

Zonificación de áreas prioritarias en la cuenca del río Reventado, Costa Rica

Alina Ramírez Torre¹, 

Pablo Ramírez Granados², 

Maria Álvarez Jimenez³, 

José Castro Solís⁴ 

1. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias de la Tierra y Mar, Heredia, Costa Rica, alina.ramirez.torre@una.ac.cr
2. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias de la Tierra y Mar, Heredia, Costa Rica, pablo.ramirez.granados@una.ac.cr
3. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias de la Tierra y Mar, Heredia, Costa Rica, maria.alvarez.jimenez@una.cr
4. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias de la Tierra y Mar, Heredia, Costa Rica, jose.castro.solis@una.cr

Recibido:04/03/2025 Aceptado: 16/06/2025

RESUMEN: La provincia de Cartago, de Costa Rica, es una zona de producción hortícola significativa de papa y cebolla, posee atractivas zonas turísticas y áreas protegidas como el Parque Nacional Volcán Irazú, y dispone de gran potencial hídrico entre ellas la cuenca del río Reventado. Presenta una serie de amenazas al recurso hídrico y otros problemas ambientales como erosión, contaminación por agroquímicos, vulnerabilidad en el abastecimiento de agua potable y su exposición cercana a una erupción volcánica. El presente estudio tiene como objetivo zonificar las áreas prioritarias de la cuenca del río Reventado necesario para organizar el territorio y rehabilitar las zonas más vulnerables para mejorar la productividad de las tierras, los recursos hídricos y desarrollo de las comunidades del área en estudio. El procedimiento metodológico empleó datos biofísicos como la erosión del suelo, pendiente, zonas de protección, uso de la tierra y conflictos de uso del suelo. Se modelaron los datos y se crearon mapas de áreas prioritarias, empleando el método de superposición ponderada, que implica combinar las capas de los factores seleccionados, de acuerdo con su peso y prioridad. La cuenca registró una erosión de moderada a baja, correspondiendo al 60.38% del suelo. Después, el área próxima al volcán Irazú, así como en los cerros Sapper, Retes y Cabeza de Vaca, exhibe pendientes que superan el 40%. Se detectó que, en las zonas media y baja de la cuenca, numerosas zonas de amortiguamiento de los ríos y las quebradas no se mantienen en buen estado. La mayor utilización 27,73% de la tierra se manifiesta en la cobertura de bosques. La clase A ocupa aproximadamente 22,22km² en la cuenca, desde la zona media hasta la baja, formada por

áreas con ocupación urbana y de cultivos agrícolas. Se determinó que el 46,50% de la zona tiene un uso apropiado del suelo y se estableció que el porcentaje más alto de la zona es de baja prioridad (cerca del 30,15%), distribuido a lo largo de la cuenca, y se concentra principalmente en la zona alta próxima al sector Prusia y en la zona media y baja.

Palabras clave: cuencas hidrográficas, zonificación, áreas prioritarias

ABSTRACT: The province of Cartago, Costa Rica, is a significant horticultural production area of potatoes and onions, has attractive tourist areas and protected areas such as the Irazú Volcano National Park, and has great water potential, including the Reventado River basin. It presents a series of threats to water resources and other environmental problems such as erosion, contamination by agrochemicals, vulnerability in the supply of drinking water and its near exposure to a volcanic eruption. The present study aims to zone the priority areas of the Reventado River basin necessary to organize the territory and rehabilitate the most vulnerable areas to improve land productivity, water resources and development of the communities in the study area. The methodological procedure used biophysical data such as soil erosion, slope, protection zones, land use and land use conflicts. The data were modeled and priority area maps were created using the weighted overlay method, which involves combining the layers of the selected factors according to their weight and priority. The basin registered moderate to low erosion, corresponding to 60.38% of the soil. Then, the area near the Irazú volcano, as well as the Sapper, Retes and Cabeza de Vaca hills, exhibits slopes exceeding 40%. It was detected that, in the middle and lower areas of the basin, numerous buffer zones of rivers and ravines are not maintained in good condition. The greatest use 27.73% of the land is manifested in forest cover. Class A occupies approximately 22.22 km² in the basin, from the middle to the lower area, formed by areas with urban occupation and agricultural crops. It was determined that 46.50% of the area has an appropriate land use and it was established that the highest percentage of the area is of low priority (about 30.15%), distributed throughout the basin, and is concentrated mainly in the high area near the Prusia sector and in the middle and low areas.

Key words: watersheds, zoning, priority areas

INTRODUCCIÓN

La región norte de Cartago, ubicada en el Valle Central Oriental de Costa Rica, es conocida como el centro de producción de hortalizas del país, y su contribución a la economía del país es del 80%, específicamente en cultivos de papa y cebolla. En esta región se encuentran varias cuencas hidrográficas que ofrecen un gran potencial hídrico para las comunidades de Birris, Pérez, Reventado y Toyogres. Estas cuencas son vitales tanto para el aprovechamiento del agua como para la provisión de agua para las actividades de la agricultura. Adicionalmente; esta zona alberga importantes sitios turísticos y áreas protegidas como el Parque Nacional Volcán Irazú.

La cuenca del río Reventado es una de las cuencas hidrográficas con mayores problemas ambientales debido a su enorme desarrollo agrícola, lo que provoca grandes problemas de erosión y posibles contaminaciones con agroquímicos. Además, también hay grandes fuentes de agua potable que están en peligro debido al cambio climático y la contaminación por agroquímicos. Además, existen grandes reservas de agua potable que se encuentran en riesgo a causa del cambio climático y la contaminación por agroquímicos. Asimismo, la cercanía al Volcán Irazú en la zona superior de la cuenca incrementa su susceptibilidad a sucesos volcánicos como los sucedidos en 1963 y 1965. Estos eventos causaron depósitos de ceniza y la pérdida de aproximadamente el 80%

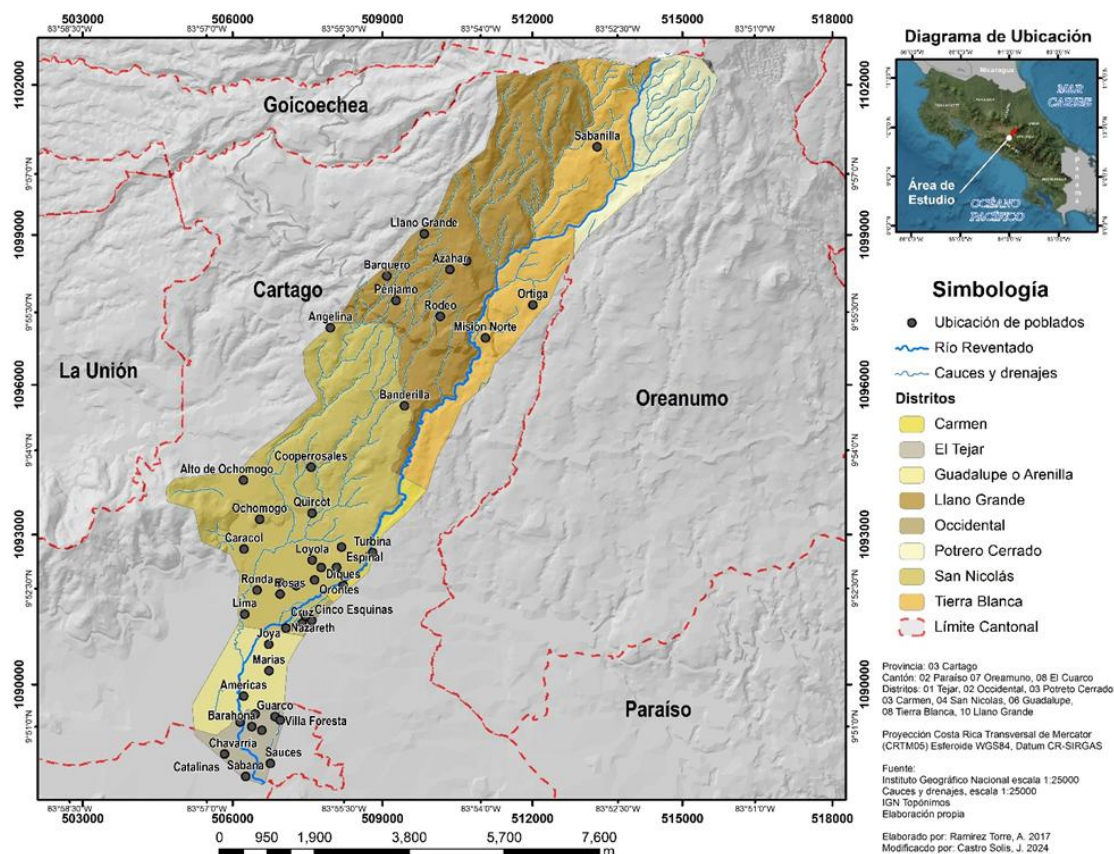
de la cobertura vegetal de la región; además, el suelo y su hidrología cambiaron significativamente, lo que resultó en un aumento del caudal de los ríos y la inestabilidad de las laderas (Campos, 1971; Mora, 1993). Unido a ello presenta otros problemas ambientales que se concentran en áreas particulares de la cuenca, como deslizamientos, inundaciones y extracción de materiales (Ramírez et al., 2008; Salgado, 2002; Villegas, 1995).

Por lo tanto, este estudio se enfoca en lograr una gestión sostenible de la cuenca y del recurso hídrico en la cuenca del río Reventado, se requiere llevar a cabo una zonificación de áreas prioritarias. Esta es una herramienta que facilita la planificación de las áreas más vulnerables y también busca solucionar conflictos de uso de tierras que surgen debido al uso incorrecto de los recursos en la cuenca, poniendo en riesgo el recurso hídrico

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: La cuenca del río Reventado está ubicada al norte de la ciudad de Cartago, en el lado suroeste del volcán Irazú; se origina en las faldas de los cerros Sapper, Retes y Cabeza de Vaca, entre las coordenadas geográficas 83°51'28" a 83°57'19" de longitud oeste y entre 9°50'25" a 9°58'28" latitud norte de la hoja Istarú. (Ramírez et al., 2008). La cuenca tiene una superficie de alrededor de 46,02 km² y tiene una forma rectangular alargada en dirección al río. Así mismo, forma parte del sistema fluvial del río Reventazón, con altitudes que van desde 1838 hasta 2546 metros (Figura 1).

FIGURA 1. Ubicación de la cuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica. Fuente Castro, 2024



Para la determinación de áreas prioritarias se consideraron los siguientes criterios: erosión del suelo, para determinar la tasa de pérdidas de suelo por erosión hídrica se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE) (Wischmeier & Smith, 1978). 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 identificar las áreas de protección de ríos y quebradas, se delimitaron las zonas de protección, utilizando como base la información del establecimiento de zonas de amortiguamiento a partir de la normativa establecida en el artículo 33 de la Ley Forestal 7575 de Costa Rica, 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%. Por otra parte, se determinó el uso de la tierra existente a través de los SIG, se digitalizaron, conforme a los mapas de usos 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 realizaron visitas en campo verificar que el uso de suelo actual concordara al del mapa. Para identificar las zonas de conflicto de uso de la tierra se superpuso el mapa de capacidad de uso y el mapa de uso actual de la tierra, y se determinó la existencias de zonas de conflicto, utilizando la clasificación en a. *Sobre utilizado* cuando el uso actual es mayor que el uso potencial que puede soportar el suelo, b. *Subutilizado* cuando el uso actual es menor que el uso potencial que puede soportar el suelo y c. *A capacidad* cuando el uso actual corresponde al uso potencial del suelo.

Para el cálculo de pendientes en la cuenca del río Reventado, se utilizó la *Metodología para la Determinación de la Capacidad de Uso de Suelos Costa Rica*. El modelo digital de elevación (MDE) se generó a partir de curvas de nivel del Proyecto PRUGAM (2005) con una resolución de píxel de 1 metro por 1 metro.

A partir de dicho modelo se generó una superficie de pendientes en porcentaje en cuatro categorías según la Metodología para La Determinación de la Capacidad de Uso de las Tierras de Costa Rica (MAG 1995) y como referencia se utiliza también el Decreto Ejecutivo N° 35869 (2010) “Manual para la clasificación de tierras dedicadas a la conservación de los recursos naturales dentro de la Zona Marítimo Terrestre en Costa Rica” desde 0% - 59.9% de pendiente y mayor a 60% clasificada como tierras de aptitud forestal (TAF) (Decreto Ejecutivo N° 35869, 2010).

Así mismo para determinar las 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:

- Se otorgó un valor de priorización del uno al nueve a cada uno de los factores, ya sea erosión, pendiente, zona de amortiguamiento, uso del suelo y conflicto de uso (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.
- 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.
- 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.
- 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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos respecto a la erosión, alrededor de un 60.38% del terreno de la cuenca presenta una erosión entre baja a moderada, 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.

Así mismo, la 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 cuenca. 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 (figura 1).

Un 39,61% del resto del área total presenta una erosión de alta a 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. 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, p. 84) manifiestan que las taltuzas (*Orthogeomys heterodus*) son algunos de los agentes erosivos de la parte media de la cuenca 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).

En 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. Por otra parte, se identificaron pendientes mayores a 40% principalmente en la zona alta de la cuenca, 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 este sitio se encuentran cubiertos por una frondosa vegetación y alejados de la población, en conformidad con el artículo mencionado anteriormente.

No obstante, se identificó que 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; de ahí se presentan 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. Respecto al uso actual de la tierra, la cobertura predominante de la cuenca corresponde al bosque secundario, en un 27,73% del área total. 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 costarricense* (Oerst), *Croton draco* Schltldl. & 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 cuenca esto se puede observar principalmente en los distritos de Tierra Blanca y Llano Grande; sin embargo, se alternan o combinan con cultivos de cebolla, 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 cuenca 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 cuenca y cubren la mayor proporción de la parte baja. Igualmente, se identificó 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 cuenca 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 cuenca. Así mismo un bajo 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 Ministerio de Agricultura.

En relación con la capacidad de uso de la tierra en la cuenca se identificaron cuatro categorías, primeramente, se encuentra la clase A se distribuye en la mayor parte (alrededor de 22.22km²) del área de la cuenca, localizándose en la parte media hasta la baja, compuesta por zona con ocupación urbana y de cultivos agrícolas. Luego la clase VI representa alrededor de 8.15 km² y se encuentra ocupada principalmente por pastos y por cultivos agrícolas. Por otra parte, la clase VII, se ubica en la parte alta de los distritos de Llano Grande, Tierra Blanca y Potrero Cerrado y Occidental, caracterizada 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 cuenca con un uso similar al anteriormente descrito. Finalmente, la clase VIII (Áreas Protegidas) presente en la parte alta de la cuenca, en las laderas del volcán Irazú y el sector de Prusia que comprende parte del Parque Nacional Volcán Irazú. De igual manera, estos tipos de tierras se pueden localizar en otras áreas de menor tamaño, desde la parte media a la media baja.

De acuerdo con las zonas de conflicto de uso de la cuenca, se determinó que un 46,50% del área (zonas altas y cercanas al Sector Prusia, así como en la parte media de la cuenca) cuenta con un uso de suelo adecuado en relación con las categorías de capacidad presentes. 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 cuenca 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 cuenca.

Para la determinación de las áreas prioritarias de la cuenca del río Reventado se estableció que la mayor proporción total del área es de baja prioridad (cerca del 30,15%), distribuida a lo largo de la cuenca, y se agrupa principalmente en la zona alta próxima al sector Prusia y en la zona media a baja (Tabla 1). Estas zonas cuentan con cobertura forestal en su parte superior y pastos, cultivos y área urbana en su parte baja, así como con una erosión de baja a moderada, un uso apropiado del suelo y pendientes marcadas. En contraste, zonas como Los Diques, que tienen una prioridad muy reducida para intervenir, constituyen el 15,54% de la cuenca. Esta región posee rasgos beneficiosos como pendientes del 0 al 15 %, escasa erosión, terrenos apropiados para uso en bosques, pastizales y áreas urbanas, aunque aún está expuesta a amenazas naturales. No obstante, debido a la localización de las viviendas, esta área debe ser considerada, dado que puede ser impactada por deslizamientos o crecidas del río (figura 2).

TABLA 1. Priorización de áreas de la cuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica

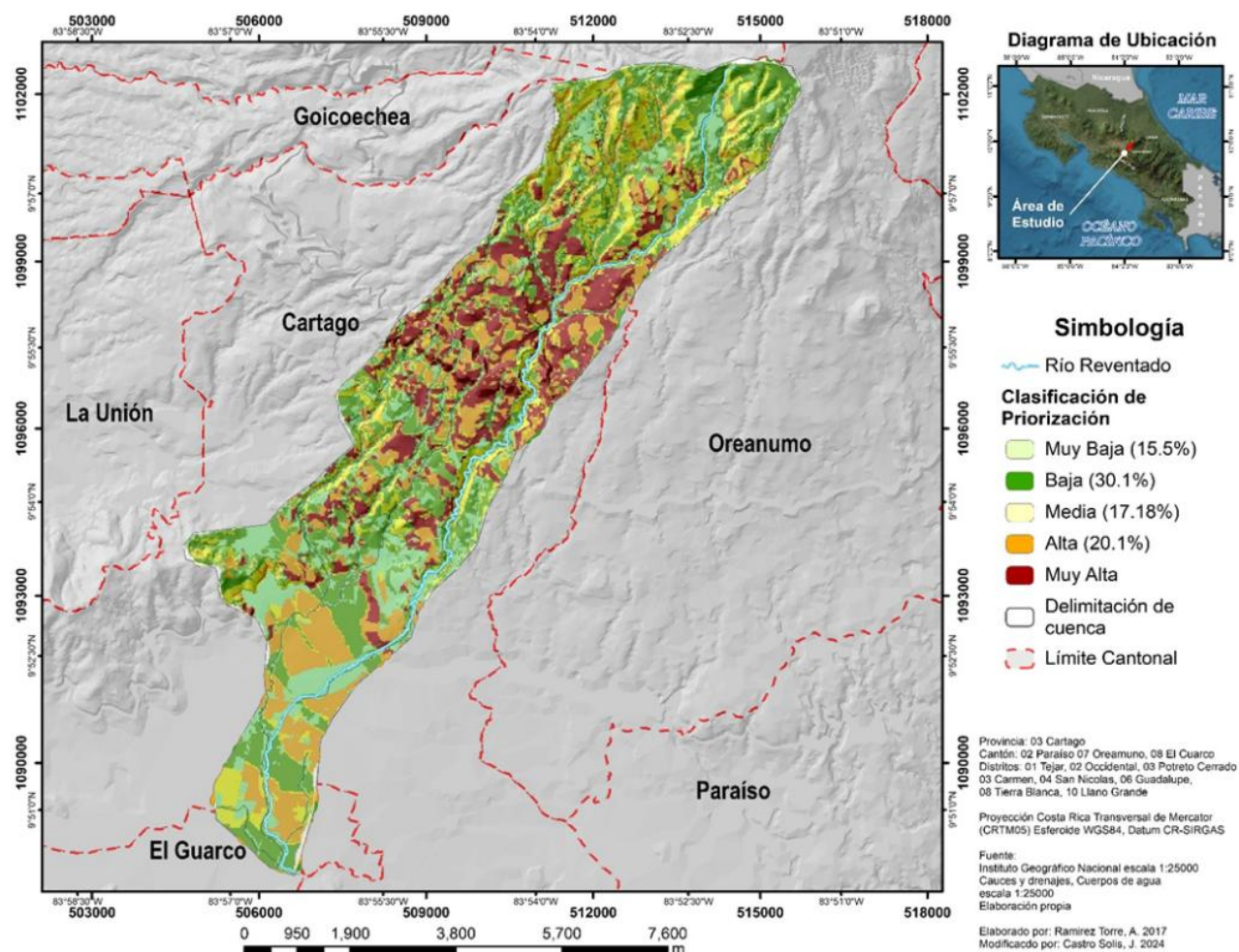
Priorización	Área que ocupa (km ²)
Muy baja	7,15
Baja	13,87
Moderada	7,91
Alta	9,29
Muy alta	7,79
TOTAL	46,02

Nota: Fuente propia de la investigación

Las áreas con alta prioridad constituyen aproximadamente 9.29 km² de la totalidad, situadas en la zona media en pequeños grupos y en la parte baja de la cuenca. Estas zonas se distinguen por su elevada erosión, cultivos y áreas urbano-industriales en uso actual, y pendientes marcadas, factores que no son apropiados para el propósito de conservación. A su vez, un 7.79 km² de la cuenca tiene una prioridad muy alta en la parte media, en parte de los distritos de Llano Grande y Occidental. Los terrenos con elevada erosión (principalmente en cultivos) y pendientes que oscilan entre plano y fuertemente inclinado poseen esta categoría de prioridad. Estos terrenos pueden provocar fracturas y deteriorar la calidad del agua, además de poner en riesgo la seguridad de los residentes, ya que están erosionados y poseen pendientes elevadas; por lo tanto, es imprescindible su intervención (figura 2).

Por otro lado, el 7.91 km² corresponde a zonas con una prioridad moderada, distribuidas a lo largo de la cuenca en suelos con erosiones de baja a alta y con un uso apropiado de terrenos con inclinaciones de 0 a 75%. Las áreas próximas al Sector Prusia, que en su mayoría poseen esta clasificación de prioridad, han sufrido deslizamientos provocados por la mezcla de intensas precipitaciones y pendientes pronunciadas. Situación que necesita ser atendida y considerada para asegurar la protección de los ciudadanos, pese a su moderada relevancia.

FIGURA 2. Mapa de priorización de áreas en la cuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica. Fuente Castro, 2024



La cuenca del río Reventado es de gran importancia a nivel nacional, ya que en esta región se generan una amplia gama de productos agrícolas destinados al consumo de los costarricenses, como la papa, la cebolla, entre otros. Igualmente, su relevancia se basa en que es un cauce del río Reventazón y posee focos significativos como el sector de Prusia, Los Diques, así como depósitos de agua 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.

Hay un desconocimiento entre los habitantes y agricultores de la región en cuanto a prácticas de conservación y diversificación de cultivos, lo que repercute en la productividad de las tierras y su estructura física. Las tierras se están gestionando de manera inadecuada respecto a la variedad o diversificación de cultivos, dado que en numerosas situaciones solo se siembran papas, cebollas o frijoles, lo que provoca que la economía de los agricultores se vea impactada por la competencia y los precios. A pesar de lo señalado, cuenta con considerables oportunidades en el ámbito productivo, tales como un terreno ideal para la agricultura con excelente estructura y propiedades químicas, un sólido sector comercial, y la disposición de los residentes a cooperar en el avance de sus comunidades y productividad; es un elemento esencial para la implementación de cualquier plan de gestión.

La existencia de cultivos agrícolas, sumada a las inclinaciones del lugar y las lluvias, provoca una gran erosión de las tierras, que puede representar un alto riesgo para sus residentes; de igual forma, afecta su rendimiento y causa pérdidas financieras para los agricultores. Por lo tanto, la priorización de zonas vulnerables en las cuencas resulta sumamente beneficiosa para enfocar esfuerzos y costos en la rehabilitación del área, ya que muestra de manera visual los sitios y las causas de los problemas; y, simultáneamente, promueve la elaboración de planes de gestión precisos y relevantes. Por otro lado, la implementación de medidas conservacionistas en beneficio de la cuenca, el recurso hídrico y el suelo mejoraría las condiciones de las áreas vulnerables en la región, a tal grado que la economía de los residentes y su seguridad se incrementen significativamente. A pesar de la inversión económica que podría resultar en la puesta en marcha de estas medidas, los beneficios en términos de productividad de tierras y calidad y cantidad de productos se incrementará.

REFERENCIAS

- 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. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/reflexiones/article/view/11453>
- 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. *Manejo Integrado de Plagas*, (23), 26-31. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/11045>
- Campos, F. (1971). *Monografía del río Reventado y las inundaciones de Cartago*. [Tesis de licenciatura no publicada]. Escuela Normal Superior, Costa Rica.
- 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
- 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., 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. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/6722>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (1995). *Metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica*. Segunda Edición.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2007). *Caracterización de la agrocadena de papa, Cartago, Costa Rica*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-9453.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Energía y Telecomunicaciones (MINAET). (2010). Manual para la Clasificación de Tierras Dedicadas a la Conservación de los Recursos Naturales Dentro de la Zona Marítimo Decreto Ejecutivo N° 35869. Disponible en https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=67762&nValor3=86753&strTipM=TC
- 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. (2008). *Plan General de Manejo del Parque Nacional Volcán Irazú*. SINAC. <https://www.sinac.go.cr/ES/planmanejo/Plan%20Manejo%20ACC/Parque%20Nacional%20Volc%C3%A1n%20Iraz%C3%BA.pdf>
- Proyecto PRUGAM. (2005). *Mapas de usos de la tierra*. [Mapa]. 1:10.000.
- Ramírez, L., Alvarado, A., Pujol, R., y Brenes, L.G. (2008). Caracterización física de la cuenca media del río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 32(2), 73-92. https://www.mag.go.cr/rev_agr/v32n02-073.pdf
- Salgado, D. (2002). *Problemática de la cuenca del río Reventado-Cartago: los aspectos de ocupación en área de amenaza natural múltiple y los conflictos del uso del suelo en áreas con regulaciones preventivas*. 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>
- 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*. [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza] Repositorio CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4319>
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning* (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.