

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES

**PRIORIZACIÓN DE ÁREAS Y LINEAMIENTOS DE MANEJO PARA LA
REHABILITACIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RÍO REVENTADO**

**Trabajo de graduación sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de
Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional para optar al grado de Licenciatura en
Ingeniería Forestal con énfasis en Manejo Forestal.**

Alina Ramírez Torre

Heredia, Costa Rica
Octubre, 2021

ACTA DE APROBACIÓN

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Ciencias Forestales con énfasis en Manejo Forestal.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

MAURICIO VEGA ARAYA (FIRMA)
PERSONA FISICA, CPF-04-0157-0014.
Fecha declarada: 01/11/2021 08:18:17 AM
Esta representación visual no es fuente
de confianza. Valide siempre la firma.

Ph.D. Mauricio Vega Araya

Representante Decano de la Facultad de Ciencias de la Tierra y Mar

Digitally signed by JOSE
ANTONIO CASTRO SOLIS (FIRMA)

M.Sc. José Castro Solís

Representante de Dirección de la Escuela de
Ciencias Ambientales

PABLO IGNACIO RAMIREZ
GRANADOS (FIRMA)

Firmado digitalmente por PABLO
IGNACIO RAMIREZ GRANADOS
(FIRMA)
Fecha: 2021.11.08 15:30:46 -06'00'

M.Sc. Pablo Ramírez Granados

Tutor

MARIA ALVAREZ
JIMENEZ (FIRMA)

Firmado digitalmente por
MARIA ALVAREZ JIMENEZ
(FIRMA)
Fecha: 2021.11.08 20:14:02
-06'00'

M.Sc. María Álvarez Jiménez

Lectora

Alina Ramírez Torre

Postulante

DEDICATORIA

A mis padres, quienes me alentaron para concluir esta etapa y creyeron en mí,
dándome fuerzas para seguir adelante.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la subcuenca del río Reventado, ubicada en la provincia de Cartago debido a su gran importancia tanto ambiental como económica a nivel nacional que, sin embargo, presenta una grave problemática por contaminación y desastres naturales, que ponen en riesgo la seguridad de sus habitantes. Por tanto, se determinaron las áreas más prioritarias a intervenir, con el objetivo de centrar esfuerzos en la rehabilitación de esas zonas más vulnerables y así diseñar para las mismas una propuesta de lineamientos de manejo que beneficie la productividad de las tierras y el desarrollo de las comunidades, así como la mejora del suelo y del recurso hídrico del área en estudio. Se determinó como principal actividad económica la agricultura de productos como la papa, cebolla y zanahoria; la cual genera residuos físicos y químicos a la subcuenca, además se evidenció la alta vulnerabilidad que presentan los habitantes de la misma debido a las elevadas pendientes, características del suelo y fuertes precipitaciones, que generan deslizamientos, inundaciones y avalanchas. Por lo cual, se determinaron estrategias de conservación de suelos que busquen disminuir esta problemática, como las cercas vivas, construcción de terrazas, barreras muertas, cortinas rompeviento, siembras en contorno, sistemas agroforestales entre otras. Finalmente, se concluye que es necesaria la implementación de planes de manejo y técnicas conservacionistas en esta zona para mejorar el estado del suelo, así como de capacitaciones en el tema de la agricultura y diversificación de cultivos orientadas a incrementar la economía de los habitantes.

TABLA DE CONTENIDOS

ACTA DE APROBACIÓN	1
DEDICATORIA	2
RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	8
MARCO TEÓRICO.....	11
1. Marco contextual	11
2. Marco conceptual.....	13
1. Erosión de cuencas hidrográficas.....	13
2. Manejo de cuencas hidrográficas.....	15
3. Priorización de áreas y modelado de datos	16
METODOLOGÍA	19
Área de estudio	19
Fase 1: Caracterización de las propiedades biofísicas y socioeconómicas de la subcuenca del río Reventado y diagnóstico preliminar de potencialidades y limitantes	21
1. Caracterización biofísica.....	21
2. Caracterización socioeconómica.....	29
3. Diagnóstico preliminar.....	31
Fase 2: Determinación de las áreas prioritarias de la subcuenca del río Reventado	33
Fase 3: Propuesta de lineamientos de manejo en las áreas prioritarias de la subcuenca del río Reventado	38
RESULTADOS.....	40
Fase 1: Caracterización de las propiedades biofísicas y socioeconómicas de la subcuenca del río Reventado y diagnóstico preliminar de potencialidades y limitantes	40
1. Caracterización biofísica.....	40
1.1 Características climáticas	40
1.2 Geomorfología	42
1.3 Topografía y pendiente	43
1.4 Geología.....	45
1.5 Hidrografía.....	48
1.6 Órdenes de suelo	50
1.7 Uso de la tierra	53
1.8 Capacidad de uso de la tierra	57
1.9 Conflictos de uso de la tierra.....	60
1.10 Erosión	62
1.11 Principales amenazas naturales.....	66
1.12 Áreas de protección de ríos y quebradas.....	70

2	Caracterización socioeconómica.....	72
2.1	División administrativa.....	72
2.2	Demografía.....	72
2.3	Salud.....	74
2.4	Educación.....	75
2.5	Vivienda.....	76
2.6	Uso del agua.....	77
2.7	Acceso a servicios básicos.....	78
2.8	Características económicas y productivas.....	80
2.9	Organización local.....	82
3	Diagnóstico preliminar.....	83
	Fase 2: Determinación de las áreas prioritarias de la subcuenca del río Reventado.....	89
	Fase 3: Propuesta de lineamientos de manejo en las áreas prioritarias de la subcuenca del río Reventado.....	92
	CONCLUSIONES.....	111
	RECOMENDACIONES.....	113
	ANEXOS.....	114
	BIBLIOGRAFÍA.....	118

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.	Pérdida de suelos.....	24
Ecuación 2.	Fournier modificado.....	25
Ecuación 3.	Factor K.....	26
Ecuación 4.	Pendiente real.....	27
Ecuación 5.	Factor L.....	27
Ecuación 6.	Factor S.....	27
Ecuación 7.	Tamaño de la muestra.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Superposición ponderada.....	18
Figura 2.	Ubicación de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.....	20
Figura 3.	Proceso metodológico para identificar las áreas prioritarias.....	33
Figura 4.	Esquema metodológico para la obtención del mapa de áreas prioritarias.....	36
Figura 5.	Sectores a intervenir según áreas prioritarias de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2020).....	39
Figura 6.	Precipitación promedio anual de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.....	41
Figura 7.	Pendiente de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.....	44
Figura 8.	Unidades geológicas presentes en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.....	47
Figura 9.	Río Reventado, Turbina, Cartago, Costa Rica.....	48
Figura 10.	Hidrografía de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.....	49
Figura 11.	Órdenes de suelo de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.....	52
Figura 12.	Distintos usos de suelo presentes en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2017).....	55

Figura 13. Cobertura actual de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.....	56
Figura 14. Capacidad de uso de la tierra en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.	59
Figura 15. Conflictos de uso de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.....	61
Figura 16. Tajos presentes en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.....	64
Figura 17. Mapa de erosión de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.....	65
Figura 18. Corriente de barro en carretera hacia Parque Nacional Volcán Irazú, Sector Prusia, Cartago, Costa Rica.....	67
Figura 19. Deslizamiento en Banderilla provocado por la tormenta Nate. Cartago, Costa Rica (2017). .	68
Figura 20. Amenazas naturales de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.	69
Figura 21. Zonas de amortiguamiento irrespetadas en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.....	70
Figura 22. Zonas de protección de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.	71
Figura 23. <i>Enfermedades más frecuentes en las comunidades de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica</i>	75
Figura 24. Nivel educativo alcanzado de los pobladores de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.....	76
Figura 25. Tipo de tenencia de vivienda de los pobladores de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.....	77
Figura 26. Acceso a servicios en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.....	79
Figura 27. Fuente de empleo de los pobladores de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.....	81
Figura 28. Mapa de priorización de áreas en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.	91
Figura 29. Sectores a intervenir según áreas prioritarias de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2020).	94
Figura 30. Nivel tipo A.....	102
Figura 31. Acequias de laderas.....	104
Figura 32. Terrazas.....	106
Figura 33. Diques de piedra.....	107
Figura 34. Finca con cercas vivas y SAF.....	108
Figura 35. Finca con cortinas rompeviento y SAF.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Categorías de pendiente en función del relieve.....	22
Tabla 2. Criterios de categorización de los conflictos de uso de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.....	24
Tabla 3. Datos utilizados para la obtención del Factor K en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.....	26
Tabla 4. Valores de C y P según el uso actual de la Subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica	28
Tabla 5. Distribución de la muestra por poblado en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.....	31
Tabla 6. Matriz de la problemática presente en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2017).....	32
Tabla 7. Matriz de potencialidades de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2017).....	32
Tabla 8. Criterios propuestos para la priorización de áreas para la rehabilitación del suelo y el recurso hídrico de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2017).....	37
Tabla 9. Matriz de lineamientos de conservación para las áreas prioritarias de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2020).....	38
Tabla 10. Criterios de pendiente y área que ocupan en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.....	43

Tabla 11. Área por unidad geológica presente en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica	46
Tabla 12. Área por orden de suelo presente en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica ...	51
Tabla 13. Área por uso actual del suelo de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.....	54
Tabla 14. Área por clase de suelo de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.....	58
Tabla 15. Conflicto de uso del suelo de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica	60
Tabla 16. Erosión del suelo de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica	63
Tabla 17. Distribución del área por distrito presente en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica	72
Tabla 18. Población total por sexo distribuida en los poblados de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica	73
Tabla 19. Matriz de la problemática presente en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2017).....	84
Tabla 20. Matriz de potencialidades de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2017)	88
Tabla 21. Priorización de áreas de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2020).....	90
Tabla 22. Lineamientos de conservación para la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2020).....	95
Tabla 23. Intervalos de tiempo para cultivos en una misma área	100
Tabla 24. Familias de Plantas Comunes para Cultivos Agrícolas.....	100
Tabla 25. Distancias entre curvas de nivel según el porcentaje de la pendiente	101
Tabla 26. Distancia entre obras de conservación de suelo según el porcentaje de la pendiente	102
Tabla 27. Anchura de las fajas según porcentaje de pendiente	103

INTRODUCCIÓN

La subcuenca del río Reventado se ubica al norte de la ciudad de Cartago, en el flanco suroeste del volcán Irazú, entre las coordenadas geográficas $83^{\circ} 51' 28''$ a $83^{\circ} 57' 19''$ de longitud oeste y entre $9^{\circ} 50' 25''$ a $9^{\circ} 58' 28''$ latitud norte de la hoja Istarú (Ramírez, Alvarado, Pujol y Brenes, 2008^a, p. 75).

Destaca por su potencial hídrico, dado que este es uno de los ríos tributarios del Río Reventazón. Su aporte a la economía del país es, a su vez, significativo, debido a que el 80% de la producción nacional de hortalizas como papa y cebolla proviene de esta área. Igualmente, dentro de esta zona se ubica el Parque Nacional Sector Prusia, en donde se encuentran las nacientes de los acueductos de agua potable que abastecen a las comunidades de Tierra Blanca, Potrero Cerrado y Llano Grande; por tanto, es de vital importancia para el desarrollo social (Ramírez, McHugh y Alvarado, 2008b, p. 54; Ramírez, Alvarado, Pujol y McHugh, 2008c, p. 95).

No obstante, la zona enfrenta actualmente serias amenazas como consecuencia de las erupciones del volcán Irazú durante los años 1963 y 1965. Estos eventos generaron depósitos de ceniza y la pérdida de aproximadamente el 80% de la cobertura vegetal en la zona; igualmente, el suelo y su hidrología cambiaron drásticamente y ocasionaron el aumento del caudal de los ríos y la inestabilidad de las laderas (Campos, 1971 y Mora, 1993, p. 66).

Sin embargo, la subcuenca no solo está amenazada por eventos volcánicos y deslizamientos, sino que existen otros factores que agravan su condición de riesgo: inundaciones focales, la extracción de materiales para la construcción, que socava las bases del talud y, por consiguiente, genera laderas inestables y avalanchas; así como la cercanía del deslizamiento de San Blas, ubicado al margen izquierdo del río y con un área aproximada de 67 hectáreas.

Asimismo, cabe mencionar que en esta zona se presenta una intensiva degradación de los suelos provocada por la erosión y el uso de una gran cantidad de químicos como fungicidas e insecticidas, a raíz de la actividad hortícola en la parte media. Además, el manejo inadecuado de los desechos sólidos en la zona urbana ubicada en la parte baja de la subcuenca intensifica la erosión del terreno (Ramírez, Alvarado, Pujol y Brenes, 2008^a, p. 74; Salgado, 2002, p. 06 y Villegas, 1995, p. 130).

Aunado a estas amenazas naturales, esta localidad afronta graves problemas económicos como gran presencia de monocultivos y poco aprovechamiento del espacio; desafíos sociales como

la pobreza, la delincuencia, el crecimiento urbano desmedido y la deficiente calidad del agua que, según estudios de Villegas (1995, p. 130), desmejora a medida que desciende a la parte baja de la subcuenca.

La conjugación de estos factores junto con el potencial evidente en la zona: suelo con buena estructura, desarrollo y presencia de nutrientes; disposición de los pobladores por adoptar estrategias eficientes para el manejo de los recursos; al igual que las características naturales de Cartago y, en especial, de la subcuenca, favorecen el planteamiento de una propuesta de lineamientos de manejo para la rehabilitación de la misma y garantizan la panorámica necesaria para la elaboración de este proyecto.

Asimismo, la falta manifiesta de investigaciones por parte de estudiantes de la Universidad Nacional, así como el poco apoyo en la zona alientan al planteamiento de proyectos técnico-científicos que favorezcan la gesta de oportunidades para fortalecer al sector agrícola y rehabilitar la tierra y el recurso hídrico, con tal de impulsar la productividad de las tierras y el desarrollo de las comunidades cercanas al área de estudio.

En ese sentido, como puntualizan Fallas y Valverde (2008), para contrarrestar las amenazas del recurso hídrico y salvaguardar su viabilidad, este debe gestionarse a nivel de cuenca y bajo los principios de buena gobernabilidad, como una unidad territorial de planificación y gestión, dada su importancia e impacto local y nacional; pues integran a las comunidades en un sistema y, al mismo tiempo, contribuyen al desarrollo de actividades urbanas, agrícolas e industriales.

Por tanto, según Cajina & Faustino (2007, p. 09), es imprescindible que el ser humano entable una relación distinta con los árboles, los animales, el suelo y el agua, para optimizar las condiciones de las cuencas y de las comunidades, y neutralizar el deterioro de estas zonas, debido a las malas prácticas agrícolas, la urbanización desorganizada y los cambios en los usos de la tierra que, a la larga, resultan en la disminución de la calidad y potencial del recurso hídrico para consumo humano y producción.

Ante esta perspectiva, se planteó como objetivo general realizar una priorización de las áreas y los lineamientos de manejo para rehabilitar la subcuenca del río Reventado en Cartago, Costa Rica. Por su parte, como objetivos específicos, se realizó, en primer lugar, una caracterización biofísica y socioeconómica del área de estudio, con el fin de conocer su situación actual y, de esta forma, efectuar un diagnóstico preliminar sobre sus potencialidades y limitantes.

Seguidamente, se determinó priorizar las áreas a intervenir para la rehabilitación de la subcuenca, mediante un modelado de datos basado en las variables biofísicas de la zona. Esta priorización facilita orientar y optimizar los esfuerzos de conservación de las áreas más vulnerables que requieran de una intervención inmediata y, al mismo tiempo, disminuir costos, dado que los esfuerzos se enfocarían solamente en los sectores con mayor urgencia.

Finalmente, se estableció una propuesta de lineamientos de manejo en las áreas prioritarias como base para la toma de decisiones, con el fin de rehabilitar el suelo y el recurso hídrico de la subcuenca e impactar en la productividad de las tierras, así como en el desarrollo de las comunidades aledañas.

MARCO TEÓRICO

1. Marco contextual

En la subcuenca del río Reventado se han realizado una serie de estudios para determinar su condición y evidenciar los problemas que aqueja a la zona. Por ejemplo, Campos (1971) y Mora (1993, p. 66) detallan la situación de la zona en épocas en las que esta fue afectada por fenómenos naturales altamente destructivos. Numerosas inundaciones por el vulcanismo, sismicidad y deslizamientos provocaron a su paso la destrucción de viviendas y muertes. La más notable y catastrófica fue la de 1963. Esta erupción depositó una gran cantidad de cenizas volcánicas en la cuenca superior y provocó la eliminación, casi en su totalidad, de su cobertura vegetal. Además, generó un manto prácticamente impermeable que redujo el coeficiente de infiltración, al igual que suscitó un desajuste hidrológico en la zona. En 1995, Villegas realizó un estudio de la calidad del agua superficial en la subcuenca del río Reventado, con el objetivo de relacionar el impacto de ciertas características, el uso de la tierra y las prácticas de manejo con los valores encontrados de los parámetros de calidad de agua, para medir el nivel de la sostenibilidad ecológica de la región. En esta investigación se escogieron nueve estaciones de muestreo distribuidas en puntos representativos de la zona alta, media y baja de la subcuenca (según aspectos como orden de cauce, representatividad, accesibilidad, uniformidad y referencias de datos anteriores), y se tomó una muestra por mes durante siete meses. En estas se determinó la temperatura, el pH, la conductividad, la turbidez, los sólidos en suspensión, entre otros factores. Además, se elaboraron índices de calidad del agua, que mostraron mayor calidad en la zona alta, pero, a medida que se desciende, va desmejorando. Asimismo, las correlaciones de los índices con el uso de la tierra indicaron que las actividades de extracción de arena y las áreas urbanas fueron los principales factores del deterioro de la calidad; además, se demostró que la horticultura, la ganadería y los cultivos perennes están relacionados con la contaminación del agua, no así la cobertura forestal. La precipitación también impactó negativamente en la calidad del agua, debido al arrastre de sedimentos hacia las corrientes de agua.

Por su parte, Salgado (2002, p. 04) expone en su estudio de caso la problemática de la subcuenca del Reventado, que derivó en la construcción de diques a lo largo de ambos márgenes del cauce en la zona de Taras de Cartago; a raíz del evento de 1963, en el que las poblaciones aledañas al cauce del río fueron arrastradas. Sin embargo, esta problemática no termina ahí, pues estas zonas se han ido poblando gradualmente por familias de bajos recursos, en incumplimiento con la Ley No.

3459 de 1964. Con el paso del tiempo se establecieron en este lugar una gran cantidad de caseríos como Barrio Nuevo, Linda Vista, La Unión y La Mora.

En el año 2010, Rojas (2010a) desarrolló una propuesta para la restauración de Los Diques en la subcuenca del Reventado y así contribuir con el desarrollo del Corredor Biológico Ribereño Interurbano Subcuenca Reventado Agua Caliente. Se seleccionó un área potencial para restaurar 45,15 ha y se propuso tres especies arbóreas arbustivas aptas para dicha actividad: *Citharexylum donnell-smithii* (dama), *Acnistus arborescens* (güitite) y *Acacia angustissima* (carboncillo), con densidades de siembra de 100 árboles/ ha. A partir de este proyecto, el autor comprobó que los puentes, en su mayoría, no cuentan con las condiciones necesarias para soportar posibles inundaciones que arrastren troncos con dimensiones superiores a su altura. Además, debido a su vulnerabilidad, seleccionó algunas áreas de alto riesgo entre las que se encuentran plantaciones forestales, zonas cercanas a puentes, zonas de extracción de materiales y asentamientos sobre los diques.

Por otro lado, Ramírez, Alvarado, Pujol y Brenes (2008^a, p. 73) realizaron una caracterización física de la cuenca media del río Reventado. A través de la metodología del Ministerio de Ambiente y Energía (MAG) se determinó la capacidad de uso de las tierras. Para tal fin, se seleccionó al azar una muestra de 80 fincas (123 parcelas en total) y se identificaron unidades productivas como tipo de cultivo, suelo y topografía; de igual modo, se confeccionaron estudios de suelo para definir sus limitantes.

En esta investigación se encontró que los suelos de las fincas estaban cultivados con hortalizas en un 66.5%; potreros, un 22.9%; y, en menos proporción, bosque, barbecho y flores. La capacidad de uso era 10,5% Clase II; 38,1% Clase III; 21,9% Clase IV; 1,8% Clase V; 8,9% Clase VI; 17,8% Clase VII; y 1% Clase VIII. Un 60% de las fincas se encontraba en Clase III y Clase IV, con las limitantes como las pendientes, la erosión, la profundidad efectiva y la fertilidad de los suelos. El 25% de las fincas presentó un uso conforme de la tierra; en cambio, el 39% estaba ligeramente sobre utilizada, a diferencia de un 36% que está severamente sobre utilizada. Así mismo, Ramírez, McHugh y Alvarado (2008b, p. 53) elaboraron una caracterización socioeconómica de la cuenca media del río Reventado para estimar su aporte al sector agropecuario nacional. Por medio de 80 encuestas a fincas seleccionadas al azar, se encontró que la mayoría de los productores eran propietarios de sus fincas y alrededor del 50% trabajan en socio con otros productores. La mayoría de las fincas eran de entre una a tres hectáreas, con una agricultura altamente intensiva y con pequeños y medianos productores. Se obtuvo, además, que los valores

más altos de B/C pertenecen a la zona de Tierra Blanca, en donde hay más fincas con riego, menor intermediación y mayores oportunidades de agroindustria.

Además de estos estudios, en la zona se han ejecutado varias iniciativas para el mejoramiento de su condición; por ejemplo, la construcción de diques a lo largo de ambos márgenes del cauce del río para salvaguardar la vida de los habitantes de la ciudad de Cartago, esto a raíz del evento de 1963. Igualmente, el seminario sobre la problemática del río Reventado, auspiciado por la Comisión Nacional de Emergencia (CNE) en el año 1987, estableció acciones para resolver parte de la problemática del Reventado, enfocándose principalmente en el deslizamiento de San Blas. Este seminario contó con la participación de ingenieros, geólogos, forestales, planificadores urbanos, entre otros, y derivó en el diseño de sistemas de aviso y alerta entre avenidas rápidas.

Entre otras iniciativas se puede mencionar la creación de las Sociedades de Usuarios de Agua (SUA) desde 1990, con el apoyo del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (SENARA). Las SUA captan agua del río Reventado y benefician a productores de papa, cebolla, coliflor etc., de zonas como Tierra Blanca, Sanatorio Durán y Llano Grande.

De igual manera, entre los años 2001 y 2002 la CNE instala el Sistema de Alerta Temprana Río Reventado, cuyo objetivo fundamental fue promover la organización comunitaria en aspectos de prevención y preparativos para los desastres.

2. Marco conceptual

En este apartado se incluyen algunos términos relacionados con el desarrollo del presente trabajo, con el fin de brindar un mejor entendimiento de los procesos realizados en cada fase del proyecto.

1. Erosión de cuencas hidrográficas

Según Jiménez (2004), este término considera toda modificación que conduzca al deterioro de sus condiciones. Es consecuencia directa o indirecta de acción antrópica y ocasiona problemas al medio ambiente y a la población. Un medio para determinar de la erosión de suelos es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE) que fue desarrollada por Wischmeier en el año 1978, para determinar la erosión laminar en parcelas pequeñas. Renard, Foster, Weesies, McDool y Yoder (1997, p. 06) indican que la ecuación superó muchas deficiencias de modelos anteriores con respecto a la aplicación de los factores y a la estimación de escorrentía; sin embargo, para Vahrson

y Cervantes (1991, p. 198), las tasas de erosión en Costa Rica, calculadas con la USLE, están sobreestimadas, pues los datos obtenidos para este modelo pertenecen a parcelas experimentales en distintas zonas de Estados Unidos con condiciones climáticas, topográficas y edafológicas diferentes al trópico centroamericano.

Por su parte, la RUSLE surge de la revisión de la USLE efectuada por Kenneth G. Renard et al. en 1997. En esta modificación se relaciona el desprendimiento de las partículas del suelo y el factor que las ocasiona de una forma más eficaz (Lianes, Marchamalo y Roldán, 2009, p. 220; Renard et al., 1997, p. 06). De igual manera, se actualizan distintos factores, así como las teorías de sedimentación de partículas de suelo.

Las variables que utiliza para su cálculo son las siguientes:

- Factor *R* o índice de erosión pluvial

Este factor corresponde a la sumatoria de las energías cinéticas de las precipitaciones anuales, lo que demuestra los efectos de estas con respecto a la erosión del suelo (Mancilla, 2008, p. 07). Para González (1991, p. 15), por su parte, corresponde al índice de erosión pluvial que recoge la influencia que sobre la erosión tiene la energía cinética de las lluvias que desintegran las partículas del suelo, al mismo tiempo que compactan la superficie. La intensidad de la lluvia determinará la cantidad de partículas de suelo disgregadas.

- Factor *K* o índice de erodibilidad del suelo

Se encuentra ligado a la granulometría, porosidad y textura del suelo y expresa la resistencia que tiene el suelo a la energía de la lluvia en superficie y tiempo (Mancilla, 2008, p. 16). Las texturas intermedias de limos abundantes son los suelos más erosionables, mientras que aquellos que presentan un porcentaje de arcillas superior al 30% son poco erosionables, ya que aumentan la cohesión del suelo; al igual que los suelos de elementos más gruesos como arenas, que aumentan la capacidad de infiltración y retardan la aparición de escorrentía superficial (González, 1991, p. 17).

- Factor *L* o de longitud de pendiente y Factor *S* o de inclinación de la pendiente

El factor *LS* predice las pérdidas de suelo por precipitaciones producidas en un área en pendiente en comparación con otra de 22.1 m de longitud y 9% de ángulo de inclinación con condiciones de tipo de suelo, cultivo y manejo similares (Ibáñez, s.f., p. 03).

- Factor *C* o de ordenación de cultivos

C es el factor de manejo de cultivos e indica la relación que existe entre la pérdida de suelo con un cultivo y la que se genera con ese mismo suelo desnudo (Zavala; Palma; Fernández, López y Shirma, 2011, p. 12). Así, la cubierta vegetal tiene una gran influencia en el desprendimiento de partículas de suelo, debido a que los suelos desnudos son más propensos a erosionarse (Morales, 2014, p. 06). De tal forma, las coberturas con mayor exposición o grado de erosión presentan valores cercanos a 1.

- Factor *P* o de control de la erosión mediante prácticas de cultivo

Morales (2014, p. 15) señala que *P* es la relación de pérdida de suelo de una zona con prácticas conservacionistas a la pérdida correspondiente con labranza en pendiente y zonas sin ninguna práctica conservacionista $P=1$; por tanto, el valor de *P* depende del tipo de práctica y de la pendiente del terreno.

2. Manejo de cuencas hidrográficas

El manejo de una cuenca significa actuar de forma coordinada sobre los recursos naturales erosionados con el fin de recuperarlos, protegerlos y conservarlos, mientras se ejerce un control sobre la descarga de agua captada por la cuenca en cantidad, calidad y tiempo. Consiste, además, en la formulación, evaluación y ejecución de proyectos y programas para lograr el desarrollo de la cuenca (Dourojeanni, 1994, p. 23).

Su función es promover el uso adecuado de los recursos naturales en equilibrio con el crecimiento económico, sostenibilidad y calidad de vida de las comunidades (Benegas-Negri & Jiménez-Otárola, 2019, p. 02).

2.1 Caracterización y diagnóstico de cuencas hidrográficas

Es el componente base para la planificación e implementación del proceso de manejo de cuencas y comprende un inventario minucioso de los recursos y las condiciones biofísicas, ambientales y socioeconómicas de la cuenca y su interacción. Tiene como objetivo cuantificar las variables que componen la cuenca para determinar por medio del diagnóstico la vocación, las potencialidades y limitantes de sus recursos naturales y el ambiente, así como las consecuencias y soluciones a la problemática (Faustino y Jiménez, 2013, p. 07). Entre los factores a inventariar o caracterizar se pueden mencionar la pendiente, la erosión, la cobertura de la tierra, conflicto de usos de la tierra, demografía, actividades económicas, organización local entre otras.

3. Priorización de áreas y modelado de datos

3.1 Priorización de áreas

Según Naidoo, Balmford, Ferraro, Polasky, Ricketts y Rouget, (2006, p. 681) la priorización de áreas con fines de conservación de recursos naturales es esencial para formar una estrategia de fondos disponibles para el gasto, mediante la planificación de objetivos biológicos y socioeconómicos. De esta forma, se enfoca la inversión al aumentar la eficacia en las zonas requeridas (Razola, Benayas, de la Montaña y Cayuela, 2006, p. 35). Para Horvath (2011, p. 04) la priorización de áreas es importante para la implementación de proyectos que busquen maximizar los resultados deseados.

El objetivo de priorización debe ser delimitado, claro y tan específico como se desee, por ejemplo: áreas para el manejo forestal, la restauración, la reforestación, el manejo o protección del recurso hídrico, la compensación o pago de servicios ambientales, entre otros (Chávez, González y Hernández, 2015, p. 12).

Como apoyo a las labores de priorización se encuentran los sistemas de información geográfica (SIG) como una herramienta apropiada para conseguirlo, ya que pueden utilizarse durante todo el proceso, desde la documentación, el mapeo, la hidrología hasta el monitoreo de áreas. Una vez priorizadas las áreas y concentrados los recursos en aquellas zonas que más lo ameritan, de acuerdo con los objetivos de conservación o la importancia específica, se procede a implementar las medidas adecuadas para cada área, teniendo en cuenta nuevamente su estado, objetivo e importancia.

3.2 Áreas prioritarias

Según Chávez, González y Hernández (2015, p. 10), las áreas prioritarias para la conservación de los recursos naturales son representaciones espaciales del territorio, en donde confluyen atributos ambientales y biofísicos óptimos para un objetivo dado, pues corren peligro debido a causas naturales, humanas o ambas. Surgen, de igual modo, cuando las identificadas como potenciales se encuentran en riesgo de erosión o pueden ser vulnerables a factores que disminuyan su capacidad productiva, social o ambiental.

Chaves y Faustino (2015, p. 25) señalan que estas áreas se entienden como situaciones en las que existen alteraciones significativas, graves, conflictivas o urgentes de atender, pues disminuyen la calidad de condiciones, por ejemplo:

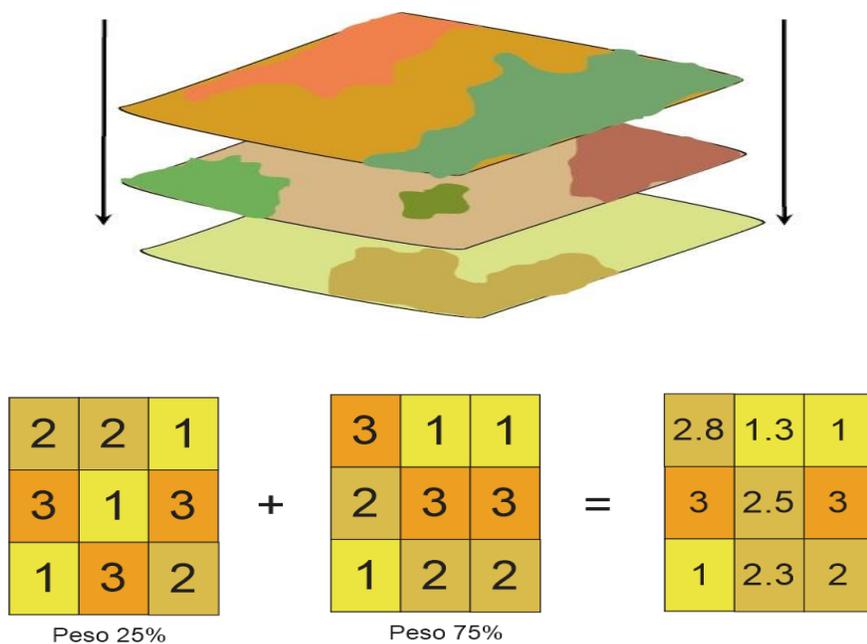
- a) Áreas deforestadas, con quema y erosión, en proceso de desertificación.

- b) Áreas de sobreuso del suelo, de vocación forestal bajo uso hortícola.
- c) Distribución de la tierra, generando minifundio y latifundio
- d) Tenencia de la tierra por usuarios sin propiedad.
- e) Laderas con baja producción y alta degradación del suelo.
- f) Zonas de inundación frecuente y problemas de drenaje.
- g) Áreas con suelos ácidos y superficiales.
- h) Zonas de pobreza y condiciones marginales.
- i) Bosques ribereños.
- k) Deficiente calidad y cantidad de agua para una población.
- l) Zonas de usos especiales, protección y conservación.
- m) Zonas de aparentes de recarga hídrica.
- n) Áreas de fuentes de agua para consumo humano.

3.3 Modelación de datos espaciales en SIG

De acuerdo con Rosete y Bocco (2003, p. 45), los SIG son sistemas que permiten diseñar, almacenar y analizar de forma espacial y no espacial varias dimensiones de la información. Buscan generar datos válidos para la toma de decisiones de un mismo problema, por medio de mapas, imágenes de satélite y atributos.

Los SIG han sido muy utilizados en el manejo de cuencas para la determinación de características fisiográficas, pérdida de suelos, balances hidrológicos, cambios de uso de suelo, priorización de áreas, entre otros temas. Una herramienta muy utilizada es la superposición ponderada (Figura 1) que combina las celdas o los píxeles presentes en distintas capas, así como los datos que presentan cada una de ellas, por medio de la multiplicación de los valores por el peso de importancia y, consecuentemente, la suma de los valores de cada celda.

Figura 1.*Superposición ponderada.**Nota.* Elaboración propia.

METODOLOGÍA

Área de estudio

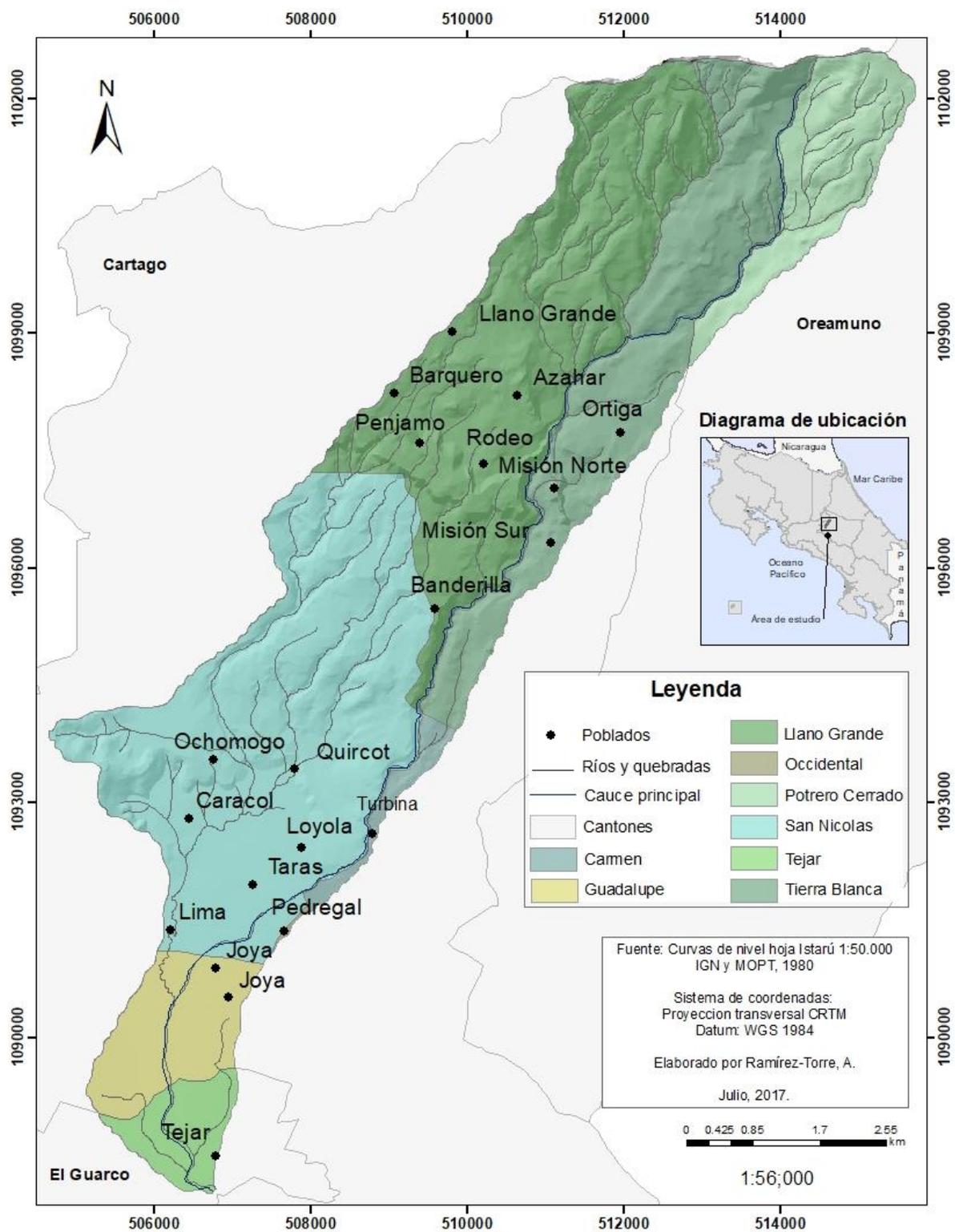
La subcuenca del río Reventado está ubicada al norte de la ciudad de Cartago, en el flanco suroeste del volcán Irazú; se origina en las faldas de los cerros Sapper, Retes y Cabeza de Vaca, entre las coordenadas geográficas $83^{\circ} 51' 28''$ a $83^{\circ} 57' 19''$ de longitud oeste y entre $9^{\circ} 50' 25''$ a $9^{\circ} 58' 28''$ latitud norte de la hoja Istarú (Ramírez, Alvarado, Pujol y Brenes, 2008^a, p. 75).

Además, tiene una extensión aproximada de 46.02 km² y una forma rectangular alargada en el sentido del río; igualmente, forma parte del sistema fluvial del río Reventazón, su altitud oscila entre 1 838 y 2 546 msnm y pertenece a la zona de vida de bosque húmedo montano bajo.

La subcuenca se distribuye de la siguiente forma: el 7.63% (3 km²) pertenece al cantón de Oreamuno, 89.11% (41 km²) al cantón de Cartago y 3.26% (2 km²) al cantón del Guarco. Asimismo, en esa zona se encuentran distribuidos un total de 19 poblados presentes en 8 distritos (Figura 2).

Figura 2.

Ubicación de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.



Fuente. IGN y MOPT (1980).

La metodología de trabajo consta de tres fases según los objetivos del proyecto:

Fase 1: Caracterización de las propiedades biofísicas y socioeconómicas de la subcuenca del río Reventado y diagnóstico preliminar de potencialidades y limitantes

1. Caracterización biofísica

Para la elaboración de este apartado se utilizó la metodología de Jiménez y Faustino (2013), que consiste en la revisión bibliográfica de libros, artículos, tesis de instituciones, tanto públicas como privadas, así como la realización de mapas con los SIG sobre los siguientes factores presentes en la subcuenca en estudio:

- Características climáticas

Para la descripción climática, se utilizó la información suministrada de siete estaciones meteorológicas ubicadas en los alrededores de la subcuenca del período que comprende los años 2007 y 2016. Las estaciones son las siguientes: **Dulce Nombre** No. 73048, **ITCR** No. 73123, **Llano Grande** No. 84125, **Linda Vista** No. 73048, **San Juan de Chicúa** No. 73117, **Potrero Cerrado** No. 73139 y **Volcán Irazú** No. 73137 (Anexo 2). Esta información se obtuvo por medio del Instituto Meteorológico Nacional (IMN).

- Geomorfología

Por medio de revisión bibliográfica se caracterizaron las mesetas, valles, cañones, relieve general y la descripción de paisajes de la subcuenca.

- Topografía y pendiente

Para obtener este mapa, se confeccionó un modelo de elevación digital, a partir de las curvas de nivel de la hoja Istarú con una escala de 1:50.000 (Instituto Geográfico Nacional y Ministerio de Obras Públicas y Transporte, 1980) y se reclasificó en siete categorías de pendiente, según la metodología del MAG (1995) (Tabla 1).

Tabla 1.
Categorías de pendiente en función del relieve

Porcentaje de pendiente	Clase de topografía
0 - 3	Plano o casi plano
3 - 8	Ligeramente ondulado
8 - 15	Moderadamente ondulado
15 - 30	Ondulado
30 - 60	Fuertemente ondulado
60 - 75	Escarpado
Más de 75	Fuertemente escarpado

Fuente: Metodología Determinación de la Capacidad de Uso de Suelos Costa Rica, MAG (1995).

- Geología

Se obtuvo las principales unidades geológicas y áreas de la subcuenca que ocupan, a partir del mapa geológico de la hoja Istarú, elaborado por el Instituto Geográfico Nacional (1957) a una escala 1:50,000.

- Órdenes de suelo

Se creó un mapa con los distintos órdenes de suelo presentes en la subcuenca, para esto se utilizó la base de datos de los perfiles de suelos de Costa Rica a una escala 1:200.000, por el Centro de Investigaciones Agronómicas (2016).

- Uso de la tierra

Por medio de los SIG se digitalizaron todos los usos de la tierra presentes en el área de estudio, de acuerdo con los mapas de usos de la tierra del proyecto PRUGAM (2005) con escala 1:10.000, se respetó cada área según su uso, y se obtuvo un cien por ciento de unidad mapeada según las categorías presentes en dichos mapas. Aunado a esto se realizó un recorrido a lo largo de la subcuenca y se tomaron algunos puntos de control estratégicos según los distintos usos de la tierra (cultivos, pastos, bosques y zona urbana) así como las partes de la subcuenca (alta, media y baja).

Con ayuda de un GPS se identificaron estos puntos con el objetivo de verificar que el uso de la tierra actual concuerde con respecto al del mapa, a pesar de los años transcurridos.

- Capacidad de uso de la tierra

Se obtuvo las diferentes clases de capacidad de uso y el área que ocupan en la subcuenca, a partir del mapa de capacidad de uso de las tierras, con escala 1:200.000 elaborado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (1997).

- Conflictos de uso de la tierra

Con los SIG se superpuso el mapa de capacidad de uso y el mapa de uso actual de la tierra, para encontrar qué datos presentan los píxeles del nuevo mapa, y determinar dónde existe un conflicto, esto según los criterios de la Tabla 2.

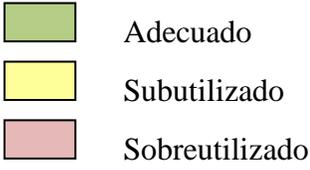
Los conflictos de uso se clasificaron de la siguiente manera:

- Sobre utilizado** cuando el uso actual es mayor que el uso potencial que puede soportar el suelo.
- Subutilizado** cuando el uso actual es menor que el uso potencial que puede soportar el suelo.
- A capacidad** cuando el uso actual corresponde al uso potencial del suelo.

Tabla 2.

Criterios de categorización de los conflictos de uso de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica

Uso actual	Capacidad			
	A	VI	VII	VIII
Bosque	Subutilizado	Subutilizado	Adecuado	Adecuado
Café	Adecuado	Sobreutilizado	Sobreutilizado	Sobreutilizado
Caña	Adecuado	Sobreutilizado	Sobreutilizado	Sobreutilizado
Charral	Subutilizado	Subutilizado	Sobreutilizado	Sobreutilizado
Explotación agropecuaria confinada	Adecuado	Sobreutilizado	Sobreutilizado	Sobreutilizado
Frutales	Adecuado	Sobreutilizado	Sobreutilizado	Sobreutilizado
Otros cultivos	Adecuado	Sobreutilizado	Sobreutilizado	Sobreutilizado
Pastos	Subutilizado	Subutilizado	Sobreutilizado	Sobreutilizado
Pastos con árboles dispersos	Subutilizado	Adecuado	Sobreutilizado	Sobreutilizado
Plantación forestal	Adecuado	Adecuado	Sobreutilizado	Sobreutilizado
Terreno no cultivable	Sobreutilizado	Sobreutilizado	Sobreutilizado	Sobreutilizado
Urbano	Subutilizado	Subutilizado	Sobreutilizado	Sobreutilizado



Adecuado
 Subutilizado
 Sobreutilizado

Nota. Elaboración propia.

- Erosión del suelo

Con la ayuda de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE) e información obtenida de instituciones como el IMN y el CIA, se determina la tasa de pérdidas de suelo por erosión hídrica (A), mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 1. *Pérdida de suelos*

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Donde, A = Pérdida de suelo ($t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$), R = Índice de erosión pluvial ($J \cdot m^{-2} \cdot cm \cdot hora^{-1}$), K = Índice de erodibilidad del suelo ($t \cdot m^2 \cdot hora \cdot ha^{-1} \cdot J^{-1} \cdot cm^{-1}$), L = Factor de longitud de pendiente, S = Factor de inclinación de la pendiente, C = Factor de ordenación de cultivos, P = Factor de control de la erosión mediante prácticas de cultivo.

Para la obtención del mapa de erosión, se deben cargar todas las capas obtenidas (R, K, L, S, C, P) en el programa ArcGIS y utilizar la calculadora ráster para su multiplicación.

- Factor *R*

Con los datos de precipitaciones obtenidos de las estaciones meteorológicas cercanas a la subcuenca se aplicó la siguiente fórmula en el programa Microsoft Excel:

Ecuación 2. *Fournier modificado*

$$Fm = \sum\left(\frac{p_i^2}{P}\right)$$

Donde, Fm = Fournier modificado, Pi = Precipitación mensual (mm), P = Precipitación anual (mm)

Estos valores fueron importados al programa ArcGIS e interpolados a la forma de la subcuenca, con un tamaño de píxel de 25 m.

- Factor *K*

Para la obtención del factor *K*, es necesario contar con los porcentajes de arena, limo y arcilla de los suelos de la zona en estudio, así como los de materia orgánica y su valor de estructura y permeabilidad. Para esto se, recabó información del geoportal del CIA, tomando los datos de 7 muestras representativas a los órdenes de suelo que componen la subcuenca. Aunado a esto, a partir de los datos e información de Mancilla (2008, p. 15), se obtuvieron los códigos de estructura y permeabilidad a utilizar (Tabla 3).

Tabla 3.

Datos utilizados para la obtención del Factor K en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica

Suelo (Id)	Ubicación de la muestra	Clase	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	MO a (%)	Estructura b	Permeabilidad c
Entisol	Oreamuno	Franco arenoso	70.80	26.70	2.5	9,35	1	3
Andisol	Oreamuno	Franco arenoso	70.60	25	4.40	6,12	1	3
Urbano	Oreamuno	Franco	45.80	35.70	18.50	2,40	3	4
Inceptisol	Paraíso	Franco arenoso	75	17	8	3,65	3	3
Vertisol	Cartago	Franco arcilloso	29.20	35.10	35.70	2,34	2	6
Ultisol	Escazú	Franco	36	38	26	8,56	3	4

Fuente. CIA (2018) y Mancilla (2008, p. 15).

Una vez obtenida la información necesaria, se procedió a calcular la siguiente fórmula:

Ecuación 3. Factor K.

$$K = \frac{[(10^{-4}) * 2.71 * (M^{1.14}) * (12 - a)] + 4.2 * (b - 2) + 3.23 * (c - 3)}{100}$$

Donde, K = índice de erodibilidad del suelo, M = (Limo + arena) * (100-arcilla), a = % de materia orgánica, b = código de estructura, c = clase de permeabilidad.

Una vez que se obtuvo el valor de K para cada uno de los órdenes de suelos en la subcuenca, se exportó el documento Excel al programa ArcGIS, con el fin de unir los campos de "K" al mapa de suelos, previamente cargado en el programa, por medio de los campos comunes Id (orden del suelo). Luego de este paso, el archivo resultante fue rasterizado para poder realizar la multiplicación final de capas de los distintos factores.

- Factor *L*

Para la elaboración del factor *L* se debió obtener, en primer lugar, un mapa de pendientes en porcentajes y asignarle un tamaño de píxel de 25 m y multiplicarlo por 0.25 en la calculadora ráster, esto para obtener la altura del píxel. En segundo lugar, se aplicó la siguiente fórmula en la calculadora ráster, con el fin de contar con la "pendiente real":

Ecuación 4. *Pendiente real.*

$$\text{SquareRoot}(\text{Square}(\text{"ALTURA_PIXEL"}) + (25 * 25))$$

Por último, se realizó la fórmula para la obtención de factor *L*:

Ecuación 5. *Factor L.*

$$1.4 * \text{Power}(\text{"PEND_REAL"}/22.13,0.4)$$

- Factor *S*

Para *S* se obtuvo nuevamente un mapa de pendientes, pero en este caso en grados, con tamaño de píxel de 25 m, mediante la exportación de datos, al igual que para *L*. Esto para aplicar la siguiente fórmula:

Ecuación 6. *Factor S.*

$$\text{Power}(\text{Sin}(\text{"PEND_GRAD"} / 0.0896),1.3)$$

- Factor *C* y Factor *P*

Para obtener tanto el factor *C* como el factor *P*, se incorporó al programa ArcGIS el mapa de uso de la tierra y se asignó a cada uso el valor respectivo de *C* y de *P* (Tabla 4), creando nuevos campos en la tabla de atributos. Luego, se rasterizaron ambos campos y se obtuvieron los dos archivos necesarios.

Para el Factor *P*, se aplicó un valor constante de 1, ya que no se contaba con la información de prácticas de conservación en las distintas coberturas de la subcuenca.

Tabla 4.

Valores de C y P según el uso actual de la Subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica

Uso actual	C	P
Bosque	0,003	1
Otros cultivos	0,350	1
Urbano	1	1
Pastos	0,012	1
Pastos con árboles dispersos	0,003	1
Charral	0,012	1
Terrenos no cultivables	1	1
Explotación agropecuaria confinada	0,001	1
Café	0,090	1
Plantación forestal	0,007	1
Frutales	0,003	1
Caña de azúcar	0,050	1

Fuente. Gaitán (2013, p. 07) y Lianes (2008, p. 226).

Para la obtención del mapa de erosión, se cargaron todas las capas obtenidas (*R, K, L, S, C, P*) en el programa ArcGIS y se utilizó la calculadora ráster para su multiplicación. Posteriormente, se recalculó el ráster obtenido con la clasificación propuesta por FAO, PNUMA y UNESCO (1980):

- Baja: 0-10 ton/ha/año
 - Moderada: 10-50 ton/ha/año
 - Alta: 50-200 ton/ha/año
 - Muy alta: más de 200 ton/ha/año
- Amenazas naturales

A partir de la revisión bibliográfica y visitas de campo se caracterizaron y evidenciaron las principales amenazas naturales en la subcuenca como deslizamientos, avalanchas e inundaciones. Además, con los mapas elaborados por la Unidad de Investigación y Análisis del Riesgo (IAR) (2014) de amenazas y peligros naturales (a escala 1:200.000) se diseñó un mapa de las fallas tectónicas, deslizamientos y áreas potencialmente peligrosas en la subcuenca.

- Áreas de protección y de ríos y quebradas

Una vez definidos los ríos, las quebradas y los manantiales, se delimitaron las zonas de protección, utilizando como base la información del establecimiento de zonas de amortiguamiento estipulada en el artículo 33 de la Ley Forestal 7575, de 1996. Para los manantiales, se realizó un área de amortiguamiento alrededor de las áreas de protección de 200 m de radio, medida horizontalmente. Para los ríos y quebradas, en cambio, se determinó un área de amortiguamiento de una franja de 15 m a ambos lados del cauce, medida horizontalmente, y de 50 m en terrenos quebrados con un pendiente promedio superior al 40%.

2. Caracterización socioeconómica

Para la caracterización socioeconómica se utilizó la metodología de Jiménez y Faustino (2013), adaptada según los objetivos de este estudio. A partir de una revisión bibliográfica de artículos e informes de instituciones tanto públicas como privadas, así como de una encuesta participativa realizada a las comunidades, se obtuvo información de las siguientes características:

- a) **Demografía:** cantidad de población por sexo.
- b) **Salud y seguridad social:** servicios de salud, enfermedades más frecuentes.
- c) **Educación:** centros educativos, nivel educativo alcanzado.
- d) **Vivienda:** material de vivienda, forma de tenencia (propia, alquilada, prestada).

- e) **Uso del agua:** uso y fuente.
- f) **Servicios básicos:** electricidad, alcantarillado, recolección de basura, limpieza de calles, tratamiento de aguas negras, limpieza de calles, agua potable, transporte público. Así como la calidad de estos servicios.
- g) **Características económicas y productivas:** población dentro de la fuerza de trabajo, principales fuentes de empleo, tipo de actividad productiva en la zona, principales cultivos, uso de prácticas ambientales.
- h) **Organización local:** principales organizaciones existentes, ONG, comités de cuenca, asociaciones de desarrollo.

Para la aplicación de la encuesta se planteó una metodología participativa en la que los miembros de la comunidad respondieron a una serie de preguntas y, así, obtener la información correspondiente de la situación actual de la subcuenca (Anexo 3).

Para la obtención de la muestra, se utilizó la siguiente ecuación utilizada en la metodología de Chaves y Faustino (2015) para proyectos de cuencas hidrográficas:

Ecuación 7. Tamaño de la muestra.

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{(e^2 * (N - 1)) + k^2 * p * q}$$

Donde, n = tamaño de la muestra, k = nivel de confianza (90% = 1.65), p = varianza máxima de la población (0.5), q = probabilidad de fracaso (0.5), N = tamaño de la población (5 020), e = error de muestreo (0.06)

El tamaño de la muestra es de 182 personas distribuidas en 19 poblados. Cabe señalar que se tomó un nivel de confianza de un 90% y un margen de error permitido del 6%, ambos son valores aprobados en la metodología de obtención de muestra en cuencas hidrográficas y, además, recomendados por IDESPO, según el objetivo del proyecto. Seguidamente se obtuvo la cantidad de personas a entrevistar por poblado, dividiendo el total de habitantes por poblado entre el total de la población y luego multiplicando ese resultado por el tamaño de la muestra (Tabla 5).

Tabla 5.*Distribución de la muestra por poblado en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica*

Cantón	Distrito	Poblado	Total
Cartago	Occidental	Pedregal	16
		Carmen	Turbina
	San Nicolás	Taras	7
		Caracol	1
		Quircot	13
		Lima	1
		Loyola	28
		Ochomogo	12
		Banderilla	4
	Guadalupe	Joya	51
	Tierra Blanca	Misión Norte	3
		Ortiga	1
		Misión Sur	3
	Llano Grande	Llano Grande	3
		Azahar	10
Barquero		11	
Rodeo		4	
Pénjamo		3	
Guarco	Tejar	Tejar	9
		TOTAL	182

Nota. Elaboración propia.

3. Diagnóstico preliminar

Estudiando los datos obtenidos mediante las encuestas aplicadas y la información secundaria de la caracterización biofísica y socioeconómica, se elaboró una síntesis de información con ayuda de una matriz propuesta por Chaves y Faustino (2015, p. 18), la cual ha sido modificada para la realización del este trabajo.

Esta matriz permite identificar de manera sintetizada la problemática presente en la subcuenca, sus causas y consecuencias; al igual que sus potencialidades, con tal de otorgarle su valor e importancia respectivos (Tabla 6 y 7).

Tabla 6.

Matriz de la problemática presente en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2017)

Problemas	Causas	Consecuencias	Sitio del problema presente
1			
2			
3			
n			

Fuente. Chaves y Faustino (2015, p. 18).

Tabla 7.

Matriz de potencialidades de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2017)

Potencialidades	Limitantes	Zonas de ubicación
1		
2		
3		
n		

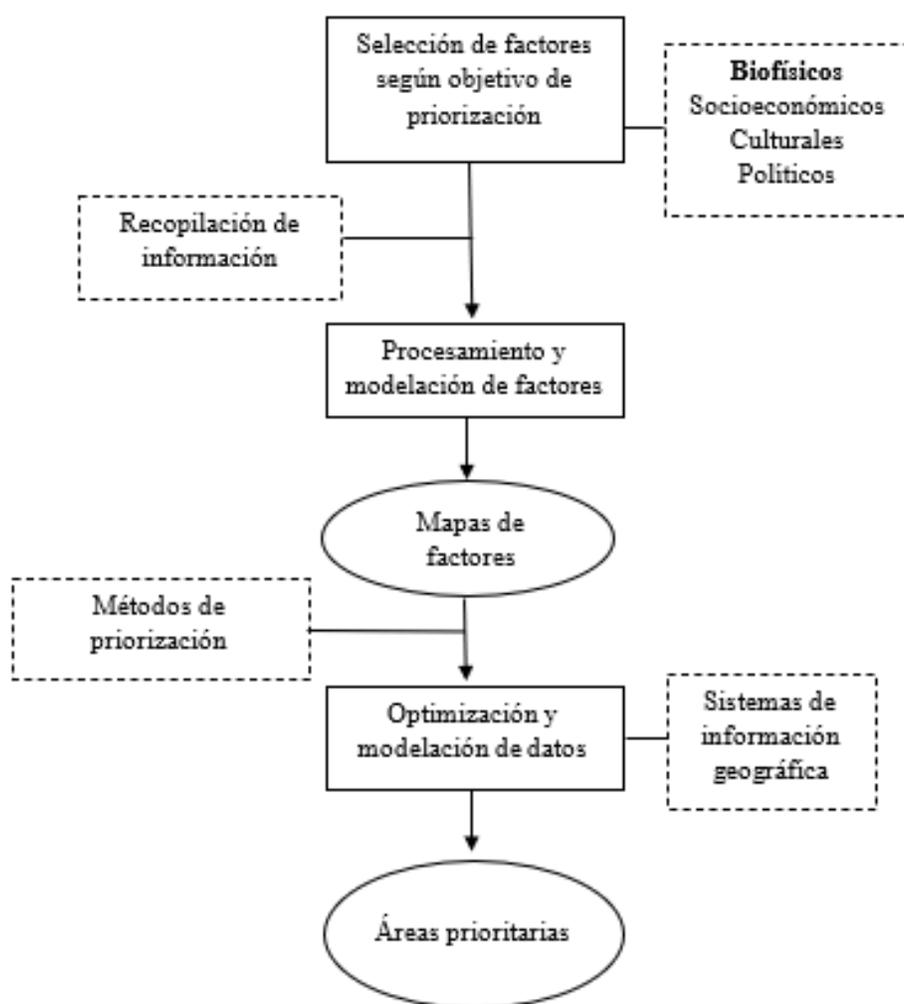
Fuente. Chaves y Faustino (2015, p. 18).

Fase 2: Determinación de las áreas prioritarias de la subcuenca del río Reventado

Para determinar las áreas prioritarias se llevaron a cabo los siguientes procedimientos:

Figura 3.

Proceso metodológico para identificar las áreas prioritarias.



Nota. Elaboración propia.

Selección de factores

Se utilizó la información obtenida de la fase 1 (caracterización biofísica de la subcuenca), teniendo como objetivo la conservación del recurso hídrico y del suelo. Para su selección se consideraron los siguientes criterios:

- Erosión del suelo

Un suelo erosionado pierde su fertilidad natural y productividad biológica; asimismo, se reduce el espesor del perfil edáfico y su contenido de materia orgánica y nutrientes. A su vez, la degradación progresiva de la tierra afecta la capacidad de retención de agua y la disponibilidad de nutrientes para las plantas, lo que reduce su fertilidad (De Alba, Alcázar, Cermeño y Barbero, 2011, p. 14); por consiguiente, este factor debe considerarse para cumplir con el objetivo de la conservación de suelo. Así, las tierras con un grado de erosión alta serán las más prioritarias a rehabilitar, para mejorar sus condiciones, su productividad y sus características físicas.

- Pendiente

Las condiciones de un clima tropical y la existencia de laderas montañosas en el país repercuten en los distintos niveles de evolución de la erosión y degradación de suelos (Hernández, 1996, p. 61). Según la FAO (2000, p. 05), en cuanto mayor sea el grado y la longitud de la pendiente, mayor será la erosión de la tierra, debido al aumento en la velocidad y volumen de escorrentía.

- Áreas de protección de ríos y quebradas

Según Benegas y León (2009, p. 04), estas áreas actúan como un filtro de contaminación, hábitat de especies y control de inundaciones. Por otro lado, la cobertura vegetal es el elemento que protege al suelo contra los agentes erosivos como la lluvia, pues impiden que las gotas impacten directamente en la tierra y controlen, de esta manera, la velocidad de escorrentía y el desprendimiento de partículas.

Por esta razón, se tomó en cuenta la presencia o ausencia de vegetación en las zonas de amortiguamiento de ríos y quebradas, de una franja de 15 m a ambos lados del cauce, medida horizontalmente, y de 50 m en terrenos quebrados.

De acuerdo con Morales (2014, p. 06), la cubierta vegetal tiene una gran influencia en el desprendimiento de partículas de suelo, debido a que las tierras desnudas son más vulnerables a erosionarse. De este modo, se sigue la premisa de que, a mayor ausencia de cobertura vegetal, mayor prioridad para intervenir.

- Uso de la tierra

Una de las funciones de los bosques en las cuencas hidrográficas corresponde a la reducción de la erosión y la escorrentía superficial generada por el deslave de suelo, lo que, a su vez, disminuye los daños en infraestructura, cultivos agrícolas y zonas ganaderas (Martínez, 2000). Además, según Moscoso (2007, p. 07), uno de los efectos de la urbanización al interior de una cuenca es el aumento de superficies impermeables, que puede ocasionar inundaciones o acúmulos de agua considerables, la alteración del ciclo hidrológico y de energía, así como la degradación de hábitats acuáticos y terrestres (Romero y Vásquez, 2005, p. 102).

Por esta razón, los suelos cubiertos por bosque tendrán una priorización de grado 1, dado que estos presentan una baja erosión, pues tienen una cobertura vegetal, se encuentran en zonas de difícil acceso y son, en su mayoría, áreas protegidas. Entonces, a menor cobertura, mayor priorización; en otras palabras, a mayor cambio de uso, mayor priorización. Así mismo, el uso urbano, tendrá mayor priorización debido al crecimiento exponencial del mismo a través de los años y al verse desprovisto de cubierta vegetal.

Igualmente, se le otorga un alto grado de prioridad a los terrenos agrícolas, debido a su cercanía a ríos, al uso de químicos, a las obras de laboreo y al manejo del suelo.

- Conflicto de uso de la tierra

Se definen las categorías según el uso de suelo actual en contraposición a la capacidad de uso. Por un lado, se entiende como un suelo sobre utilizado cuando el uso actual es mayor al uso potencial que puede soportar la tierra; en cambio, un suelo subutilizado, cuando su uso actual es menor al potencial; capacidad, por su parte, cuando el uso actual corresponde al uso potencial. Por consiguiente, los suelos sobre utilizados son los que presentarán una mayor prioridad de intervención.

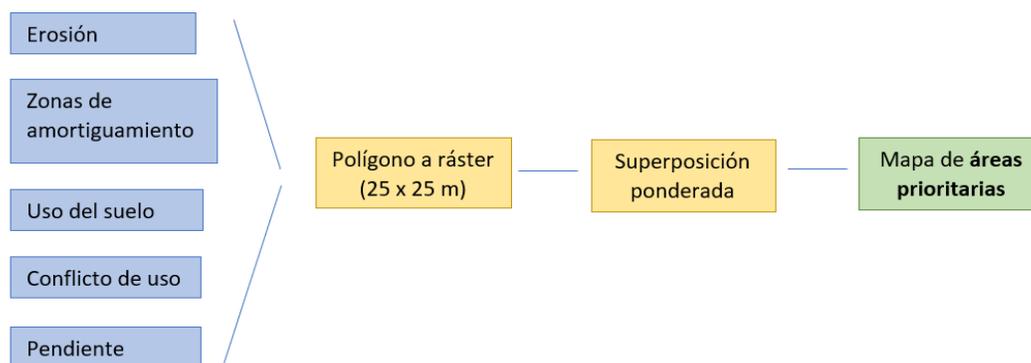
Pese a que no se incluye el componente social en la priorización de áreas, este fue analizado para la propuesta de rehabilitación de las zonas, según las características y necesidades de la población que se obtuvieron de las encuestas.

Modelado de datos y elaboración del mapa de áreas prioritarias

Se utilizó el método de superposición ponderada que consiste en combinar las capas de los factores seleccionados, según su peso y prioridad. El procedimiento es el siguiente:

1. Se otorgó un valor de priorización del uno al nueve a cada uno de los factores (el valor más bajo indica mayor importancia en el ámbito de priorización, dado que estas zonas tendrán un recurso menos conservado) y de peso relativo, cuya suma es 100. Esta escala aumenta con respecto a la prioridad de rehabilitar, según el criterio y atributos seleccionados (Tabla 8).
2. Se efectuó la transformación de las capas en formato vectorial a formato ráster y se definió un mismo nivel de resolución de píxeles para los cinco factores elegidos, de 25 x 25 m.
3. Con la herramienta de superposición ponderada del programa ArcGIS, se multiplicaron los valores de celda por su peso relativo (en cada factor) y se sumaron los valores de capas, del uno al nueve, como se explicó en el paso 1.
4. Por último, se reclasificaron valores, para así obtener las cinco categorías de priorización:
 - Prioridad muy baja.
 - Prioridad baja.
 - Prioridad moderada.
 - Prioridad alta.
 - Prioridad muy alta.

Figura 4. Esquema metodológico para la obtención del mapa de áreas prioritarias.



Nota. Elaboración propia

Tabla 8.

Criterios propuestos para la priorización de áreas para la rehabilitación del suelo y el recurso hídrico de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2017)

Factor	Priorización	Atributo	Criterio	Peso
Erosión	9	Baja	A mayor índice de erosión, mayor prioridad.	30
	6	Moderada		
	3	Alta		
	1	Muy alta		
Pendiente	9	Entre 0% - 15%	A mayor porcentaje de elevación, mayor prioridad.	25
	6	Entre 15% - 30%		
	3	Entre 30% - 75%		
	1	De 75% y mayores		
Zonas de amortiguamiento de ríos y quebradas	9	Con cobertura forestal	A mayor ausencia de cobertura vegetal, mayor prioridad.	20
	1	Sin cobertura forestal		
Uso del suelo	9	Bosque	A mayor cambio de uso de suelo, mayor prioridad.	15
	6	Pastos - Pastos con árboles		
	3	Terrenos cultivados		
	1	Zona urbana-industrial		
Conflicto de uso	9	A capacidad	A mayor conflicto de uso, mayor prioridad	10
	9	Subutilizado		
	1	Sobre utilizado		

Nota: Elaboración propia

Fase 3: Propuesta de lineamientos de manejo en las áreas prioritarias de la subcuenca del río Reventado

De acuerdo con los resultados obtenidos en la primera y segunda fase, así como por la búsqueda exhaustiva de información bibliográfica, se elaboró una propuesta de lineamientos de conservación de suelos y del recurso hídrico que busque la rehabilitación de las áreas de la subcuenca, basada en el grado de priorización a intervenir y la vulnerabilidad de la zona.

En primer lugar, se segmentó la subcuenca en tres sectores (según los niveles de la misma: parte alta, media y baja) para diseñar los lineamientos de una forma más ordenada y precisa (Figura 5). Esta segmentación se realizó a partir de las curvas de nivel y de un modelo de elevación digital, reclasificado en las 3 secciones anteriormente mencionadas.

En segundo lugar, a partir de esta zonificación se procedió a caracterizar cada sector y se trazó la propuesta de lineamientos para cada uno de ellos, según las condiciones físicas, ambientales y socioeconómicas específicas que presentan (Tabla 9).

Tabla 9.

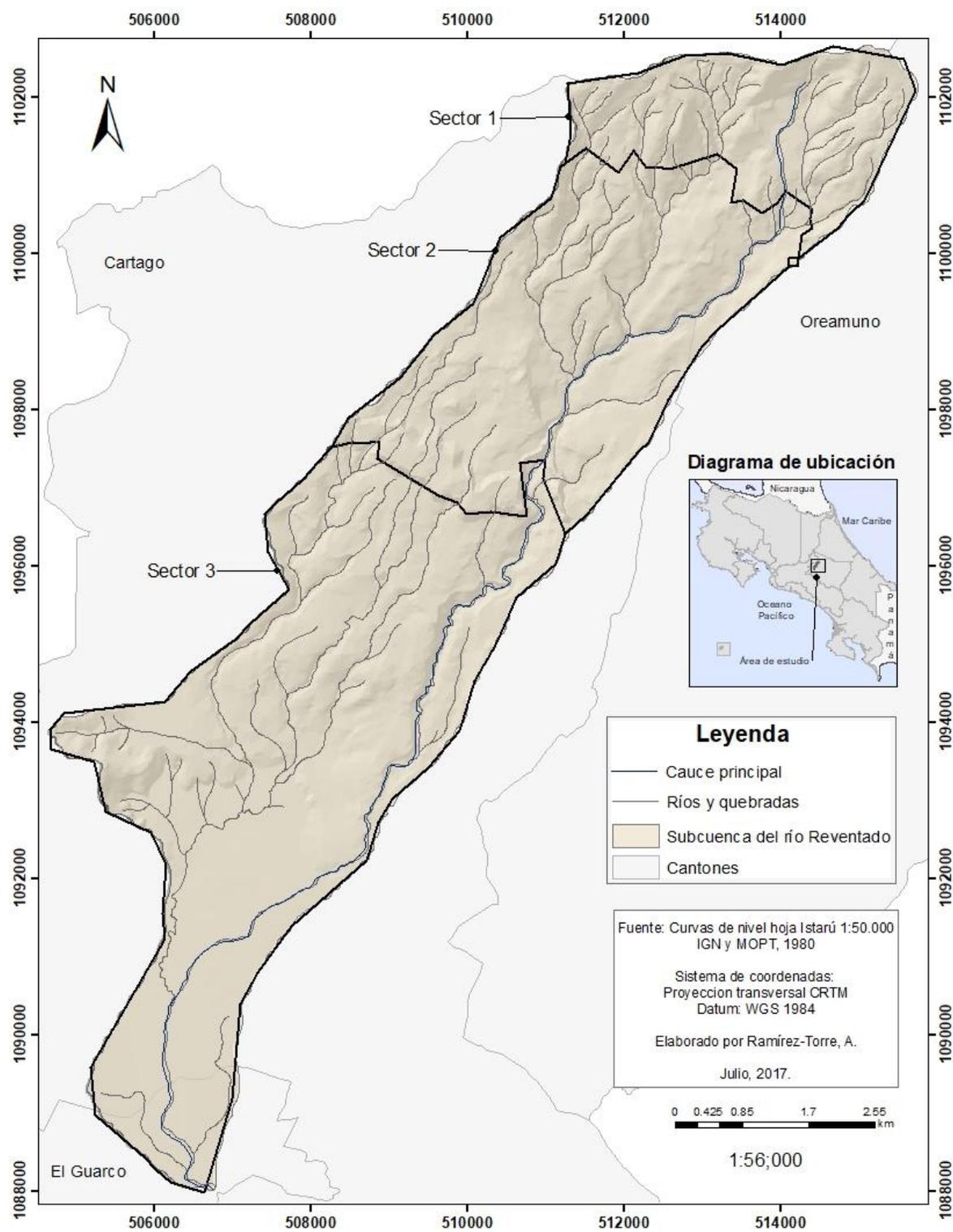
Matriz de lineamientos de conservación para las áreas prioritarias de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2020)

Sector 1 de la subcuenca	Sector 2 de la subcuenca	Sector 3 de la subcuenca
Lineamiento 1	Lineamiento 1	Lineamiento 1
Lineamiento 2	Lineamiento 2	Lineamiento 2
Lineamiento 3	Lineamiento 3	Lineamiento 3
...

Nota: Elaboración propia

Figura 5.

Sectores a intervenir según áreas prioritarias de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2020).



Fuente. IGN y MOPT (1980).

RESULTADOS

Fase 1: Caracterización de las propiedades biofísicas y socioeconómicas de la subcuenca del río Reventado y diagnóstico preliminar de potencialidades y limitantes

1. Caracterización biofísica

1.1 Características climáticas

1.1.1 Precipitación

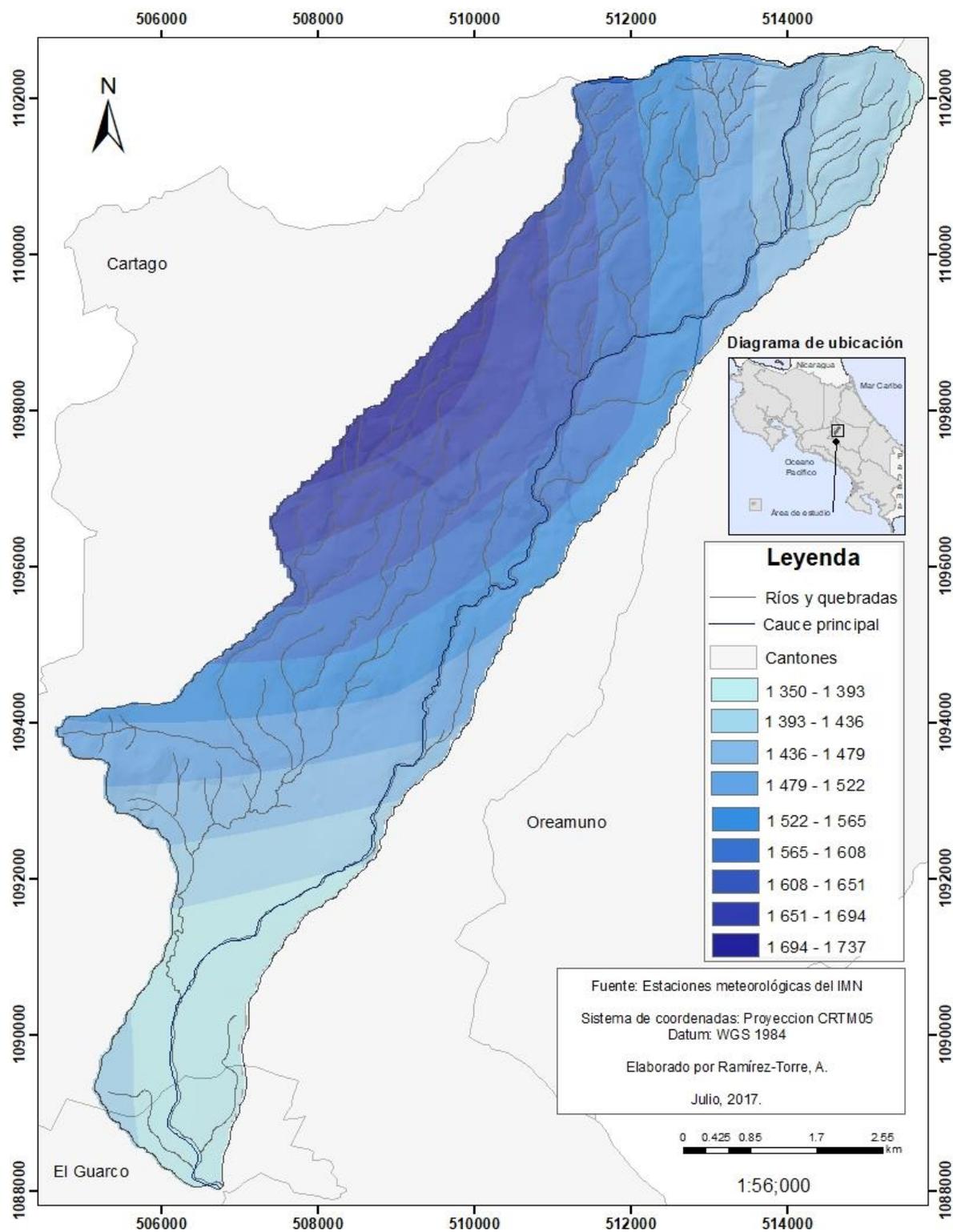
Ramírez, Alvarado, Pujol y Brenes (2008^a, p. 74) señalan que la subcuenca del río Reventado se ubica cerca de la División Continental, por lo tanto, su climatología está influenciada por el clima de la vertiente del Caribe y la del Pacífico.

Según los datos obtenidos de las siete estaciones meteorológicas (Anexo 3), se estimó que la subcuenca del Reventado presenta una precipitación promedio anual de 1 558 mm. Con una estación seca de enero a abril, siendo el mes de marzo el más seco; mientras que los meses más lluviosos son octubre y noviembre.

Como se observa en la Figura 6, las precipitaciones más altas se encuentran en Llano Grande, Tierra Blanca y en las zonas cercanas al volcán Irazú; tierras que se encuentran con mayores elevaciones. Por otro lado, la parte baja de la subcuenca presenta menos precipitaciones.

Figura 6.

Precipitación promedio anual de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.



Fuente. IMN (2016).

1.1.2 Temperatura

La temperatura promedio anual es de 16,1 °C, sin embargo, esta tiende a ser menor en la parte alta de la subcuenca. Según la información registrada de cuatro estaciones meteorológicas (Volcán Irazú, ITCR, Llano Grande y Dulce Nombre), las temperaturas más bajas se presentan en las zonas cercanas al volcán Irazú con temperaturas entre los 7,8 y 9,0 °C.

1.2 Geomorfología

Veas, Acevedo, Obando y Herrera (2010) señalan que las formas del relieve en la zona de estudio se derivan de la influencia volcánica directa, como las coladas de lava y lluvias de cenizas provocadas por el volcán Irazú. Debido a la meteorización de las cenizas se formó el suelo, con ayuda de la vegetación que lo retuvo y consolidó.

Entre las formas de terreno presentes se pueden mencionar el collado de Ochomogo, que separa el valle Central en los sectores occidental, donde se asientan las ciudades de San José, Heredia y Alajuela; así como el oriental, en donde se encuentran las ciudades de Cartago y Turrialba. Este sector está constituido por mesetas pequeñas como la del Paraíso y de Juan Viñas (Bergoeing, 2014).

El mismo autor reconoce dos sectores morfológicamente diferentes entre la cumbre del Irazú y la ciudad de Cartago:

- Sector comprendido entre el cráter y la ciudad de Cot: corresponde a relieves onduladas, formadas por espesores variables de cenizas que recubren antiguas coladas de lavas. Son tierras muy porosas, pero muy fértiles; se explotan para el cultivo de papa, cebolla y pastizales.
- Sector entre la ciudad de Cot y Cartago: posee un relieve más accidentado formado por lahares; se distinguen dos generaciones (jóvenes y antiguos).

Durante el Pleistoceno y el Holoceno, el río Reventado originó algunos conos como Cabeza de Vaca (3 600 m), cerro Retes (3161 m) y el Sapper (3400 m) debido a depósitos fluviales asociados a erupciones del Irazú (Alvarado, Durán, Fallas, Hernández y Valverde, 2006, p. 04). Estos autores afirman que los profundos cañones del río Reventado y el río Arriaz se formaron por la fuerte competencia fluvial y por la pendiente causada por los depósitos volcánicos.

1.3 Topografía y pendiente

Se determinó las clases de pendiente de la subcuenca del río Reventado, de acuerdo con el criterio utilizado en la Metodología para la Determinación de la Capacidad de Uso de Suelos Costa Rica (Tabla 10).

Como se observa en la Figura 7, la mayor parte del área de la subcuenca del Reventado (28,83%) tiene pendientes que oscilan entre 15 a 75% en las zonas alta y media (color amarillo). Un 23,73% del área presenta pendientes fuertemente onduladas, las cuáles se encuentran mayormente en la zona cercana al sector Prusia y la parte alta de la subcuenca.

El grosor de las pendientes bajas se encuentra en la parte baja de la subcuenca, esta representa la zona urbana, con poblados como Loyola, Taras, Joya y Tejar; además de la mayor parte de la actividad comercial. Otros poblados como Pénjamo, Misión Norte y Sur y Llano Grande se localizan en áreas con pendientes desde onduladas a fuertemente escarpadas en algunos pequeños parches. Esto, en combinación con la cercanía de ríos, influye en la aparición de deslizamientos y amenaza la seguridad de los habitantes.

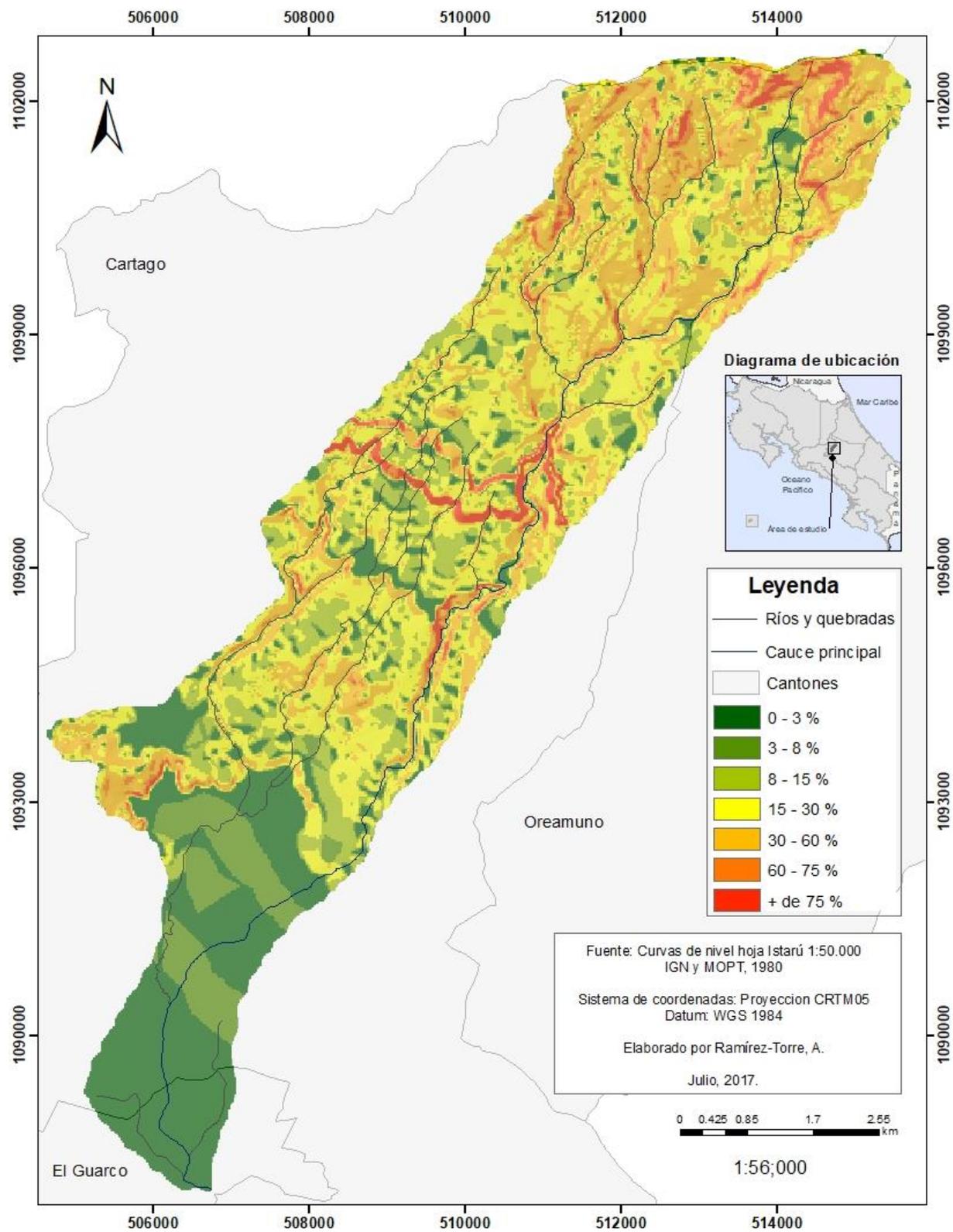
Tabla 10.

Criterios de pendiente y área que ocupan en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica

Porcentaje de pendiente	Clase de topografía	Área que ocupa (km ²)	Porcentaje de terreno (%)
0 - 3	Plano o casi plano	8,76	19,03
3 - 8	Ligeramente ondulado	4,19	9,10
8 - 15	Moderadamente ondulado	5,91	12,85
15 - 30	Ondulado	13,27	28,83
30 - 60	Fuertemente ondulado	10,92	23,73
60 - 75	Escarpado	1,60	3,48
Más de 75	Fuertemente escarpado	1,37	2,98
TOTAL		46,02	100,00

Nota: Elaboración propia.

Figura 7.
Pendiente de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.



Fuente. IGN y MOPT (1980).

1.4 Geología

La serie Pleistoceno, depósitos volcánicos de edad Cuaternario, constituidos principalmente de lava, lahares, ceniza y de algunos depósitos de rocas de origen volcánico epiclásticos, surge a lo largo del 90% del cuadrilátero Istarú en la zona donde se ubica la subcuenca del río Reventado (Krushensky, 1972, p. 13).

Rojas (2010b, p. 04) apunta que la zona de Cartago se asienta sobre una secuencia sedimentaria y volcánica que va desde el Mioceno hasta el Pleistoceno. En esta se localizan una serie de depósitos de la cordillera actual (volcán Irazú), así como depósitos fluviales y lacustres actuales. Según Alvarado et al. (2006, p. 333), la ciudad de Cartago se posiciona sobre un cono de deyección formado por depósitos aluviales y laháricos, creado por la dinámica del río Reventado. Las rocas del grupo del volcán Irazú son, en realidad, la formación más extensa en el cuadrilátero y consisten en capas de lava, lahares y ceniza que se conforman de la siguiente manera (Tabla 11):

- **Formación del Reventado**

Krushensky (1972, p. 18) manifiesta que la formación del Reventado son rocas de finales del Pleistoceno inferior que se superponen a la toba en el cañón del río Agua Caliente y subyacen a la formación Sapper. La localidad tipo es el cañón del río Reventado desde el contorno de 1.660 metros hasta el contorno de 2.070 metros, donde la mayor parte del miembro superior está bien expuesta.

- **Miembro Superior**

El Miembro Superior es una subunidad de la formación del Reventado. La mayor parte de esta se aprecia en los cañones de los ríos Reventado, Tiribí, Birris, Chiquito, Durazno, Canadá y Birrisito. Tiene un espesor aproximado de 600 m (López, 1979) y está compuesto por coladas de lava, lahares y capas de ceniza (Mora, 1998). Por otro lado, el cañón del Reventado se formó por la competencia fluvial y la pendiente de los depósitos volcánicos (Alvarado et al., 2006, p. 04).

Por su parte, los depósitos de lahares aluviales (Quircot y Cartago) son las superficies inferiores de los flujos de lava, generalmente desiguales y disecados, que cubren la parte frontal de estos flujos de las cuencas de los ríos Birrisito y Parruas (Bergoeing 2014). El más viejo, el abanico aluvial Quircot, se encuentra al norte de la ciudad de Cartago y consiste en restos degradados provenientes de las formaciones Reventado y Sapper; en cambio, el abanico aluvial de Cartago está en el margen meridional del abanico de Quircot y se extiende al sur, debajo de la ciudad de Cartago hasta el poblado de Guadalupe (Bergoeing 2014).

- **Formación Sapper**

Esta formación representa un 27,69% de la subcuenca, específicamente la parte alta de la misma (Figura 8). Corresponde a una secuencia de capas de lava, lahares entrelazados y lechos de cenizas que recubren discontinuamente la Formación Reventado en la zona de las cabeceras del río Reventado, a unos 250 m (López, 1979). Sin embargo, en los valles de este río y en sus afluentes, la erosión ha sido suficiente para producir exposiciones que se pueden rastrear continuamente de 1 a 2 km (Krushensky, 1972, p. 24).

- **Terraza Banderilla:** La terraza comienza justo al sureste de Banderilla al lado este del río Reventado y continúa hacia abajo hasta aproximadamente el contorno de 1.600 metros, abarcando un 0,93% del área total en estudio. Su superficie está cubierta de tierra y llena de grandes rocas como los de las superficies de terrazas de lahar recientes y el de Quircot (Krushensky, 1972, p. 30).
- **Depósitos fluviolacustres:** Ubicados al oeste del río Reventado y al sur de los Cerros de La Carpintera, en la parte baja de la subcuenca, con un 11,51% del área total. Esta consiste en una arena de cuarzo, limo y arcilla de grano fino a mediano grueso, de superficie plana (Krushensky, 1972, p. 31).

Tabla 11.

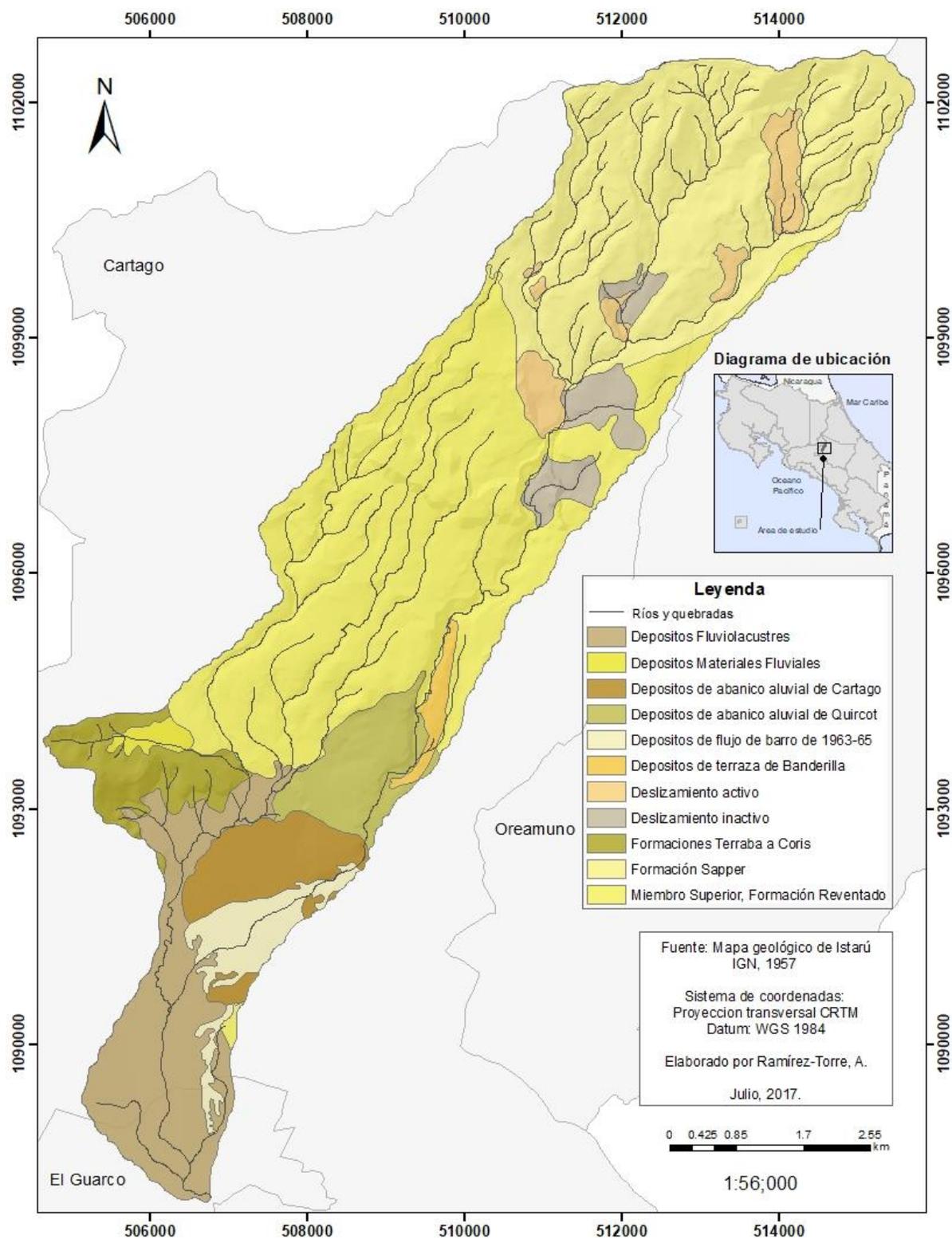
Área por unidad geológica presente en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica

Unidad	Área que ocupa (km²)	Porcentaje de terreno (%)
Miembro Superior, Formación Reventado	16,68	36,25
Depósitos de flujo de barro de 1963-1965	1,48	3,21
Depósitos de terraza de Banderilla	0,43	0,93
Depósitos de abanico aluvial de Cartago	2,07	4,51
Depósitos Fluviolacustres	5,30	11,51
Depósitos de abanico aluvial de Quircot	2,11	4,59
Depósitos Materiales Fluviales	0,31	0,67
Formaciones Térraba a Coris	1,96	4,26
Deslizamiento inactivo	1,50	3,26
Deslizamiento activo	1,43	3,12
Formación Sapper	12,74	27,69
TOTAL	46,02	100,00

Nota: Elaboración propia.

Figura 8.

Unidades geológicas presentes en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.



Fuente. IGN (1957).

1.5 Hidrografía

El cantón de Cartago está compuesto por una red de ríos y quebradas. Entre los principales se pueden mencionar los ríos Reventado, Macho, Purires, Navarro, Aguacaliente, Toyogres, Taras y la quebrada Norberta (CNE, 2013). Esta red incluye un conjunto de ríos y quebradas que bajan del volcán Irazú (Figura 10) y forman profundos cañones, gracias a un material de base volcánico poco consolidado (Alvarado et al., 2006, p. 03).

El río Reventado (con una longitud de 17.76 km) es uno de los principales cauces que cede agua al acuífero de Cartago, estos acuíferos poseen un caudal promedio de 1-15 l/s con espesor de 65 m (Rojas, 2011, p. 176). El cauce principal posee fuertes pendientes y un corto periodo de concentración, y forma parte del sistema fluvial del río Reventazón (Ramírez et al., 2008^a, p. 75). Actualmente, este río se encuentra seriamente contaminado por desechos de uso cotidiano, industrial y de cultivos cercanos; así como por la presencia de botaderos al aire libre que desembocan en sus aguas, tal y como se observa en la Figura 9, en la comunidad de Turbina.

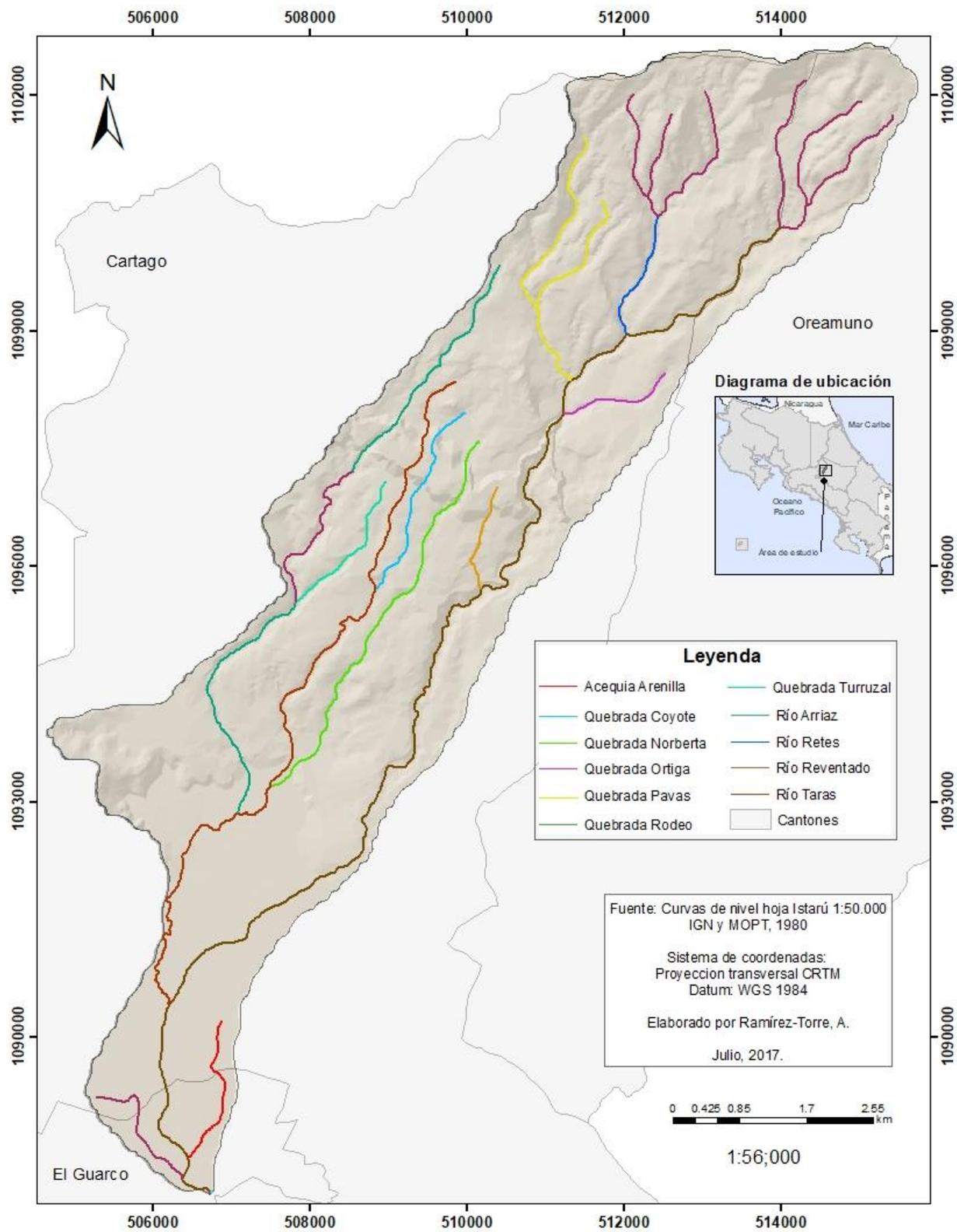
Figura 9.

Río Reventado, Turbina, Cartago, Costa Rica.



Fuente: Ramírez-Torre (2017).

Figura 10.
 Hidrografía de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.



Fuente. IGN y MOPT (1980).

1.6 Órdenes de suelo

Los órdenes de suelos encontrados en la subcuenca fueron los siguientes (Figura 11 y Tabla 12):

- **Andisoles**

Son suelos formados a partir de cenizas volcánicas, bien estructurados, con un buen drenaje y una buena retención de humedad; igualmente, poseen una baja densidad aparente, propiedad que los hace susceptibles de compactarse (Bertsch, Mata y Henríquez, 1993, p. 11). Aunado a esto, el pisoteo animal compacta aún más los horizontes superiores, por tanto, se reduce el intercambio gaseoso y el movimiento vertical del agua, favoreciendo la escorrentía (Alvarado, Bertsch, Bornemisza et al., 2000).

Es preciso destacar que, en el caso de la subcuenca, los Andisoles son la clase más abundante con un 63,45%, principalmente en donde se asienta la ciudad de Cartago, desde la parte alta a la media. En esta zona convergen zonas urbanas y cultivos de hortalizas como la cebolla, la papa, la zanahoria, la remolacha, el culantro, entre otros. Su fertilidad, calidad y estructura fomentan el buen desarrollo de los cultivos, hecho que favorece a zonas como Tierra Blanca; región dedicada principalmente a la agricultura.

- **Entisoles**

Estos son los suelos con menor desarrollo en el país, sin embargo, abundan en las áreas montañosas más altas; por ende, su uso debería limitarse a la protección o las actividades forestales. Destacan, asimismo, por su poca profundidad radical, baja fertilidad y exceso de humedad (Bertsch et al., 1993, p. 06). En la subcuenca, estos suelos son ocupados por el Parque Nacional Volcán Irazú, Sector Prusia, dedicado mayormente a la conservación y recreación (4,67% del área total).

- **Inceptisoles**

Según Bertsch et al. (1993, p. 07), los inceptisoles son suelos poco problemáticos y con características poco acentuadas que permiten una amplia gama para la productividad agropecuaria. La mayoría presenta un alto contenido de materia orgánica y se ubican en terrenos planos y ligeramente ondulados (INTA, 2015, p. 02). Según puntualiza Dijkerman (1974, p. 507), esta materia orgánica proviene de los residuos de las cosechas y los fertilizantes aplicados a los cultivos y se relaciona con propiedades tanto físicas, químicas como biológicas del suelo.

En los inceptisoles presentes en la subcuenca se encuentran pastos, zonas boscosas y algunos parches urbanos con elevaciones variables que van desde 0 a 60%.

- **Ultisoles**

Bertsch et al. (1993, p. 16) manifiestan que estos suelos se originan por el efecto prolongado de altas precipitaciones. Su principal característica es su bajo nivel de bases y la formación de un horizonte de acumulación de arcilla iluviada; igualmente, tienen problemas de lixiviación de bases, que conduce a problemas de acidez.

- **Vertisoles**

Estos suelos son conocidos por su alto contenido de arcillas, por lo que generan grietas anchas y profundas en sus horizontes. La gama de sus colores va del gris oscuro al pardo rojizo (Dijkerman, 1974, p. 509).

Por su parte, en la subcuenca tienen múltiples usos: urbano, pastos y algunos pequeños parches de cultivos de hortalizas.

Tabla 12.

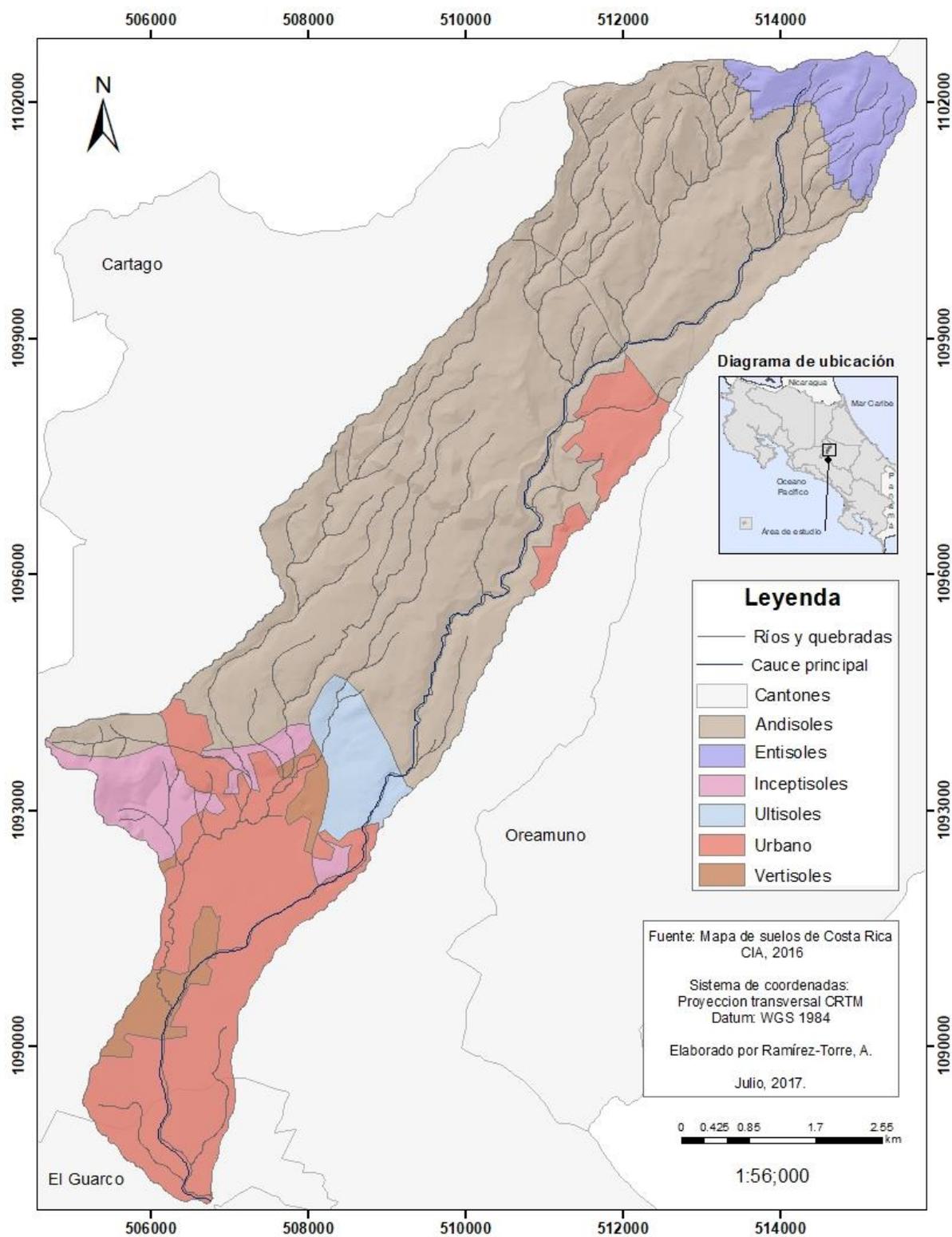
Área por orden de suelo presente en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica

Orden de suelo	Suborden de suelo	Área que ocupa (km²)	Porcentaje de terreno (%)
Andisoles	Udands	29,2	63,45
Entisoles	Orthents	2,15	4,67
Inceptisoles	Udepts	2,04	4,43
Ultisoles	Humults	1,6	3,48
Urbano	Urbano	9,71	21,10
Vertisoles	Aquerts	1,32	2,87
TOTAL		46,02	100,00

Nota: Elaboración propia.

Figura 11.

Órdenes de suelo de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.



Fuente. CIA (2016).

1.7 Uso de la tierra

La cobertura predominante de la subcuenca corresponde al bosque secundario, en un 27,73% del área total (véase en color verde en la Figura 13) (Tabla 13). La mayor parte de esta se encuentra en la zona del Parque Nacional Volcán Irazú, Sector Prusia, con especies como *Quercus costaricensis* Liebm, *Quercus copayensis* C.H. Mull, *Alnus acuminata* Kunth, *Cinnamomum pittieri* (Mez) Kosterm, *Oreopanax xalapensis* (Kunth) Decne. & Planch, *Viburnum costarricanum* (Oerst), *Croton draco* Schltld. & Cham, (Morales & Bermúdez, 2008, p. 32). En la parte media a baja, la cobertura boscosa se restringe a los márgenes de ríos y a algunos parches de menor tamaño en pendientes fuertemente onduladas que limitan la producción de cultivos agrícolas.

Existe, además, un 3,26% de cobertura categorizada como charral que, de acuerdo con el Instituto Meteorológico Nacional (1996), corresponde al primer estadio de crecimiento de las especies en proceso de regeneración natural en zonas que fueron utilizadas para actividades agropecuarias. De igual modo, es posible hallar especies herbáceas y leñosas de menos de cinco metros de altura, así como un 26,16% de "otros cultivos". Según el MAG (2007, p. 14), el principal producto en la provincia de Cartago es la papa. En la subcuenca esto se puede observar principalmente en los distritos de Tierra Blanca y Llano Grande; sin embargo, se alternan o combinan con cultivos de cebolla (Imagen 1, Figura 14), zanahoria, remolacha, brócoli, coliflor, repollo, entre otros.

Por otro lado, en esta área también es posible localizar un pequeño porcentaje de terrenos no cultivables como cárcavas o tajos, muy inestables por sucesos pasados o por su topografía; por ende, son inadecuados para cultivos de cualquier tipo. En cambio, un 1.13% de la zona de la subcuenca corresponde a áreas de explotación agropecuaria confinada, con las facilidades para el manejo de animales y almacenamiento de productos agrícolas y maquinaria pesada.

Los poblados de La Joya, Ochomogo, Quircot, Tejar y otros pequeños parches de asentamientos en la parte media representan el 17,82% de la subcuenca y cubren la mayor proporción de la parte baja (Imagen 2, Figura 12).

Igualmente, se encuentran algunos cultivos permanentes como la caña de azúcar y el café, en un área del terreno de un 0,07% y un 0,65%, respectivamente. Pequeños parches de estos cultivos se localizan en la parte baja de la subcuenca cerca de Tejar y otros, en menor proporción, en la zona Norte del distrito de Llano Grande.

Los pastos representan un 16,99% del área y puede ser vista a lo largo de la subcuenca (Imagen 3, Figura 12).

Un pequeño porcentaje del área (0,07%) está ocupado por especies frutales tales como higos, aguacate, moras, entre otros. Algunos de estos cultivos pertenecen a finqueros de mediana escala con sistemas agroforestales que obtuvieron por medio de donaciones del MAG.

Tabla 13.

Área por uso actual del suelo de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.

Uso actual	Área que ocupa (km²)	Porcentaje de terreno (%)
Caña de azúcar	0,03	0,07
Frutales	0,03	0,07
Café	0,30	0,65
Plantación forestal	0,34	0,74
Explotación agropecuaria confinada	0,52	1,13
Terrenos no cultivables	0,18	0,39
Charral	1,50	3,26
Pastos con árboles dispersos	2,30	5,00
Pastos	7,82	16,99
Urbano	8,20	17,82
Otros cultivos	12,04	26,16
Bosque	12,76	27,73
TOTAL	46,02	100,00

Nota: Elaboración propia.

Figura 12.

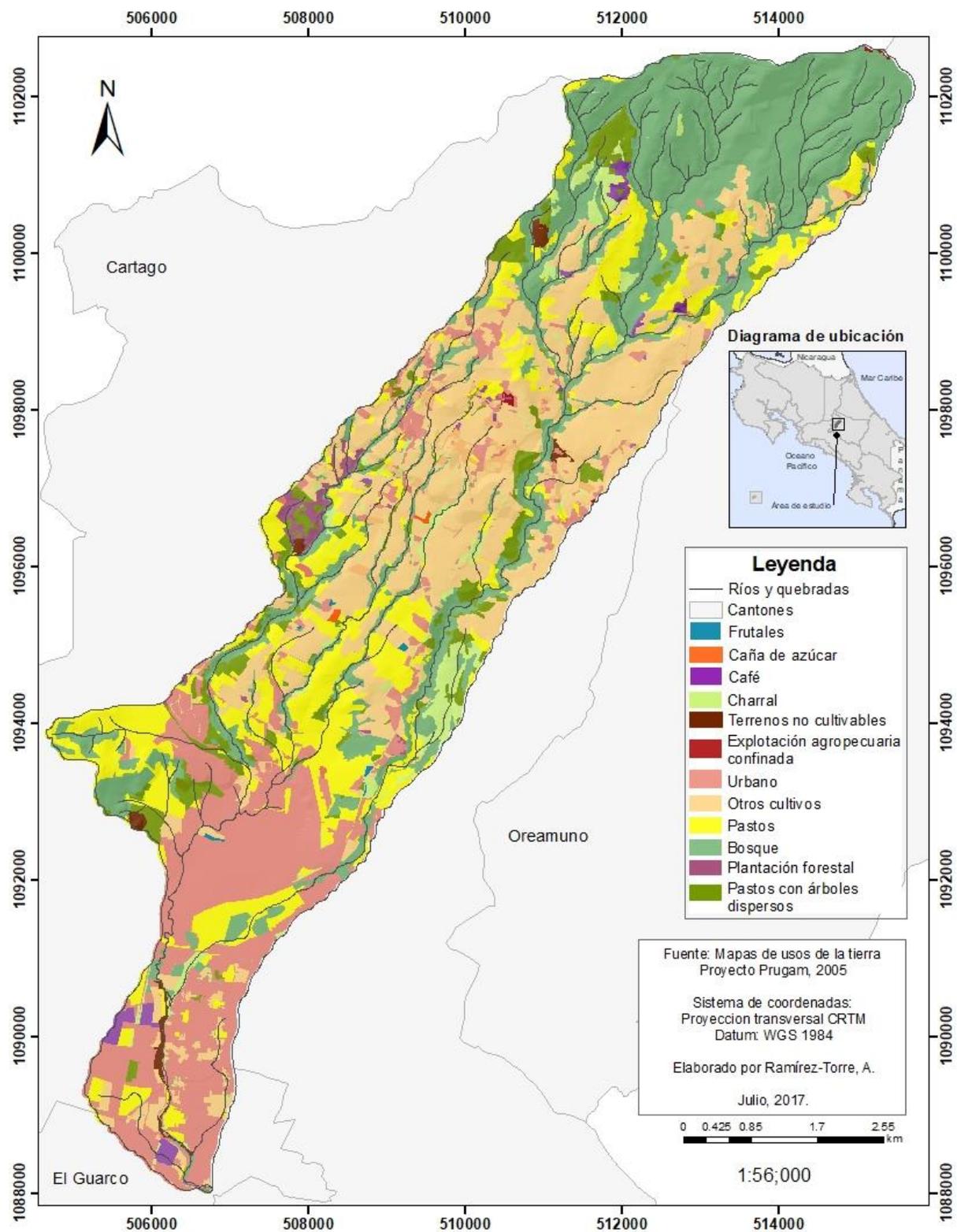
Distintos usos de suelo presentes en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2017).



Fuente: Ramírez-Torre (2017).

Figura 13.

Cobertura actual de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.



Fuente. Proyecto PRUGAM (2005).

1.8 Capacidad de uso de la tierra

En la subcuenca en estudio se pueden encontrar cuatro clases, según la metodología del MAG (1995, p. 03) (Tabla 14):

- **Clase A**

Esta clase abarca la mayor parte del área de la subcuenca con un 48,28% y se localiza desde la parte media hasta la baja, zona con ocupación urbana y de cultivos agrícolas.

- **Clase VI**

El 17,72% de la subcuenca pertenece a esta clase y se encuentra ocupada principalmente por pastos y por cultivos agrícolas.

- **Clase VII**

Esta clase se presenta en la parte alta de los distritos de Llano Grande, Tierra Blanca y Potrero Cerrado y Occidental y representa el 26,06%, caracterizadas por ser tierras con pendientes desde onduladas a escarpadas y que están en su mayor proporción ocupadas por cobertura boscosa, seguida por pastos y cultivos; además de dos franjas en la parte media de la subcuenca con un uso similar al anteriormente descrito.

- **Clase VIII (Áreas Protegidas)**

Esta clase de suelo se presenta en la parte alta de la subcuenca, en las laderas del volcán Irazú y el sector de Prusia que comprende parte del Parque Nacional Volcán Irazú (catalogado de esta forma mediante el Artículo No. 6 de la Ley Orgánica del ICT en el año 1955). De igual manera, estos tipos de tierras se pueden localizar en otras áreas de menor tamaño, desde la parte media a la media baja.

Tabla 14.

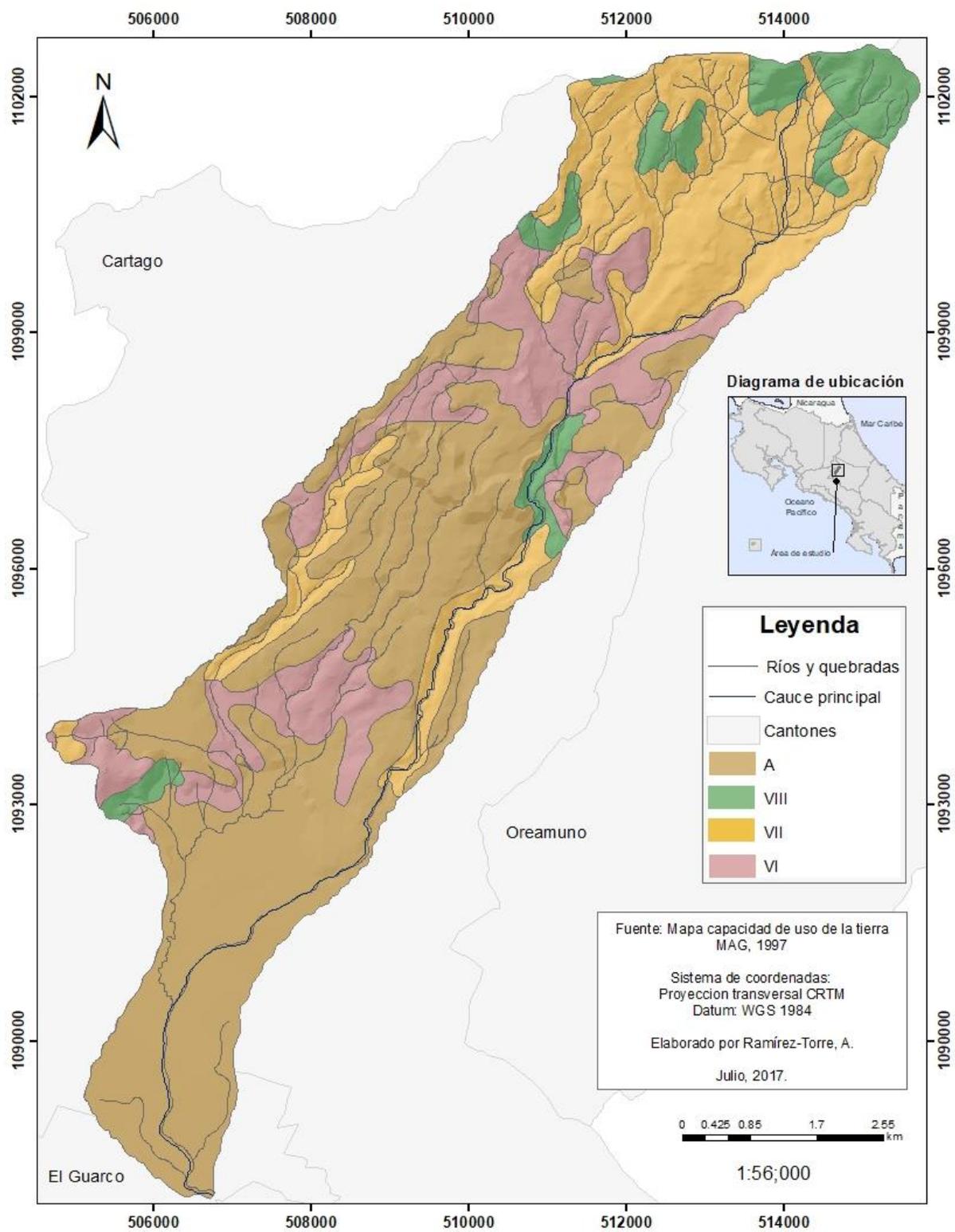
Área por clase de suelo de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica

Clase	Área que ocupa (km²)	Porcentaje de terreno (%)
A	22,22	48,29
VI	8,15	17,72
VII	11,99	26,06
VIII (AP)	3,65	7,93
TOTAL	46,02	100,00

Nota: Elaboración propia.

Figura 14.

Capacidad de uso de la tierra en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.



Fuente. MAG (1997).

1.9 Conflictos de uso de la tierra

Un 46,50% del área (zonas altas y cercanas al Sector Prusia así como en la parte media de la subcuenca) cuenta con un uso de suelo adecuado en relación con las categorías de capacidad presentes (Tabla 15). Además, un 40,46% de las tierras se encuentran subutilizadas en cuanto a producción de la tierra como zonas boscosas, pasto o charral en áreas con clase A o VI, esto mayormente en la parte baja de la subcuenca y en parches de menor tamaño en la parte media.

Por su parte, un 13,04% de tierras están siendo sobre utilizadas, debido al desarrollo de producción agropecuaria en tierras con clases VII u VIII o en cultivos anuales en áreas con clase VI. Este porcentaje representa a las tierras que por sus condiciones requieren prácticas de manejo y conservación de suelos, dado su uso actual en cultivos anuales o permanentes en zonas para restauración o protección, se encuentran en las zonas altas cercanas al Sector Prusia y en la parte media de la subcuenca.

Tabla 15.

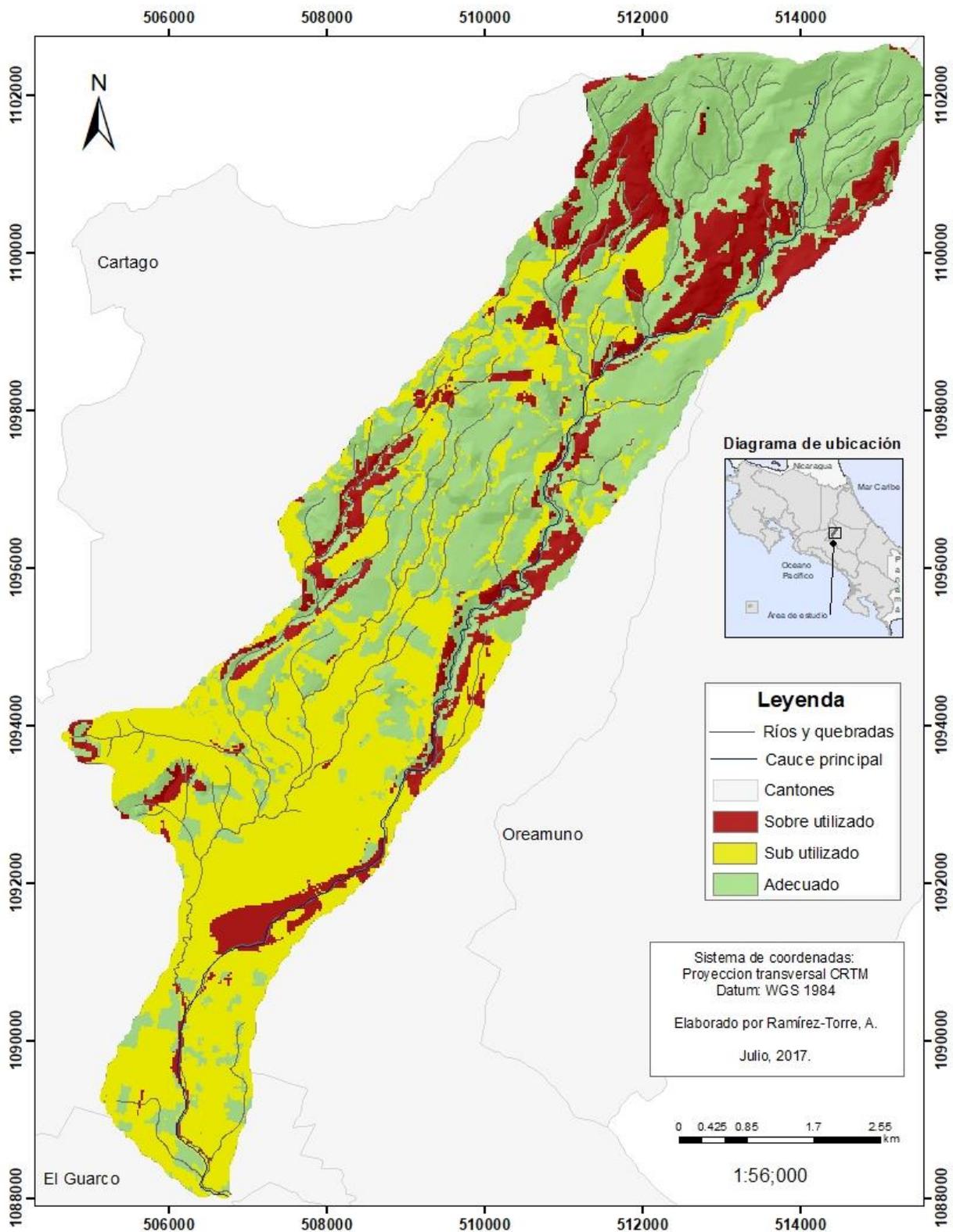
Conflicto de uso del suelo de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica

Conflicto	Área que ocupa (km²)	Porcentaje de terreno (%)
Adecuado	21,32	46,50
Sub utilizado	18,70	40,46
Sobre utilizado	6,00	13,04
TOTAL	46,02	100,00

Nota: Elaboración propia.

Figura 15.

Conflictos de uso de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.



Nota. Elaboración propia.

1.10 Erosión

Se puede observar en la Tabla 16 que la mayor parte de la subcuenca (36,44%) cuenta con una baja erosión. Algunas de estas zonas tienen una cobertura boscosa o plantaciones forestales que intervienen eficazmente en la disminución de pérdidas de suelo, pues las copas impiden el impacto de la lluvia con las partículas de suelo y la materia orgánica funciona como una capa protectora; mientras que otras se encuentran en tierras ligeramente onduladas a onduladas provistos con pastos. De acuerdo con Lianes et al. (2009, p. 228), esta cobertura proporciona una protección eficiente al suelo (cuando se mantiene una carga adecuada de ganado), ya que se reduce la fuerza del impacto de la lluvia de forma directa.

Por otro lado, un 23.95% corresponde a parches con erosión moderada provistos de pasto y bosque, principalmente en los márgenes de los ríos en las zonas cercanas al sector Prusia y en la parte media baja de la subcuenca. En contraposición a las zonas de baja erosión, en estas se incrementa la pérdida de suelo de entre 10 a 50 ton / ha / año, pues se localizan en suelos con pendientes fuertemente onduladas. Alvarado et al. (2006, p. 03) señalan que los taludes del río Reventado se encuentran desestabilizados, debido a la extracción de material para construcción de algunos tajos en zonas como San Nicolás y Llano Grande, lo que genera deslaves y sedimentación en la época lluviosa, ejemplo de esto se observa en la Figura 16.

Un 34,46% del área total presenta una erosión muy alta, perdiendo de 200 ton / ha / año. Según el MAG (2007, p. 14), la mayor parte de suelos con cultivos de papa en la zona de estudio se han erosionado, debido a las pronunciadas pendientes, a la deforestación y a la falta de rotación de cultivos, lo que ha ocasionado destrucción en la estructura del suelo. En la Figura 17 se puede observar que, actualmente, estas tierras con cultivos agrícolas pierden más de 200 ton / ha / año de suelo.

Lianes et al. (2009, p. 232) aseguran que la erosión del suelo en zonas con cultivos agrícolas es variable, según sea su desarrollo y etapa de crecimiento, debido a la labranza de tierras, al uso de herbicidas y a la forma de cosecha; por tanto, la cobertura con valores C es más alta. Además, Ramírez et al. (2008^a, p. 84) manifiestan que las taltuzas (*Orthogeomys heterodus*) son algunos de los agentes erosivos de la parte media de la subcuenca del río Reventado. Estos animales dañan el suelo, la agricultura y las obras de conducción de agua para el riego de cultivos. Años atrás, este roedor provocó un 2% de pérdidas en los cultivos de papa en la zona norte de Cartago, además de

pérdidas de suelo ocasionadas por los túneles que ceden en la época lluviosa al peso del agua y de la cobertura vegetal, y forman cárcavas (Bonino & Hilje, 1992, p. 30).

Como se observa, las zonas urbanas (parte baja de la zona en estudio), presentan un grado de erosión variado. Estas corresponden a los valores de C y P más altos, que, aunado a las condiciones de los otros factores, varían e incrementan el grado de erosión, según su situación actual.

Tabla 16.

Erosión del suelo de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica

Erosión	Área que ocupa (km²)	Porcentaje de terreno (%)
Baja	16,77	36,44
Moderada	11,02	23,95
Alta	2,37	5,15
Muy alta	15,86	34,46
TOTAL	46,02	100,00

Nota: Elaboración propia.

Figura 16.

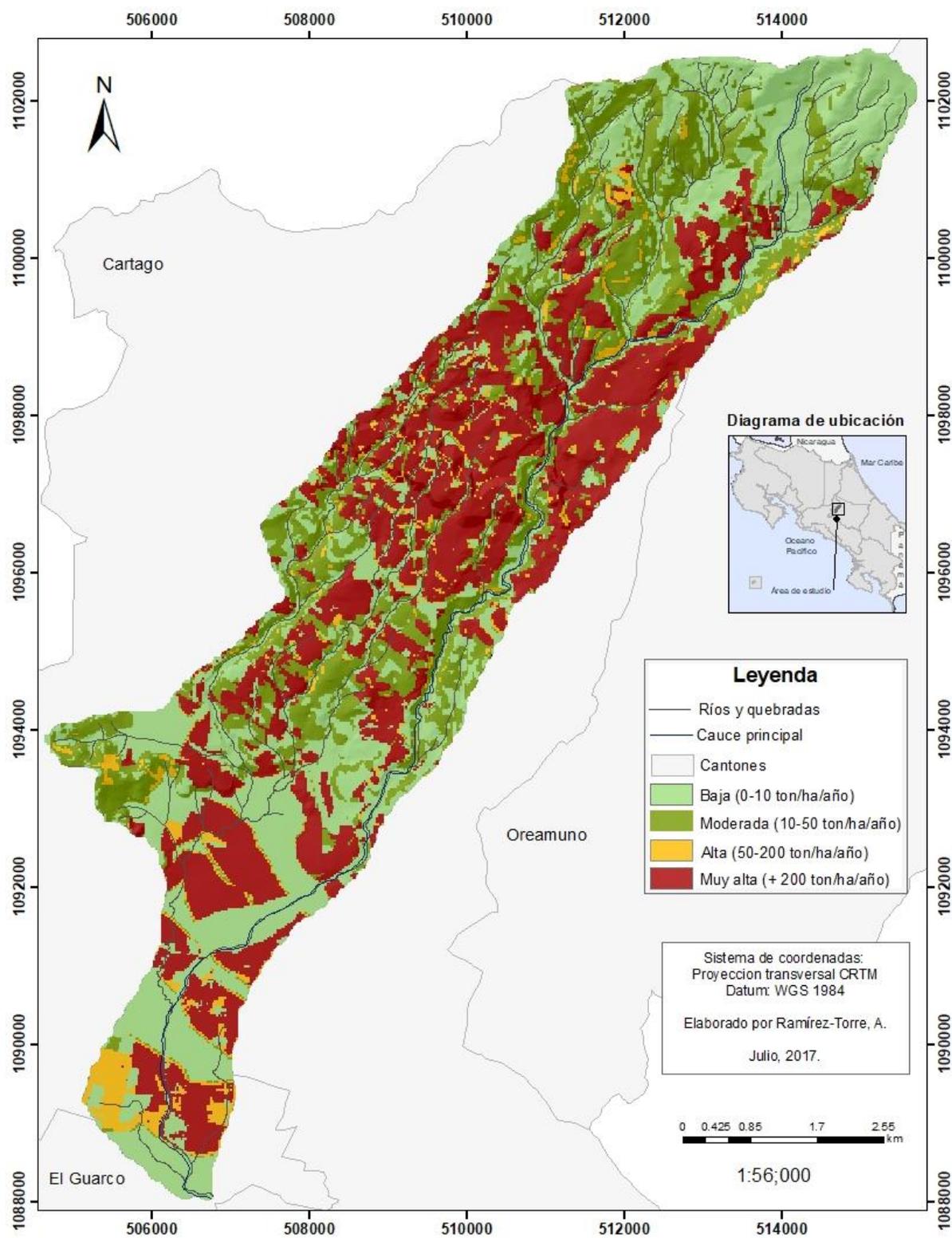
Tajos presentes en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.



Fuente: Ramírez-Torre (2017).

Figura 17.

Mapa de erosión de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.



Nota. Elaboración propia.

1.11 Principales amenazas naturales

En la subcuenca del Reventado existe una serie de riesgos potenciales para las comunidades, debido a sus características geológicas y de pendiente. Estas son las siguientes:

- Amenazas hidrometeorológicas

El cantón de Cartago, zona en la que se localiza el 89.11% de la subcuenca en estudio, posee una red fluvial bien definida con ríos y quebradas que representan amenazas hidrometeorológicas como los ríos Reventado, Agua Caliente, la Quebrada Norberta, entre otros. Según la CNE (2013), en algunos de estos ríos el periodo de recurrencia de inundaciones ha disminuido a un año o inclusive periodos menores, gracias al desarrollo urbano y a la invasión de tierras en la parte baja de la subcuenca y por los precarios en la zona de los Diques. De acuerdo con el Plan Regulador de Cartago, algunas de las comunidades que podrían verse afectadas por inundaciones son Taras, Guadalupe, Tejar, Turbina, Ochomogo y La Lima.

Asimismo, la progresiva erosión de los márgenes del río Taras y sus afluentes ha afectado a las propiedades cercanas a las comunidades de Taras y La Lima del distrito San Nicolás. La intensa erosión fluvial provocada durante los periodos lluviosos ha generado que el cauce del río Taras se acerque cada vez más a las viviendas del margen derecho del río (Barahona, 2007). Según Alvarado et al. (2006, p. 08), nuevas avenidas de barro podrían impactar el poblado de Taras, debido a su ubicación en zonas de planicie y su cercanía al río Reventado.

De igual manera, las corrientes de barro o avalanchas en el cauce del río Reventado ya han causado graves daños a la infraestructura y hasta la muerte de personas en el cantón de Cartago; por consiguiente, son otra amenaza para la población. Asimismo, la zona cercana al Parque Nacional Volcán Irazú, Sector Prusia es muy vulnerable a la incidencia de estos fenómenos, debido a las fuertes lluvias de la zona y a las pronunciadas pendientes. Un ejemplo de esto es lo sucedido el 22 de setiembre del 2017, cuando una corriente de barro impactó el área y atentó contra la seguridad de algunos hogares cercanos. Tras otros eventos similares a inicios de octubre del mismo año, una casa quedó completamente destruida y provocó, además, el cierre temporal de la vía y el desalojo de otras viviendas (Figura 18).

Figura 18.

Corriente de barro en carretera hacia Parque Nacional Volcán Irazú, Sector Prusia, Cartago, Costa Rica.



Fuente: Ramírez-Torre (2017).

- Amenazas sísmicas

El cantón de Cartago se localiza en una de las regiones del país que históricamente ha presentado más actividad sísmica destructiva, debido a la cercanía del volcán Irazú y el volcán Turrialba (CNE, 2013). Según Rojas (2010b, p. 15), Cartago es atravesado por una serie de fallas activas, entre las que sobresale el sistema de fallas de Aguacaliente, Navarro y la falla Orosi (Figura 20). Además, Quintanilla, Alvarado, Marín y Durán (2008, p. 59), así como Jiménez (2012, p. 11) describen los suelos de la provincia de Cartago como blandos, debido a la presencia de arcilla, lo que podría aumentar la intensidad de los sismos y provocar graves daños estructurales en poblaciones vulnerables.

- Amenazas volcánicas

Como se observa en la Figura 20, una pequeña zona de la subcuenca es vulnerable a la caída de piroclastos provenientes del Volcán Irazú.

- Deslizamientos

Según Bonilla (2006), la pérdida de soporte de las capas de cenizas de los suelos de Llano Grande en periodos lluviosos ha ocasionado grietas en la tierra y ha afectado caminos, pastizales y cultivos. Otro ejemplo de deslizamiento de tierras se dio a la orilla de la carretera en el poblado de Banderilla generado por la tormenta Nate a finales de setiembre del 2017 que provocó la caída de cobertura y de bienes materiales (Figura 19). En la subcuenca del Reventado se encuentra el

deslizamiento de San Blas (conocido también como Banderilla) que, en combinación con la pendiente y las fuertes precipitaciones, podrían generar desastres en la población (Figura 20).

Figura 19.

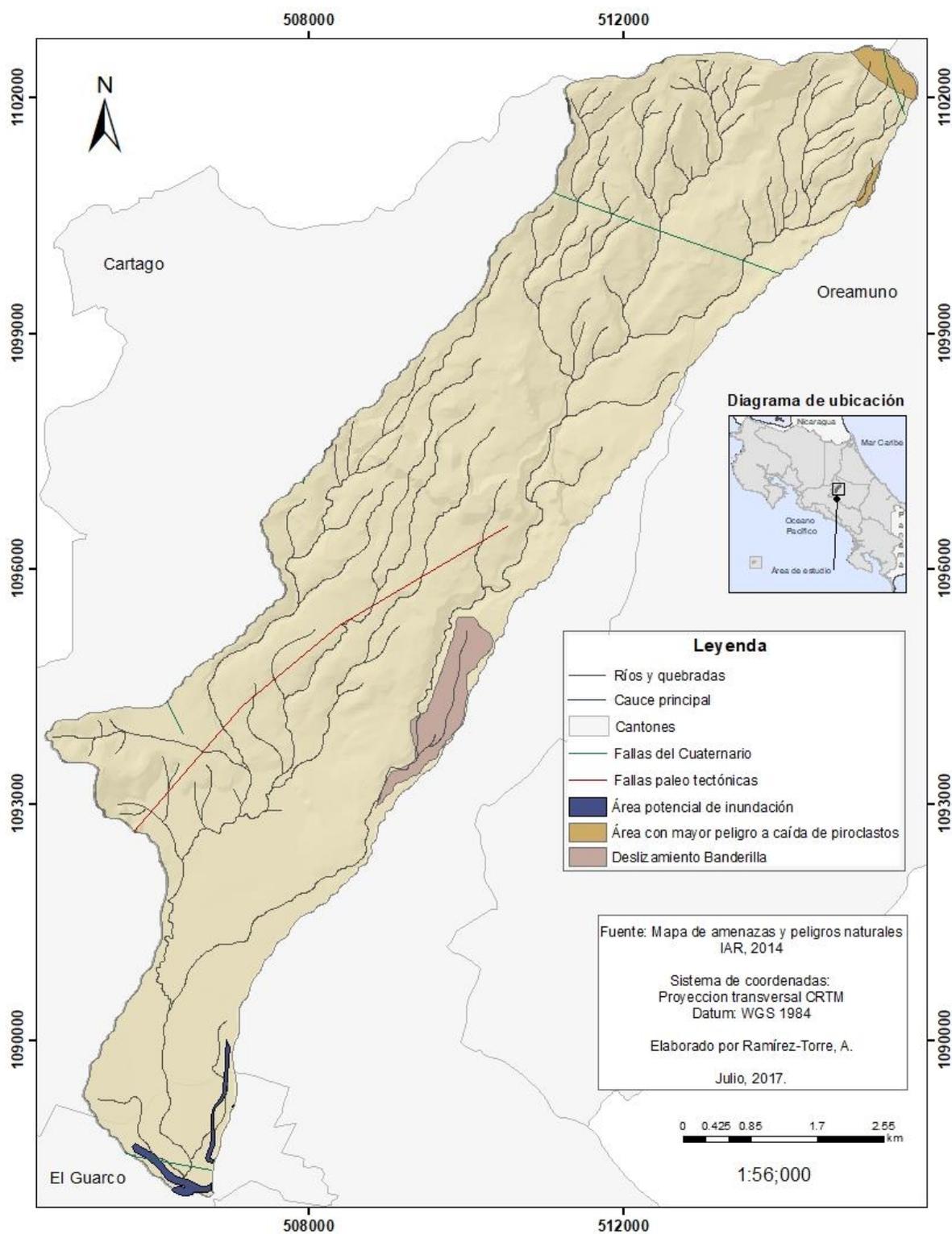
Deslizamiento en Banderilla provocado por la tormenta Nate. Cartago, Costa Rica (2017).



Fuente: Ramírez-Torre (2017).

Figura 20.

Amenazas naturales de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.



Fuente. IAR (2014).

1.12 Áreas de protección de ríos y quebradas

La figura 22 muestra las zonas de protección de los ríos y quebradas delimitadas para la subcuenca, con una zona de amortiguamiento de 15 metros y de 50 metros en las zonas con pendientes mayores al 40%, así como las zonas de protección de manantiales con un radio de 200 metros, según el artículo 33 de la Ley Forestal 7575.

Como se observa en color rojo, las pendientes mayores a 40% se encuentran, principalmente, en la zona alta de la subcuenca, en las áreas cercanas al volcán Irazú y en los cerros Sapper, Retes y Cabeza de Vaca. Los márgenes de los cuerpos de agua en estas zonas se encuentran cubiertos por una frondosa vegetación y alejados de la población, en conformidad con el artículo mencionado anteriormente.

No obstante, muchas de las áreas de amortiguamiento de los ríos y las quebradas no se respetan, especialmente en las partes medias y bajas, pues son de fácil acceso y están cerca de las zonas urbanas (Figura 21); de ahí que existan viviendas en zonas de peligro en lugares no permitidos por la ley y una alta contaminación por residuos sólidos, situación que atenta contra la seguridad de sus habitantes en caso de desbordamiento de aguas o deslizamientos.

Figura 21.

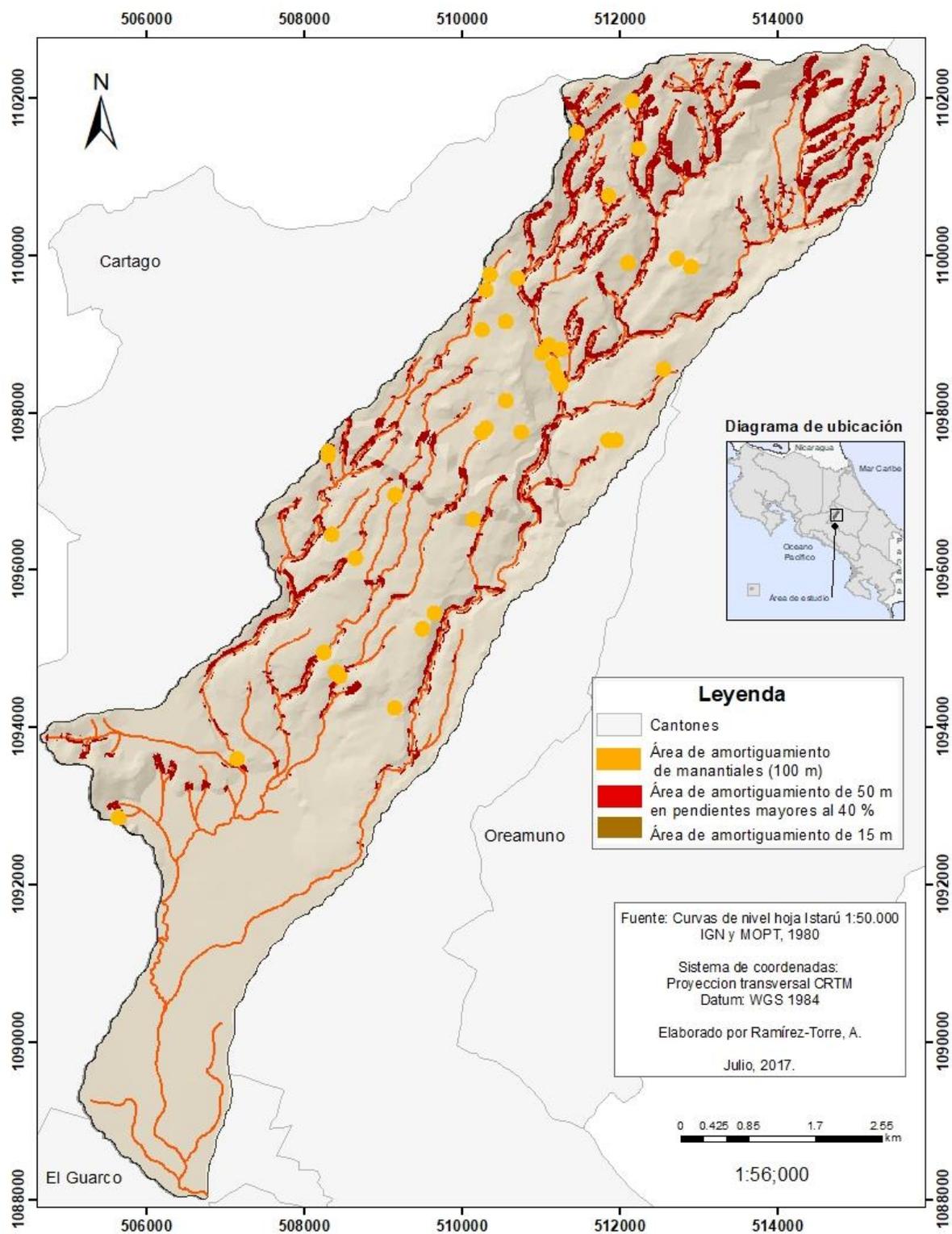
Zonas de amortiguamiento irrespetadas en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.



Fuente: Ramírez-Torre (2017).

Figura 22.

Zonas de protección de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.



Fuente: IGN y MOPT (1980).

2 Caracterización socioeconómica

2.1 División administrativa

La subcuenca abarca los cantones de Cartago, El Guarco y Oreamuno: 41 km² pertenecen al cantón de Cartago, lo que representa el 89,11% del área total; 2 km², al cantón del Guarco (3,26%); y 3 km², al cantón de Oreamuno (7,63%) (Tabla 17).

Tabla 17.

Distribución del área por distrito presente en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica

Cantón	Distrito	Área total (km ²)	Área en la subcuenca (km ²)
Oreamuno	Potrero Cerrado	18,12	3,51
	Tierra Blanca	12,78	8,18
	Llano Grande	30,25	13,43
Cartago	San Nicolás	29,33	15,86
	Carmen	4,35	0,63
	Guadalupe	13,32	2,85
	Occidental	2	0,04
El Guarco	Tejar	6,14	1,52
		TOTAL	46,02

Nota: Elaboración propia.

2.2 Demografía

El total de la población en la subcuenca es de 5 090 personas distribuidas en los distintos poblados. Loyola, perteneciente al distrito de San Nicolás, es el poblado que cuenta con una mayor cantidad de personas, en total 780; en cambio, Caracol es el que tiene menos habitantes: solo 11 personas.

Se aprecia en la Tabla 18, además, que en la subcuenca el sexo predominante es el femenino, con un total de 2 598 individuos; sin embargo, la diferencia con el sexo masculino es muy pequeña, dado que se contabilizan 2 493 hombres.

Tabla 18.

Población total por sexo distribuida en los poblados de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica

Cantón	Distrito	Poblado	Hombres	Mujeres	TOTAL	
Cartago	Occidental	Pedregal	221	214	435	
	Carmen	Turbina	29	29	58	
	San Nicolás		Taras	96	99	195
			Caracol	6	5	11
			Quircot	162	201	363
			Lima	22	18	40
			Loyola	393	387	780
			Ochomogo	151	167	318
			Banderilla	49	47	96
	Guadalupe		Joya 1	343	345	688
			Joya 2	345	382	727
	Tierra Blanca		Rodeo	41	61	101
			Sabanilla	37	33	70
			Misión Norte	35	44	79
			Ortiga	20	21	41
			Misión Sur	36	56	92
	Llano Grande		Llano Grande	46	36	82
			Azahar	150	127	277
			Barquero	144	159	303
			Pénjamo	42	37	79
El Guarco	Tejar	Tejar	125	130	255	
TOTAL			2 493	2 598	5 090	

Fuente. INEC (2011a).

Cabe mencionar que, debido a su peligrosidad, la comunidad de Los Diques no se tomó como muestra para las encuestas. Esta zona está catalogada como urbano-marginal y, según el Plan Regulador de Cartago, enfrenta problemas sociales como la pobreza, la drogadicción, el tráfico de drogas, la delincuencia y la prostitución.

2.3 Salud

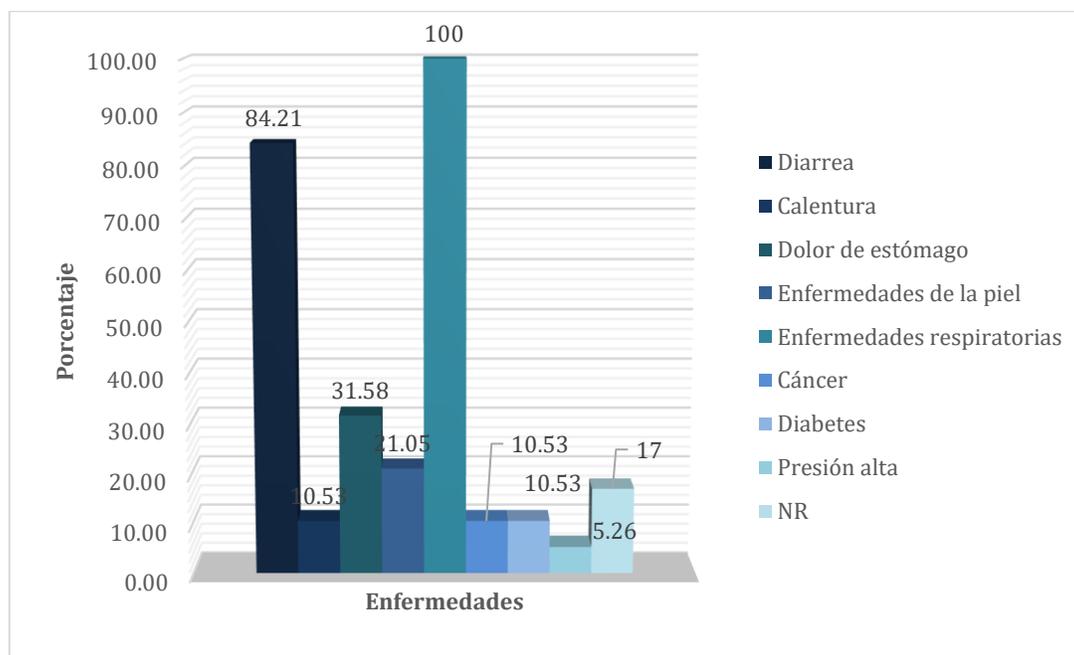
Los resultados de las encuestas demuestran que las enfermedades más frecuentes de los habitantes de la subcuenca son las enfermedades respiratorias (tos, gripe, asma, rinitis, entre otras), junto con padecimientos como la diarrea y el dolor de estómago. Otras en menor proporción y en lugares más específicos son el cáncer en Ochomogo y la diabetes en Taras, al igual que las enfermedades de la piel en Misión Norte y algunos casos aislados en Barquero, Loyola y La Joya, debido a la exposición del sol por faenas agrícolas. En poblados como La Joya, la población tiende a ser mayor y, por ende, son más frecuentes enfermedades como la presión alta, la diabetes y el cáncer (Figura 23).

A su vez, es necesario destacar que el 17% que no responde a esta pregunta son personas que declaran que no existe comunicación entre vecinos; por lo tanto, indican que desconocen los padecimientos de los demás habitantes del poblado.

Cabe señalar, la importancia que representa la pureza del recurso hídrico para la salud de los habitantes, especialmente en padecimientos digestivos como los anteriormente mencionados, así como una adecuada recolección de residuos y limpieza de calles que puede propiciar la aparición de organismos que afecten la salud de los pobladores.

Figura 23.

Enfermedades más frecuentes en las comunidades de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica



Nota. Elaboración propia.

Por otro lado, algunos poblados como Turbina, Misión Norte y Sur, Banderilla, Pénjamo, Rodeo y Barquero no cuentan con centros de salud cercanos como clínicas o Equipos Básicos de Atención Integral en Salud (Ebais), de modo que deben trasladarse hasta el centro del distrito correspondiente. Dado que algunos pobladores no cuentan con carro propio, deben optar por el transporte público para llegar a su destino, situación que agravaría su estado de salud, principalmente en una emergencia.

2.4 Educación

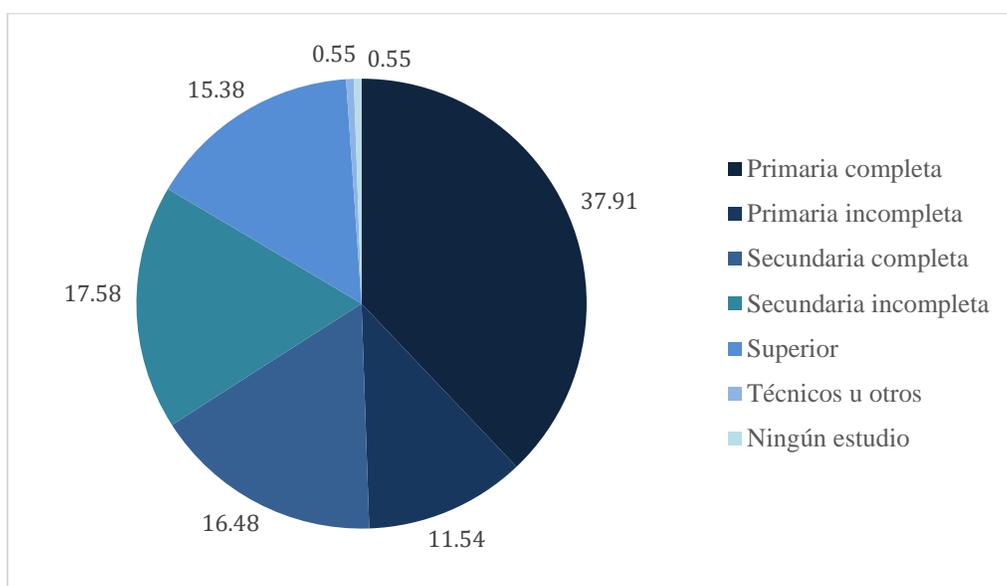
En cuanto al nivel educativo, y como se observa en la Figura 24, la mayor parte de los pobladores encuestados (37,91%) ha concluido la primaria, el 16,48% tiene secundaria completa. Este dato ayuda a comprender la situación de la subcuenca en temas de educación ambiental y del recurso hídrico, ya que según lo conversado con los habitantes se observa una carencia de conciencia ambiental y de participación en asuntos relacionados a la misma lo cual puede verse directamente relacionado con su nivel de educación y de conocimientos adquiridos en los entes

educativos. Al mismo tiempo, se observa que solo una pequeña parte de la población (15,38%) cuenta con estudios superiores, entre los que se destacan ingenieros, profesores, abogados y otros. Razón por la cual se cuenta con pocos o ningún estudio orientado a la mejoría de la subcuenca o a la productividad de las tierras agrícolas, por parte de los pobladores de la misma.

Al igual que en el caso de los centros de salud, algunos poblados como Turbina, Misión Norte, Banderilla, Rodeo y Barquero no disponen de centros educativos, por lo que sus habitantes deben desplazarse hasta el más cercano en el centro del distrito correspondiente lo que podría influir en la deserción de la educación.

Figura 24.

Nivel educativo alcanzado de los pobladores de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.



Nota. Elaboración propia.

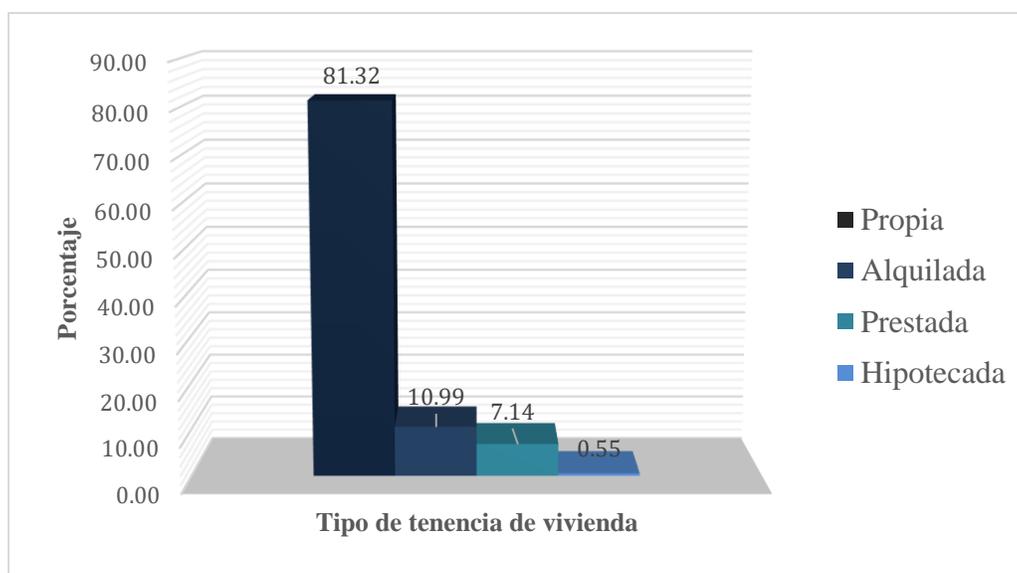
2.5 Vivienda

El 81,32% de la población encuestada posee vivienda propia, un 10,99% alquilada, el 7,14% viven en casas prestadas por algún familiar y solo un 0,55% cuenta con su vivienda hipotecada (Figura 25).

Con respecto al material de estas, del total, el 80% están construidas, en su mayor parte, con cemento o block. A su vez, el 12% están hechas de madera, un 3% de zinc, un 4% son prefabricadas y un 1% mixtas (con madera y cemento en cantidades similares). Con esta información se puede observar que al menos un 97% están construidas con materiales más resistentes a amenazas naturales como avalanchas, deslizamientos o fuertes precipitaciones lo que les confiere una mayor seguridad a los pobladores, los cuales pueden verse seriamente afectados. Así mismo, se identificó que el 3% de casas de hogar fabricadas con zinc como material mayoritario se encontraron en los distritos como Barquero, Pedregal y Azahar siendo este último mayormente frecuentado por nicaragüenses y/o personas de bajos recursos.

Figura 25.

Tipo de tenencia de vivienda de los pobladores de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.



Nota. Elaboración propia.

2.6 Uso del agua

De las personas encuestadas, el 93% afirma que solo utiliza el agua que llega a su propiedad para consumo propio y para labores cotidianas, a diferencia de un 6% que la utiliza también en algunos cultivos y un 1% para ganado, este último caso en Rodeo. La procedencia de este recurso es por medio de tuberías dentro de las viviendas, gestionada por Acueductos y Alcantarillados proveniente de las nacientes de ríos como Río Loro, Arriaz, La Misión. Sin embargo, entre los

encuestados existe discrepancia entre las informaciones con respecto a la fuente de este recurso y sobre la administración del recurso, lo que puede afectar en caso de ser necesario el reporte de averías o infracciones por parte de los ciudadanos.

Para las comunidades de Ochomogo, Loyola y Quircot, del distrito de San Nicolás de Cartago el agua es proveniente de la naciente del río Loro, ubicada en el Parque Ambiental Municipal con el mismo nombre (Municipalidad de Cartago, s.f.).

Con respecto a la calidad de este servicio, en la mayoría de los poblados es catalogado entre bueno a muy bueno; sin embargo, algunas personas que respondieron a la encuesta señalan algunas deficiencias. En Banderilla, por ejemplo, el agua escasea y los pobladores se quedan sin el recurso constantemente; en el poblado de Tejar, en algunos casos, el agua tiene una coloración marrón, lo que genera desconfianza sobre su pureza y, por lo tanto, se necesita de un purificador para su consumo.

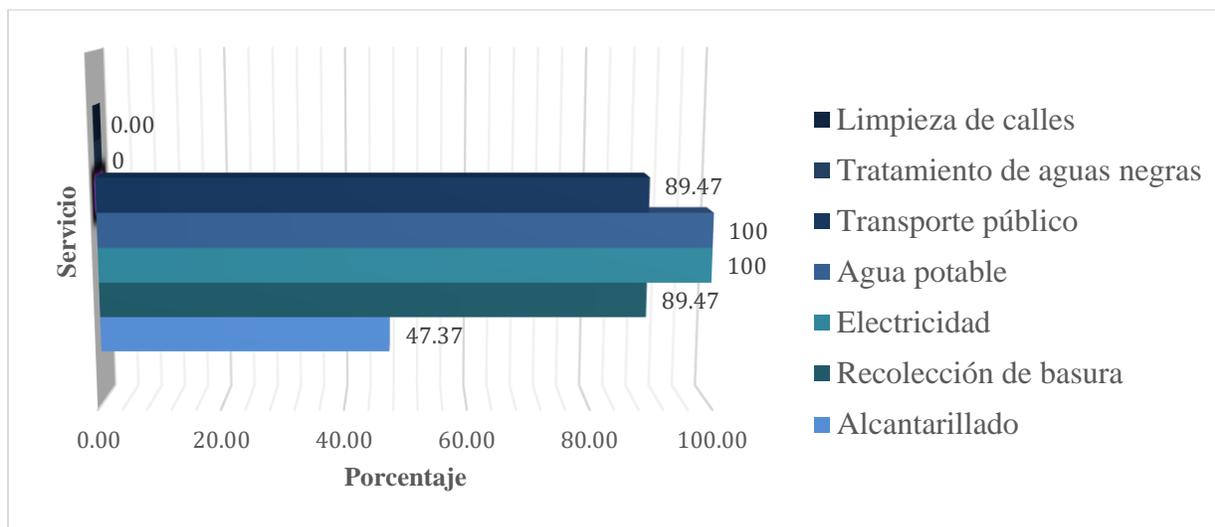
Asimismo, de acuerdo con el Plan Regulador de Cartago, una gran cantidad de viviendas de Tierra Blanca se abastecen de agua de río y, por tanto, se exponen a consumir aguas superficiales contaminadas lo que podría afectar su salud seriamente. Un ejemplo de esta situación se presenta en la Quebrada Sanatorio en Tierra Blanca que según Chin, Ruiz, Aguilar, Arias y Masis (2012, p. 554) estas aguas contienen altos niveles de nitratos y de residuos fecales y de plaguicidas, lo que impide su uso tanto para riego o para uso cotidiano.

2.7 Acceso a servicios básicos

La totalidad de la población encuestada dispone de agua potable y electricidad; sin embargo, los servicios de recolección de basura, transporte público y alcantarillado varían según localidades, mientras que el servicio de tratamiento de aguas negras y limpieza de calles no se presenta en ninguna de las comunidades encuestadas (Figura 26).

Figura 26.

Acceso a servicios en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.



Nota. Elaboración propia.

En cuanto a las comunidades de Ortiga y Misión Sur, estas no cuentan con el servicio de transporte público, por lo que dependen al 100% de un vehículo propio o deben caminar grandes distancias hasta el sitio más cercano en donde si se preste el servicio. Aunado a esto, los resultados de las encuestas evidencian que el principal problema de este servicio es la regularidad, ya que existen pocos horarios y muy distanciados entre sí.

Por otro lado, el servicio de recolección de basura no llega hasta las comunidades mencionadas anteriormente, debido a la complejidad de los caminos y a su lejanía. La falta de camiones de recolección de residuos no convencionales como leña, desechos de animales y materiales para el reciclaje supone el mayor descontento de los vecinos en la subcuenca, en lo que respecta este servicio. Igualmente, en la mayoría de los poblados la recolección de residuos ordinarios se realiza dos veces a la semana, de forma constante y regular; lo que propicia a que la contaminación por sólidos en las calles o ríos sea menor, sin embargo, algunos encuestados reclaman que los lixiviados de la basura en algunas ocasiones quedan en la carretera y producen malos olores. Por otro lado, en los distritos de Tierra Blanca y Llano Grande (en donde se presenta en mayor proporción la actividad agrícola) se realizan campañas de recolección de envases de agroquímicos, esto con el fin de evitar que los mismos sean depositados al río.

Las comunidades más alejadas o con mayores índices de pobreza como Barquero, Azahar, Pénjamo, Llano Grande, Banderilla, Misión Norte y Sur, Ortiga y Turbina no disponen del servicio

de alcantarillado municipal; por el contrario, cuentan con desagües pluviales que, según los encuestados, se inundan con los fuertes aguaceros o por taqueos a causa de la basura. Ante tal situación, los vecinos se ven obligados a limpiar ellos mismos estos desagües, ya que la municipalidad no realiza ninguna limpieza o mantenimiento. De igual modo, el crecimiento urbano y la falta de plantas de tratamiento de aguas negras colapsan este servicio y provoca que las aguas pluviales y residuales se mezclen y lleguen, sin ningún tratamiento previo, directamente a los ríos.

2.8 Características económicas y productivas

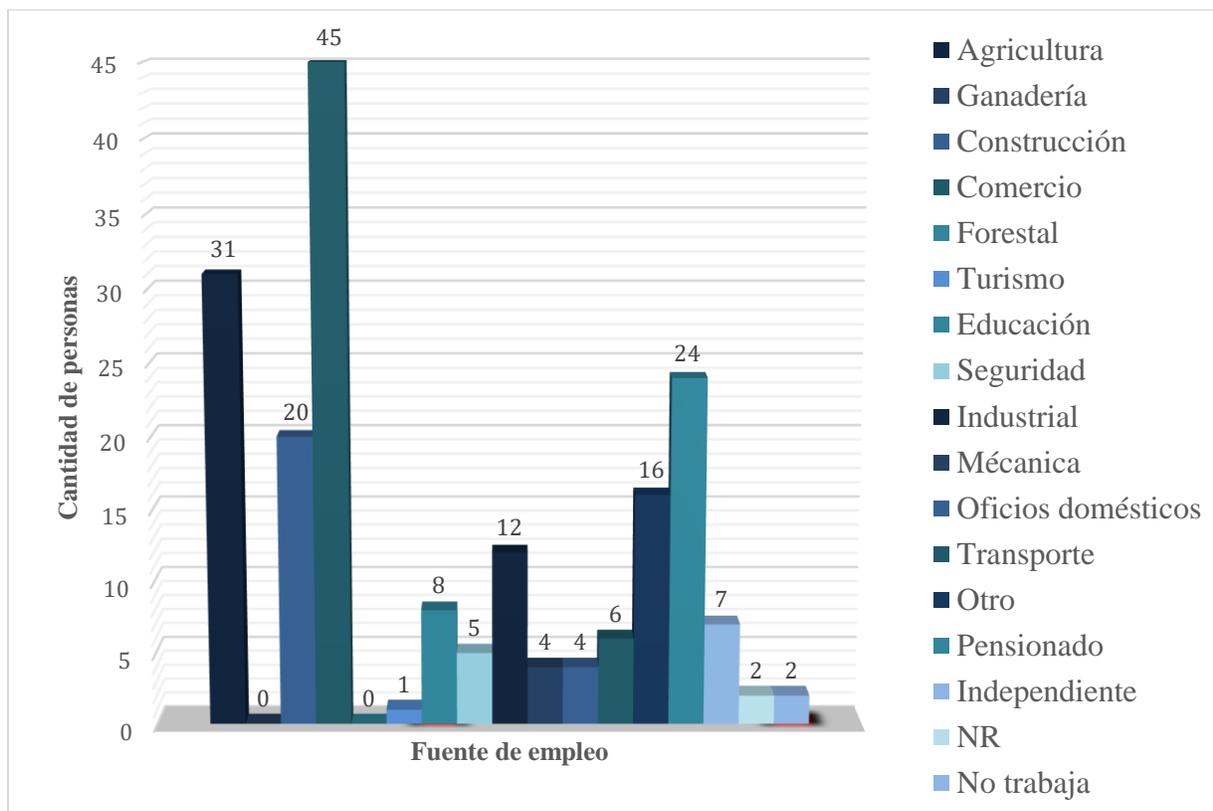
Sobre la cantidad de personas dentro de la fuerza de trabajo y las fuentes de empleo, se halló que la mayor parte de las personas se encuentran dentro de la misma. En poco más de la mitad de los hogares (53%), la cantidad de personas que trabaja es de entre una a dos; en el 30%, entre tres a cinco; y solo un 3% cuentan con más de cinco personas en la misma vivienda dentro de la fuerza de trabajo. A su vez, un 13% (24 hogares en total) corresponde a personas que tienen pensión y un 1% - el equivalente a dos familias - pertenece a viviendas en las que la cantidad de personas que genera ingresos es igual a cero.

Por su parte, el sector comercial es la actividad que más genera empleo en la subcuenca, tanto para los encuestados como para sus compañeros de hogar, con 45 personas en total. La agricultura, por otro lado, es fuente de trabajo para 31 personas de los distritos de Tierra Blanca y Llano Grande.

De igual forma, otros de los encuestados se desempeñan en oficios en sectores como la educación, seguridad, estilismo y costura; por otro lado, siete personas cuentan con negocios propios o trabajan por servicios profesionales ocasionales como limpieza de lotes y casas, tutorías, servicios de guardería, entre otros (Figura 27).

Figura 27.

Fuente de empleo de los pobladores de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.



Nota. Elaboración propia.

Asimismo, la principal actividad productiva en la subcuenca es la agrícola, con un 42%. De este porcentaje, las comunidades como Ortiga, Misión Norte y Sur, Banderilla, Pénjamo, Llano Grande, Rodeo, Azahar y Barquero, el sector primario representa la totalidad de la producción, ya que no cuenta con comercios o fábricas cercanas, más que con algunas pulperías o pequeños comercios locales. Mientras que las comunidades restantes presentan actividad agrícola, comercial e industrial en proporciones similares.

Los principales cultivos que se pueden encontrar son la papa, la cebolla, la zanahoria, la remolacha, las flores, las fresas y el frijol. La mayor parte de estos no emplean prácticas ambientales sostenibles como abonos orgánicos o protección de ecosistemas colindantes; sin embargo, en los distritos de Tierra Blanca y Llano Grande existen sistemas de riego dedicados específicamente a los agricultores - los llamados SUA -, que captan agua del río Reventado para los cultivos de las zonas, para así ahorrar agua. Además, el MAG se encarga de recolectar dos

veces al año los recipientes vacíos de pesticidas que utilizan los agricultores en los poblados de Banderilla, Pénjamo y Misión Norte y Sur.

Por otro lado, la actividad industrial abarca un 32% de la subcuenca, aquí destacan las fábricas de vidrio, hongos, frutas, papas fritas, zonas francas, entre otras. El porcentaje restante, un 26%, equivale a la actividad comercial: talleres, tiendas de ropa, restaurantes, supermercados y otros comercios similares.

Cabe destacar que en la mayoría de los poblados la actividad productiva es mixta, el comercio y la industria se desarrollan conjuntamente y no como una única actividad productiva, principalmente en las zonas más cercanas al centro de la capital: parte media a baja de la subcuenca; en donde, si bien es cierto que se encuentran algunos parches con cultivos, es una actividad que se practica a menor escala. Algunos ejemplos son las comunidades de Joya, Loyola, Ochomogo y Quircot, en donde existe actividad mixta; en cambio, en Lima, Taras, Tejar y Pedregal no hay agricultura; y en Turbina y Caracol, se desarrolla principalmente la actividad industrial.

2.9 Organización local

En el 63,16% de la subcuenca existe alguna Junta de Desarrollo Comunal que se encarga de temas de seguridad, limpieza de zonas verdes y calles, socialización entre vecinos y otras inquietudes propias de cada comunidad. De los encuestados, solo un 13,41% participa activamente en reuniones y actividades que realizan las Juntas.

Por otro lado, en las comunidades de Ortiga y Turbina (10,53% de la subcuenca) no hay organizaciones comunales o comités dedicados a su desarrollo. El 26,32% restante son las comunidades en las que no existe un dato exacto, pues no hubo consenso en las respuestas, prueba del desconocimiento y poca articulación de los encuestados. Gracias a este dato se puede observar la desarticulación y carencia de interés por parte de los vecinos en buscar el desarrollo de su comunidad y ser parte de esa evolución, ya que a pesar de que sí observan fallos y asuntos en qué mejorar no se integran a los grupos dedicados a esto ni se informan sobre el funcionamiento de las comunidades. Lo mismo sucede con respecto al tema de reciclaje o programas ambientales, pues la mayoría desconoce si se llevan a cabo o no, de ahí la fluctuación en los resultados.

Únicamente en Quircot se cuenta con un programa regular de recolección de residuos para reciclaje, esto sucede gracias a un vecino de la comunidad que una vez por semana recolecta los residuos que los demás separan para tal fin. Otras comunidades como Joya han intentado

implementar el reciclaje, pero al no disponer de suficientes camiones recolectores y por ser responsabilidad de cada hogar el manejo y traslado de los residuos al centro de acopio, no se ha podido extender: son pocas las familias que se involucran. Igualmente, la falta de incentivos por parte de la municipalidad desalienta a muchos vecinos y prefieren eliminar los residuos uniformemente.

No obstante, además de las organizaciones comunales, la CCCI-RH es responsable de la gestión integral del recurso hídrico de Cartago y promueve el aprovechamiento sostenible del recurso, mediante planes de manejo en los que intervienen el sector ambiental, social y económico. Municipalidad, campañas

3 Diagnóstico preliminar

Una vez analizadas las características biofísicas y socioeconómicas de la subcuenca, así como los resultados de las encuestas, se realizó el siguiente diagnóstico de su problemática (Tabla 19) y sus potencialidades (Tabla 20):

Tabla 19.

Matriz de la problemática presente en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2017)

Problemas	Causas	Consecuencias	Sitio del problema presente y posibles afectados
Económicos			
Gran cantidad de monocultivos, mayormente de papa, cebolla o zanahoria.	En la zona se tiende a cultivar esos productos por costumbre familiar.	Los productores deben competir por precio, por lo que sus ganancias bajan y, en muchos casos, no se recupera lo invertido.	Tierra Blanca y Llano Grande
Poco aprovechamiento del espacio productivo.	Se dedican mayormente a monocultivos.	Menores ganancias que las que podrían obtener si se le otorga a la tierra una mayor productividad y un mejor uso del espacio disponible.	Tierra Blanca y Llano Grande
Los productores venden sus productos a intermediarios.	-Desconocimiento de un mercado adecuado. -El público no paga lo que valen los productos.	Menores ganancias al depender de los intermediarios y vender a lo que ellos solicitan.	Tierra Blanca y Llano Grande
Ambientales			
Laderas inestables	Combinación de pendientes elevadas, precipitaciones y la	-Deslizamientos. -Pérdida de cultivos y bienes inmuebles.	-Zonas cercanas a taludes

	estructura de suelos andisoles.		-Poblado de Banderilla, Sabanilla.
Erosión del suelo	-Pendientes elevadas. -Fuertes precipitaciones. -Malas prácticas de manejo de suelos.	-Disminuye la productividad del suelo. -Desestabilización de taludes.	Llano Grande, Tierra Blanca, poblado de Turbina.
Avenidas de barro	-Sedimentación y desbordamiento de ríos. -Fuertes lluvias aunado a pendientes pronunciadas.	-Destrucción de viviendas, cultivos y cobertura vegetal. -Cierre de calles.	Parte alta de la subcuenca.
Contaminación en los márgenes de los ríos	Botaderos a cielo abierto. Cultivos cercanos a los márgenes de los ríos. Depósito de residuos ordinarios por transeúntes.	-Malos olores. -Pérdida de la belleza escénica. -Contaminación hídrica. -Pérdida de hábitats naturales y fauna. -Acumulo de basura que incidiría en inundaciones o crecidas de ríos.	Turbina, Tierra Blanca Tierra Blanca, Llano Grande Totalidad de la subcuenca
Sociales			
Pobreza	-Desempleo.	-Delincuencia. -Escasez de recursos.	Carmen, Tierra Blanca, Llano Grande

		-Interrupción de estudios por necesidad de trabajar. -Drogadicción.	
		-Inseguridad social. -Pérdidas materiales y económicas. -Perturbación o amenaza de la paz y tranquilidad de los ciudadanos. -Muertes o lesiones. -Destrucción de bienes comunes (parques, zonas verdes, etc.).	Comunidades cercanas a los Diques
Delincuencia / Vandalismo	-Pobreza. -Necesidad extrema.		
		-Malos olores. -Ruido excesivo. -Desechos industriales en zonas cercanas a las comunidades. -Pérdida de belleza escénica.	Taras, Banderilla, Loyola
Expansión y crecimiento urbano/industrial en zonas rurales	-Búsqueda de nuevo público meta. -Zonas urbanas aglomeradas.		
		-Aglomeración de residuos que conlleva a posibles inundaciones. -Presencia de roedores que podrían producir enfermedades. -Pérdida de belleza escénica. -Malos olores.	Totalidad de la subcuenca, pero mayoritariamente en Quircot, Joya, Pedregal
Contaminación y suciedad en las calles	-Falta de alcantarillas. -Falta del servicio municipal de limpieza de calles. -Desinterés por partes de algunos ciudadanos en mantener limpia su comunidad.		

Deficiente calidad del agua	<ul style="list-style-type: none"> -Poco abastecimiento. -Coloración y pureza del recurso. 	<ul style="list-style-type: none"> -Descontento de los ciudadanos. -Necesidad de obtener el recurso por otros medios comerciales. - Necesidad de obtener purificadores de agua. -Posibles enfermedades por consumir un recurso sucio o contaminado. 	Tejar, Banderilla
Organización social débil	<ul style="list-style-type: none"> -Desinterés en el tema de participación social-local. -Desconocimiento sobre entes organizacionales. -Falta de tiempo o medios. 	<ul style="list-style-type: none"> -Ausencia de proyectos o comités de seguridad, limpieza u otros. -Falta de comunicación entre vecinos. -Descuido del estado de los bienes comunes como parques, calles, fachada de las viviendas. -Contaminación de calles y ríos. 	Ortiga, Turbina, Banderilla, Barquero, Pénjamo, Tejar, Azahar

Nota: Elaboración propia.

Tabla 20.

Matriz de potencialidades de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2017)

Potencialidades	Limitantes	Zonas de ubicación
La clase de suelo es adecuada para la agricultura, debido a su buena estructura y desarrollo. Al ser suelos volcánicos presentan nutrientes y minerales disponibles para los cultivos.	La ganadería, ya que una característica de esta clase de suelo es la facilidad de compactación por el pisoteo animal.	Parte alta a media de la subcuenca.
Existen incentivos e iniciativas por parte del MAG, que promueven la agricultura y productividad de tierras, al otorgar árboles frutales y maderables.	Desinterés por parte de los beneficiados en darle un manejo adecuado a los individuos.	Distrito de Tierra Blanca.
Existe disposición de los pobladores en adoptar estrategias para el manejo de los recursos que busquen la mejoría de la subcuenca, así como su productividad.	Desinterés por cuidar y manejar las obras o estrategias propuestas.	Totalidad de la subcuenca.
Presencia de un sector comercial fuerte, lo que genera empleos para los habitantes, así como disponibilidad de bienes y servicios.	-Lejanía de viviendas a la zona central del cantón o distrito. -Desinterés por laborar en dicho sector. -Falta de liquidez al adquirir bienes y servicios brindados.	Parte media-baja de la subcuenca: Taras, Lima, Loyola, Joya, Tejar, Quircot, Ochomogo.

Nota: Elaboración propia.

Fase 2: Determinación de las áreas prioritarias de la subcuenca del río Reventado

Como se puede observar en la Tabla 21, el mayor porcentaje total del área es de baja prioridad (30,15%), distribuida a lo largo de la subcuenca, y se concentra, en su mayoría, en la parte alta cercana al sector Prusia y en la parte media a baja (Figura 28). Estas áreas presentan las siguientes características: presencia de bosque como cobertura vegetal en la parte alta y pastos, cultivos y zona urbana al descender, al igual que una baja a moderada erosión, un uso adecuado del suelo y pendientes desde 0 al 75 %.

Las zonas con prioridad alta representan el 20,19% del área total, las cuales se ubican mayormente en la parte media en pequeños parches y en la parte baja de la subcuenca. Estas áreas se caracterizan por tener una erosión muy alta, cultivos y zonas urbano-industrial como uso actual y pendientes de entre 0 a 75 %, factores poco adecuados para el objetivo de conservación.

Por su parte, las áreas con una prioridad moderada representan el 17,18%, distribuidas a lo largo de la subcuenca en terrenos con erosiones bajas a altas y con un uso adecuado de los suelos con pendientes desde 0 a 75%. Las zonas cercanas al Sector Prusia, que presentan en gran parte esta categoría de priorización, han sido afectadas por deslizamientos generados por la combinación de fuertes precipitaciones y pendientes elevadas. Situación que debe ser atendida y tomada en cuenta para garantizar la seguridad de los ciudadanos, a pesar de su moderada prioridad.

A su vez, un 16,94% de la subcuenca tiene una prioridad muy alta en la parte media, en parte de los distritos de Llano Grande y Occidental. Los pisos de tierra con muy alta erosión (en su mayoría cultivos) y con pendientes desde plano a fuertemente escarpado tienen esta categoría de priorización. Estos suelos pueden generar deslaves y afectar la calidad del recurso hídrico, así como amenazar la seguridad de los habitantes, dado que están erosionados y tiene pendientes altas; de ahí, la urgencia de su intervención.

Por otro lado, en áreas como Los Diques, que tienen una muy baja prioridad a intervenir, representan el 15,54% de la subcuenca. Esta zona tiene características favorables como pendientes de entre 0 a 15 %, baja erosión, suelos con un uso adecuado en presencia de bosques, pastos y zona urbana, pese a ser vulnerable a amenazas naturales. Sin embargo, esta área debe considerarse, debido a la ubicación de las viviendas, ya que pueden verse afectadas por deslizamientos o crecidas del río.

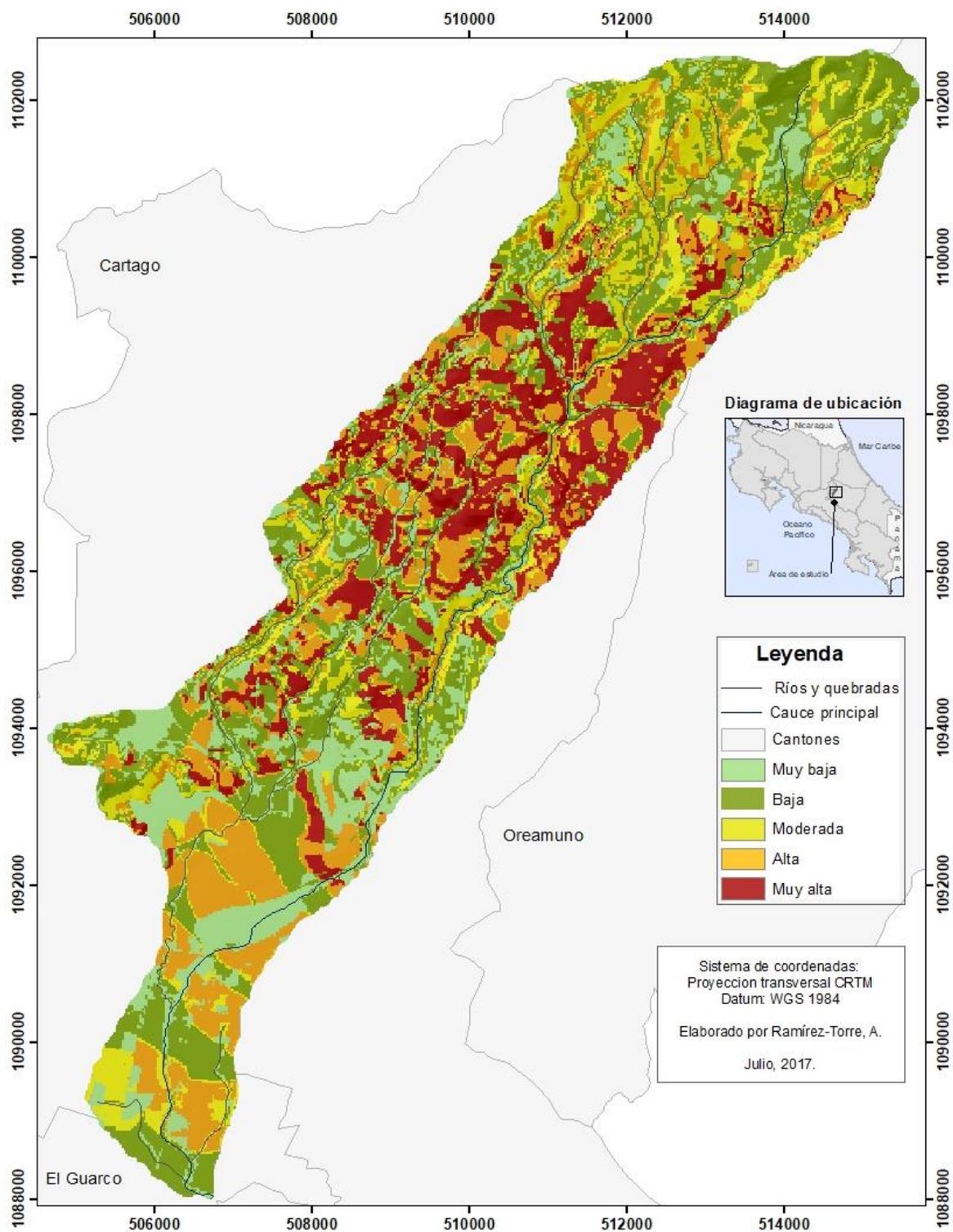
Tabla 21.*Priorización de áreas de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2020)*

Priorización	Área que ocupa (km²)	Porcentaje de terreno
Muy baja	7,15	15,54
Baja	13,87	30,15
Moderada	7,91	17,18
Alta	9,29	20,19
Muy alta	7,79	16,94
TOTAL	46,02	100,00

Nota: Elaboración propia.

Figura 28.

Mapa de priorización de áreas en la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica.



Nota. Elaboración propia.

Fase 3: Propuesta de lineamientos de manejo en las áreas prioritarias de la subcuenca del río Reventado

- Sector 1

Pese a las favorables características de estas zonas, pues sus categorías de priorización van desde muy baja a muy alta en algunos pequeños parches, existen dos factores que amenazan la conservación de los suelos y el agua: las elevadas pendientes y las fuertes precipitaciones. Estos eventos han ocasionado deslaves y movimientos de tierra en el Sector Prusia, situación que representa el eje central para la propuesta de manejo. Por otra parte, la presencia de zonas boscosas y áreas protegidas como las laderas del volcán Irazú y el Sector Prusia, le otorgan gran importancia a este sitio.

- Sector 2

Aquí se encuentra la mayor parte de tierras de prioridad muy alta, debido a los suelos seriamente erosionados en los poblados de Llano Grande, Barquero, Rodeo, Misión Norte y Sur, entre otros. Estas zonas se caracterizan por la presencia de cultivos y actividades primarias; por consiguiente, los lineamientos de manejo para este sector están orientados a la mejora del uso de suelos. Además, en la parte alta del sector se encuentra áreas con prioridad desde baja a alta, similar al sector 1.

- Sector 3

Este sector abarca los poblados de Ochomogo, Quircot y Turbina. Presenta las cinco categorías de priorización distribuidas en toda el área delimitada. Por ejemplo, las clases alta y muy alta se localizan principalmente en áreas con cultivos agrícolas y con pastos con una erosión muy alta en pendientes onduladas (15 – 30%).

En la parte baja de la subcuenca correspondiente a este sector, se encuentra el grueso de la zona urbana e industrial (pendientes muy bajas). En esta área se ubican mayormente zonas con prioridad alta, debido a la erosión de suelos, al igual que algunos parches con prioridad desde muy baja a moderada.

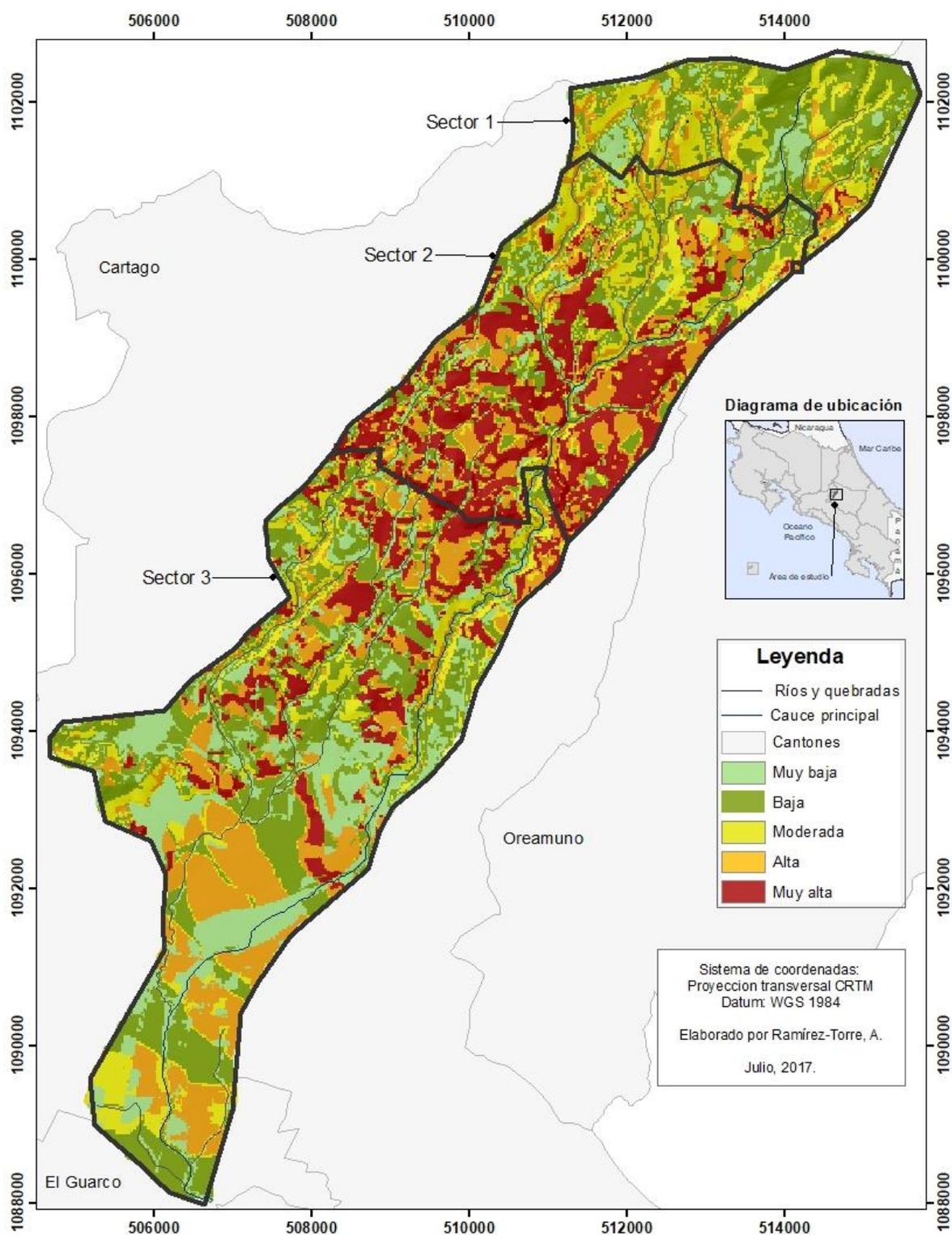
La ubicación de las viviendas en la zona de Los Diques representa una amenaza latente, pese a que este lugar tiene una prioridad muy baja, pues existe siempre la posibilidad de deslizamientos y avalanchas. Esta zona, por lo tanto, ha sido ampliamente estudiada e intervenida por parte de la municipalidad y otras organizaciones, mediante algunos trabajos en el lugar. Un

ejemplo de esto es la construcción del Parque Metropolitano, en aras de mejorar la calidad de vida de las personas. Este ambicioso proyecto consiste en anfiteatros, instalaciones deportivas, ciclovías, parques infantiles y un parque de patinaje; además de mejoras en las áreas verdes ya existentes, así como un programa de agricultura urbana (Municipalidad de Cartago, 2020), por lo que se recomienda el seguimiento de este plan de manejo específico para la zona.

En la Tabla 22 se presentan los lineamientos de conservación para cada sector de la subcuenca del río Reventado, ver Figura 29.

Figura 29.

Sectores a intervenir según áreas prioritarias de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2020).



Nota. Elaboración propia.

Tabla 22.*Lineamientos de conservación para la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2020)*

Sector 1 de la subcuenca	Sector 2 de la subcuenca	Sector 3 de la subcuenca
Protección de áreas de conservación y seguimiento a los planes de manejo específicos (volcán Irazú y Sector Prusia).	Capacitación y asistencia técnica sobre prácticas en pro de la conservación del ambiente desde el sector agrícola.	Capacitación y asistencia técnica sobre prácticas en pro de la conservación del ambiente desde el sector agrícola y ganadero.
Elaboración de planes de emergencia locales para la prevención de desastres naturales como deslizamientos.	Adopción de buenas prácticas de desecho de sólidos o de insumos agrícolas por medio de la recolección municipal o de los centros de acopio, para los materiales que así lo requieran.	Cercas vivas para delimitar fincas, apartos o cultivos, para la mejora de los suelos y producción de alimento para los animales.
Ocupación del terreno según la capacidad de uso de la tierra, evitando su sobreuso.	Adopción de uso de agroquímicos en zonas de cultivos.	Diversificación de cultivos, implementación de SAF que incluyan especies forestales, frutales, leguminosas y cultivos agrícolas para incrementar la productividad de tierras y nutrimentos a las mismas.
Cercas vivas para delimitar fincas o cultivos, para la mejora de los suelos.	Ocupación del terreno según la capacidad de uso de la tierra, evitando su sobre uso.	Rotación de cultivos para controlar la erosión de las tierras y su escorrentía.

Cortinas rompeviento para disminuir la erosión del suelo por medio del viento.	Implementación de abonos verdes a través del cultivo de frijol, para mejorar las condiciones físicas del suelo y protegerlo del contacto directo con la lluvia.	Cortinas rompeviento para disminuir la erosión del suelo por medio del viento y proteger la calidad de los pastos.
Acequias de ladera para disminuir la escorrentía del agua y con esto la erosión del suelo.	Cercas vivas para delimitar fincas o cultivos y para la mejora de los suelos.	Apartos de pastoreo en rotación para propiciar la regeneración de suelos y evitar su erosión.
Barreras vivas para reducir la velocidad de escorrentía y proteger al suelo de la erosión.	Diversificación de cultivos, implementación de SAF que incluyan especies forestales, frutales, leguminosas y cultivos agrícolas para incrementar la productividad de tierras y nutrimentos.	Adopción de sistemas de riego eficiente, con el fin de evitar el desperdicio del agua y asegurar una mayor disponibilidad.
Construcción de pircas o barreras muertas para detener la pérdida del suelo y evitar que se deslice pendiente abajo.	Rotación de cultivos para controlar la erosión de las tierras y su escorrentía.	Conformar organizaciones locales participativas que velen por la protección y el cuidado de las áreas verdes y ríos.
Control de cárcavas por medio de diques de piedras para disminuir la escorrentía.	Cortinas rompeviento para disminuir la erosión del suelo por medio del viento.	Creación de talleres de educación ambiental y concientización sobre temas como el uso eficiente del recurso hídrico, contaminación de ríos, entre otros.

Construcción de terrazas para disminuir la velocidad y volumen de escorrentía.	Siembras en contorno en terrenos con pendientes moderadas para así disminuir la escorrentía.	Adopción de buenas prácticas de desecho de sólidos por medio de la recolección municipal o de los centros de acopio, para los materiales que así lo requieran.
	Cultivo en fajas de contorno para disminuir la velocidad de escorrentía.	Identificar y delimitar las zonas de influencia de los ríos, para su protección, en temas de depósito de desechos y de construcción de viviendas.
	Adopción de sistemas de riego eficiente, con el fin de evitar el desperdicio del agua y asegurar su mayor disponibilidad.	Reforestación en zonas verdes con especies nativas.
	Acequias de ladera para disminuir la escorrentía del agua y con esto la erosión del suelo.	Reforestación en márgenes de ríos con especies nativas para proteger el recurso hídrico.
	Barreras vivas para reducir la velocidad de escorrentía y proteger al suelo de la erosión.	
	Construcción de pircas o barreras muertas para detener la pérdida del suelo	

y evitar que se deslice
pendiente abajo.

Construcción de terrazas
para disminuir la velocidad
y volumen de escorrentía.

Nota: Elaboración propia.

A continuación, se detallan los lineamientos de conservación mencionadas en la Tabla 22:

- Abono verde

El abono verde es una práctica agrícola que consiste en incorporar al suelo materia vegetal viva (leguminosas o gramíneas) para conservar o recuperar sus propiedades físicas, químicas y biológicas, dado que se protege la capa del suelo contra el contacto de las lluvias y se promueve la aireación y el reciclaje de nutrientes (FAO, 2000, p. 99).

Algunas de las técnicas realizadas para los abonos verdes es el intercalado con otros cultivos productivos por medio de hileras o el cultivo de estas especies en áreas de descanso. De acuerdo con las exigencias de las especies mencionadas y las características de la subcuenca en estudio, se recomienda el frijol, el maíz y el trigo para llevar a cabo esta práctica.

- Rotación de cultivos

La rotación de cultivos es la práctica de alternar sucesivamente diferentes cultivos en una misma área de siembra, con la finalidad de controlar la erosión y escorrentía, las malezas y las plagas, así como mantener la fertilidad y productividad de los suelos. Para incrementar los beneficios de esta práctica, distintos autores recomiendan incluir leguminosas a los cultivos, de manera que la cantidad de nitrógeno en el suelo aumente (Faustino, 1993, p. 12; Guzmán, 2012, p.03).

El Instituto Nacional Tecnológico (INATEC, 2016, p. 60) indica los tiempos recomendados para alternar los cultivos en una misma área de siembra, los cuales, como se dijo anteriormente, pueden ser intercalados con especies leguminosas para obtener mejores resultados (Tabla 23). Además, es importante recalcar que para lograr los objetivos de esta práctica no se deben sembrar cultivos de la misma familia al siguiente año (Tabla 24) (ATTRA, 2015, p. 02).

Tabla 23.
Intervalos de tiempo para cultivos en una misma área

Intervalo de tiempo de descanso	Cultivo
Se puede sembrar el mismo cultivo	Arroz, ayote, cebolla, zanahoria, camote
1 año de descanso	Maíz, repollo, lechuga, perejil
Más de 2 años	Pepino, papa, frijol
Más de 3 a 4 años de descanso	Chile
Más de 5 a 6 años de descanso	Tomate, sandía, melón

Fuente. INATEC (2016, p. 52)

Tabla 24.
Familias de Plantas Comunes para Cultivos Agrícolas

Familia de plantas	Cultivos
Apiáceas	Zanahoria, apio, cilantro
Asteráceas	Lechuga, girasoles
Chenopodiáceas	Remolacha, espinaca
Crucíferas	Repollo, brócoli
Cucurbitáceas	Pepino, ayote, sandía, melón, chayote
Euforbiáceas	Yuca
Gramíneas	Maíz, trigo, avena, arroz
Leguminosas	Frijol, soya
Liliáceas	Cebolla, cebollín, ajo
Solanáceas	Tomate, chile, berenjena, papa, fresa

Fuente. ATTRA (2015, p. 02).

- Siembra en contorno

Consiste en plantar en hileras transversales a la pendiente, en función a las curvas de nivel (Guzmán, 2012, p. 03), es decir, a una misma altura la totalidad de puntos de esa hilera. Esta práctica tiene como fin que el agua disminuya su velocidad al bajar por la pendiente, gracias a la presencia de plantas que cumplen el papel de obstáculo directo (Guzmán, 2012, p. 02).

Para llevar a cabo esta práctica es necesario demarcar las curvas de nivel. Una alternativa sencilla y económica es por medio del nivel tipo A (Figura 30), para la que se necesitan tres reglas de madera: dos de ellas del mismo tamaño para formar las patas de la estructura, colocadas a dos metros de distancia cada una (de punta a punta inferior); y la tercera de menor tamaño, a un metro de altura de las patas, formando la letra A. En la unión de las dos reglas es necesario amarrar una cuerda unida a una piedra y marcar el centro en la regla que las une. De esta forma, cuando el nivel esté sobre el terreno que se desea demarcar, la cuerda y la piedra indicarán cuándo se encuentran las patas de la herramienta a un mismo nivel sobre la pendiente (INATEC, 2016, p. 42). La distancia entre cada curva de nivel dependerá de la pendiente (Tabla 25).

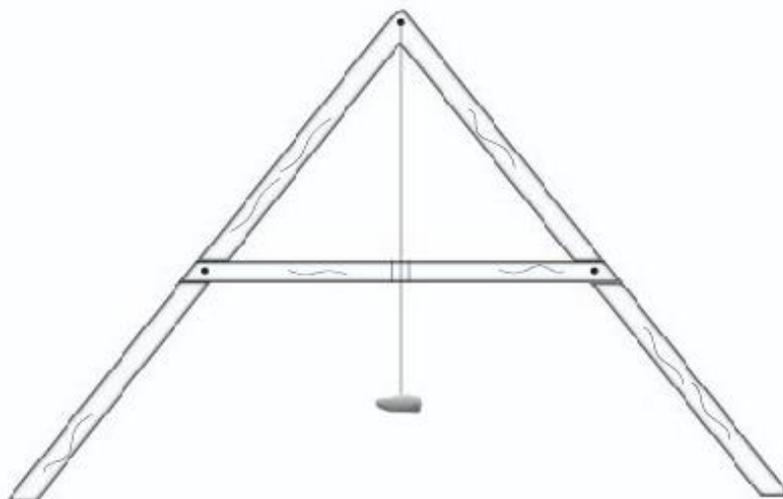
Tabla 25.

Distancias entre curvas de nivel según el porcentaje de la pendiente

Porcentaje de pendiente del terreno	Distancia entre curvas a nivel (metros)
2	30
5	28
8	24
10	20
14	18
16	16
20	14
25	12
30	10
40	6
45	4

Fuente. CONFRAS (2017, p. 11).

Figura 30.
Nivel tipo A.



Nota. Elaboración propia.

A partir de la demarcación de las curvas de nivel, se podrán implementar otras estrategias de conservación como las posteriormente mencionadas. Para esto es importante conocer la distancia entre cada una según el porcentaje de pendiente (Tabla 26).

Tabla 26.
Distancia entre obras de conservación de suelo según el porcentaje de la pendiente

Obras de conservación de suelo según la pendiente	Pendiente suave hasta 15%	Pendiente moderada 15 – 30%	Pendiente fuerte 30 – 50%
Barreras vivas	15 – 30 metros	10 – 15 metros	4 – 10 metros
Barreras muertas	10 – 20 metros	6 – 10 metros	4 – 6 metros
Acequias	10 – 20 metros	8 – 10 metros	6 – 8 metros
Diques de 1 metro	4 - 12 metros	2 – 4 metros	1.3 – 2 metros

Fuente. Proyecto Red SICTA (s.f., p. 02).

- Cultivo en fajas en contorno

Según Aparicio (1954), esta práctica consiste en dividir el terreno en fajas sembradas alternando distintos cultivos como pastos, gramíneas y cultivos agrícolas, para disminuir la velocidad de escorrentía y arrastre de partículas de suelo.

Este tipo de cultivo es ampliamente recomendable en suelos con pendientes menores al 20% y debe ser complementado por otras prácticas de conservación como la rotación de cultivos. Para su diseño, deben demarcarse, en primer lugar, las curvas de nivel, dos de ellas serán los límites inferior y superior de cada faja; en segundo lugar, se debe arar la zona paralelamente a las curvas de nivel para formar los surcos para los cultivos (Aparicio, 1954). El ancho de cada faja dependerá del porcentaje de pendiente (Tabla 27).

Tabla 27.

Anchura de las fajas según porcentaje de pendiente

Pendiente (%)	Anchura de la faja (metros)
5	50
10	30
15	23
20	20

Fuente. Bouwman y Langdon (1984, p. 04).

- Acequias de ladera

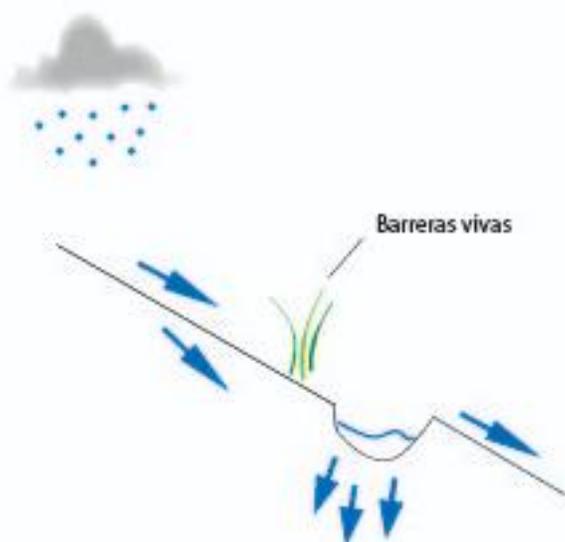
Las acequias de ladera son canales construidos transversalmente a la pendiente, retienen el agua de escorrentía superficial y disminuyen su velocidad erosiva al infiltrarse en el suelo, evitando la pérdida de este (Proyecto Red SICTA, s.f., p. 06 y MAG, 1988, p. 02). Según la FAO y el MAG (1989, p. 86), estas estructuras son aptas en pendientes del 10 al 50% y son más apropiadas que las terrazas en suelos arenosos para cultivo de hortalizas.

Para su construcción, se deben marcar las curvas de nivel y con ayuda de un arado realizar al menos cuatro pasadas (se puede utilizar tracción animal de bueyes o caballos para disminuir los costos y el tiempo). Después, la tierra extraída se deposita en la parte baja de la acequia y, luego, se construyen los taludes superiores en un ángulo de 75° (Proyecto Red SICTA, s.f., p. 06). La distancia entre cada acequia será con respecto a la pendiente (Tabla 26).

Por otro lado, la FAO y el MAG (1989, p. 86) recomiendan el establecimiento de barreras vivas a lo largo de las acequias, de entre 30 a 50 cm del borde superior del talud (Figura 31).

Figura 31.

Acequias de laderas.



Nota. Elaboración propia.

- Barreras vivas

Estas son hileras de plantas sembradas en las curvas de nivel (Figura 30). Su finalidad es reducir la velocidad de escorrentía, al dividir la vertiente en pendientes más cortas; al igual que disminuir la erosión del suelo a causa del viento y protegerlo de la exposición directa de las precipitaciones (Proyecto Red SICTA, s.f., p. 03). De acuerdo con el INATEC (2016, p. 53), algunas plantas recomendadas para esta práctica son zacate de limón, valeriana o vetiver, King grass, caña de azúcar, flores, leucaena, madero negro, entre otros.

Para el establecimiento de la obra, se deben trazar las curvas de nivel y marcar surcos para el cultivo de las plantas, a unos 30 cm arriba del borde superior de la acequia, combinación efectiva para el control de la erosión del suelo (Figura 31). La distancia entre las barreras dependerá de la pendiente (Tabla 26) (Proyecto Red SICTA, s.f., p. 03).

- Pircas o barreras muertas

Según la FAO y UNEA (2011, p. 23), las pircas o barreras muertas son muros de rocas que detienen la pérdida de suelo y lo retienen en la parte superior de los muros, para evitar que se deslice pendiente abajo.

Para su construcción, se debe excavar una zanja de 50 cm de ancho y de entre 15 y 20 cm de profundidad en las curvas de nivel, para colocar en forma piramidal las piedras más grandes y planas. La distancia entre las barreras depende de la pendiente (Tabla 26). Para una mayor efectividad, se puede combinar con barreras vivas, al borde superior del muro de piedra. Villanueva, Ibrahim, Casasola y Arguedas (2005, p. 10) recomiendan estacas con una longitud de entre 2 a 2.5 m y un grosor de entre 5 y 10 cm, y plantarlas a una profundidad aproximada de 35 cm a 1 o 2 metros de distancia; después de entre 3 a 6 meses, se prende el alambre de púas con grapas. Al principio el alambre se debe amarrar con alguna cuerda para, de esta forma, no dañar las estacas recién plantadas.

- Terrazas

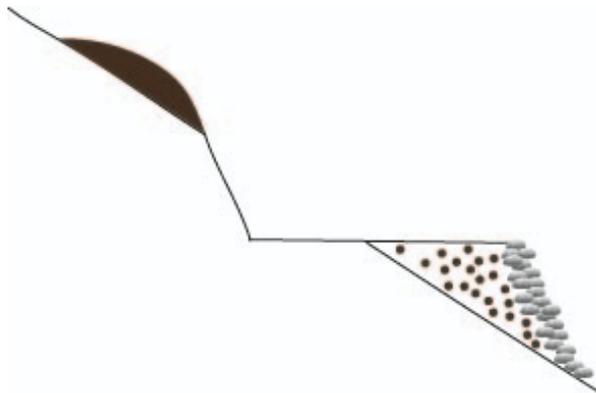
Las terrazas sirven como canales de desviación del recurso hídrico y tienen un corte transversal ancho y poco profundo, con la finalidad de permitir la siembra de cultivos (Guzmán, 2012, p. 03). Pizarro et al. (2003, p. 01) las definen como escalones anchos de forma horizontal sobre la pendiente (Figura 32).

Los principales objetivos del terraceo son la disminución de la velocidad y el volumen de escorrentía pendiente abajo, la reducción de la pérdida del suelo y cultivos, el aumento de la infiltración de agua en el suelo y la mejoría de la topografía, lo que permite cultivar en zonas de pendientes (FAO, 2000, p. 122). De acuerdo con IAPAR (1984), en FAO (2000, p. 122), el terraceo reduce a la mitad las pérdidas de suelo por erosión, sin importar cuál sea el cultivo. Sin embargo, su eficiencia depende de su uso junto con otras prácticas de conservación como la siembra en contorno, la plantación en fajas o la cobertura del suelo. Ramos (2016, p. 06) aclara que esta práctica debe emplearse únicamente cuando no se ha podido controlar la erosión del suelo con otras prácticas más simples, debido a su alto costo de inversión.

El primer paso para construir las terrazas es la demarcación con estacas de las terrazas en el terreno con respecto a las curvas de nivel; para cultivos, el ancho recomendado es de 2.5 m a 6 m. Seguidamente, se extrae la tierra y se deposita en la parte baja del área que será la terraza (hasta llegar a la siguiente estaca). Por último, se le otorga a esa plataforma una pendiente al revés de 5

a 10° para la captación del agua (INATEC, 2016, p. 49). Rufino (1989) recomienda las terrazas para terrenos con pendientes de entre 4 y 50% (FAO, 2000, p. 122).

Figura 32.
Terrazas.



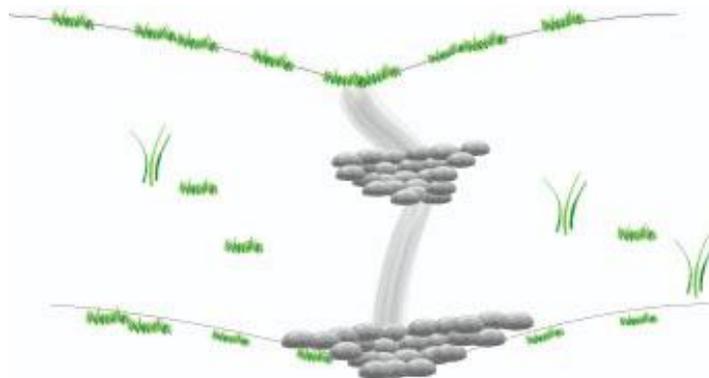
Nota. Elaboración propia.

- Diques de piedras

Estos son muros de piedra en forma de media luna colocadas sobre las curvas de nivel para retener y disminuir la escorrentía del agua y evitar el arrastre del suelo, en las zonas con cárcavas (Proyecto Red SICTA, s.f., p. 10) (Figura 33).

Para su construcción es necesario excavar a los lados de la cárcava y colocar las piedras u otros materiales (madera, sacos de arena o llantas) de forma transversal al ancho de la cárcava con unos 30 centímetros de profundidad y 1 m de altura (INATEC, 2016, p. 48). La distancia entre diques dependerá de la pendiente (Tabla 26).

Figura 33.
Diques de piedra.



Nota. Elaboración propia.

- **Sistemas agroforestales (SAF)**

Los sistemas agroforestales son una forma de uso de la tierra, en donde interactúan especies leñosas como árboles y arbustos, cultivos agrícolas o animales, con el fin de diversificar la producción, aumentar el porcentaje de materia orgánica en el suelo, fijar nitrógeno y nutrientes y, así, mejorar la erosión del suelo (López, s.f., p. 02).

De acuerdo con López (2010, p. 07), los sistemas agroforestales (Figura 33) se clasifican en:

1. Sistemas silvoagrícolas o SAF: asociación de especies leñosas y cultivos agrícolas.
2. Sistemas silvopastoriles: asociación de especies leñosas y pastos (ganadería).
3. Sistemas agrosilvopastoriles: asociación de especies leñosas, cultivos agrícolas y pastos (ganadería).

Las especies recomendadas para estos arreglos se mencionaron anteriormente en las distintas prácticas, según el uso de suelo de los distintos sectores. Por otro lado, algunas asociaciones de cultivos recomendadas por Sauca y Urabayen (2005, p. 10) son las siguientes: puerro o cebolla y zanahoria, remolacha y cebolla, zanahoria y tomate, papa y berenjena, zanahoria y lechuga, fresas y mostaza.

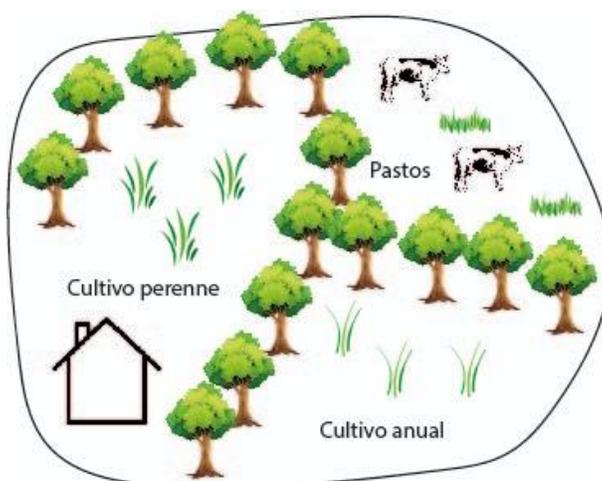
- **Cercas vivas**

Budowski y Russo (1993, p. 65) definen las cercas vivas como filas de árboles o arbustos unidos por medio de alambre de púas, que sirven como límite para separar y proteger fincas, cultivos, pastos y diferentes tipos de huertos. Algunos de sus beneficios son los siguientes: mejoran

los suelos al fijar nitrógeno (según la especie), sirven como corta fuegos, reducen la presión sobre los bosques, producen madera, forraje y frutos; sirven como alimento para el ganado, al mismo tiempo que les produce sombra; dividen los distintos usos de la tierra (Figura 34); tienen larga duración y menor costo que una cerca muerta (13%) (Villanueva et al., 2005, p. 11). Algunas de las especies recomendadas para las cercas vivas son el poró y el madero negro.

Figura 34.

Finca con cercas vivas y SAF.



Nota. Elaboración propia.

- Cortinas rompevientos

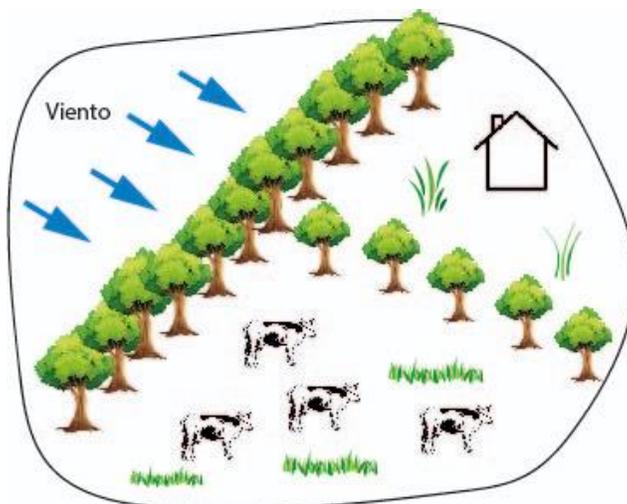
Las cortinas rompevientos son hileras de árboles o arbustos con variadas alturas, situados al lado de cultivos agrícolas o pastos y orientados de forma perpendicular a la dirección dominante del viento (Figura 35), para contrarrestar la erosión causada por este; igualmente, generan productos forestales como leña, madera, frutas, entre otros (Faustino, 2000, p. 23).

La barrera protectora de la cortina se extiende unas 20 veces su altura, según la velocidad del viento y el espaciamiento de la barrera; por ende, se recomienda formar una cortina compuesta con dos o tres estratos, con un ancho de 4 a 15 metros y con una longitud que no sobrepase 24 veces la altura mayor de la copa ni ser menor a 10 veces esta, ya que permitirá pasar entre un 50 a 60% el viento (Venegas, s.f., p. 01).

Esta autora recomienda, asimismo, las siguientes especies para esta práctica: ciprés, eucalipto, poró, madero negro, cítricos, amapola, gandul, melina, teca, manzana rosa, itabo, caña india y eucalipto; pues estas maderas resisten al viento y son crecimiento rápido y de buen anclaje.

Figura 35.

Finca con cortinas rompeviento y SAF.



Nota. Elaboración propia.

- Apartos de pastoreo en rotación

El pastoreo rotacional consiste en que los animales pastorean en dos potreros, de tal forma que, cuando los animales están en uno, el otro descansa y acumula reservas orgánicas para la futura llegada de animales. Este sistema representa menores costos de inversión que un pastoreo continuo (Pezo, 2018, p. 10).

Esta práctica tiene como finalidad mejorar la calidad y la cantidad de los pastos y, al mismo tiempo, evita o disminuye su erosión (Chi Chan, s.f., p. 02). Este autor señala, a su vez, que para que esto se cumpla es necesario un adecuado tiempo de recuperación de pastos, por tanto, recomienda 45 días en este estado para lugares frescos, con un máximo de 5 días de estadio por reparto y con uno o dos animales por hectárea.

- Sistemas de riego eficiente

El ahorro de agua y una reducción en el pago por este recurso corresponden a algunos de los beneficios de optar por un sistema eficiente de riego (MINARI; DGIAR, 2015, p. 06). De igual modo, estos sistemas aseguran una mayor disponibilidad de agua proveniente de la cuenta, para su uso agrícola y doméstico, así como la conservación del medio ambiente, dado que se cuida el exceso del consumo.

El riego por microaspersión se recomienda en cultivos de hortalizas, viveros y frutales, ya que genera microclimas favorables para estos; además, no causa daños a las hojas ni flores, debido al volumen de goteo (mayor al riego por goteo), en comparación con el método de aspersión tradicional (Salinas, Rodríguez y Morales, 2010, p. 52). Se recomienda buscar ayuda técnica de ingenieros en sistemas de riego para su adopción.

CONCLUSIONES

La subcuenca del río Reventado representa un gran valor a nivel nacional, dado que en esta zona se produce una gran cantidad de productos agrícolas para el consumo de los costarricenses como la papa, cebolla, entre otros. Asimismo, su importancia radica también en que es un afluente del río Reventazón y cuenta con focos relevantes como el Sector Prusia, Los Diques, botaderos a cielo abierto y tajos.

Los principales problemas en el área en estudio son el poco aprovechamiento del espacio productivo, la erosión del suelo, los deslizamientos de tierras, la contaminación en los márgenes de los ríos y calles, la pobreza y delincuencia, la deficiente calidad del agua y una organización social débil.

Existe desconocimiento por parte de los habitantes y productores agrícolas de la zona en temas relacionados a prácticas conservacionistas, así como de diversificación de cultivos, por lo que se ve afectada la productividad de las tierras y su estructura física. Las tierras están siendo mal administradas en cuanto a tipo o diversificación de cultivos, ya que en muchos casos siembran únicamente papa, cebolla o frijoles, lo cual genera que la economía de los productores se vea afectada tanto por competencia y precios.

Pese a lo anterior, tiene importantes potencialidades a nivel productivo como son un suelo adecuado para la agricultura con buena estructura y propiedades químicas, sector comercial sólido, la anuencia de los pobladores en cooperar por el desarrollo de sus comunidades y productividad; elemento clave para implementar cualquier plan de manejo.

La presencia de cultivos agrícolas, aunada a las pendientes de la zona y las precipitaciones, generan una alta erosión de tierras, que puede ser de alta peligrosidad para sus habitantes; del mismo modo, impacta su productividad y provoca pérdidas económicas para los agricultores.

Por ende, la priorización de áreas vulnerables en las subcuencas es de suma utilidad para concentrar esfuerzos y costos en la rehabilitación de la zona, pues evidencia gráficamente los lugares y los motivos de las problemáticas; y, al mismo tiempo, favorece la creación de planes de manejo concisos y pertinentes.

A su vez, el empleo de prácticas conservacionistas en pro del recurso hídrico y del suelo mejoraría las condiciones de las zonas vulnerables en la subcuenca, a tal punto que la economía de los pobladores y su seguridad aumenten considerablemente, a pesar de la inversión monetaria

que podría generar la implementación de estas prácticas las ganancias en cuanto a productividad de tierras y tanto calidad como cantidad de productos serán mayores.

RECOMENDACIONES

Debido al estado del recurso hídrico en cuanto a su color marrón y cantidad de residuos en los cuerpos de agua, tal y como aseguran los habitantes del área en estudio, se recomienda a estudiantes, investigadores y otras asociaciones pertinentes la realización de estudios de calidad de agua actuales para conocer su situación y buscar mejorías de la misma para un consumo seguro.

Se recomienda conformar una organización en la subcuenca que se encargue del cuidado de las áreas verdes y las zonas aledañas a los ríos, así como por la seguridad de los ciudadanos.

Así mismo, se invita a los habitantes a formar parte de los procesos de toma de decisiones de la región y mantener una relación estrecha con las municipalidades, con el objetivo de conocer e implementar prácticas conservacionistas y mejoras necesarias para el desarrollo de las poblaciones y sus pobladores.

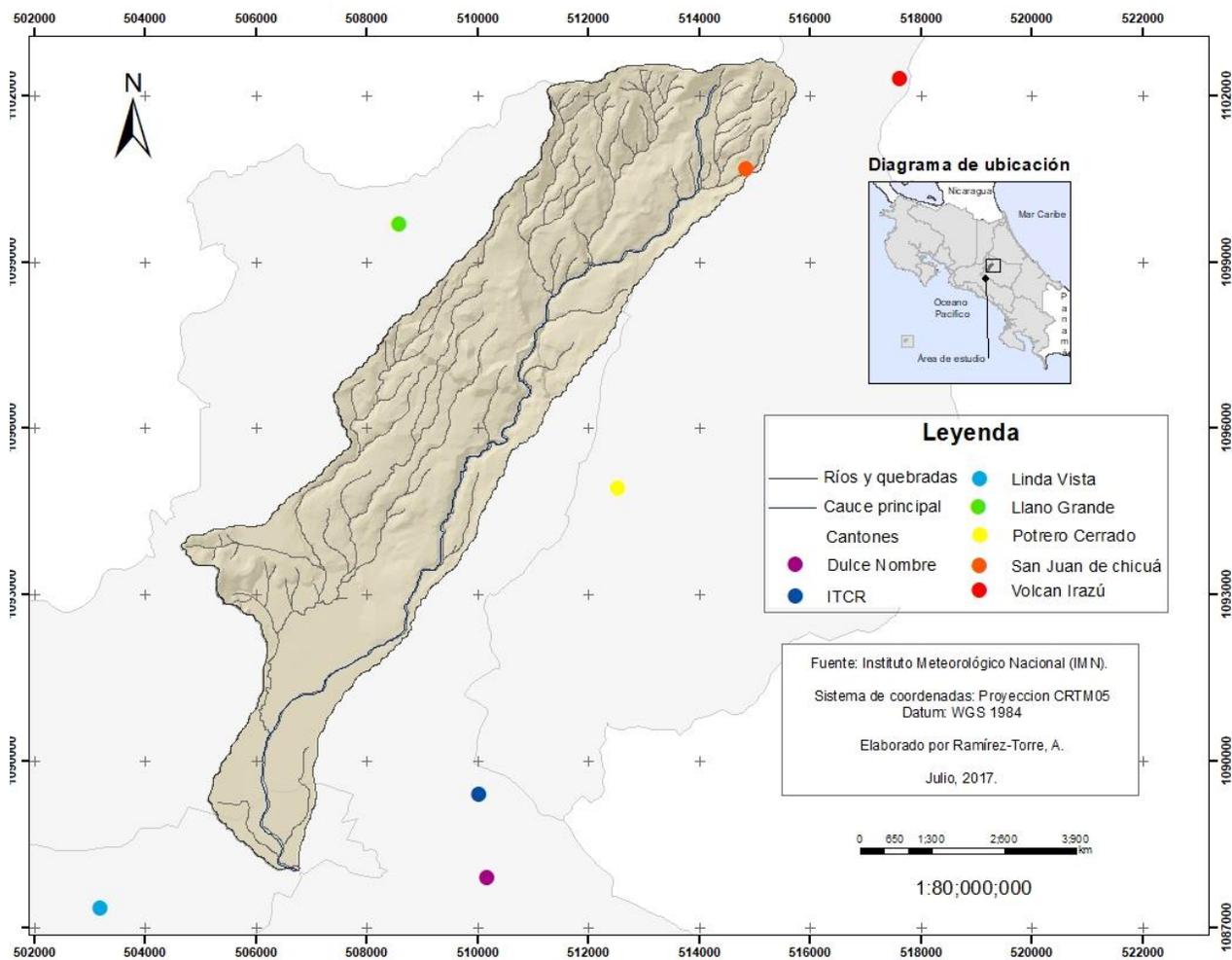
Igualmente, es necesaria la implementación de capacitaciones en temas agrícolas y de economía para los productores de la zona, que les brinde herramientas para lograr una mejor productividad de sus tierras y venta de sus productos.

Por último, es pertinente identificar asociaciones o entidades que puedan contribuir al desarrollo ambiental y socioeconómico del área, como comisiones de recurso hídrico, municipalidades entre otros, capaces de brindar apoyo financiero y logístico para el desarrollo de las propuestas en pro de la subcuenca y sus comunidades, para asegurar la realización de las mismas.

ANEXOS

Anexo 1.

Ubicación de siete estaciones meteorológicas cercanas a la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica



Fuente. IMN (2016)

Anexo 2.

Encuesta para poblados de la subcuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica (2017)

Encuesta para la comunidad

Nombre del encuestador _____ **Fecha** _____

El propósito de este trabajo es recopilar información pertinente de la situación actual de la subcuenca del río Reventado por medio de la sociedad civil, para así poder caracterizar la subcuenca y determinar las potencialidades y limitantes de la misma. La información que me brinde es confidencial.

A. DATOS GENERALES.

1. Sexo: 1. Masculino (), 2. Femenino (). **Nacionalidad:** _____

2. Ubicación de residencia:

Tejar (), Caracol (), Turbina (), Taras (), Quircot () Loyola (), La Lima (), Ochomogo (), Los Diques (), Banderilla (), Pedregal (), La Joya 1 (), La Joya 2 (), Misión Norte (), Misión Sur (), Ortiga (), Rodeo (), Penjamo (), Llano Grande (), Azahar (), Barquero ().

3. ¿Cuenta con alguna actividad productiva en su propiedad?

Sí () _____ 2. No () Urbano (pase a la pregunta 5)

4. Tamaño de la propiedad (ha): _____ 9. NR/NS ().

B. EMPLEO.**5. Cantidad de miembros de la familia dentro de la fuerza de trabajo:**

1. 1-2 (), 2. 3-5 (), 3. Más de 5 (), 4. Pensionados ().

6. De los miembros dentro de la fuerza de trabajo, cual es la fuente de empleo:

1. Agricultura (), 2. Ganadería (), 3. Construcción (), 4. Comercio (), 5. Turismo (),
6. Forestal (), 7. Oficios domésticos (), 8. Educación (), 9. Seguridad (), 10. Industrial (), 99. Otro:

C. EDUCACIÓN.**7. Nivel educativo alcanzado:**

1. Primaria completa (), 2. Primaria incompleta (), 3. Secundaria completa (),
4. Secundaria incompleta (), 5. Superior (), 6. Técnicos u otros (), 7. Ningún estudio ().

8. ¿Existen centros educativos en su comunidad?

1. Sí (), 2. No (), A dónde se traslada _____

D. SALUD**9. ¿Existen centros de salud u hospitales en su comunidad?**

1. Sí (), 2. No (), A dónde se traslada _____

10. ¿Cuáles son las enfermedades más frecuentes en su comunidad?

1. Diarrea (), 2. Calentura (), 3. Dolor estomacal () 4. Enfermedades de la piel (),
5. Enfermedades respiratorias () 8. Otro: _____ 9. NR ()

E. VIVIENDA.**11. Tipo de vivienda:**

1. Casa (), 2. Rancho o choza (), 3. Departamento (), 4. Quinta (), 8. Otro: _____

12. La vivienda que ocupan es: 1. Propia (), 2. Alquilada (), 3. Prestada (), 4. Hipotecada ().**13. ¿De qué tipo de material es la mayor parte de su casa?**

1. Cemento o concreto (), 2. Madera (), 3. Zinc (), 4. Mixta (), 5. Prefabricada (),
8. Otro: _____

F. SERVICIOS BÁSICOS.**14. Existen en la comunidad:**

	1. Sí	2. No
a. Servicio de alcantarillado		
b. Servicio de recolección de basura		
c. Servicio de electricidad		
d. Servicio de agua potable		
e. Servicio de transporte público		
f. Tratamiento de aguas negras		
g. Limpieza de calles		

15. Según su opinión, cómo considera el servicio de:

	1. MB	2. B	3. M	4. MM	9. NS/NR	Por qué lo considera así
a. Servicio de alcantarillado						
b. Servicio de recolección de basura						
c. Servicio de electricidad						
d. Servicio de agua potable						
e. Servicio de transporte público						
f. Tratamiento de aguas negras						
g. Limpieza de calles						

G. USO DEL AGUA.**16. ¿Qué uso se le asigna al agua en esta propiedad?**

Uso	1. Sí	2. No	Fuente
a. Consumo humano			
b. Agricultura			
c. Recreación/Turismo			
d. Ganadería			

17. De qué fuente se abastece de agua según el uso anterior:

1. Tubería dentro de la vivienda (), 2. Tubería fuera de la vivienda (), 3. Puesto público (),
4. Pozo (), 5. Ojo de agua (), 6. Río/quebrada/Cuenca ().

H. ORGANIZACIÓN LOCAL.**18. ¿Existen en la comunidad organizaciones comunales que velan por el desarrollo de la misma?**

1. Sí (), especifique: _____ 2. No (), 9. NR/NS ().

19. ¿Existen en la comunidad programas ambientales? (reciclaje, limpieza de ríos)

1. Sí (), especifique: _____ 2. No (), 9. NR/NS ().

20. ¿Participa usted en alguno de estas organizaciones o programas?

1. Sí (), especifique: _____ 2. No (), 9. NR/NS ().

I. ACTIVIDADES PRODUCTIVA.**21. ¿Cuál es la principal actividad productiva en la comunidad?**

1. Agrícola (), 2. Ganadera (), 3. Forestal (), 4. Turística (), 5. Industrial (), 6. Comercial ()
8. Otro: _____ 9. NA ()

22. ¿Se cuenta con prácticas ambientales sostenibles en la realización de las actividades agrícolas, ganaderas, forestales? (abonos orgánicos, recolección de residuos)

1. Sí (), especifique: _____ 2. No (), 9. NS/NA ()

23. ¿Cuál es el principal cultivo presente?

_____ 9. NR/NA ()

J. AMENAZAS**24. ¿Cuáles son las principales amenazas naturales que podrían afectar a la comunidad?**

1. Deslizamientos (), 2. Avalanchas (), 3. Inundaciones (), 4. Sismos (), 5. Vulcanismo (),
6. Ninguno () 8. Otro: _____

25. ¿Cuáles de los siguientes problemas sociales están presentes en su comunidad:

1. Tenencia de tierras (), 2. Contaminación de ríos/ calles/ (), 3. Pobreza (),
4. Delincuencia (), 5. Abastecimiento de recursos (), 6. Empleo (), 7. Drogadicción (),
8. Ninguno () 88. Otro: _____

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, A.; Bertsch, F.; Bornemisza, E.; Cabalceta, G.; Forsythe, W.; Henriquez, C.; Mata, R.; Molina, E. y Salas, R. (2000). *Suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisoles) de Costa Rica*. UCR. 62 p.
- Alvarado, M.; Durán, D.; Fallas, K.; Hernández, L. y Valverde, R. (2006). Amenazas y vulnerabilidad: el caso de los ríos Reventado y Toyogres, Cartago. *Revista Reflexiones* 85 (1-2): 331-349
- Aparicio, J. (1954). Cultivo en fajas para conservación del suelo. *Hojas Divulgadoras*. Madrid. No 10-54.
- ATTRA. (2015). *Rotación de Cultivos en Sistemas Agrícolas Orgánicos*. <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/FINAL%20Rotacion%20de%20Cultivos%20en%20Sistemas%20Agricolas%20Organicos.pdf>
- Barahona, D. (2007). *Evaluación de riesgo por erosión fluvial del río Taras en La Lima*. Informe Técnico. Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.
- Barrantes, R. (2016). *Evaluación del estado de las áreas de protección hídrica de acuerdo con la alteración del uso-cobertura en la subcuenca del río Volcán, Buenos Aires, Puntarenas*. (Tesis de grado). Universidad de Costa Rica, Heredia.
- Benegas, L. y León, J. (2009). *Criterios para priorizar áreas de intervención en cuencas hidrográficas*. <http://www.sidalc.net/repdoc/A3102e/A3102e.pdf>
- Benegas-Negri, L. & Jiménez-Otárola, F. (2019). Experiencias y contribuciones del CATIE al manejo y gestión de cuencas hidrográficas en América tropical. *Revista de Ciencias Ambientales*. Vol 53(1): 153-170. <http://dx.doi.org/10.15359/rca.53-1.9>
- Bergoeing, J. P. (2014). *Geomorfología Regional de Costa Rica*. (1 ed.) C.R: Gerüst Creaciones S.L. 266p.

- Bertsch, F.; Mata, R. y Henríquez, C. (1993). *Características de los principales órdenes de suelos presentes en Costa Rica*. IX Congreso Nacional Agropecuario y de Recursos Naturales. http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_ix/A01-1277-15.pdf
- Bonilla, E. (2006). *Inspección a los terrenos afectados por agrietamientos en Finca Pavas, Llano Grande*. Informe Técnico. Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.
- Bonino, N. y Hilhe, L. (1992). Estimación de la abundancia de la taltuza *Orthogeomys heterodus* (Rodentia, Geomyidae) y del daño producido en una zona hortícola de Costa Rica. *Revista MIP* (Costa Rica) 23:26-31.
- Bouwman, A. y Langdon, R. (1984). *Manual para prácticas de conservación de suelos*. <http://www.fao.org/3/ar758s/ar758s.pdf>
- Brooks, T.M.; Mittermeier, R.A.; da Fonseca, G.; Gerlach, J.; Hoffmann, M.; Lamoreux, J.F.; Mittermeier, C.; Pilgrim, J.D. y Rodrigues, A. (2006). Global biodiversity conservation priorities. *Science*. 313: 58–61.
- Budowski, G y Russo R. (1993). Live Fence Posts in Costa Rica: A Compilation of the Farmer's Beliefs and Technologies. *Journal of Sustainable Agriculture*, Vol. 3(2)
- Cajina, M. y Faustino, J. (2007). *Alternativas de captación de aguas, la esperanza de mejores cosechas y la conservación ambiental*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Campos, F. (1971). *Monografía del río Reventado y las inundaciones de Cartago*. Cartago, C.R. 39 p.
- Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA). (2016). *Mapa de suelos de Costa Rica*. [Mapa]. 1:200.000.
- Chaves, G. y Faustino, J. (2015). *Análisis de contexto, caracterización y diagnóstico*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Chávez, H.; González, M. y Hernández, P. (2015). *Metodologías para identificar áreas prioritarias para conservación de ecosistemas naturales*. doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i27.277>

Chi Chan, H. (s.f.). *Manejo Sostenible de Potreros.*

http://www.infoagro.go.cr/InfoRegiones/Publicaciones/manejo_sostenible_potreros.pdf

Chin, J.; Ruiz, K.; Aguilar, P.; Arias, V. y Masis, M. (2012). *Caracterización de la calidad del agua de la Quebrada Sanatorio en Tierra Blanca ubicada en una zona agrícola de la provincia de Cartago y sus implicaciones para la salud pública.* doi: <https://dx.doi.org/10.15343/0104-7809.2012364548555>

Comisión Nacional de Emergencias. (2013). *Prevención de desastres: Descripción de amenazas.*

https://www.cne.go.cr/index.php/prevencie-desastres-menuprincipal-93/mapas-de-amenazas/cat_view/276-mapas-de-amenazas/283-cartago

CONFRAS (Confederación de Federaciones de la Reforma Agraria Salvadoreña). (2017). Construcción y uso del nivel A. San Salvador, El Salvador, CA. *Serie de folletos Campesino a Campesino No 1.* 12 p.

De Alba, S.; Alcázar, M.; Cermeño, F. y Barbero, F. (2011). Erosión y manejo del suelo. Importancia del laboreo ante los procesos erosivos naturales y antrópicos. *Agricultura ecológica* 7: 13-38.

Dijkerman, J. (1974). Procesos formadores. En Porta, J. (3 ed.). *Edafología, para la agricultura y el medio ambiente.* (469-520) Madrid. Ediciones Mundi-prensa, 960 p.

Dourojeanni, A. (1994). *Políticas Públicas para el desarrollo sustentable: La Gestión Integrada de cuencas.* Mérida, Venezuela. CIDIAT.

Fallas, J. y Valverde, C. (2008). *Manejo y priorización de cuencas hidrográficas: Principios, criterios e indicadores.* Heredia, Costa Rica. UNA. 54 p.

Faustino, J. (1993). *Prácticas de conservación de suelos y agua. Prácticas agronómicas y culturales.*

<http://hdl.handle.net/11554/916>

- Faustino, J. (2000). Cortinas rompeviento. En: Méndez, E; Beer, J.; Faustino, J. y Otárola, A. *Plantación de árboles en línea* 2da ed. Serie Materiales de enseñanza No. 39.
- Gaitán, J. (2013). *Evaluación de erosión hídrica en suelos bajo cobertura forestal y agrícola, en la Cuenca del Río Reventazón, Costa Rica*. (Tesis de Licenciatura). ITCR, Cartago, C.R.
- González, M. (1991). La ecuación universal de pérdidas de suelo. Pasado, presente y futuro. *Ecología*. 5: 13-50
- Guzmán, G. (2012). *Conservación de suelos: Como trazar curvas a nivel*.
<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-1226.pdf>
- Hernández, G. (1996). Modelo geomorfométrico aplicado al estudio de la erosión en cárcavas. *Revista Geográfica de América Central*. (59-95).
- Horvath, E. (2011). *Using GIS for Prioritization in Subwatershed Restoration*.
<https://wrrri.ncsu.edu/docs/partnerships/bcwa/GIS%20Subwatershed%20Prioritization.pdf>
- IAPAR (Fundação Instituto Agrônômico do Paraná). 1984. IAPAR 10 anos de pesquisa: relatório técnico 1972-1982. Londrina, PR, Relatório Técnico. 233 p.
- Ibáñez, S. (s.f.). *El factor LS de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE)*.
<http://hdl.handle.net/10251/16569>
- INEC. (2011a). *X Censo Nacional de Población y VI de Vivienda 2011*. Resultados Generales.
http://www.cipacdh.org/pdf/Resultados_Generales_Censo_2011.pdf
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). (1957). *Mapa geológico y cortes transversales, mapa de la hoja de Istarú, Costa Rica*. [Mapa]. 1:50,000.
- Instituto Geográfico Nacional (IGN) y Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT). (1980). *Istarú*. [Mapa]. 1:50,000.

Instituto Meteorológico Nacional (IMN); Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUD); Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG); Instituto Geográfico Nacional (IGN) y Dirección General Forestal (DGF). (1996). *Atlas del Cambio de Cobertura de la Tierra en Costa Rica 1979-1992*. San José, CR. 7 p.

Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). (2015). *Suelos de Costa Rica, Orden Inceptisol. Boletín Técnico 5*. San José, Costa Rica.

Instituto Nacional Tecnológico (INATEC). (2016). *Prácticas de Conservación de Suelos y Agua*. <https://studylib.es/doc/4617314/pr%C3%A1cticas-de-conservaci%C3%B3n-de-suelos-y-agua-pr%C3%A1cticas-de>

Jiménez, D. (2012). *Diagnóstico de vulnerabilidad sísmica en Cartago, Costa Rica*. (Tesis de Licenciatura). Cartago, Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Jiménez, F. (2004). *Explotación y degradación de los recursos de las cuencas*. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Jiménez, F. y Faustino, J. (2013). *Caracterización y Diagnóstico de Cuencas Hidrográficas*. CATIE. Turrialba, C.R. 23p.

Krushensky, R. (1972). Geology of the Istarú Quadrangle, Costa Rica. *Geological Survey Bulletin* 1358. U.S. Geological Survey. Washington, D.C.

Ley Forestal 7575. (1996). *Capítulo IV, Protección forestal*, de 16 de abril de 1996, 13. <http://www.sinac.go.cr/ES/transprncia/Leyes/Ley%20Forestal%20N%C2%BA%207575.pdf>

Lianes, E. (2008). *Estudio del factor de vegetación C de la ecuación universal de pérdida de suelo revisada "RUSLE" en la cuenca del río Birrís, Costa Rica*. (Tesis. M.Sc.). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, ES.

- Lianes, E.; Marchamalo, M. y Roldán, M. (2009). Evaluación del factor C de la RUSLE para el manejo de coberturas vegetales en el control de la erosión en la cuenca del río Birrís, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 33(2): 217-235.
- López, J. (1979). *Caracterización de suelos con fines geográficos en la sección occidental del Volcán Irazú*. (Tesis de Licenciatura). Heredia, Costa Rica. UNA.
- López, G. (s.f.). *Sistemas agroforestales*.
<http://agronegocios.catie.ac.cr/images/pdf/Sistemas%20Agroforestales.pdf>
- López, J. (2010). *Manual de sistemas agroforestales para el desarrollo rural sostenible. Agroforestería – silvopastoril – agrosilvopastoril*.
https://www.jircas.go.jp/sites/default/files/publication/manual_guideline/manual_guideline-_-42.pdf
- Mancilla, G. (2008). *Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) en el campo forestal*.
http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120400/Apuntes_docentes_USLE.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Martínez, M. (2000). *Propuesta de algunos métodos de cuantificación física y estimación del valor económico de los bienes y servicios ambientales que prestan los bosques de las fincas Santa Victoria, Sololá y san Jerónimo, Baja Verapaz, Guatemala*. Informe de Consultoría. Facultad Latinoamericana de Ciencias sociales. Instituto Nacional de Bosques. 97 p.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (1988). *Acequias de ladera en cafetales*.
<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-0344.pdf>
- Ministerio de ambiente y ganadería (MAG). (1995). *Metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica*. San José, Costa Rica. 60 p. Segunda Edición.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (1997). *Capacidad de uso de las tierras*. [Mapa]. 1:200.000.

- Ministerio de ambiente y ganadería (MAG). (2007). *Caracterización de la agrocadena de papa, Cartago, Costa Rica*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-9453.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO). (1989). *Manual práctico de conservación de suelos, tomo I*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P36-2771.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINARI) y Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego (DGIAR). (2015). *Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego*. https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf
- Mora, R. (1998). Propiedades físicas, hidráulicas y mecánicas de suelos de origen volcánico, en sitios seleccionados del Valle Central, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central* 19: 81-98.
- Mora, S. (1993). Análisis preliminar de la vulnerabilidad económica de la ciudad de Cartago, a causa de los efectos de una avalancha que transite por el río Reventado, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central* 15: 65-80.
- Morales, R. y Bermúdez, F. (2002). Plan de Manejo del PNVI. ACCVC. Cartago, CR.
- Morales, M. C. (2014). *Estimación de la erosión laminar y sedimentación con modelos hidrológicos para la Selección de prácticas de conservación de suelos y cambios de cobertura en la Unidad Hidrográfica de Aquin/Saint-Louis Du Sud- Haití*. (Tesis de doctorado). CATIE, Turrialba. C.R.
- Moscoso, C.A. (2007). *Cambios en los usos y coberturas de suelo y sus efectos sobre la escorrentía urbana. Valparaíso y Viña del Mar, período 1980-2005*. (Memoria para optar al Título de Geógrafo). Universidad de Chile.
- Municipalidad de Cartago. (03 de abril de 2020). *Parque Metropolitano Los Diques*. Facebook. <https://fb.watch/1Ymv452AVE/>

Municipalidad de Cartago. (s.f.). *Parque ambiental municipal Río Loro*. <https://www.muni-carta.go.cr/ambiente/rio-loro/>

Naidoo, R.; Balmford, A.; Ferraro, P.J.; Polasky, S.; Ricketts, T.H. y Rouget, M. (2006). Integrating costs into conservation planning. *Trends Ecol Evol*. 21:681–687.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO). (2000). *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos*. <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/lw8s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO); Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA); UNESCO. (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. Roma, Italia. 86 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) y Ministerio de Agricultura, Subsecretaría de Agricultura, Unidad Nacional de Emergencias Agrícolas y Gestión del Riesgo Agroclimático (UNEA). (2011). *Prácticas de conservación de suelos y agua para la adaptación productiva a la variabilidad climática. Secano de la región de O'Higgins*. <http://www.fao.org/3/a-as431s.pdf>

Pezo, D. (2018). *Establecimiento y Manejo de Sistemas Intensivos de Pastoreo Racional*. 1 ed. Turrialba, C.R.: CATIE. 56 p. (serie técnica. Boletín técnico / CATIE; no. 96).

Pizarro, R.; Sanguesa, C.; Bravo, C.; Farías, C.; Soto, M. y Flores, P. (2003). *Manual de Conservación de aguas y suelos. Instructivo n°2, terrazas agrícolas y forestales*. http://ctha.utralca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/g_instructivo_terrazas.pdf

Proyecto Red SICTA. (S.f.). *Obras de conservación de suelos y agua en laderas*. <http://repiica.iica.int/docs/b3470e/b3470e.pdf>

Proyecto PRUGAM. (2005). *Mapas de usos de la tierra*. [Mapa]. 1:10.000.

- Quintanilla, E.; Alvarado, G.; Marín, C. y Durán, M. (2008). Estratigrafía de pozos como un aporte al conocimiento de la geología del Cuaternario del Valle de El Guarco (Cartago) Costa Rica. *Revista geológica de América Central*. 38: 53-64.
- Ramírez, L.; Alvarado, A.; Pujol, R. y Brenes, L.G. (2008a). Caracterización física de la cuenca media del río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 32(2): 73-92.
- Ramírez, L., McHugh, A. y Alvarado, A. (2008b). Evolución histórica y caracterización socioeconómica de la cuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 32(2): 53-72.
- Ramírez, L., Alvarado, A.; Pujol, R.; McHugh, A. y Alvarado, A. (2008c). Indicadores para estimar la sostenibilidad agrícola de la cuenca media del río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 32(2): 93-118.
- Ramos, J.M. (2016). El terraceo como técnica de conservación de suelos en Bolivia: El caso de Hampaturi. https://www.researchgate.net/publication/317356346_LAS_TERRAZAS_TECNICA_PARA_EVITAR_LA_EROSION_Y_CONSERVAR_SUELOS_PRODUCTIVOS
- Razola, I.; Benayas, J.M.; de la Montaña, E. y Cayuela, L. (2006). Selección de áreas relevantes para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas* 15 (2): 34-41.
- Renard, K.G.; Foster, G.R.; Weesies, G.A.; Mccool, D.K.; Yoder, D.C. (1996). *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Soil Loss Equation (RUSLE)*. Agricultural Handbook 703. US Government Printing Office. Washington DC. 384 p.
- Rojas, C. (2010a). *Propuesta para la restauración de la zona de Los Diques, Reserva Nacional Río Reventado, Cartago, Costa Rica*. (Tesis de Licenciatura). ITCR, Cartago, C.R.
- Rojas, N. (2011). *Cuencas Hidrográficas de Costa Rica: Cuenca Río Reventazón*. <http://alianzarioscuencascr.org>

- Rojas, V. (2010b). *Caracterización de la geología superficial y subterránea, del área de las estaciones acelerográficas RALT, CSLG, CCDN, CPAR, CCCH, sector central de la provincia de Cartago*.
http://www.lis.ucr.ac.cr/clase_index/tv/finales/pdf/16.pdf
- Romero, H. y Vásquez, A. (2005) Evaluación ambiental del proceso de urbanización de las cuencas del piedemonte andino de Santiago de Chile. *EURE*. Vol. XXXI, N° 94 pp. 97-118.
- Rosete, F. y Bocco, G. (2003). Los sistemas de información geográfica y la percepción remota. Herramientas integradas para los planes de manejo en comunidades forestales. *Gaceta Ecológica*, (68),43-54 ISSN: 1405-2849.
- Rufino, R.L. (1989). Terraceamento. *Manual Técnico do Subprograma de Manejo e Conservação do Solo, Curitiba*. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, Paraná. pp. 21-235.
- Salgado, D. (2002). *Problemática de la cuenca del río Reventado-Cartago, Los diques de Taras de Cartago*. Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.
<https://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/CEDO-CRID%20v2.0/CEDO/pdf/spa/doc14438/doc14438.pdf>
- Salinas A.; Rodríguez R.; Morales D. (2010). *Manual de especificaciones técnicas básicas para la elaboración de estructuras de captación de agua de lluvia (scall) en el sector agropecuario de costa rica y recomendaciones para su utilización*. Nicoya: Universidad Nacional, CEMEDE, 2010. 96 p.
- Sánchez, G. (2012). *Evaluación de Sistema de Sacos de Geotextil en Condiciones Simuladas: Implicaciones en Control de Erosión*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Costa Rica, San José, CR.
- Sauca, E. y Urabayen, D. (2005). Rotaciones y asociaciones de cultivos. *Monográficos Ekonekazaritza* No. 7.

Unidad de Investigación y Análisis del Riesgo (IAR). (2014). *Mapa de amenazas y peligros naturales*.

[Mapa]. 1:200.000

Vahrson, W.G.; Cervantes, C. (1991). Escorrentía superficial y erosión laminar en Puriscal, Costa Rica.

En: W.G. Vahrson, M.; Alfaro y G. Palacios (eds.). *Memoria del Taller de Erosión de Suelos*.

Universidad Nacional., Heredia, Costa Rica. 236 p.

Valverde, R. (2013). Disponibilidad, distribución, calidad y perspectivas del agua en Costa Rica.

Ambientales 45: 5-12.

Veas, N.; Acevedo, H.; Obando, V. y Herrera, A. (2010). *Estudio de la subcuenca de Taras y consolidación*

de la información de la subcuenca de Turrialba. Informe final. INBio.

Venegas, A. (s.f.)- *Establecimiento de barreras rompevientos*.

<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-1326.pdf>

Villegas, J. (1995). *Evaluación de la calidad del agua en la cuenca del Río Reventado, Cartago, Costa*

Rica, bajo el enfoque de indicadores de sostenibilidad. 144p.

Villanueva, C.; Ibrahim, M.; Casasola, F. y Arguedas, R. (2005). *Las cercas vivas en las fincas ganaderas*.

<http://hdl.handle.net/11554/10627>

Zavala-Cruz, J.; Palma-López, D.J.; Fernández, C.R.; López, A. y Shirma, E. (2011). *Degradación y*

conservación de suelos en la cuenca del Río Grijalva, Tabasco. Colegio de Postgraduados,

Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental y PEMEX. Villahermosa, Tabasco,

México. 90p.