

Gestión ambiental en la subcuenca del río Rincón para preservar la calidad del agua superficial en La Península de Osa

Environmental Management in the Rincón River Sub-Basin to Preserve Surface Water Quality in the Osa Peninsula

Guillermo Calvo-Brenes¹, Laura Robleto-Villalobos²

Fecha de recepción: 28 de noviembre, 2024

Fecha de aprobación: 6 de marzo, 2025


Calvo-Brenes, G; Robleto-Villalobos, L. Gestión ambiental en la subcuenca del río Rincón para preservar la calidad del agua superficial en La Península de Osa. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° 4. Octubre-Diciembre, 2025. Pág. 121-131.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i4.7601>





1 Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA), Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

 calvogmo@yahoo.com

 <https://orcid.org/0000-0002-7021-3509>

2 Chestnut Hill Farms LLC, Estados Unidos de America.

 consultoraecobalance@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0001-3447-8059>

Palabras clave

Manejo ambiental; índice de calidad del agua; uso de suelo; modelo predictivo.

Resumen

Un estudio preliminar evaluó la calidad del agua en la subcuenca del río Rincón mediante un modelo predictivo basado en variables socioambientales y el Índice de Calidad del Agua (ICA) Calvo-TEC. Se analizaron escenarios futuros para determinar el impacto de diferentes actividades sobre la calidad del agua, combinando análisis de cobertura del suelo, modelado predictivo y evaluación participativa. El estudio identificó que actividades como el aumento de pastos o charrales tienen un impacto mínimo, mientras que la expansión de cultivos permanentes o temporales y la pérdida de bosque generan efectos negativos significativos. Los resultados destacan que la conservación e incremento del área boscosa, así como prácticas de manejo responsable, son esenciales para preservar este recurso, especialmente en la Reserva Forestal Golfo Dulce. Entre los cultivos predominantes, la Palma Africana requiere especial atención debido a su alto impacto en la región. Además, se propone el desarrollo de actividades económicas sostenibles como los sistemas agroforestales, la reducción del uso de agroquímicos y la diversificación de ingresos. Estas estrategias permiten equilibrar la protección de la calidad del agua con el bienestar socioeconómico de los habitantes. Con base en estos hallazgos, se establecieron criterios de manejo ambiental enfocados en la conservación hídrica de la subcuenca. Estas medidas son replicables en otras áreas de la Península de Osa, consolidando su utilidad como un modelo de gestión sostenible a nivel regional.

Keywords

Environmental management; water quality index; land use; sub-basins; water quality prediction model.

Abstract

A preliminary study assessed water quality in the Rincón River sub-basin using a predictive model based on socio-environmental variables and the Water Quality Index (ICA) Calvo-TEC. Future scenarios were analyzed to determine the impact of various activities on water quality, combining land cover analysis, predictive modeling, and participatory evaluation. The study identified that activities such as the increase in pastures or shrublands have minimal impact, whereas the expansion of permanent or temporary crops and deforestation generate significant negative effects. The results highlight that forest conservation and expansion, as well as responsible management practices, are essential for preserving this resource, particularly in the Golfo Dulce Forest Reserve. Among the predominant crops, African Palm requires special attention due to its high impact in the region. Additionally, sustainable economic activities such as agroforestry systems, reducing agrochemical use, and diversifying income sources are proposed. These strategies allow for balancing water quality protection with the socioeconomic well-being of local inhabitants. Based on these findings, environmental management criteria were established to prioritize water conservation in the sub-basin. These measures are replicable in other areas of the Osa Peninsula, consolidating their utility as a sustainable management model at the regional level.

Introducción

El agua es esencial para la vida, tanto para consumo humano como para la agricultura, la ganadería, los procesos industriales y el mantenimiento de los ecosistemas. Sin embargo, diversas actividades humanas, como el vertido de aguas residuales domésticas, los desechos industriales y las prácticas agrícolas, generan efectos negativos en el medio ambiente [1]. La deforestación, producto de la expansión agrícola y urbana, destruye hábitats naturales y afecta la biodiversidad acuática [2], [3].

El monitoreo frecuente de la calidad del agua es crucial, ya que los ríos contaminados impactan también los océanos y las comunidades pesqueras de la Península de Osa. Se estima que el 80% de las enfermedades en el mundo están relacionadas con el agua [4]. Los ríos reciben contaminantes no solo por vertidos directos, sino también indirectos por escorrentías durante lluvias, especialmente en zonas con procesos erosivos [5]. Además, el aumento de la población y las actividades agrícolas y ganaderas afectan la calidad del agua.

Para evaluar esta calidad, se utilizan indicadores que se agrupan en un Índice de Calidad del Agua (ICA), como el ICA Calvo-TEC, que ha demostrado ser eficaz en la región centroamericana [5], [6]. El entorno socioambiental también influye en la calidad del agua, lo que permite predecir su estado mediante modelos predictivos adecuados [7]. El estudio de la calidad del agua es más efectivo cuando se enfoca en unidades geográficas como cuencas o microcuencas, que integran factores del ciclo hidrológico y el uso del suelo [8].

La Península de Osa, conocida por su biodiversidad, es un sitio crucial para la conservación ecológica y el ecoturismo sostenible, contribuyendo a la investigación científica y a la salud de los ecosistemas marinos [9]. Desde los años 90, el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) ha adquirido terrenos dentro de la Reserva Forestal Golfo Dulce (RFGD) en la Península para incrementar la cobertura boscosa, lo que ha demostrado beneficios para la calidad del agua de los ríos, como se evidenció en estudios previos dentro de la subcuenca del río Rincón [10].

La subcuenca del río Rincón está predominantemente cubierta por bosques (78.2%), con una pequeña fracción de tierras dedicadas a la agricultura. Aunque la actividad agrícola es baja (1.1%), se proyecta que podría aumentar significativamente en el futuro, lo que representa una amenaza para la región, especialmente por su proximidad a manglares y la costa del Golfo Dulce.

La sostenibilidad del sistema dependerá de una adecuada gestión, tanto del recurso hídrico como de la cuenca, promoviendo una agricultura sostenible [12]. En su momento, se evaluó el impacto de cambios en el uso del suelo mediante un modelo predictivo de calidad del agua en la Subcuenca por medio de modelos predictivos de calidad del agua en función de las variables socioambientales de la zona [10]. En este artículo se evaluó el uso actual del suelo y se valoraron algunos sistemas de gestión de recursos que favorezca un desarrollo sostenible para la población local.

Este trabajo representa un avance con respecto a investigaciones anteriores realizadas por el mismo autor en la subcuenca del río Rincón, al incorporar un modelo predictivo que permite proyectar escenarios futuros de cambio en el uso del suelo y su impacto sobre la calidad del agua. A diferencia de estudios previos centrados en el diagnóstico del estado actual mediante el Índice de Calidad ICA Calvo-TEC, en esta ocasión se combinan herramientas de análisis espacial, modelado y evaluación participativa, lo que permite establecer relaciones más dinámicas entre las actividades humanas y la conservación del recurso hídrico. Esta integración amplía la utilidad del modelo como instrumento para la toma de decisiones en la planificación territorial.

Además, el estudio propone criterios de manejo ambiental concretos y replicables, orientados a promover prácticas sostenibles que equilibren la conservación hídrica con el bienestar socioeconómico de la población local. Se destacan estrategias como el fomento de sistemas agroforestales, la reducción del uso de agroquímicos y la diversificación de ingresos, con atención especial a cultivos de alto impacto como la Palma Africana. Estas propuestas permiten escalar los hallazgos más allá del ámbito local, consolidando un modelo de gestión ambiental aplicable a otras zonas de la Península de Osa.

Materiales Y Métodos

Localización del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la subcuenca del río Rincón, en la Península de Osa, que incluye parte del Parque Nacional Corcovado, de la Reserva Forestal Golfo Dulce (RFGD) y una zona costera, relacionada con propiedades privadas. Aunque gran parte de la subcuenca está cubierta por bosque, también se identifican actividades ganaderas y agrícolas, como lo es mayoritariamente el cultivo de palma africana y en menor escala, la siembra de arroz. También se identifica una zona de baja densidad poblacional (Figura 1).

En la RFGD, el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) continúa su política de adquisición de terrenos, destinados a aumentar la cobertura boscosa de la reserva. Estos terrenos son utilizados por particulares para pastizales o plantaciones forestales bajo el programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA) del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO).

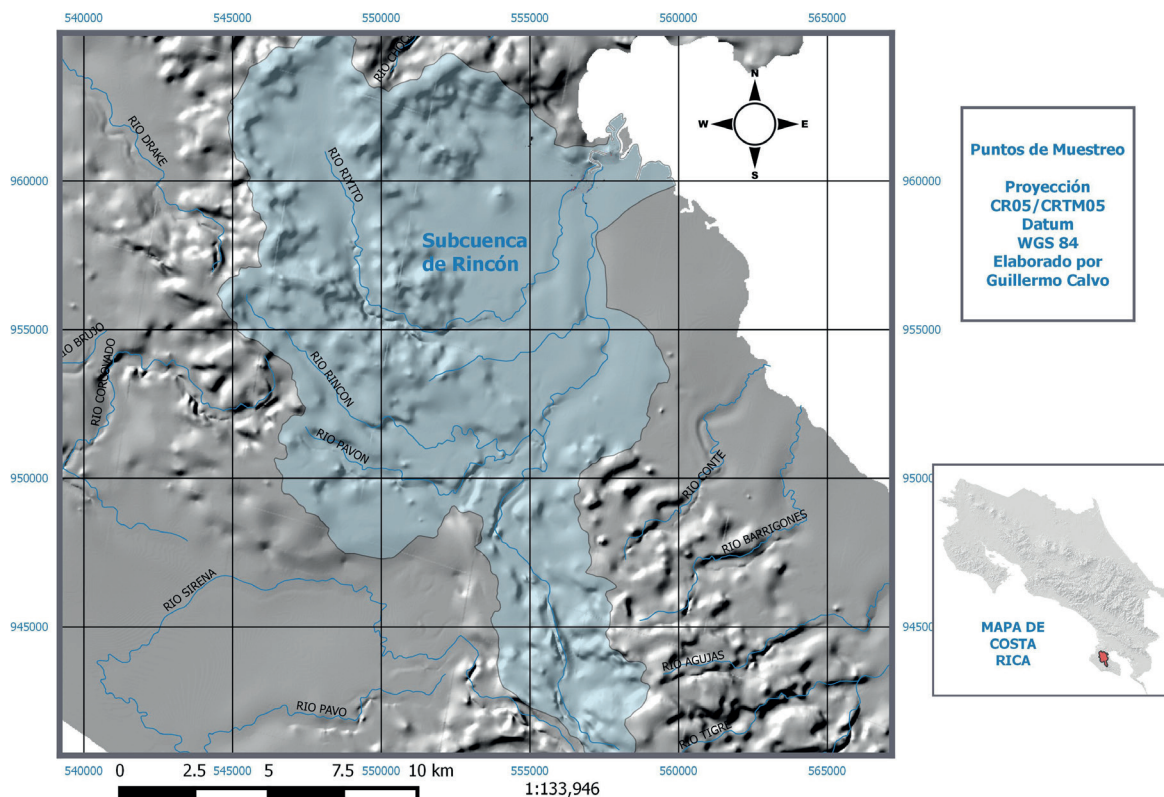


Figura 1. Localización de la subcuenca del río Rincón en la Península de Osa. Fuente: [10]

Recolección de la Información

Parte de la información fue obtenida a través de veintiséis entrevistas semiestructuradas a personas involucradas en actividades en la subcuenca, enfocadas en los procesos relevantes para el proyecto de investigación. También se realizaron visitas de campo con observación y participación directa, organizando talleres y otras actividades para recolectar información. Además, se evaluaron actividades productivas fuera de la subcuenca que favorecen usos de suelo positivos para la calidad del agua en la RFGD, las cuales podrían replicarse en la subcuenca.

Las actividades productivas seleccionadas, tras un análisis comparativo, incluyen: sistemas agroforestales y agrosilvopastoriles, educación ambiental participativa, monocultivos permanentes y estacionales (como el arroz) y el manejo forestal.

Resultados Y Discusión

La Figura 2 muestra los distintos usos del suelo en la subcuenca del río Rincón. La mayor parte de la subcuenca está cubierta por bosques, especialmente en las zonas altas, donde se encuentra el Parque Nacional Corcovado y la RFGD. La zona costera, que no pertenece a la RFGD, es de propiedad privada y se destina a actividades agrícolas y ganaderas. Algunos de estos terrenos colindan con manglares y la costa del Golfo Dulce, lo que representa un riesgo de contaminación por fertilizantes, pesticidas y otros contaminantes.

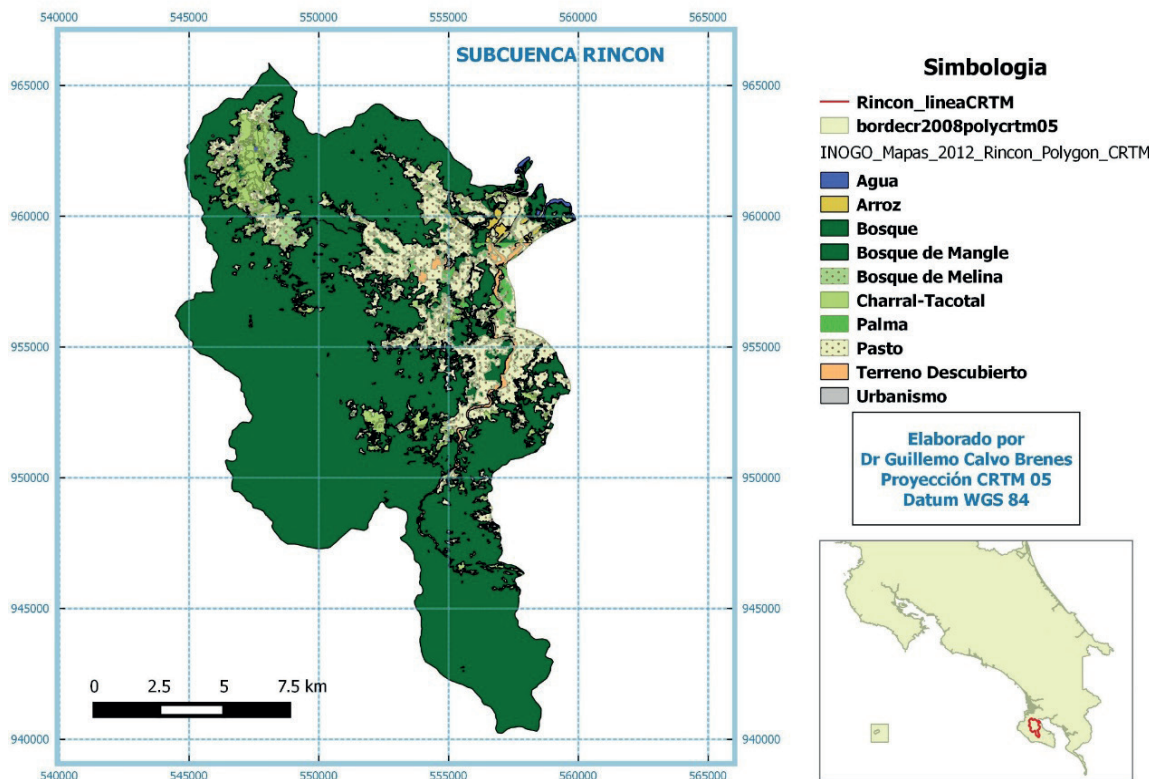


Figura 2: Distribución de la cobertura-uso del suelo en la Subcuenca del río Rincón. Fuente: [10]

Las Figuras 2 y 3 resumen la distribución del uso del suelo en la subcuenca, expresada en porcentaje de área cubierta por cada tipo de uso. El 78% del área está cubierta por bosque, equivalente a 16,706 hectáreas. El 14% (2,901 hectáreas) está destinado a pastos ganaderos. Los cultivos representan aproximadamente el 1.1%, con 131 hectáreas dedicadas a palma aceitera, 105 hectáreas a arroz, y 326 hectáreas clasificados como terreno descubierto, posiblemente para cultivos estacionales. Además, 1,187 hectáreas corresponden a charrales-tacotales (6%), y 3 hectáreas están destinadas a uso urbanístico, representando menos del 0.02%.

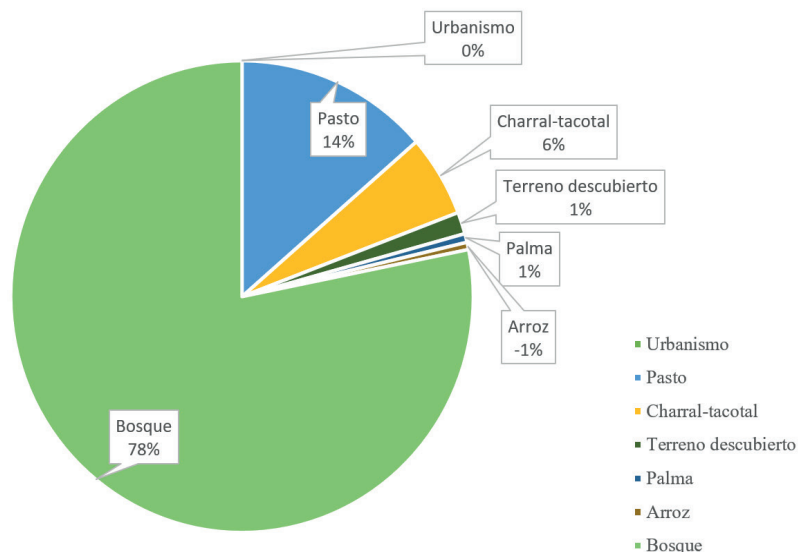


Figura 3. Porcentaje de uso del suelo en la subcuenca del río Rincón.

En la subcuenca del río Rincón se distinguen tres franjas: la parte alta, correspondiente al Parque Nacional Corcovado; la franja media, que pertenece a la Reserva Forestal Golfo Dulce (RFGD); y la franja costera (Cuadro 1). La Figura 3 muestra la distribución del área por franja, donde la RFGD ocupa el 57.7% y la franja costera el 18.6%. Esta última es especialmente relevante debido a los diversos usos del suelo, incluidos los agrícolas.

Cuadro 1 Distribución porcentual de las distintas franjas dentro de la subcuenca del río Rincón.

Zona	Área (km ²)	Relación (%)
Subcuenca Rincón	214,0	100,0
Franja de Parque Nacional	50,8	23,7
Franja de RFGD	123,4	57,7
Franja Costera	39,8	18,6

La Península de Osa es uno de los grandes tesoros naturales de Costa Rica y del mundo. Sin embargo, cuenta con bajos índices de desarrollo. El motivo principal para realizar este análisis es la preocupación que genera el problema del desempleo y precarización laboral que, según el Instituto de Desarrollo Rural (IDER), manifiestan los habitantes de la Reserva Forestal Golfo Dulce.

La RFGD es un área protegida habitada, es decir, que sus casi 60.000 hectáreas, corresponden a un territorio que es compartido por bosques, vida silvestre y comunidades con aproximadamente 4.000 habitantes [13], [14]. De ahí que sea tan importante promover la buena convivencia y el beneficio mutuo, entre la vida silvestre y los habitantes de la reserva; además de integrar a los habitantes en el proceso de conservación de la calidad de los cuerpos de agua.

En el país, la conversión de pastizales y tierras agrícolas a plantaciones de palma africana (*Elaeis guineensis*) ha venido creciendo. El 66.52% de estas plantaciones se encuentran en el Pacífico Sur con un crecimiento del 17% entre 2006 y 2011 [14]. Sin embargo, la plaga “flecha seca” ha afectado gravemente las plantaciones, especialmente en Osa y Golfito, con una pérdida del 50% de las plantaciones. Se especula que la plaga “flecha seca” es el resultado de malas prácticas agrícolas, relacionadas con el abuso de agroquímicos, lo que favorece el ataque de microorganismos e insectos a las plantaciones [13].

La expansión de las plantaciones de palma plantea amenazas, como la deforestación, la pérdida de biodiversidad, la sedimentación, la erosión del suelo, la contaminación del agua y la pérdida de hábitat. Además, sustituyó las prácticas agrícolas tradicionales de la región [15]. El interés de los agricultores por la palma aceitera ha crecido debido a su rentabilidad, el apoyo externo para costos iniciales y el bajo mantenimiento [16]. Las condiciones climáticas son favorables para el cultivo de palma; el área cuenta con la precipitación anual y suficiente radiación solar, más el hecho de que los agricultores están reutilizando terrenos agrícolas degradados [17].

Según los hallazgos de esta investigación, en la Península de Osa un grupo significativo de agricultores se ha organizado en cooperativas. Una de estas cooperativas está formada por 105 productores que gestionan fincas de entre 7.5 y 10 hectáreas, con un promedio de 143 palmas por hectárea. La palma representa para las familias agricultoras un proyecto que les permite satisfacer sus necesidades básicas y generar ganancias. Cada finca generalmente representa un núcleo familiar de al menos 4 personas adultas, sin contar a los niños.

Estas cooperativas han venido innovando modelos diferentes de buenas prácticas agrícolas en comparación con los modelos tradicionales de cultivo de la palma. El cuadro 2 presenta un análisis comparativo entre ambos modelos, de acuerdo con lo indicado por una de estas cooperativas.

Cuadro 2. Análisis Comparativo del modelo tradicional con respecto a modelos innovadores aplicados al cultivo de palma africana.

Aspecto	Modelo Tradicional	Modelo Innovador
Control de malezas	Uso intensivo de agroquímicos y técnicas que degradan el suelo y afectan los ecosistemas.	Reducción del uso de agroquímicos: dos limpiezas manuales y un agroquímico durante los primeros años; a partir del cuarto año, limpieza manual anual con guadaña.
Uso de fertilizantes	Alta dependencia de fertilizantes químicos con costo elevado y no sostenible.	Incorporación de abonos orgánicos y microorganismos, tal como compostaje y suero de leche vacuna; uso de carbón como mejorador del suelo; enfoque en la sostenibilidad.
Diversificación de cultivos	Monocultivo intensivo con riesgo para la seguridad alimentaria por disminución de cultivos de autoconsumo.	Diversificación con cultivos como cacao, tubérculos, plátano y maíz, que promueven seguridad alimentaria y estabilidad económica para las familias.

Aspecto	Modelo Tradicional	Modelo Innovador
Impacto ambiental	Limpieza excesiva de entrecalles y rodajas, lo que elimina vegetación y genera vulnerabilidad frente a plagas, con aumento de procesos erosivos.	Siembra de frijol terciopelo como cobertura para fijar nitrógeno, reducir malezas y mantener la fertilidad del suelo. Creación de áreas de amortiguamiento con cultivos.
Manejo de plagas y enfermedades	No logra controlar enfermedades como la flecha seca o el anillo rojo; generando pérdidas en productividad.	Implementación de áreas de amortiguamiento con cultivos arbóreos; mejora de la resiliencia del sistema agrícola mediante prácticas regenerativas.
Protección de recursos naturales	No prioriza la conservación de agua ni la estabilización de suelos.	Siembra de bambú guadua cerca de cursos de agua y en pendientes para estabilizar suelos; creación de barreras protectoras y corredores ecológicos.
Rentabilidad	Alta inversión inicial en insumos químicos y fertilizantes; rentabilidad dependiente exclusivamente del monocultivo.	Reducción de costos por uso de fertilizantes orgánicos y mano de obra manual; ingresos diversificados por productos como cacao, bambú y cultivos de autoconsumo.

Estas cooperativas están investigando técnicas que permitan a los pequeños productores asegurar su sustento y la sostenibilidad de sus fincas. Para ello, organizan talleres prácticos donde comparten estas técnicas y demuestran cómo pueden ayudar a los productores a ahorrar dinero. La reducción en el uso de herbicidas en las plantaciones de palma ha permitido la proliferación de una gran diversidad de plantas nativas que no compiten con el cultivo. Estas plantas tienen un alto potencial ornamental, por lo que se propone extraerlas y establecer un vivero para abastecer la industria hotelera local. No obstante, los permisos necesarios para la extracción aún están pendientes.

Además, al producir abono como insumo para las plantaciones de palma, se ha identificado la posibilidad de comercializar los excedentes, en caso de que se generen. Asimismo, se ha detectado la necesidad de producir carbón vegetal para aplicar al suelo y estabilizar los abonos. Por este motivo, se está investigando cómo carbonizar y pelletizar los desechos vegetales resultantes del proceso de extracción de aceite.

Finalmente, mediante la creación de barreras vivas con bambú y cacao, la cooperativa ha logrado diversificar su oferta comercial al obtener dos productos adicionales.

La extracción de madera del bosque en la región no ha ofrecido una alternativa sostenible para los propietarios, debido a la desigual distribución de los ingresos en la cadena de producción. Los finqueros reciben apenas entre el 8 % y el 10 % del precio final, mientras que los dueños de maquinaria obtienen alrededor del 12 % al 14 %, los aserraderos entre el 20 % y el 33 %, y las empresas comercializadoras concentran el 50 % de las ganancias.

Actualmente, la administración de la RFGD colabora con la sociedad civil en la elaboración del Plan de Manejo de la reserva, al tiempo que desarrolla el proyecto de investigación denominado *Manejo Forestal y Certificación del Origen Legal de la Madera en la Reserva Forestal Golfo Dulce (MAFOR-COL)*. Este proyecto incluye actividades de educación y sensibilización dirigidas a los habitantes de la reserva y las comunidades vecinas.

Según la administración de la RFGD, el manejo forestal es una estrategia que contribuye tanto a la conservación de los bosques como al mejoramiento de los medios de vida de las familias propietarias. La propuesta de manejo forestal en desarrollo fomenta el comercio justo de la madera y promueve el consumo ético y responsable. Además, este enfoque debilita la tala ilegal y el comercio clandestino de madera [13].

Según el IDER, las decisiones sobre el desarrollo en la zona suelen estar influenciadas por el contexto económico regional, lo que genera una tendencia a implementar actividades promovidas por proyectos nacionales o macroregionales. Ejemplos de esto son los cultivos de palma y arroz en la actualidad, y el palmito y melón en el pasado. Sin embargo, esta dinámica no ha generado un aumento significativo en la calidad de vida de los pobladores, al menos no en la medida esperada.

Como solución, se propone fomentar proyectos basados en las capacidades y recursos locales, que promuevan la participación de la población y fortalezcan la comunicación e integración entre los actores sociales y las diversas comunidades. Este enfoque busca abordar de manera efectiva las problemáticas sociales de la región. Es fundamental reconocer que la comunidad está compuesta por múltiples voces y perspectivas, por lo que alcanzar consensos es clave para maximizar los beneficios y lograr resultados positivos [13].

Es necesario dar prioridad al ordenamiento territorial y a la resolución del conflicto de tenencia de la tierra, así como medir la mejora efectiva en la calidad de vida de los habitantes de la zona. Además de los indicadores biológicos, deben incluirse indicadores de desarrollo humano. Esto permitirá que el plan de manejo de la RFGD no solo sea un instrumento de conservación que atraiga recursos económicos, sino también una herramienta para promover una mejor calidad de vida, al ordenar y regularizar la economía ecológica de la reserva.

Conclusiones

El principal uso del suelo en la subcuenca del río Rincón es el bosque, lo cual contribuye significativamente a la conservación de la calidad del agua, la cual preserva la biodiversidad y las actividades artesanales en ríos, el Golfo Dulce y la zona marina, así como los numerosos manglares de la península. Aunque el uso agrícola es limitado, existe un potencial de expansión en la franja costera de la subcuenca. Sin embargo, este desarrollo podría comprometer la calidad del agua si no se gestiona adecuadamente.

El aumento de áreas dedicadas a pastos o charral tacotal no parece tener un impacto negativo sobre la calidad del agua. Esto sugiere que la producción agrícola mediante sistemas agroforestales, que funcionan de manera similar a los tacotales, es una estrategia favorable para preservar la calidad del agua. En contraste, el incremento en las áreas de siembras permanentes sí afecta negativamente la calidad del agua, por lo que esta actividad debe ser monitoreada cuidadosamente. Tal es el caso de la siembra de la Palma Africana en la zona.

El criterio principal para decidir sobre la adquisición de terrenos dentro de la Reserva Forestal Golfo Dulce (RFGD) debe enfocarse en preservar la cobertura boscosa [18]. En los casos donde no sea viable adquirir nuevos terrenos, se deben implementar estrategias para mantener y proteger la cobertura boscosa existente.

De acuerdo con los resultados de este estudio, las actividades productivas con mayor viabilidad en la zona son el turismo de bajo impacto y la producción agrícola bajo sistemas agroforestales. Sin embargo, algunas actividades económicamente viables, como el cultivo de palma y el aprovechamiento forestal, no siempre contribuyen a la preservación de la calidad del agua. Estas actividades pueden llevarse a cabo únicamente si se aplican medidas estrictas de mitigación de impactos.

El análisis realizado evidencia que la implementación de buenas prácticas agrícolas tiene un impacto positivo en múltiples aspectos clave. Estas prácticas fomentan un modelo más sostenible al reducir el uso de agroquímicos, diversificar los cultivos y mejorar la calidad del

suelo mediante técnicas orgánicas. Además, aumentan la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a plagas y enfermedades a través de estrategias como áreas de amortiguamiento y cobertura vegetal.

Asimismo, estas prácticas favorecen la conservación de los recursos naturales, especialmente del suelo y el agua, ayudando a mitigar los efectos negativos asociados al monocultivo intensivo. También fortalecen la seguridad alimentaria al garantizar el acceso a alimentos básicos y mejorar la estabilidad económica de las familias, disminuyendo su dependencia exclusiva de cultivos como la palma. Estos hallazgos resaltan la importancia de promover la adopción de buenas prácticas agrícolas como un pilar esencial para lograr sistemas agrícolas sostenibles y equitativos en la región.

Referencias

- [1] G. Calvo-Brenes, *Ríos: Fundamentos sobre su calidad y su relación con el entorno socioambiental*, First. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica, 2015.
- [2] C. Carrasco, C. Rayme, R. D. P. Alarcón, Y. Ayala, J. Arana, and H. Aponte, "Macroinvertebrados acuáticos en arroyos asociados con bofedales altoandinos, Ayacucho Perú," *RBT*, vol. 68, no. S2, pp. S116–S161, Oct. 2020, doi: 10.15517/rbt.v68iS2.44344.
- [3] V. G. Duschek, M. Springer, G. H. Niedrist, and L. Füreder, "Macroinvertebrates as indicators in tropical streams with different land use in southern Costa Rica," *Acta Zoobot Austria*, vol. 156, pp. 99–113, 2019.
- [4] G. Calvo-Brenes, "Nuevo índice para valorar la calidad de aguas superficiales en Costa Rica," *TM*, Oct. 2019, doi: 10.18845/tm.v32i4.4796.
- [5] N. Gil-Rodas, G. Calvo-Brenes, A. Guerra, and A. Perdomo, "Water quality assessment of six rivers of the Pacific side of Guatemala," *Environ Earth Sci*, vol. 80, no. 5, p. 196, Mar. 2021, doi: 10.1007/s12665-021-09505-w.
- [6] G. Calvo-Brenes, *Índices e indicadores sobre la calidad del agua*, First. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica, 2018.
- [7] D. C. Montgomery, E. A. Peck, and G. G. Vining, *Introduction to linear regression analysis*, Sixth edition. in Wiley series in probability and statistics. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2021.
- [8] A. M. Braz, P. H. M. Garcia, A. L. Pinto, E. S. Chávez, and I. J. D. Oliveira, "Manejo integrado de cuencas hidrográficas: posibilidades y avances en los análisis de uso y cobertura de la tierra," *Cuad. Geogr. Rev. Colomb. Geogr.*, vol. 29, no. 1, pp. 69–85, Jan. 2020, doi: 10.15446/rcdg.v29n1.76232.
- [9] E. Vargas-Campos, E. Arnold, and D. Garcia-Godínez, "La experiencia de Caminos de Osa: una iniciativa de turismo sostenible en Costa Rica," *Rev. Ambientales.*, vol. 52, no. 2, p. 16, Jul. 2018, doi: 10.15359/rca.52-2.14.
- [10] G. Calvo-Brenes, J. Mora-Molina, A. Chavarría-Vidal, and A. Orozco-Barrantes, "Desarrollo de un programa piloto de gestión ambiental en microcuencas para mejorar la calidad de los ríos en la Reserva Forestal Golfo Dulce, Península de Osa, Costa Rica Development of an environmental management novel program in watersheds to improve water quality in rivers in the Reserva Forestal Golfo Dulce in Península of Osa, Costa Rica," *Tecnología en Marcha*, vol. 29, no. 3, pp. 15–29, 2016, doi: 10.18845/tm.v29i3.2285.
- [11] G. Calvo-Brenes, N. Quirós-Bustos, D. Robles-Chaves, and A. Caballero-Chavarría, "Contenido de metales pesados en sedimentos de varios ríos de Costa Rica," *TM*, Oct. 2024, doi: 10.18845/tm.v37i4.6940.
- [12] N. Gil-Rodas *et al.*, "A comparative study of several types of indices for river quality assessment," *Water Quality Research Journal*, vol. 58, no. 3, pp. 169–183, Aug. 2023, doi: 10.2166/wqrj.2023.029.
- [13] IDER, "PLAN DE DESARROLLO RURAL TERRITORIAL 2024-2030: CONSEJO TERRITORIAL DE DESARROLLO RURAL PENINSULA DE OSA." 2024. [Online]. Available: <https://www.inder.go.cr/peninsula-de-osa/PDRT-Peninsula-de-Osa.pdf>
- [14] K. G. H. Zuñiga, "Informe : monitoreo del estado de la Palma Aceitera en las principales regiones productoras," Abril 2022, [Online]. Available: https://repositorio.conare.ac.cr/bitstream/handle/20.500.12337/8292/Vargas_Y_Informe_monitoreo_estado_palma_aceitera_CR_2018_2022_2ed.pdf
- [15] A. Ávila Romero and J. Albuquerque, "Impactos socioambientales del cultivo de la palma africana: los casos mexicano y brasileño," *Econom. y Socied.*, vol. 23, no. 53, p. 1, Jun. 2018, doi: 10.15359/eyes.23-53.4.

- [16] M. Mosquera Montoya, E. Ruiz Álvarez, D. E. Munévar Martínez, M. C. Estupiñán Villamil, Á. Guerrero, and S. Cala, "Estudio de costos de producción 2021 para empresas benchmark del sector de la palma de aceite de Colombia," *Palmas*, vol. 43, no. 4, pp. 26–39, Dec. 2022, doi: 10.56866/01212923.13911.
- [17] I. Garita, "African Palm and Environmental Sustainability," *Sol de Osa*, 2016.
- [18] G. Calvo-Brenes, J. Mora-Molina, A. Chavarría-Vidal, and A. Orozco-Barrantes, "Desarrollo de un programa piloto de gestión ambiental en microcuencas para mejorar la calidad de los ríos en la Reserva Forestal Golfo Dulce, Península de Osa, Costa Rica," *TM*, vol. 29, no. 3, p. 15, Nov. 2016, doi: 10.18845/tm.v29i3.2885.

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Los autores aquí firmantes declaramos que no se utilizó ninguna herramienta de IA para la conceptualización, traducción o redacción de este artículo.