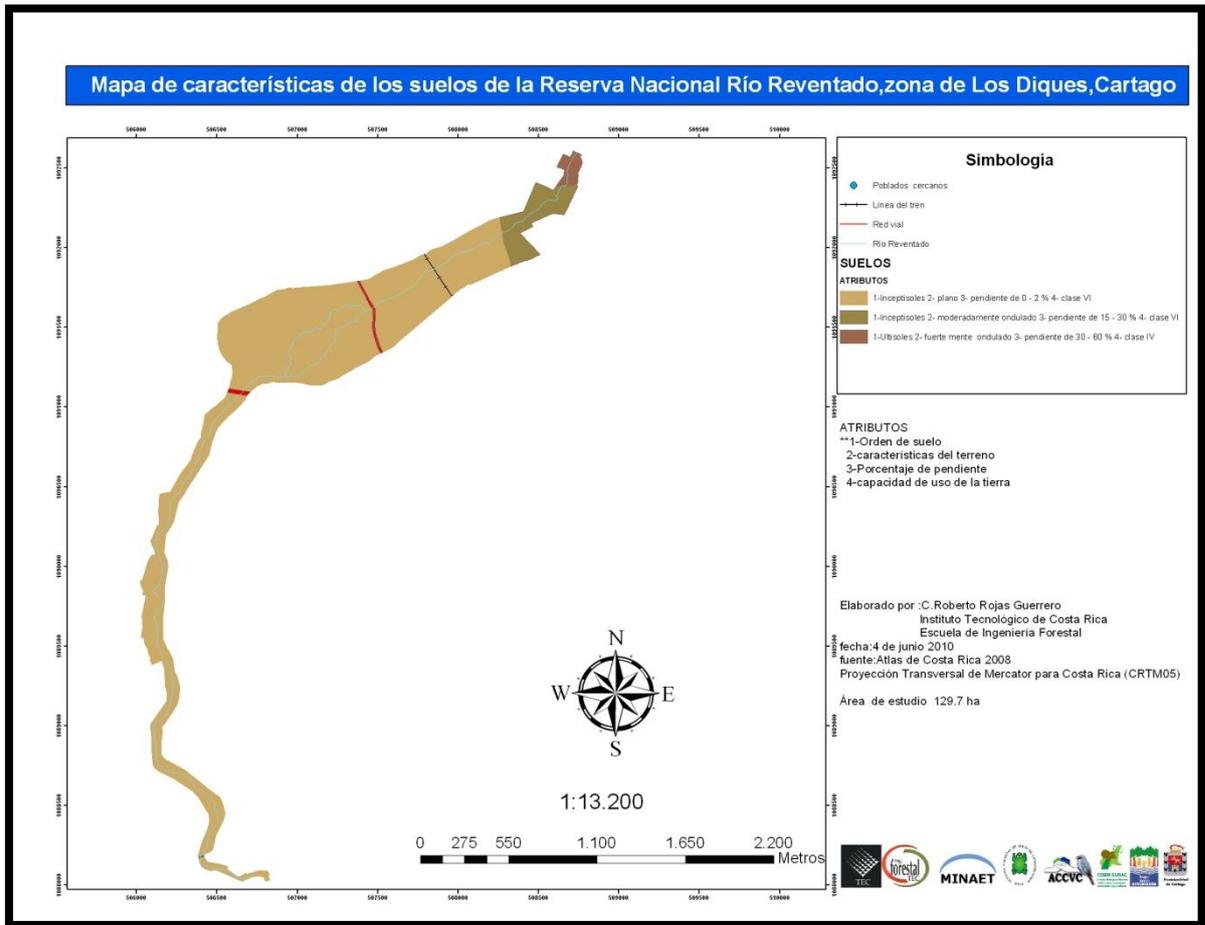
**Cuadro 3.** Distribución del área, según categoría de uso de la Reserva Nacional Río Reventado, Zona de Los Diques, Cartago.

Clase	Área (ha)	porcentaje
Pastos	66,74	51,5
Zona urbana	26,42	20,4
Bosque secundario etapa 1	23,62	18,2
Plantaciones forestales	9,5	7,3
Zona Extracción de material	2,5	1,9
Pista de aeromodelismo	0,9	0,7
Área Total	129,7	100

La categoría de pastos indicó la mayor cobertura, representada por un 51,5% de área total. Seguidamente se encuentran las categorías de zona urbana y bosque secundario fase 1 con 20,4% y 18,2% respectivamente. Las categorías cobertura forestal, zona de extracción de material y pista de aeromodelismo no superan individualmente el 8% del área total.

### **Características de los suelos**

Mediante el software ArcMap 9.3 y la opción clip de la herramienta *Analysis tools* y la reclasificación de los atributos permitió obtener el siguiente mapa (figura 21) a partir de la capa de suelos y la de capacidad de uso del ATLAS 2008(TEC 2008).



**Figura 21.** Mapa de características de los suelos de la Reserva nacional Río Reventado, Zona de Los Diques, Cartago.

El Cuadro 4 muestra los resultados obtenidos de las características de los suelos de la Reserva Nacional Río Reventado, Zona de Los Diques, Cartago. Las áreas fueron calculadas mediante la herramienta Xtool Pro 3.5 del software ArcMap de ArcGis® 9.3.

**Cuadro 4.** Distribución de área según categoría de uso de la Reserva Nacional Río Reventado, Zona de Los Diques, Cartago.

Categoría	Área (ha)	porcentaje
Ultisoles/fuertemente ondulado/pendiente de 30 - 60 %/clase IV	2,31	1,78
Inceptisoles/moderadamente ondulado/pendiente de 15 - 30 %/clase VI	10,19	7,86
Inceptisoles/plano/pendiente de 0 - 2 % / clase VI	117,22	90,36
total	129,72	100

La categoría de suelos Inceptisoles, con terreno plano, pendientes de 0 - 2 % y capacidad de uso de suelo clase VI, presentó la cobertura más amplia, con un 90,36% del área total. Las categorías de suelos ultisoles, con terreno fuertemente ondulado, con pendientes de 30 - 60 %, capacidad de uso de suelo clase IV y suelos Inceptisoles, con terreno moderadamente ondulado, pendiente de 15 -30% y capacidad de uso de suelo clase VI, no superan individualmente el 8% del área total. Las clases de capacidad de uso del suelo identificadas están en uso correcto, por lo que no hay ni sub uso, ni sobre uso.

### **Características de la vegetación**

**Potrero:** Pastos con árboles aislados, en algunos sectores con suelos descubiertos fuertemente erosionados.

**Bosque secundario:** Fase sucesional o etapa de desarrollo 1, el sitio es invadido principalmente por especies herbáceas pioneras, bejucos, helechos y arbustos de diferentes familias. Simultáneamente se inicia el establecimiento de especies heliófitas efímeras invasoras o especies heliófitas pioneras.

**Plantaciones forestales:** plantaciones mixtas con especies tales como: *Cupressus lusitanica* (Ciprés), *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* (Pino), *Eucalyptus deglupta* y *Eucalyptus grandis*, con una densidad aproximada de 1000 árboles por hectárea, no poseen un distanciamiento de siembra

especifico, nunca se ha raleado y están entrando en una etapa de auto raleo, además poseen más de 25 años de establecidos (Rodolfo Cannesa (2010)).

### **Cuantificación de volumen de madera de la zona de Los Diques.**

El cuadro 5 muestra el reporte de los datos más sobresalientes del evaluó forestal de la Reserva Nacional Río Reventado mediante la metodología propuesta por Murillo y Badilla 2003 y el software desarrollado en la plataforma EXCEL , realizado por los mismos autores.

**Cuadro 5.** Aspectos sobresalientes de la cuantificación del volumen de las plantaciones forestales de la Reserva Nacional Río Reventado, zona de Los Diques, Cartago.

DATOS	VALORES
Área Basal promedio/ha (m <sup>2</sup> )	33,12
DAP promedio (cm)	34,62
Altura promedio hasta diámetro mínimo comercial o Altura comercial promedio (m)	23,40
Número Promedio de Trozas Comerciales/Árbol	5,11
Vol Neto Promedio en Trozas Comerciales/ha (m <sup>3</sup> sc)	440,68
Vol Comercial Promedio/ha hasta d mínimo (m <sup>3</sup> sc)	461,80

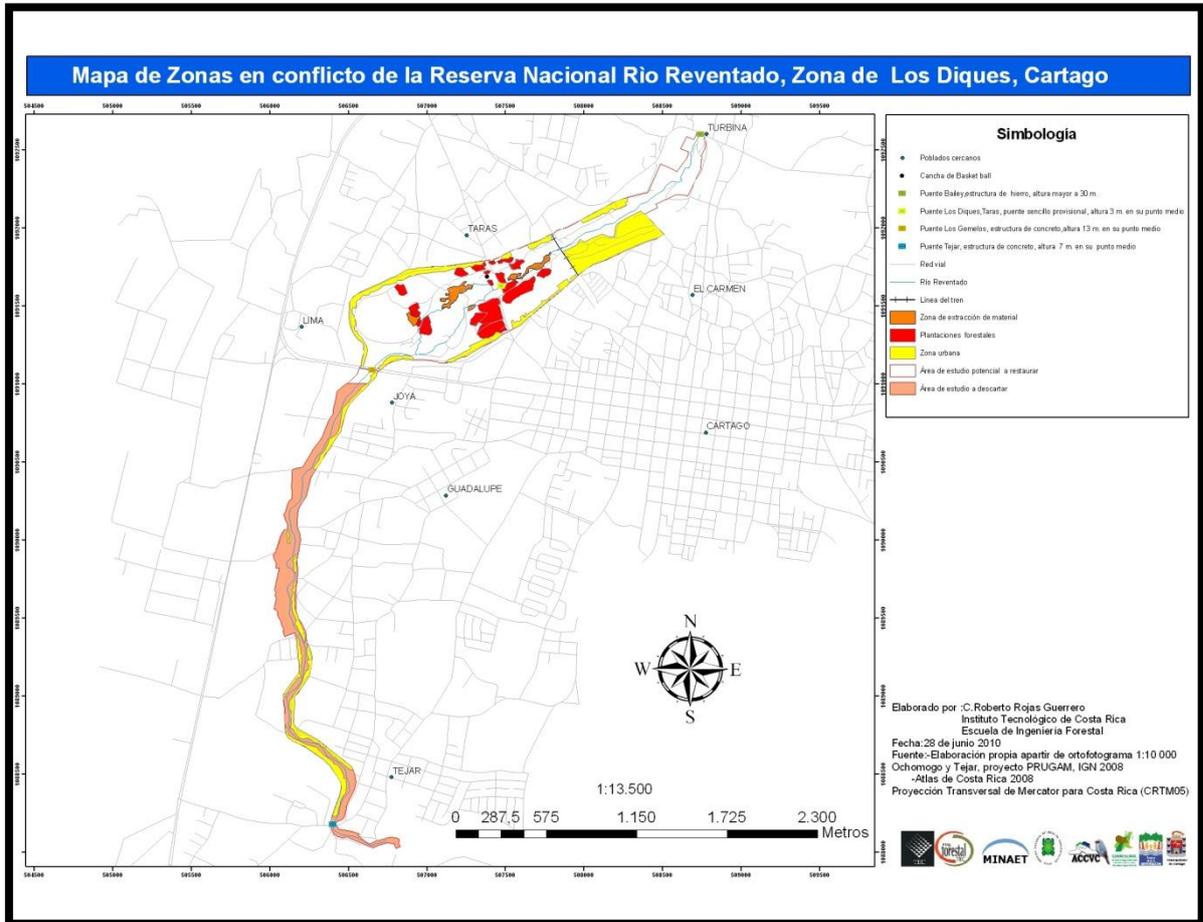
\*sc = sin corteza ,DAP= diámetro a la altura del pecho 1,30 m.

Se obtuvo un volumen promedio de 461,8 m<sup>3</sup>/ ha hasta un diámetro mínimo comercial (10 cm.), esto quiere decir que en total hay 4 38,71 m<sup>3</sup>, con un promedio de 5 trozas comerciales por árbol, con un diámetro a la altura de pecho promedio de 34,62 centímetros y una altura promedio hasta un diámetro mínimo comercial de 23,40 metros. El volumen cuantificado es de todas las especies en conjunto, se tomaron como lotes mixtos y no como lotes puros, debido a que en la mayoría de los casos las especies (ciprés, eucalipto y pino) estaban mezcladas y en otros, los parches de una sola especie, no se podían instalar las parcelas de medición.

En los anexos 3 y 4 se encuentra los reportes completos del avalúo.

## Zonas en conflicto

Se refiere a las zonas u objetos que tienen alguna restricción legal, característica importante de resaltar o no tiene control alguno por el estado o entidades encargadas de gestionar el área de estudio, como se muestra en la figura 22.



**Figura 22.** Mapa de zonas en conflicto de la Reserva Nacional Río Reventado, Zona de Los Diques, Cartago.

Las áreas en conflicto determinadas fueron:

- **Zona urbana:** está violentado la ley 3459 (ley que regula el río Reventado) y el decreto 22384-MOPT-MIVAH 1994, además de estar ubicada en zonas potencialmente vulnerables para catástrofes.

- **Plantaciones forestales:** edad aproximada de 35 años, por lo que están en su turno de corta (FAO, 2000), con crecimientos casi nulos el cual aportan poca fijación de carbono mediante la producción de biomasa, individuos con altura que oscilan entre 23 y 35 metros, así como se muestra en la figura 23.



**Figura 23.** Plantaciones de *Cupressus lusitanica* (ciprés) a la orilla de la calle pública. Fuente: Fotografía tomada en enero 2010 durante visitas de campo. Foto: Roberto Rojas G.

Tal y como se señala en la figura 15, la altura de los árboles es mayor a 25 metros, sobrepasando el tendido eléctrico y en algunos casos dichas plantaciones se encuentran muy cercanas a la carretera o a viviendas.

Son plantaciones con un dosel muy denso, por las noches se torna oscuro y peligroso, fomentando el acto delictivo, drogadicción y prostitución principalmente. Además esta especie (ciprés) presenta muerte natural y podría caer encima de algún individuo.

- **Zona de extracción de material:** para esta zona no existe ningún permiso o concesión de extracción, además, el Estado no posee ningún control de cuando material se extrae ni qué valor tiene.
- **Áreas recreativas:**

-La cancha de baloncesto se ubica continuo a la carretera que comunica Cartago con San Nicolás en los Diques, se encuentra en mal estado, totalmente deteriorada por vandalismo, falta de mantenimiento y de vigilancia; por lo que se ha limitado el uso de las instalaciones, como se muestra en la figura 24.



**Figura 24.** Cancha de baloncesto de Los Diques, San Nicolás. Fuente: fotografía tomada durante visitas de campo, mayo 2010. Foto: Roberto Rojas G.

-Pista de aeromodelismo, área recreativa actualmente en uso por seguidores de dicho hobby, con una cobertura de 0.9 hectáreas. La figura 25 muestra la

actividad realizada en este sector de la Reserva Nacional Río Reventado, zona de Los Diques, San Nicolás.



**Figura 25.**Actividad recreativa de aeromodelismo, zona de los Diques. Fuente: Hugo Rivera, 2008.

- **Área potencial a restaurar:** son zonas de pastos o potrero con potencial para la restauración. El principal problema observado es que la utilizan como zonas de pastoreo para vacas, caballos y cabras, como se muestra en la figura 26.



**Figura 26.** Ganado pastoreando en la Reserva Nacional Río Reventado, zona de Los Diques.  
Fuente: fotografía tomada durante visitas de campo, mayo 2010. Foto: Roberto Rojas G.

- **Área de estudio a segregar:** área no reforestable, alrededor de 30 hectáreas. Incluye: las riveras con material arenoso. Zonas urbanas ubicadas dentro de las áreas de protección del río, alta contaminación con aguas negras, domésticas y agrícolas.
- **Puentes:** se ubicaron 4 puentes dentro del área de estudio con las siguientes características:

-Puente Bailey con una estructura de acero, altura mayor a 30 metros en su punto medio.

-Puente Los Diques, San Nicolás, puente de estructura Bailey provisional, altura 3 metros en su punto medio.

-Puente Los Gemelos, circunvalación, constituido por una estructura de concreto, altura 13 metros en su punto medio.

-Puente Tejar, constituido con una estructura de concreto, altura 7 metros en su punto medio.

La figura 27 muestra los puentes de mayor importancia ubicados dentro del área de estudio.

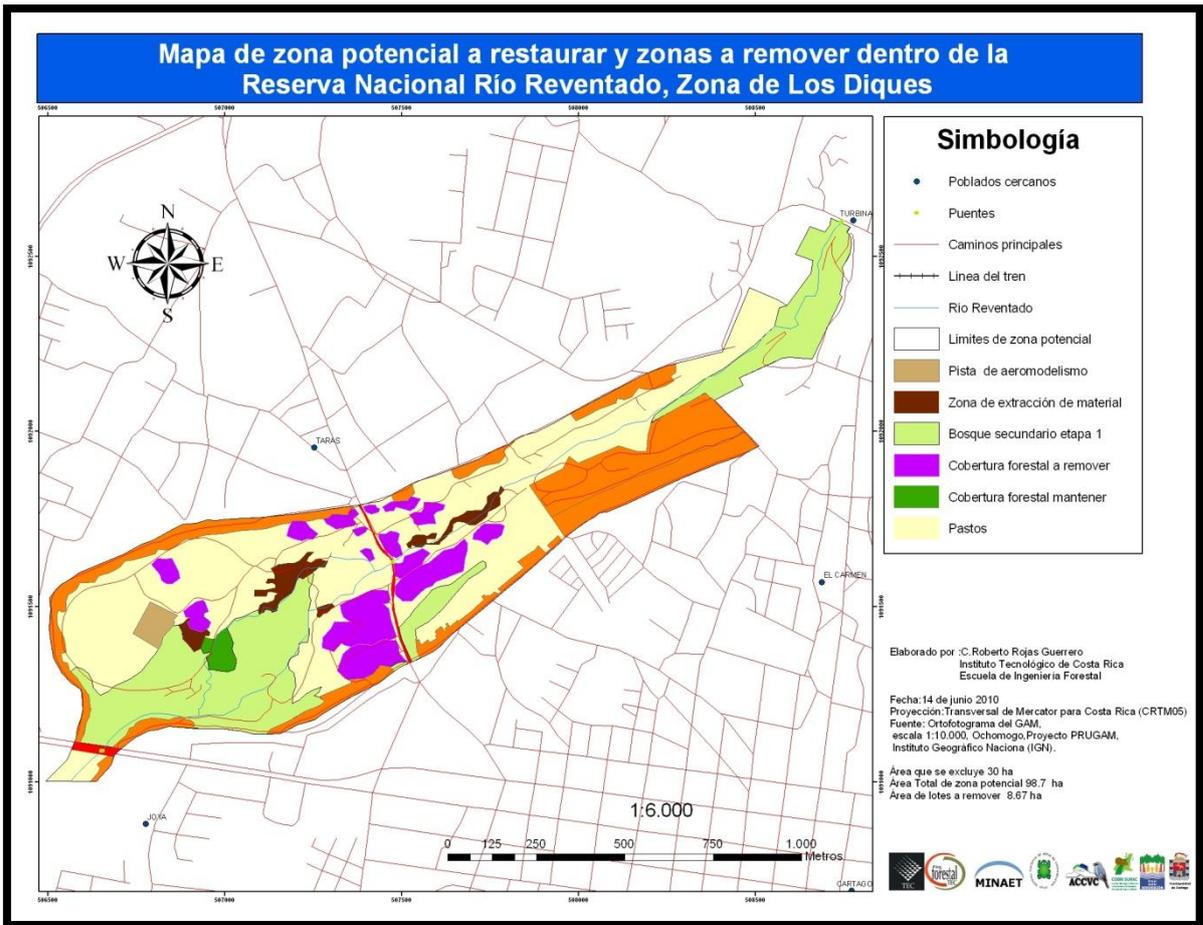


**Figura 27.** Tres de cuatro puentes ubicados dentro del área de estudio. A) Puente de Los Diques. B) Puente Tejar. C) Puente Los Gemelos. Fuente: fotografía tomada durante visitas de campo, mayo 2010. Foto: Roberto Rojas G.

Sector potencial para restaurar y cobertura a remover dentro de la Reserva Nacional Río Reventado, Zona de Los Diques, Cartago.

### **Uso de la tierra en el sector potencial a restaurar y áreas a eliminar de la Reserva Nacional Río Reventado, zona de Los Diques.**

La figura 28 muestra el sector de la Reserva Nacional Río Reventado que será sometido a restauración y los lotes árboles a remover.



**Figura 28.** Mapa de zona potencial a restaurar y zonas de árboles a remover dentro de Reserva Nacional Río Reventado, zona de los Diques, San Nicolás, Cartago.

El cuadro 6 muestra los resultados obtenidos en el uso de suelo del sector potencial a restaurar y las áreas a remover de la Reserva Nacional Río Reventado, zona de Los Diques.

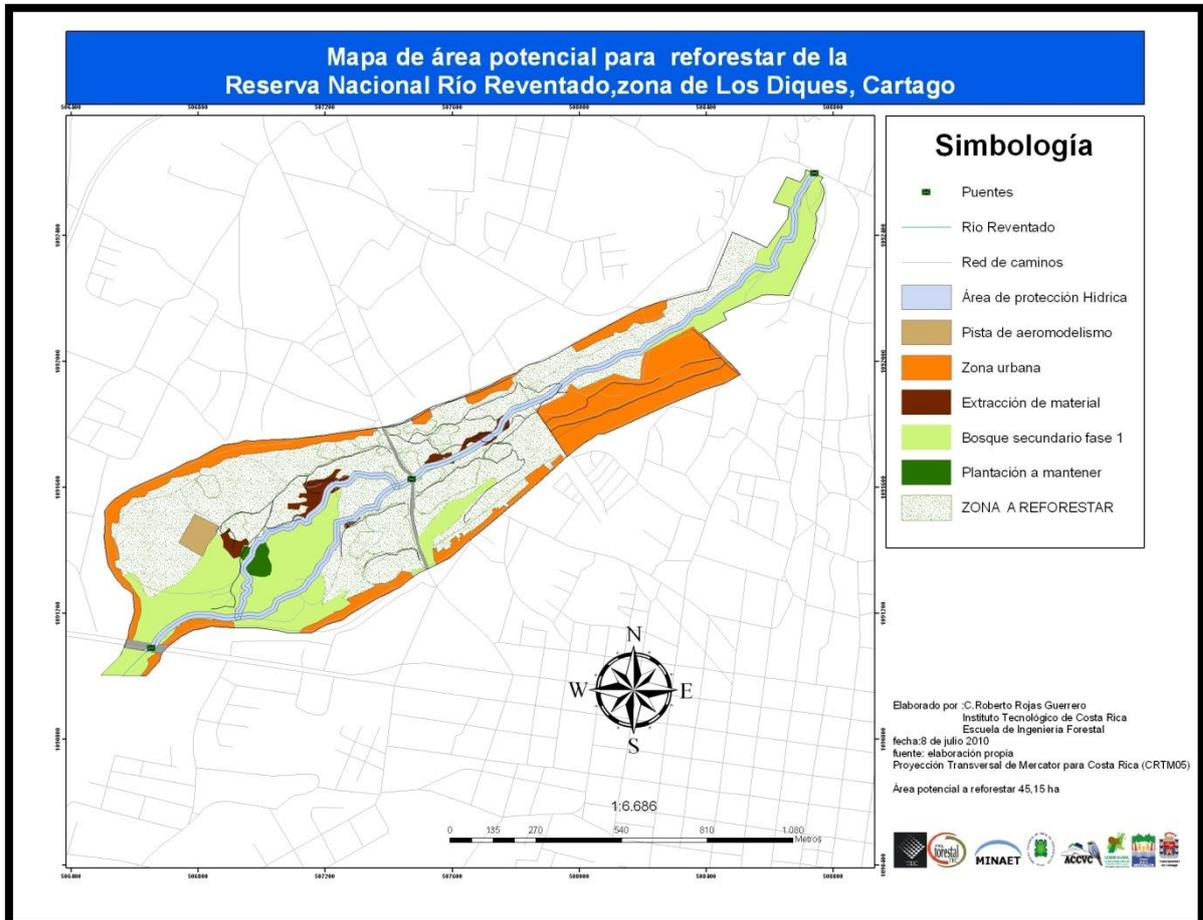
**Cuadro 6.** Uso de la tierra en el sector potencial a restaurar y áreas a eliminar de la Reserva Nacional Río Reventado, zona de Los Diques.

Clase	Área (ha)	Área a eliminar (ha)
Pastos	42,08	
Bosque secundario fase 1	23,62	
Zona urbana	20,05	
Pista aeromodelismo	0,90	
Extracción de material	2,50	
Plantaciones forestales	9,50	8,67
total	98,7	8,67

El área total del sector potencial a restaurar es de 98,7 hectáreas, donde los pastos presentaron la mayor cobertura con 42,08 ha, lo que representa un 42,6 % del total del área del sector potencial. El área a eliminar es de 8,67 ha de plantaciones forestales el cual representa un 91,3 % de la cobertura total de esta categoría.

## Área potencial a reforestar

La figura 29 muestra el resultado final de la eliminación de las plantaciones, por lo que obtenemos el área potencial para reforestar.



**Figura 29.** Mapa de áreas potenciales para reforestar de la Reserva Nacional Río Reventado, zona de Los Diques, Cartago.

La superficie que se someterá a reforestación es de 50,75 hectáreas (suma de pastos más área a eliminar de plantaciones forestales), sin embargo hay que excluir la zona de protección hídrica que traslapa la zona reforestable la cual corresponde a 5,6 hectáreas, por lo que contamos con 45,15 ha efectivas para reforestar.

## Especies recomendadas para el programa de restauración

Para la información de cada una de las especies propuestas, posee como fuente el software interactivo GERMINAR ©2007 versión 1.0, producido por la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.

- *Acacia angustissima* (Mill.) Kuntze

**Cuadro 7.** Atributos de la especie *Acacia angustissima* según TEC (2007).

Familia	Fabaceae - Mimosaceae
Nombre común	Carboncillo
Origen	nativa
Distribución en el país	En elevaciones medianas, con climas de húmedos a muy húmedos, frecuentemente en el Valle Central.
Precipitación	500 – 3500 mm/año
Temperatura	10 – 36 °C
Altitud	0 – 2600 msnm
Rebrota	Sí
Suelos	Tolera suelos ácidos e infértiles, sequía, sombra y heladas.
Tamaño de la especie	pequeño máximo 5 metros, tipo arbusto
Usos de la especie	alimento para fauna, sombra, fijación de carbono, ente otros

La figura 30 muestra imágenes de la especie Carboncillo (*Acacia angustissima*).



**Figura 30.** Especie *Acacia angustissima* (carboncillo). Fuente: TEC (2007).

- *Acnistus arborescens* (L.) Schltdl.

**Cuadro 8.** Atributos de la especie *Acnistus arborescens* según TEC (2007).

Familia	Solanaceae
Nombre común	Güitite
Origen	nativa
Distribución en el país	Uno de los arbustos más frecuentes en predios y cercas de la Región Central, así como en potreros abandonados como componente principal de las etapas sucesionales tempranas
Precipitación	1500 – 2800 mm/año
Temperatura	11 – 28 °C
Altitud	800 – 1500 msnm
Rebrota	Sí
Suelos	Se adapta a gran variedad de suelos, aunque se desarrolla en suelos profundos y húmedos.
Tamaño de la especie	mediano tipo arbusto
Usos de la especie	Sombra, conservación de aguas, ornamental, alimento para aves, entre otros

La figura 31 muestra imágenes de la especie Güitite (*Acnistus arborescens*).



**Figura 31.** Especie *Acnistus arborescens* (güitite). Fuente: GERMINAR©2007.

- *Citharexylum donnell-smithii* Greenm

**Cuadro 9.** Atributos de la especie *Citharexylum donnell-smithii* según TEC (2007).

Familia	Verbenaceae
Nombre común	Dama
Origen	nativa
Distribución en el país	Muy común en el Valle Central de Costa Rica
Precipitación	1000 – 2000 mm/año
Temperatura	16 – 25 °C
Altitud	1000 - 1500 msnm
Rebrota	Sí
Suelos	Puede crecer en sitios poco drenados; de texturas arenosas hasta arcillosas
Tamaño de la especie	Árbol pequeño
Usos de la especie	Alimento para fauna, conservación de aguas, estabilizar suelos, control de la erosión, ornamental, rompe vientos, entre otros

La figura 32 muestra imágenes de la especie dama (*Citharexylum donnell-smithii* Greenm).



**Figura 32.** Especie *Citharexylum donnell-smithii* (Dama). Fuente: GERMINAR©2007.

Las especies propuestas anteriormente son las candidatas óptimas porque cumplen a cabalidad con los requerimientos especificados. Además de cumplir el perfil deseado, son especies arbustivas de porte bajo que se adaptan a gran variedad de suelos, tienen la capacidad de rebrotar y se lograron identificar en el sitio regenerando sin ninguna dificultad.

## DISCUSIÓN

La zonificación del área de estudio nos permite tener una visión más amplia del uso actual del suelo, cómo están distribuidos otros elementos en el espacio, asimismo, identificar zonas vulnerables a catástrofes, zonas reforestables, zonas a reforestar, zonas que debemos conservar, otras que debemos remover de manera preventiva, zonas frágiles, y de recreación, entre otros, además de ser una herramienta útil para la gestión territorial y ambiental.

La figura 20 evidencia que la mayor cobertura es de pastos con un área aproximada de 66,74 ha, se deduce que esta área es apta para reforestar, sin embargo no lo es en su totalidad ya que como se mencionó, hay zonas vulnerables donde el riesgo de perder las áreas plantadas es muy alto. La zona urbana es una de las áreas evidentemente conflictiva en todo sentido, que tiene que ser removida en algún momento por las autoridades correspondientes. La restauración se realizaría con la participación de la población existente, observando dicha población como una oportunidad para que se apropien del proceso de restauración, de tal forma que cuiden, disfruten y se unan a esta iniciativa.

La cobertura designada como bosque secundario se conservará tal y como esta, permitiendo que continúe su proceso de sucesión secundaria, previendo sea colonizada, previendo sea colonizada por diferentes especies heliófitas (especies que requieren plena insolación durante toda su vida) o pioneras invasoras, que preparan las condiciones de edáficas y de micro clima adecuado para la germinación y desarrollo de otras especies menos generalistas (Lamprecht, 1990).

La categoría de los suelos que predominó es la de inceptisoles, con terreno plano, con pendientes de 0 - 2 % y capacidad de uso de suelo clase VI. Esta cobertura es precisamente donde se realizará la reforestación, por lo que las especies recomendadas deben de adaptarse a las características de este orden de suelos, derivados de materiales volcánicos (TEC 2008), como depósitos de cenizas (Salgado 2002), con texturas que varían de arenosos a francos y baja fertilidad o disponibilidad de nutrientes debido a la influencia de

pH ácidos (Núñez 1998). Además, tenemos que tomar en cuenta la capacidad de uso de esta área ya que de acuerdo con Núñez 1998, los terrenos que caen dentro de esta categoría (clase VI) tienen severas limitantes que la hacen inadecuada para cultivos agrícolas y se limitan a usos de pastos, bosque o protección de vida silvestre, en otras palabras son aptos para cultivos perennes.

El volumen de las plantaciones de la Reserva Nacional Río Reventado, zona de Los Diques, se cuantificó con el fin de tener una idea aproximada y así poder obtener una relación económica, dándole un valor monetario a las plantaciones. Se indica de manera aproximada, pues este trabajo no está enfocado en la producción y aprovechamiento de la madera, sino en fomentar la conectividad del corredor biológico y recuperación de áreas degradadas biológicamente.

El volumen determinado es una aproximación del valor real ya que la metodología aplicada propuesta por Murillo y Badilla (2003), es para plantaciones comerciales, con una densidad de siembra definida para lotes puros y no mixtos con densidades de siembra variables como en nuestro caso, sin embargo, se sugiere un análisis específico y minucioso del volumen y valor económico de estas plantaciones, dado que es posible aprovechar el recurso que serviría como donación ya que como es reserva nacional no es posible la venta de la madera .

Para referirnos a las áreas en conflicto como la zona urbana, coincidimos con autores tales como Fallas y Gutiérrez 1992, Vahrson y Cartín 1992, Azofeifa 1996, Salgado 2002, Samudio *et al* 2003, Alvarado *et al* 2006 y Barrantes *et al* 2008, en que estas zonas son de elevada vulnerabilidad social, económica y ambiental, debido a la exposición de personas y bienes ante una amenaza natural, como puede ser una inundación, aunado al deterioro de la estructura de los diques lo que pone en peligro a otros pobladores de Cartago. Es cierto que instituciones como la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), la Municipalidad de Cartago, MIVAH, entre otros, han abordado esta problemática, sin embargo, es evidente que hace falta medios económicos y

profundizar más con campañas de concientización y de percepción del riesgo y finalmente, voluntad política.

Inicialmente se iba a incluir la zona urbana ubicada dentro del área de estudio, para una restauración absoluta del sitio, pero eso sería imposible de realizar, por lo menos a corto y mediano plazo, ya que según el MIVAH 2005, para reubicar esta población se necesita alrededor de 24 ha. de terreno y una inversión alrededor a los 10 millones de dólares, por lo que se decidió realizar la propuesta de restauración segregando esta superficie. Obviamente sería más efectivo y rápido la restauración si reubicamos estas áreas urbanas, además de prevenir pérdidas económicas y humanas, sin embargo, intentamos proponer algo realista.

Las plantaciones forestales son lotes o zonas que se recomienda eliminar paulatinamente por diversas razones, como la altura y la ubicación de los individuos ya que en algunos casos se encuentran a la orilla de la vía principal, cerca del tendido eléctrico y en algunos casos a orillas de las viviendas, esto aunado a que son árboles viejos que representan una amenaza para la infraestructura e integridad humana. Son árboles con edad aproximada a los 35 años, según la FAO 2000, son individuos que están en turno de corta, que su crecimiento es casi nulo por su edad y su densidad de siembra, aportan poca fijación de carbono y entrando en una etapa de auto raleo. Además, se evita que se produzca una obstrucción o represa y con ellos arrastre puentes y lo que esté a su paso. Otra característica a destacar que también influyó para que se recomendará eliminar estas áreas, es que son plantaciones con un dosel (copas de los árboles) muy denso, por las noches se torna oscuro y peligroso, fomentando el actos delictivos, drogadicción y prostitución principalmente, lo que es aún más riesgoso para los habitantes de la zona de Los Diques.

La zona de extracción de material es un área con un conflicto particular ya que no existe ningún permiso o concesión de extracción, no tiene una viabilidad ambiental otorgada por entidades estatales, además, el Estado no posee ningún control sobre cuando material se extrae ni qué valor posee. Estas prácticas se deberán de eliminar del área de estudio porque están debilitando

las riveras del río (Jara 1999), además, de estar invadiendo el área de protección según el artículo 33 inciso (b) de la ley forestal No7575.

Indica el MIVAH (2005), que solo un 15% de los asentamientos en precario cuentan con áreas recreativas internas, lo que incide directamente en la calidad de vida de sus habitantes. Por lo anterior citado, se debe rescatar y cuidar estas zonas para el disfrute y fomento de actividades al aire libre y el disfrute cultural el cual influye en la calidad de vida de los habitantes de las zonas aledañas, es por lo que se hace un llamado a las instituciones encargadas del mantenimiento y cuidado de estas áreas como el municipio de Cartago, comité cantonal de juventud y deportes de la misma región u otras entidades interesadas, como asociaciones de desarrollo, entre otras. Si se procede a la restauración y embellecimiento de la Reserva Nacional Río Reventado, zona de Los Diques, es vital la rehabilitación de las zonas de recreo y deportes.

El área total de la Reserva Nacional Río Reventado, zona de Los Diques, se divide en dos sectores, área potencial a restaurar y área a segregarse, las que están en conflictos diferentes. La primera zona posee pastos potenciales para la reforestación, sin embargo, el principal problema observado es la utilización como zonas de pastoreo para vacas, caballos y en ocasiones cabras. Prácticas pecuarias como éstas dan como resultado: compactación de los suelos, cambio de características de aireación lo que minimiza el desarrollo del sistema radical de las plantas, por lo tanto, un menor desarrollo de la planta en su conjunto, redundando en una menor producción y crecimiento (Tirado 2005). Además de producir compactación de suelos, estos animales se comen la regeneración existente o cualquier planta que se siembre.

La segunda zona, es la que se descarta para reforestar o aplicar cualquier práctica de conservación. Las riberas de los ríos prácticamente son de textura arenosa, poseen alta contaminación con aguas negras, residuales y agrícolas, por lo que si se considerara reforestar sería con especies exóticas y resistentes a condiciones limitantes de fertilidad, sequía, suelos compactados y con pH variado (Chávez 2005), y precisamente lo que se busca es reforestar

con especies nativas. Unido a lo anterior existen zonas urbanas ubicadas dentro del área de protección del río.

Concluyendo con las zonas conflictivas están los puentes ubicados dentro del área de estudio, se tomó la altura en su punto medio a cada uno de ellos porque se tiene que tomar en cuenta esta altura para la toma de decisiones, como por ejemplo, la eliminación de las plantaciones por las alturas de los individuos (altura no menores a los 25 metros ) y en una posible inundación pueda que estos árboles se desprendan de raíz y causen obstrucciones en los puentes e inclusive dañen las estructuras de los mismos, provocando un efecto de tapón y desborde de río Reventado, poniendo en peligro a la población como sucedió en el 1963 y el pasado octubre del 2007 que azotó a San Nicolás con un cabeza de agua y lodo.

En la figura 28 muestra las áreas a eliminar, correspondientes a la cobertura de plantaciones forestales. El área a eliminar equivale a un 91,3 % de la cobertura total (100%) de esta categoría, quedando un área de 8,7% que equivale a 0,83 ha. Esta área se dejará intacta ya que tiene características muy particulares del al resto de la plantación, está aislada del contacto humano, situada en un lugar de difícil acceso, separada por el cañón del río que posee una profundidad aproximada de 10 metros, dejándola como una isla donde la regeneración natural ha predominado creando un hábitat idóneo para la fauna especialmente aves.

Las especies *Citharexylum donnell-smithii* (Dama), *Acnistus arborescens* (Güitite ) *Acacia angustissima* (Carboncillo) son las candidatas idóneas para reforestar ya que cumplen con al menos cuatro de las características deseadas tales como:

- características biofísicas del área de estudio.
- características de los suelos
- floración llamativa
- fijación de carbono
- de origen nativo
- aptas para conservación de suelo o aguas

- alimento para fauna
- de porte bajo

Además de cumplir el perfil deseado, se adaptan a gran variedad de suelos, y se lograron identificar en el campo regenerando sin ninguna dificultad. Son especies arbustivas de porte bajo, lo que es de suma importancia, previendo alguna obstrucción en los puentes y tienen la capacidad de rebrotar, ya que si en un futuro reciben algún daño físico, éste se recuperará fácilmente; en las visitas realizadas al campo de estudio se encontraron evidencias de árboles cortados de una manera inadecuada, posiblemente para la construcción o leña, estos árboles eran maderables y no poseen la capacidad de rebrote por lo que se da la eliminación por completo del individuo.

Dentro de las candidatas a reforestar, se pueden considerar otras especies que reúnan las características de selección; no se incluyeron especies frutales previendo en un futuro el maltrato del árbol y aprovechamiento de los frutos por parte de las habitantes de Los Diques.

**Lineamientos para administrar, controlar y gestionar el uso del suelo de la Reserva Nacional Río Reventado, zona de Los Diques.**

- a) 45,15 ha efectivas, plantar toda el área disponible.
- b) Densidad de siembra 100 arb/ha (10 X 10 m).
- c) Plantar especies recomendadas.
- d) Restauración de zonas recreativas.
- e) Manejo de desechos sólidos de la zona de Los Diques.
- f) Eliminación de las plantaciones.
- g) Vigilancia.

Se cuenta con 45,15 hectáreas efectivas para reforestar, se propone una densidad de siembra de 100 árboles/ha (distanciamiento 10X10 m), con un total de 4515 árboles con las especies anteriormente citadas. Se plantará toda el área disponible con el propósito de contribuir con la conectividad y conservación de la vida silvestre dentro del corredor biológico COBRI SURAC, así mismo fomentar procesos ecológicos dentro de paisajes modificados por el ser humano.

Iniciativas como éstas, según Bennett 2003, son llamados corredores de hábitats plantados o también llamados trampolines, usadas como estrategias de conservación en ambientes modificados y son sumamente eficaces, por lo que facilita la continuidad de procesos ecológicos naturales, proporcionan hábitat para muchas especies, incluyendo refugio y abrigo para animales que se desplazan por el paisaje; plantas y animales que viven dentro de estos enlaces y proporcionando servicios ecosistémicos como mantenimiento de la calidad de agua y disminución de la erosión.

Al elegir especies de floración llamativa, lo que se busca es ofrecer belleza escénica agradable, y desarrollar espacios públicos para el disfrute de actividades recreativas para el cantón de Cartago.

Restauración de las zonas recreativas acompañado de campañas de recolección de basura, manejo de desechos sólidos, campañas de seguridad, reforzará aún más esta propuesta, en sí un conjunto de alianzas estratégicas entre instituciones gubernamentales, académicas, gobiernos locales, organizaciones ambientalistas, comunidad civil y sector privado. Adicionalmente lograr complementar intereses ambientales, recreativos y sociales es parte de la estrategia para hacer aun más. En el CD adjunto el documento escrito, se añade una base de datos suministrada por COBRI SURAC de empresas potenciales con compromiso social-ambiental interesadas en la recuperación de la Reserva Nacional Río Reventado, zona de Los Diques.

Iniciativas productivas en armonía con el ambiente como esta propuesta, pueden formar parte de estrategias de mayor alcance, tal como “Carbono

neutralidad hacia el año 2021”, dentro del marco de la Estrategia Nacional de Cambio Climático.

La remoción total de los residuos sólidos del área de estudio es de suma importancia ya que estas acciones ayudarán a mejorar la belleza y sanidad del lugar y eventualmente cercar el sitio para protegerlo.

Una propuesta para disminuir el riesgo del área de estudio debe ir acompañada de una adecuada zonificación que indique los diferentes usos que se debe dar al terreno, ya sea para recreación, deportivo o educativo u otra solución, requerirá de una vigilancia, controles continuos, adecuada educación a los pobladores, construcción de obras adicionales de protección y conservación lo que puede mejorar la calidad de vida de los habitantes de las zonas aledañas.

## CONCLUSIONES

- Se determinó que el uso del suelo de la zona de Los Diques, Reserva Nacional Río Reventado corresponde a : Pastos 51,5 % , Zona urbana 20,4 % , bosque secundario 18,2% , Plantaciones Forestales. 7,3 % , zona de extracción de material 1,9 % y pista de aeromodelismo 0,7 % para un total de 129,7 ha.
- Se logró determinar el área potencial a reforestar equivalente a 45,15 ha.
- Las especies a reforestar son *Citharexylum donnell-smithii* (Dama), *Acnistus arborescens* (Güitite ) *Acacia angustissima* (Carboncillo) con densidades de siembra de 100 árboles/ ha (distanciamiento 10X10 m).
- Se determinan zonas de alta peligrosidad desde el punto de vista de la seguridad que son producidas por la delincuencia, prostitución y drogadicción.
- Se corroboró la altura de las plantaciones que se encuentran en la zona, determinando que la misma sobrepasan los 25 metros y que están en su turno de corta y ya entraron en etapa de auto raleo y muerte natural.
- Se concluye que los puentes en su mayoría no cuentan con las condiciones óptimas para soportar posibles inundaciones que arrastren troncos con dimensiones superiores a altura de los puentes. Aspecto a analizar detenidamente bajo las circunstancias actuales (altura de los árboles).
- Los mayores problemas relacionados al área de estudio son Manejo de residuos sólidos y la ubicación de las viviendas.
- El área de estudio se cataloga como una zona de alto riesgo y elevada vulnerabilidad económica, social y ecológica, debido a las múltiples amenazas naturales y antrópicas por lo que un mal manejo de estas áreas puede repercutir en una población aún mayor a la que hoy se encuentra en riesgo.

- El peligro de asentamientos sobre Los Dique han socavado la base o cimienta debilitando la estructura, que no fue diseñada para soportar ese peso.
- Asimismo, bajo los Diques se ha establecido un importante asentamiento que están en peligro inminente en caso de inundación.
- Existen zonas de extracción de material (piedra y arena) que se realiza sin los permisos ni controles por parte del Estado (MINAET, SETENA).
- Concientizar a la población de la importancia de cuidar el área de estudio para beneficio de ellos mismos.

## RECOMENDACIONES

- Gestionar la cosecha y donación de la madera de las plantaciones de la zona de Los Diques, para reducir el impacto en una posible avalancha, así evitar la obstrucción de los puentes y desborde del Río Reventado.
- La colaboración del corredor biológico COBRI SURAC en la divulgación a nivel de comunidad y empresarial sobre la situación de Los Diques, principalmente en los posibles peligros y en la futura restauración.
- Campañas de educación ambiental, reforestación y manejos de desechos sólidos en el área de estudio.
- Seguimiento y corroboración de la ayuda de las empresas con compromiso socio – ambiental, que sean potenciales para el apoyo de la restauración.
- Contactos con ITCR, para que continúen con el apoyo de la restauración y prevención de desastres en la zona de Los diques.
- Reubicación de Barrio Nuevo de inmediato.
- Concientización y cooperación con el programa de restauración por parte de los vecinos de Los Diques.
- Realizar campañas de recolección de fondos que permitan el desarrollo del programa.

## BIBLIOGRAFÍA

Adriaensen, F; Chardon, JP; De Blust, G; Swinnen, E; Villalba, S; Gulink, H; Matthysen, E. 2003. The application of „least-cost“ modelling as a functional landscape model. *Landscape and Urban Planning*. no.64: 233-247.

Alvarado M; Durán D; Fallas K, Hernández L; Valverde R .2006, Amenazas y vulnerabilidad: El caso de los ríos Reventado y Toyogres, Cartago ( en línea) , visitado el 26 nov. 2009, disponible en:

[http://reflexiones.fcs.ucr.ac.cr/documentos/85\\_1\\_2/amenazasVulnerabilidadRiosReventadoToyogres.pdf](http://reflexiones.fcs.ucr.ac.cr/documentos/85_1_2/amenazasVulnerabilidadRiosReventadoToyogres.pdf)

Azofeifa R., (1996). Deslizamiento de San Blas, Actualización de información, Análisis de estabilidad y soluciones. Informe de trabajo de graduación. UCR, 160 p. (en línea), visitado el 26 de marzo 2010, disponible en: [www.geobuzon.fcs.ucr.ac.cr/diquescartago.doc](http://www.geobuzon.fcs.ucr.ac.cr/diquescartago.doc)

Bennett, AF. 2003. *Linkages in the Landscape. The Role of the Corridor and Connectivity in Wildlife Conservation*. 2 ed. Melbourne, AU. UICN. 262 p.

Bergoing JP; Malavassi E. 1982, *Geomorfología del valle central de Costa Rica*. San José, C.R. Instituto Geográfico Nacional

Barrantes G; Segura A; Walcott K. 2008. Percepción y prevención del riesgo por lahar en Los Diques de Cartago. *Revista Geográfica de América Central*. No 42 : 83 - 96 , (en línea), visitado el 26 de marzo 2010, disponible en: [http://revista.geo.una.ac.cr/remository/rev42\\_art4.114.pdf](http://revista.geo.una.ac.cr/remository/rev42_art4.114.pdf)

Chavez E. 2005. Especies nativas en contraste con introducidas. Revista ambiental. No 141 Pag 12

CNE sa, Ley No3459, MOPT-MIVAH (en línea) visitado el 26 nov. 2009, disponible en:

<http://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/CEDO-CRID%20V4/pdf/spa/dec3/dec3-contenido.pdf>

CNE ( Comisión Nacional de Emergencia) sa. Decreto Ejecutivo No. 22834-MOPT-MVHA del 24 de enero de 1994, Reglamento para el uso del suelo y la construcción en la cuenca del Río Reventado ( en línea) visitado enero 2010, disponible en : <http://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/CEDO-CRID%20V4/pdf/spa/dec3/dec3-contenido.pdf>

COBRI SURAC (Corredor Biológico Ribereño Interurbano Subcuenca Reventado Agua Caliente) 2007. Ficha de perfil técnico .Cartago, CR. (En línea), visitado el 25 julio 2010, disponible en : [http://www.corredoresbiologicos.go.cr/documentacion/accvc/cb\\_cobrisurac.pdf](http://www.corredoresbiologicos.go.cr/documentacion/accvc/cb_cobrisurac.pdf)

Costa Rica 2009. Ley forestal No7575. 8va. Ed. San José, CR. 168 p

ENCC (Estrategia Nacional de Cambio Climático) 2008. C-Neutral. ( En línea) visitado el 20 julio 2010, disponible en: <http://www.encc.go.cr/carbono/>

Fallas J; Gutiérrez M. 1992. Manejo de cuencas ante Desastres Naturales: Cuenca alta del Río Reventado, Cartago. Revista Geográfica de América Central. No 25,26 341- 351 páginas.

FAO (Food and Agriculture Organization ) 2000. Costa Rica frente al cambio climático.( en línea) visitado en junio 2010, disponible en : <http://www.fao.org/docrep/006/ad439s/ad439s00.htm>

Forman, RTT. 1995. Land Mosaics. The ecology of Landscapes and regions. Cambridge University Press. Cambridge. 632 p.

Geneletti, D. 2006. Some common shortcomings in the treatment of impacts of linear infrastructures on natural habitat. Environmental Impact Assessment Review. no.26: 257-267.

Holdridge L. 1987. Ecología basada en zonas de vida. Trad. H Jiménez. San José, CR, IICA. p. 8-9.

ICE (Instituto Costarricense de Electricidad), 1965. Informe sobre el Problema del Río Reventado. San José, Costa Rica. Páginas 30 a 74

Jara M. 1999. Informe final sondeo exploratorio a las comunidades de los Diques y Tejar del Guarco en Cartago. San José, CR. ( en línea) visitado en 15 junio 2010, disponible en : <http://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/pdf/spa/doc1308/doc1308.htm>

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 1996. Dirección de Investigaciones Agropecuarias. Departamento de Suelos y Evaluación de Tierras. San José, Costa Rica.

MIVAH (Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos, CR) , 2005. Informe de asentamientos en condición de precarios y en tugurio de la gran área metropolitana, Febrero 2005. en línea, consultado el 6 de julio 2010,

disponible en :  
[http://www.mivah.go.cr/doc\\_precarios\\_informe\\_acualizacion.shtml](http://www.mivah.go.cr/doc_precarios_informe_acualizacion.shtml)

Murillo, O; Badilla Y. 2003. Calidad de las plantaciones de teca en Costa Rica. En: Simposio sobre la teca. 26-28 noviembre del 2003. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. CD.

Murillo O; Badilla Y. 2004. Evaluación de la calidad y estimación del valor en pie de la plantación forestal. 1ª. Ed. Cartago, CR. Taller de publicaciones del ITCR.

Núñez O; Barrantes G. 2009. Manual para Georreferenciar en Arc Gis 9.2 a partir de coordenadas conocidas.( en línea) visitado en junio 2010, disponible en : [http://www.mapoteca.geo.una.ac.cr/images/documentos/geo\\_final.pdf](http://www.mapoteca.geo.una.ac.cr/images/documentos/geo_final.pdf)

Núñez J. 1998.Fundamentos de edafología. 2 ed . San José, CR. EUNED.188 p

Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas: posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. GTZ. 335 p.

PRUGAM – IGN (Proyecto de Planificación Regional y Urbana de la Gran Área Metropolitana – Instituto Geografico Nacional) 2008. Ortofotograma de la GAM, hojas Ochomogo 3445 IV-17 y tejara 3445-IV-22 escala 1:10 000, ( en línea), visitado en marzo 2010, disponibles en : [www.prugam.go.cr](http://www.prugam.go.cr) y [www.mivah.go.cr](http://www.mivah.go.cr)

Ramírez L; Alvarado A; Pujol R; Brenes L. 2008, Caracterización física de la cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, revista Agronomía Costarricense 32(2): 73-92

Rivera Hugo, 2008, imagen: PISTA AEROMODELISMO CARTAGO, en línea, visitado el 13 de julio 2010, disponible en:

<http://www.panoramio.com/photo/15454512>

Rodolfo Cannesa 2010, Instituto Tecnológico de Costa Rica, comunicación personal (entrevista)

Samudio M; Castillo O; Ríos L; Mora R. 2003. Estudio de caso Los Diques de San Nicolás, Cartago. UCR, escuela de geografía (en Línea), visitado el 2 marzo 2010, disponible en :

[www.geobuzon.fcs.ucr.ac.cr/diquescartago.doc](http://www.geobuzon.fcs.ucr.ac.cr/diquescartago.doc)

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 páginas.

SINAC ( Sistema Nacional de Áreas de Conservación) 2008, Diseño, oficialización y consolidación de corredores biológicos en Costa Rica (en línea) visitado el 11 dic. 2009, disponible en:

[http://www.catie.ac.cr/BancoMedios/Documentos%20PDF/publica\\_corredores\\_integrado.pdf](http://www.catie.ac.cr/BancoMedios/Documentos%20PDF/publica_corredores_integrado.pdf)

Taylor, PD; Fahrig, L; Henein, K; Merriam, G. 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*. no.68: 571- 573.

TEC (Instituto Tecnológico de Costa Rica). 2008. TEC digital de Costa Rica. (CD-ROOM). Cartago, CR. 1 CD-ROOM.

TEC (Instituto Tecnológico de Costa Rica). 2007. GERMINAR©2007. CD-ROOM. Cartago, CR. 1 CD

Tirado R. 2005. Efecto de la compactación del suelo en el desarrollo de especies forestales utilizadas para la reforestación urbana. Tesis M.Sc. Mayagüez, PR. Universidad de Puerto Rico. 93 p,(en línea), visitado el 1 julio 2010, disponible en : <http://grad.uprm.edu/tesis/tiradocorbala.pdf>

Vahrson W; Cartín N. 1992. Deslizamiento en la cuenca media y superior del río Reventado, Cartago, Costa Rica. Revista Geográfica de América Central. No 25,26 171- 192 páginas.

Vásquez M. 1989. Cartografía y Clasificación de Suelos de Costa Rica (1:200.000). Proyecto GCP/COS/009/ITA/MAG/FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, I.

Vila Subirós, J; Varga Linde, D; Llausàs Pascual, A; Ribas Palom, A. 2006. Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. Documents d'anàlisi geogràfica. no.48:151-166

Waldron H. 1967. Debris flow and Erosion control problems Caused by the ash eruptions of Irazù Volcano, Costa Rica. Washington: Geological Survey Bulletin 1241-I. 134





**Anexo 3.**Error de muestreo 1, de las 8 parcelas establecidas en el campo.

Datos	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Area Basal (m2)</b>	0,643	1,030	0,995	1,355	0,893	0,653	0,400	0,596
<b>DAP promedio (cm)</b>	43,65	39,55	30,51	40,37	30,89	26,66	39,40	25,89
<b>Altura total estimada promedio (m)</b>	26,307	25,132	22,159	25,321	21,962	20,750	25,111	20,492
<b>Altura promedio Hasta el Diámetro Mínimo con corteza ó Altura Comercial (m)</b>	20,42	18,99	15,48	19,26	15,32	13,71	18,85	13,49
<b>Índice de Calidad (de 1 a 4)</b>	1,30	1,41	1,40	1,23	1,35	1,40	1,75	1,54
<b>Número Promedio de Trozas Netas Comerciales/Árbol</b>	5,50	5,50	5,15	5,70	4,91	4,45	5,00	4,64
<b>Volumen Neto En Trozas Comerciales (m3 sc)</b>	8,352	11,748	9,695	16,421	8,998	5,732	4,513	5,050
<b>Volumen hasta diámetro mínimo o Vol Comercial (m3 sc)</b>	9,015	12,336	9,940	17,361	9,307	5,902	4,874	5,154
<b>Número de árboles (n)</b>	4	8	13	10	11	11	3	11

## Anexo 4 .Error de muestreo 2.

Área Basal promedio por parcela (m <sup>2</sup> )	0,821
Área Basal promedio/ha (m <sup>2</sup> )	33,121
IMA	13,25
Varianza del Área Basal entre parcelas	0,0931
Error Estándar Área Basal promedio/ha	5,395
DAP promedio (cm)	34,62
IMA	13,85
Error Estándar del DAP promedio	2,44
Altura total estimada promedio (m)	23,40
IMA	9,36
Error Estándar de la altura total estimada promedio	0,81
Altura promedio hasta diámetro mínimo comercial o Altura comercial promedio (m)	16,94
Error Estándar de altura promedio hasta diámetro mínimo comercial o Altura Comercial	0,968
Índice de calidad promedio del lote (de 1 a 4)	1,42
Error estándar del índice promedio de calidad	0,057
Número Promedio de Trozas Comerciales/Árbol	5,11
Error estándar del Número promedio de Trozas Comerciales/Árbol	0,156
Vol Neto Promedio en Trozas Comerciales/parcela (m <sup>3</sup> sc)	8,814
Vol Neto Promedio en Trozas Comerciales/ha (m <sup>3</sup> sc)	440,68
IMA	176,27
Error Estándar del Vol Neto Promedio de Trozas Comerciales/ha (m <sup>3</sup> sc)	69,966
Vol Comercial Promedio/parcela hasta d mínimo (m <sup>3</sup> sc)	9,236
Vol Comercial Promedio/ha hasta d mínimo (m <sup>3</sup> sc)	461,802
IMA	184,72
Error Estándar del Vol Comercial Promedio/ha hasta diámetro mínimo (m <sup>3</sup> sc)	74,098
Número de árboles promedio/parcela (n)	8,88
Número de árboles promedio/ha (N)	413
Error estándar del Número promedio de árboles/ha (N)	63,69