

Propuesta de manejo de áreas críticas de recarga hídrica en la cuenca El Hato, Guatemala

Proposal for management of critical water recharge areas in the El Hato basin, Guatemala

Ricardo Alberto Chan Escobar¹ 

¹Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala

Dirección para recibir correspondencia: ricardo1113cescobar@gmail.com
Recibido: 01/08/2024 Revisión: 01/10/2024 Aceptado: 18/11/2024

Resumen

La cuenca El Hato, ubicada en la cuenca del río Pensativo en Sacatepéquez, Guatemala, abarca 558 hectáreas, de las cuales el 68% es de vocación forestal y el 20% es urbano y agrícola. El crecimiento poblacional y la falta de planificación territorial están provocando un aumento en la escorrentía superficial, degradación del suelo y disminución de la captación de agua en las áreas críticas de recarga hídrica. Este fenómeno representa un desafío para la gestión sostenible del recurso hídrico en la región. El objetivo de esta investigación fue identificar las áreas críticas de recarga hídrica y proponer un plan de manejo para su conservación. Se realizó un balance hídrico de suelos y se complementó con información sobre uso de la tierra, pendientes y geología, mediante sistemas de información geográfica. Luego, se identificaron y clasificaron las áreas críticas y se desarrolló un plan de manejo basado en las características del suelo, pendiente e intensidad de uso de la tierra. Finalmente, se evaluó el impacto hidrológico mediante simulaciones de caudales para cuatro períodos de retorno. Los resultados muestran que, de las 472 hectáreas de recarga hídrica potencial, 301 son críticas. Se propone restaurar 113 hectáreas y aplicar prácticas de conservación de suelo y agua en 188 hectáreas adicionales. La ejecución de esta propuesta podría reducir la escorrentía superficial en un 16% y mejorar la captación de agua en las áreas de recarga hídrica.

Palabras claves: Balance hídrico de suelos, degradación del suelo, modelo hidrológico, uso actual de la tierra, capacidad de uso de la tierra, infiltración.

Abstract

The El Hato basin, located in the Pensativo River basin in Sacatepéquez, Guatemala, covers 558 hectares, of which 68% is forestry and 20% is urban and agricultural. Population growth and the lack of territorial planning are causing an increase in surface runoff, soil degradation and a decrease in water collection in critical water recharge areas. This phenomenon represents a challenge for the sustainable management of water resources in the region. The objective of this research was to identify critical areas of water recharge and propose a management plan for their conservation. A soil water balance was carried out and was complemented with information on land use, slopes and geology, through geographic information systems. Critical areas were then identified and classified, and a management plan was developed based on soil characteristics, slope, and land use intensity. Finally, the hydrological impact was evaluated through flow simulations for four return periods. The results show that of the 472 hectares of potential water recharge, 301 are critical. It is proposed to restore 113 hectares and apply soil and water conservation practices on an additional 188 hectares. The execution of this proposal could reduce surface runoff by 16% and improve water collection in water recharge areas.

Key words: Soil water balance, soil degradation, hydrological model, current land use, land use capacity, infiltration.



Introducción

La cuenca El Hato está ubicada en la parte alta de la cuenca del río Pensativo, en Sacatepéquez, Guatemala. A pesar de su vocación forestal, las áreas de recarga hídrica de la cuenca han sufrido degradación debido a actividades humanas. En la parte baja de la cuenca se encuentra la ciudad de Antigua Guatemala, hogar de 46,054 personas, cuya economía depende en gran parte del turismo (Instituto Nacional de Estadística -INE-, 2018).

En El Hato, las actividades agrícolas y no agrícolas han provocado el sobreuso de la tierra, lo que reduce las áreas de recarga hídrica, disminuye la captación de agua, y aumenta la escorrentía superficial, acelerando la degradación del suelo. Esto pone en riesgo la disponibilidad de agua en la región.

Este estudio se centra en la importancia de un manejo integral de la cuenca, que garantice la disponibilidad de agua durante la época seca, reduzca los caudales excesivos que afectan la cuenca baja, y promueva la estabilidad económica mediante el aprovechamiento forestal, la agricultura sostenible, los sistemas agroforestales, silvopastoriles y el turismo (Turcios, 2018).

Existen marcos legales en Guatemala que respaldan la conservación del medio ambiente, como la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (Decreto No. 68-86), la Ley Forestal (Decreto No. 101-96), y la Ley de Áreas Protegidas (Decreto No. 4-89). Sin embargo, la cuenca El Hato sigue enfrentando desafíos para mantener sus áreas de recarga hídrica.

Diversos estudios han identificado áreas de recarga hídrica tales como el estudio desarrollado por Rodríguez y Pérez (2014) en la cuenca del río Guara de Cuba; el desarrollado por Roque (2011) en la cuenca del río Pacayá en Quetzaltenango; el estudio de García (2009) en la cuenca del río Tacó y Shusho en Chiquimula; por Chamorro (2010) en la cuenca de la laguna Retana y El Ovejero en Jutiapa; o el de Noriega (2005) en la cuenca del río Sibacá en Quiché, Guatemala. Sin embargo, no todos cuentan con propuestas de manejo orientado al aumento de recarga hídrica.

Los estudios desarrollados por Schosinsky (2006) para el cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos; de Orozco, et al.

(2003) para la determinación de áreas de recarga hídrica natural; y del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2017) en la actualización de mapas de tierras forestales de captación, regulación y recarga hídrica de Guatemala, orientaron los procesos metodológicos para la estimación de recarga hídrica en la cuenca El Hato.

El objetivo de este estudio es identificar las áreas críticas de recarga hídrica en la cuenca El Hato y desarrollar propuestas de manejo para su restauración y conservación, con el fin de incrementar la captación de agua y reducir la escorrentía superficial, contribuyendo a la preservación del suelo.

Materiales y método

Enfoque metodológico

El estudio desarrollado tiene enfoque cuantitativo, con alcance exploratorio en temas de identificación de recarga hídrica y manejo de cuencas hidrográficas.

Para el efecto, se midieron datos de infiltración en campo, se analizaron muestras de suelo en laboratorio, se obtuvo información geográfica, biofísica y meteorológica, y se interpretaron los resultados con programas informáticos especializados para el análisis de información geográfica, estadística e hidrológica. A continuación, se detalla el procedimiento para desarrollar la investigación.

Variables

Para identificar las áreas de recarga hídrica, se determinaron las variables que condicionan el proceso, las cuales son las siguientes: precipitación, evapotranspiración, infiltración, recarga hídrica, uso actual de la tierra, capacidad de uso de la tierra, texturas de suelo, pendientes, y geología de la cuenca.

Muestra y muestreo

Con la información biofísica de uso actual de la tierra, textura de suelos, pendientes y geología, se generaron unidades homogéneas de muestreo en la cuenca, mediante sistemas de información geográfica. En dichas unidades se midió la velocidad de infiltración por el método de Porchet y se recogieron muestras de suelo (Macías, et al., 2018).

Instrumentos de obtención de información

Para la obtención de información en fase de gabinete se utilizaron los siguientes programas informáticos especializados: ArcGis® para extraer y generar información Geográfica que brindan los Shapefile y

Raster de Guatemala; Excel® para el almacenamiento y análisis de datos; Infostat® para el análisis estadístico; y HEC-HMS®, para el análisis hidrológico.

Trabajo de campo

El trabajo de campo consistió en el reconocimiento y validación de los puntos de muestreo en las unidades homogéneas, así como en el desarrollo de pruebas de infiltración para calcular la recarga hídrica mediante balance hídrico de suelos.

Las pruebas de infiltración consistieron en localizar los puntos de muestreo, perforar el suelo con un barreno, rellenar la excavación con agua y medir los niveles de descenso de agua con cinta métrica. Este procedimiento se repitió en cada punto de muestreo.

Durante la medición de infiltración, se recogieron muestras de suelo, las cuales fueron analizadas en laboratorio para determinar la densidad aparente, textura de suelo, capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Esta información fue de utilidad para cuantificar la recarga hídrica potencial mediante el balance hídrico de suelos (Schosinsky, 2006).

Descripción del análisis de datos

Se identificaron las áreas potenciales y críticas de recarga hídrica mediante la ponderación de las variables condicionantes: recarga hídrica potencial, geología, velocidad de infiltración y pendientes de la cuenca, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Ponderación de variables para clasificar las áreas potenciales y críticas de recarga hídrica

Geología	Código
Rocas ígneas o metamórficas no fracturadas	0
Rocas ígneas o metamórficas fracturadas	1
Arenas finas, basaltos permeables, karst	2
Arenas gruesas y gravas	3
Pendiente (%)	Código
0 a 12	0
12 a 26	1
25 a 36	2
26 a 55	3
>55	4
Recarga hídrica potencial (mm/año)	Código
0 a 50	0
50 a 100	1
100 a 150	2
150 a 200	3
>200	4
Tasa de infiltración básica (cm/h)	Código
< 0.15	0
0.15 a 1.5	1
>1.5 a 15	2
>15	3

Fuente: Orozco, et al. (2003)

A cada uno los polígonos de unidades homogéneas de muestreo se les asignó un código para clasificarlos según sus características condicionantes para el proceso de recarga. La sumatoria de estos códigos en cada unidad homogénea se comparó con la categorización presentada en la tabla 2 para su clasificación:

Tabla 2: Clasificación de áreas de recarga hídrica

Categoría	Código
Baja	0 – 5
Moderada	6 – 9
Alta	10 – 12
Muy alta	13 – 14

Fuente: Orozco, et al. (2003)

Para desarrollar la propuesta de manejo, se empleó el estudio semidetallado de suelos del municipio de Sacatepéquez (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación e Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2013). Con la información disponible, se llevó a cabo un análisis geoespacial en la cuenca con el fin de identificar cultivos y prácticas de conservación de suelo y agua, organizados en grupos de manejo de acuerdo con la capacidad de uso de la tierra.

La capacidad de uso de la tierra se contrastó con la información de uso actual, generándose un mapa de intensidad de uso. Este mapa, junto con la información de clases texturales y pendientes, se analizó para determinar prácticas de conservación de suelo en áreas sobreutilizadas, así como los usos de la tierra que mejor se ajustan a las condiciones biofísicas de la cuenca. Para la infraestructura urbana, se plantearon propuestas de captación y recarga hídrica artificial de agua.

Métodos estadísticos aplicados

Posterior al análisis biofísico de la cuenca, se llevó a cabo el análisis hidrológico de eventos extremos, utilizando registros históricos de lluvia de la estación Suiza Contenta y los softwares Excel® y HEC-HMS®.

Los registros diarios de lluvia máxima se ajustaron a la distribución de frecuencias para valores extremos de Pearson tipo III, y se estimaron las lluvias para los períodos de retorno de 2, 10, 25 y 50 años. Para la modelación hidrológica en el software HEC-HMS®, fue necesario incorporar información desagregada de lluvia en 24 horas, utilizando el modelo matemático ajustado por Sherman de la estación Suiza Contenta (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH-, 2018).

$$I \left(\frac{\text{mm}}{\text{h}} \right) = \frac{578 \cdot \text{TR}^{0.237}}{(\text{D} + 2.93)^{0.741}} \quad (1)$$

Donde:

I: intensidad de precipitación en milímetros por hora promedio de datos máximos diarios de lluvia.

TR: frecuencia o período de retorno en años.

D: duración en minutos.

La estación Suiza Contenta del INSIVUMEH cuenta con un registro de lluvia entre 1972 a 2020, y está localizada en Sacatepéquez (-90.6611, 14.6169). Se elaboraron hietogramas horarios de 24 horas para las lluvias de retorno estimadas previamente.

La modelación hidrológica se llevó a cabo utilizando el modelo HEC-HMS, considerando parámetros de superficie, cobertura vegetal, pérdidas o abstracciones, transformación de la precipitación en escorrentía y enrutamiento de flujo.

Para estimar la escorrentía, se aplicó el método de Número de Curva (CN), teniendo en cuenta diversas variables clave. Estas incluyen el uso de la tierra, que determina la capacidad de infiltración; el tipo de suelo y la condición de humedad del suelo, que afectan la retención de agua en el terreno; el modelo de elevaciones, que condiciona la infiltración del agua; y la precipitación, que determina la cantidad de agua disponible para la escorrentía.

Por otro lado, para simular la propagación de la escorrentía en los cauces, se utilizó el método de Muskingum, el cual considera las variables de longitud, ancho y pendiente del cauce para estimar el tiempo de propagación (K) y el coeficiente de almacenamiento.

Finalmente, se evaluaron las propuestas de manejo, basándose en la modelación hidrológica de la cuenca generada con el uso actual de la tierra y con el uso potencial de la tierra. Los caudales obtenidos fueron comparados mediante una prueba de hipótesis con el estadístico t de Student para medias apareadas, con el objetivo de identificar la existencia de diferencias significativas entre el manejo actual y el propuesto.

Resultados

El 91 % de la superficie de la cuenca El Hato está compuesta de geología de tipo ígnea y metamórfica fragmentada. La pendiente media de la cuenca es de

44%, lo que indica un relieve de categoría pronunciada. Las velocidades de infiltración oscilan desde 1.8 cm/h hasta 15.6 cm/h, y la textura de suelo predominantes es franco arenoso.

Según registros históricos, el régimen de lluvia en la cuenca refleja un promedio multianual de 1,276 mm/año. Además, los usos de la tierra son variados y afectan los procesos de captación y regulación de agua en la recarga hídrica de la cuenca, lo que resulta en valores de recarga hídrica que fluctúan entre 216 mm/año hasta los 368 mm/año.

Las características hidro-físicas del suelo se determinaron a partir de muestras tomadas durante pruebas de infiltración en las unidades homogéneas de muestreo. En el laboratorio de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se determinaron las constantes de humedad, la textura del suelo y las densidades aparentes, cuyos resultados se usaron para calcular la recarga hídrica. Los datos se presentan en la tabla 3.

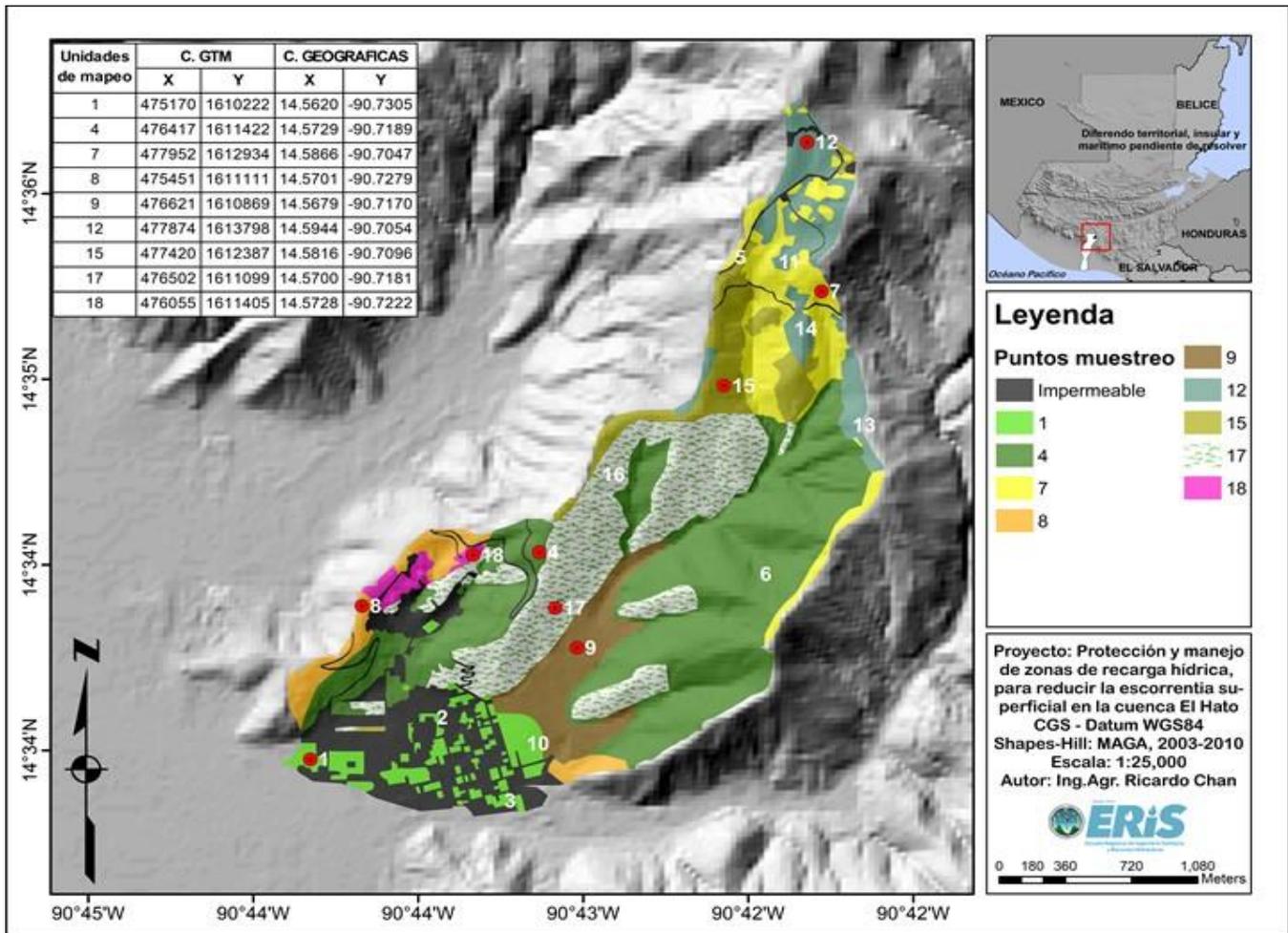
Tabla 3: Información generada con muestras de suelo

Unidad de muestreo	Densidad aparente (g/cm ³)	Capacidad de campo (%)	Punto de marchitez permanente (%)	Infiltración (cm/h)
P1	1.11	26.28	16.95	4.20
P4	1.05	29.58	17.15	9.60
P7	1.05	29.81	19.40	2.40
P8	1.38	16.64	8.69	14.40
P9	1.29	17.40	10.96	15.60
P12	1.14	28.38	19.32	4.20
P15	1.11	26.26	18.66	1.80
P17	1.25	23.93	14.28	4.02
P18	1.38	18.75	8.64	10.80

Por medio de la herramienta “Geoprocessing” en la opción “Unión” de ArcMap®, se logró determinar las unidades homogéneas de muestreo, definidas como unidades geográficas que comparten características biofísicas de suelo, geología, relieve y uso de la tierra. En dichas unidades, se realizaron los muestreos de infiltración y se extrajo suelo para su posterior análisis en laboratorio.

Se estimaron inicialmente 18 unidades de muestreo. Sin embargo, debido a consideraciones técnicas y económicas, se ajustó el número final a nueve. En estos puntos se realizaron las pruebas de infiltración.

Figura 1: Unidades homogéneas de muestreo

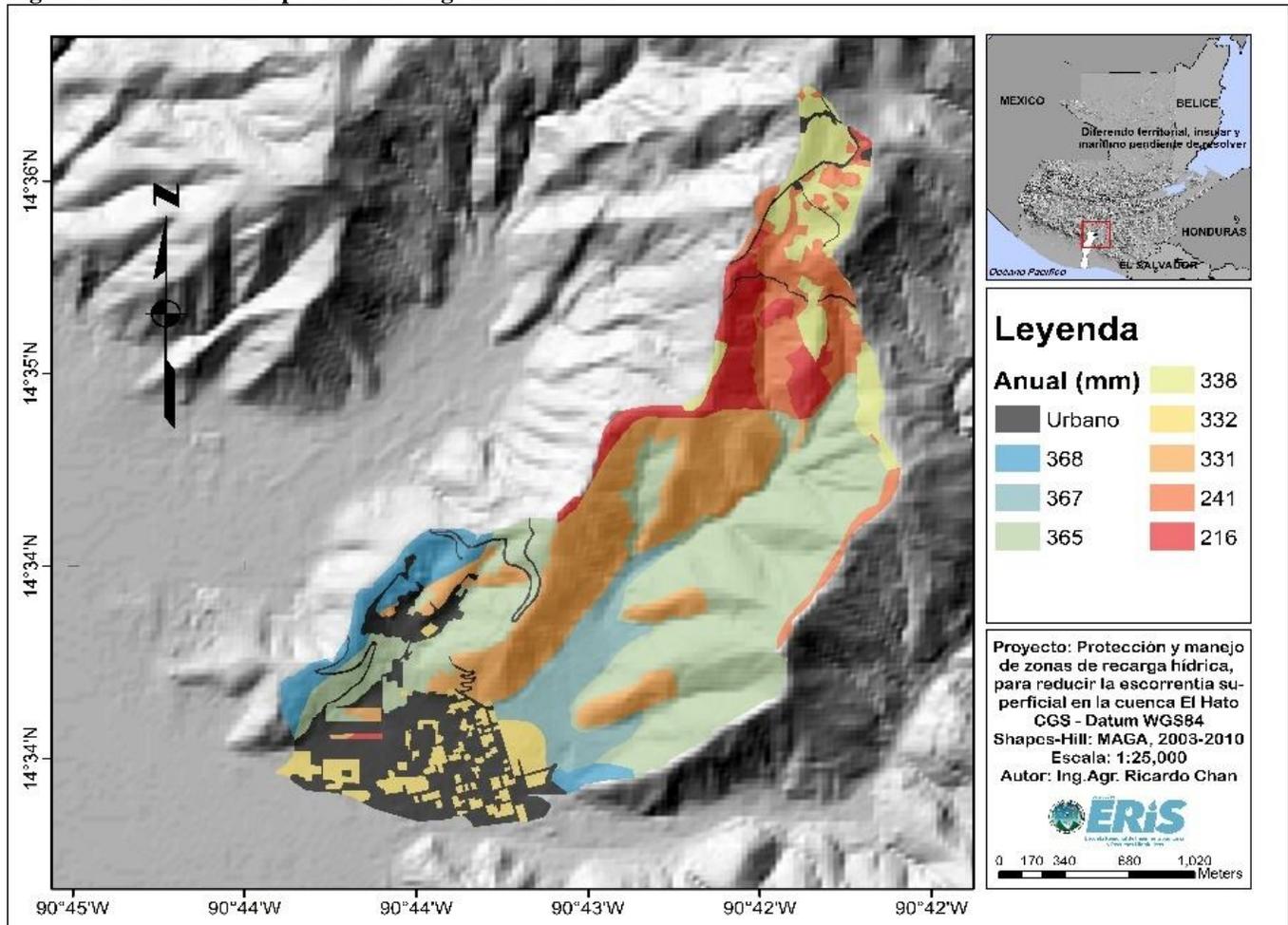


El bosque mixto (P4) destacó con 674,980 m³/año, mostrando su alta capacidad para captar agua. En contraste, las unidades con vegetación arbustiva y bosques de eucalipto (P15, P8 y P18) presentaron valores más bajos, con 71,601 m³/año, 69,796 m³/año y 22,568 m³/año, sugiriendo que algunos usos de la tierra son menos efectivos. Las áreas agroforestales, como el cultivo de café (P9), mostraron una buena capacidad de recarga con 131,992 m³/año. En total, la recarga hídrica alcanzó 1,623,403 m³/año, destacando la importancia de los ecosistemas forestales y agroforestales.

Tabla 4: Recarga hídrica anual en la cuenca El Hato

Unidad de muestreo	Uso de la tierra	Recarga hídrica (mm/año)	Recarga hídrica (m ³ /año)
P1	Área verde, parque o jardín	332	80,350
P4	Bosque mixto	365	674,980
P7	Bosque y arbustos	241	105,390
P8	Bosque de eucalipto	368	69,796
P9	Agroforestal (Cultivo de café)	367	131,992
P12	Granos básicos	338	120,347
P15	Vegetación baja arbustiva	216	71,601
P17	Vegetación arbustiva y árboles dispersos	331	346,379
P18	Bosque de eucalipto y arbustos	368	22,568
Total			1,623,403

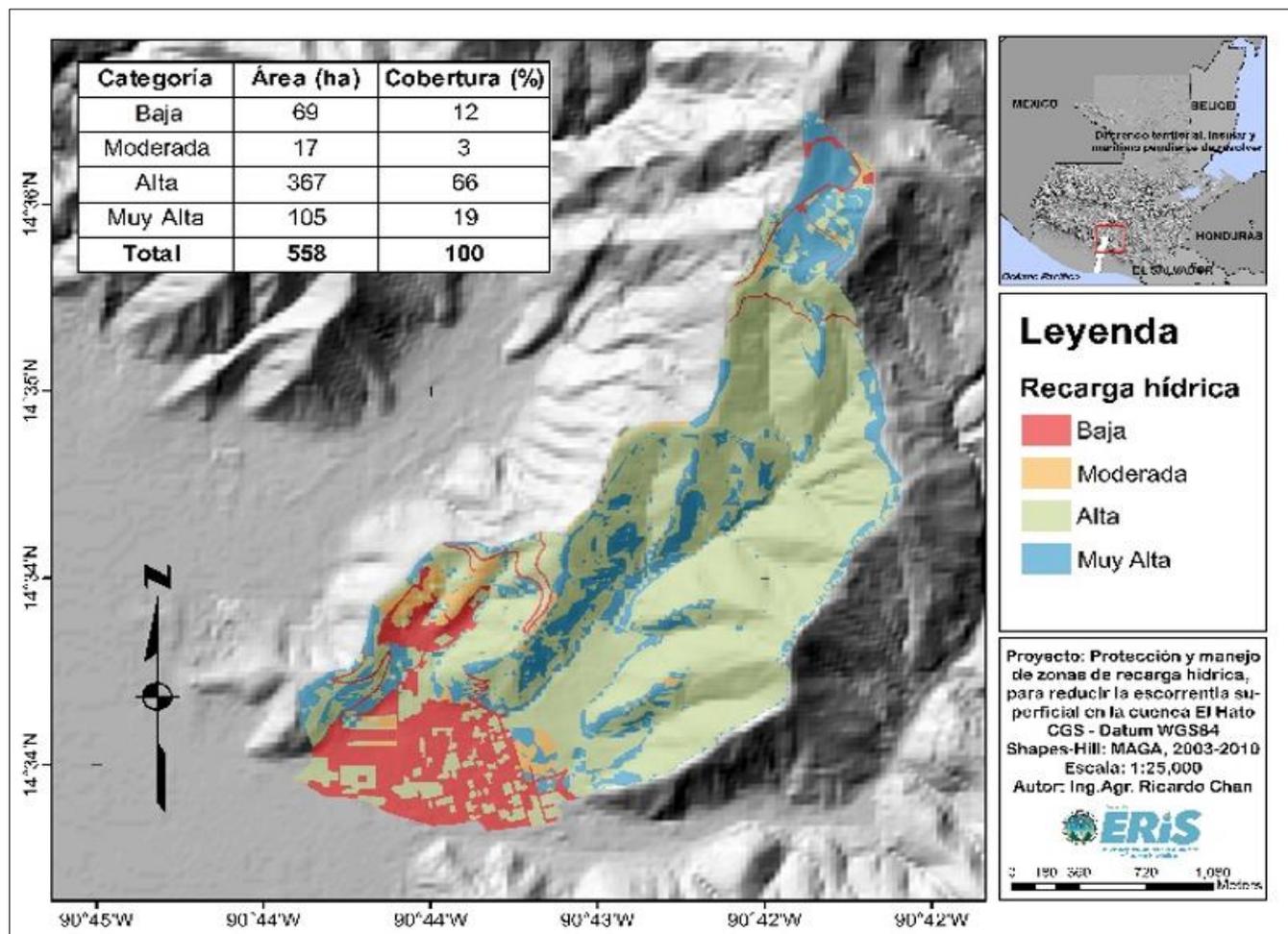
Figura 2: Distribución espacial de recarga hídrica anual



En la figura 3 se presentan las categorías de áreas potenciales de recarga hídrica, en función de la interacción de los factores de capacidad de uso de la tierra, recarga hídrica, textura de suelos, geología y pendiente. La categorización utilizada para clasificar la recarga hídrica en la cuenca se dividió en las siguientes categorías: muy alta, alta, moderada y baja.

Se determinó que, de las 558 ha de la cuenca El Hato, 472 ha corresponden a las categorías “muy alta y alta recarga hídrica”, con valores hasta de 300 mm/año, asociadas a usos de la tierra de bosque, y jardines en áreas urbanas, mientras que 69 ha son de baja recarga hídrica, en su mayoría relacionadas con usos de la tierra de caminos, agricultura y centros poblados.

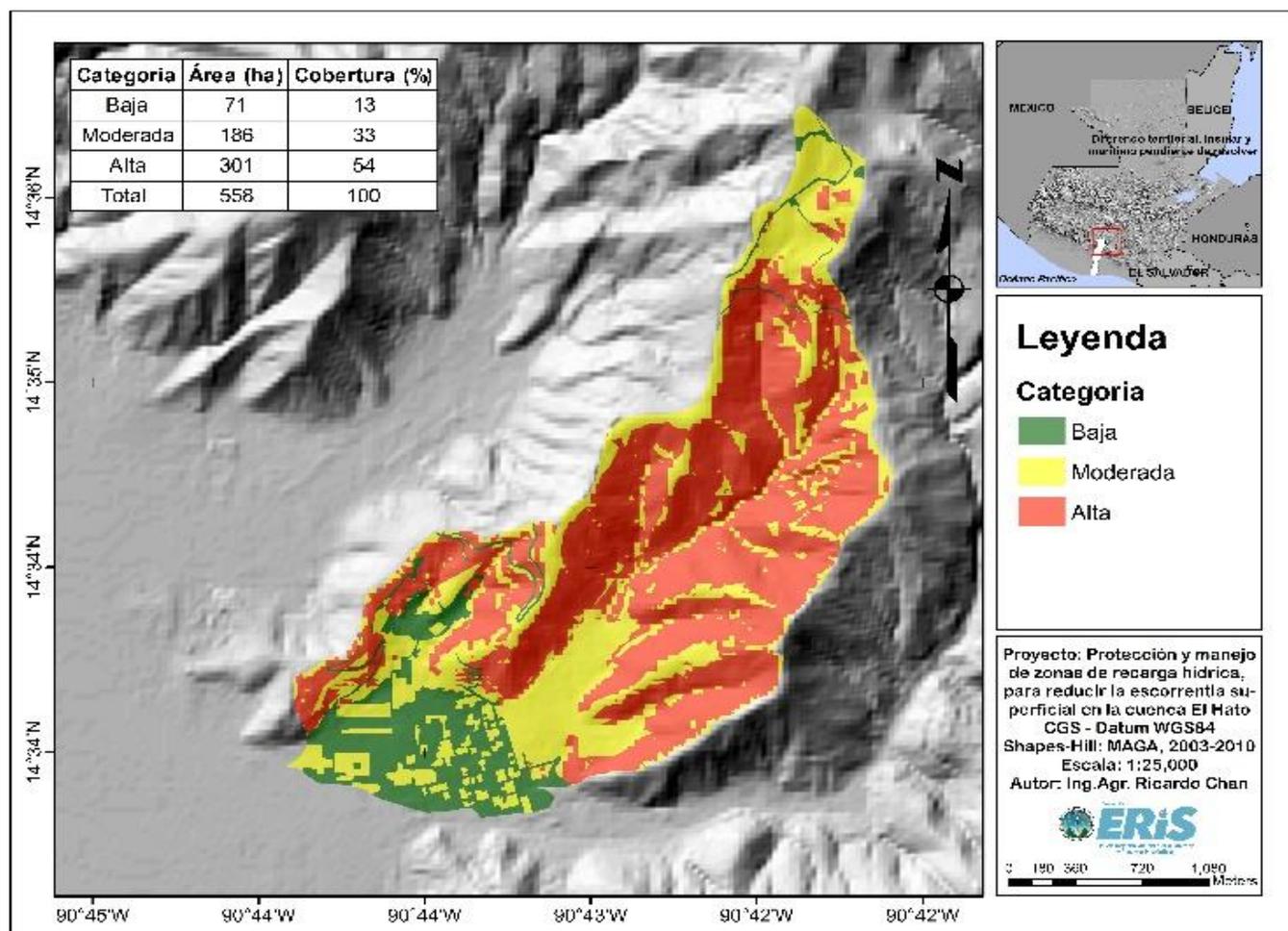
Figura 3: Áreas potenciales de recarga hídrica



Las áreas críticas de recarga hídrica representan las zonas dentro de la cuenca que requieren mejores prácticas de conservación de suelo y uso de la tierra.

En la figura 4 se presenta la clasificación de áreas críticas de recarga hídrica.

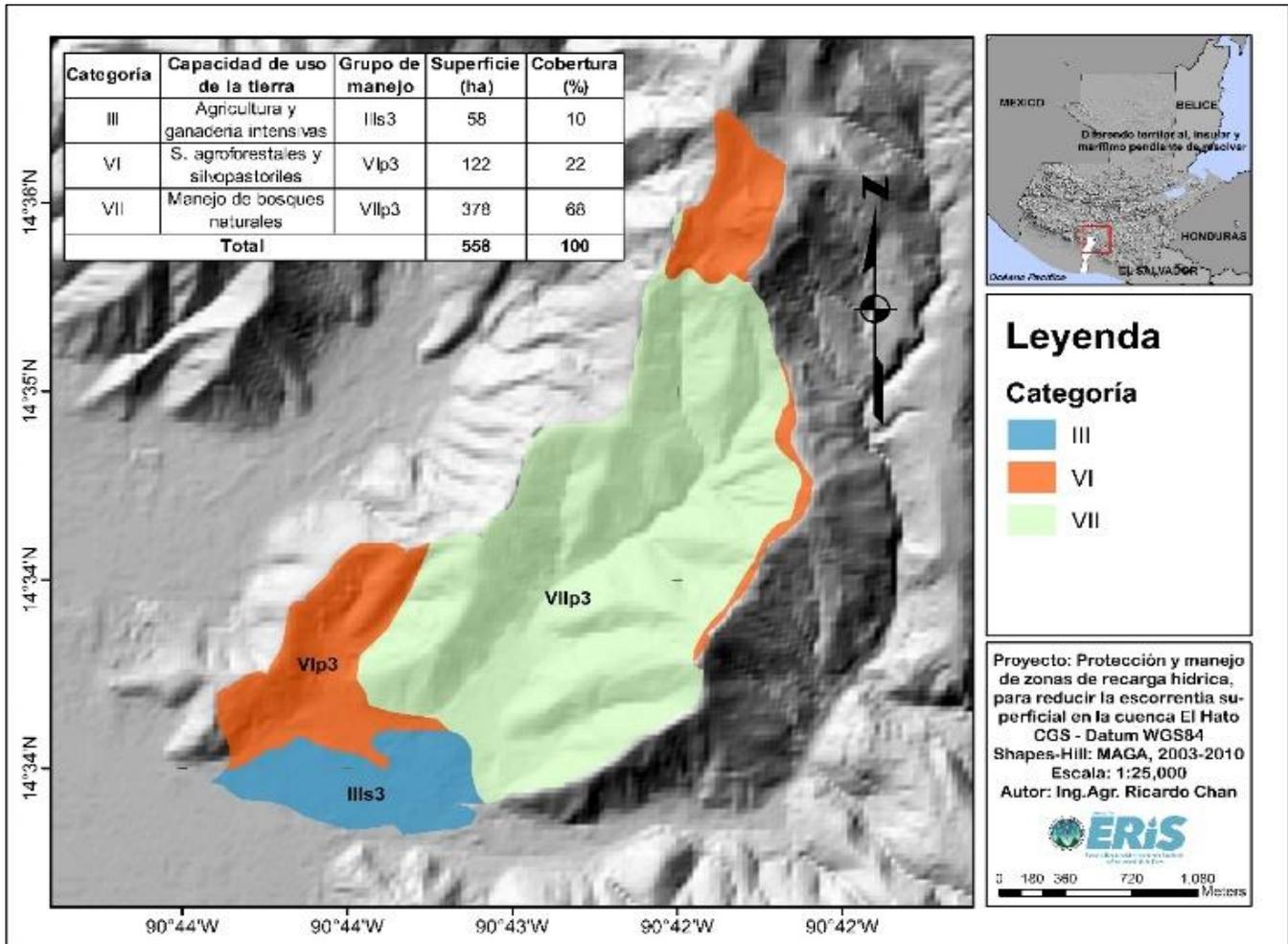
Figura 4: Áreas críticas de recarga hídrica



Se determinó que 301 ha son áreas críticas de recarga hídrica. Estas áreas se caracterizan por tener pendientes mayores al 55 %, lo que las hace susceptibles al proceso de erosión.

El plan de manejo para estas áreas requirió identificar la capacidad de uso de la tierra, las cuales se detallan en la figura 5.

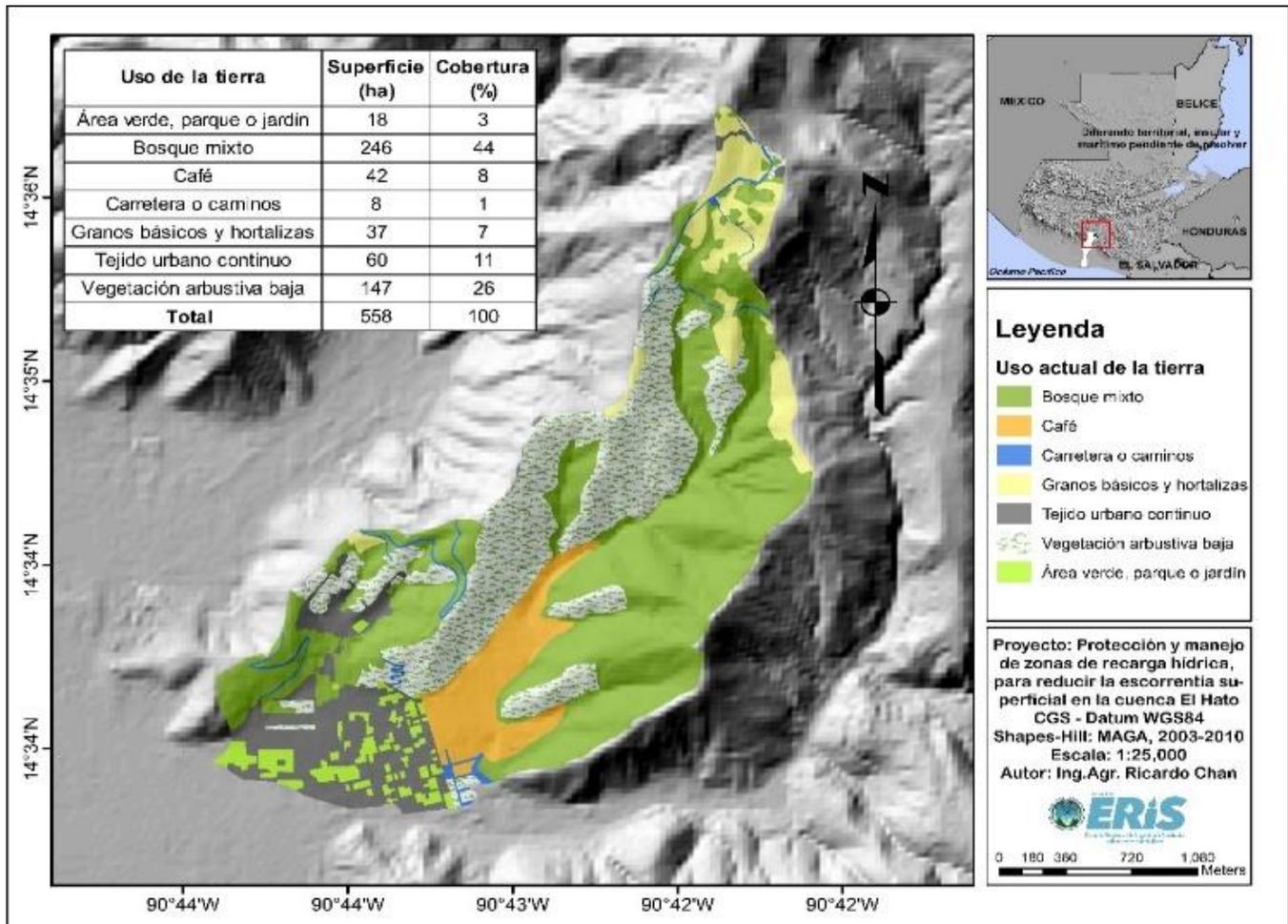
Figura 5: Capacidad de uso de la tierra



La capacidad de uso de la tierra predominante es la de categoría VII: “Manejo de Bosques Naturales”, con 378 ha, lo que indica que la cuenca es de vocación forestal y requiere protección. Por otra parte, el uso de

la tierra predominante en la cuenca es el bosque mixto, con 246 ha, seguido por la vegetación arbustiva, agricultura y tejido urbano, tal como se puede apreciar en la figura 6.

Figura 6: Uso actual de la tierra

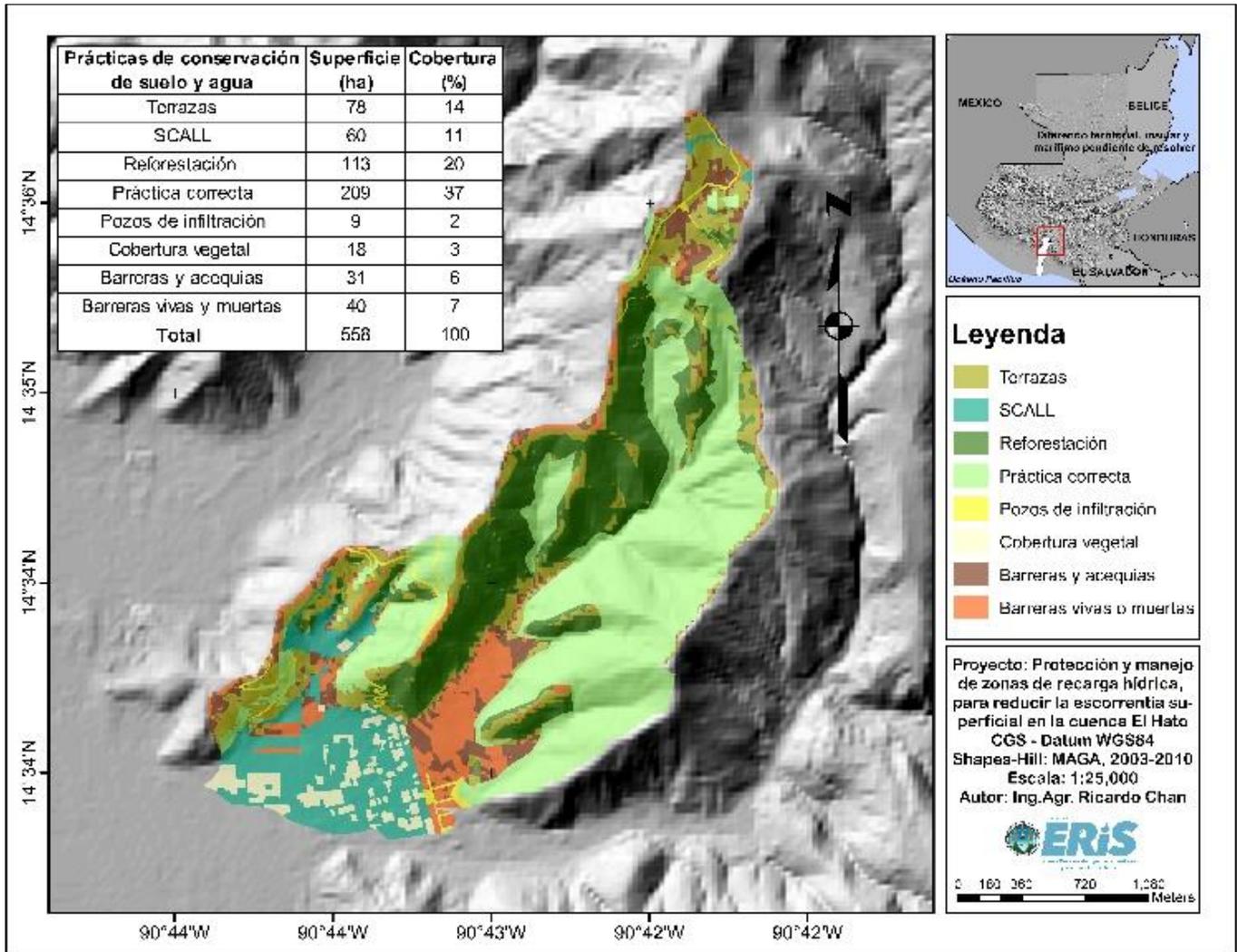


Se identificó que 209 ha se manejan de forma correcta y 349 ha requieren la aplicación de prácticas especiales de conservación del suelo y métodos de captación y almacenamiento de agua.

En la figura 7 se muestran las localizaciones y superficies de las propuestas de manejo para favorecer la conservación de suelo, captación y almacenamiento de agua, principalmente en las áreas críticas de recarga hídrica de la cuenca.

Se identificó que 374 ha son susceptibles a la degradación del suelo debido a sus condiciones de relieve pronunciadas y muy pronunciadas. Por lo tanto, es importante establecer cobertura forestal con bosque mixto de especies nativas de las familias: Rosaceae, Proteaceae, Primulaceae, Pinaceae, Pentaphylacaceae, Fagaceae, Ericaceae, Cupressaceae, Clethraceae, Chloranthaceae, Bignoniaceae, Betulaceae, Araliaceae y Altingiaceae.

Figura 7: Localización de la prácticas de conservación de suelo, captación y regulación de agua.



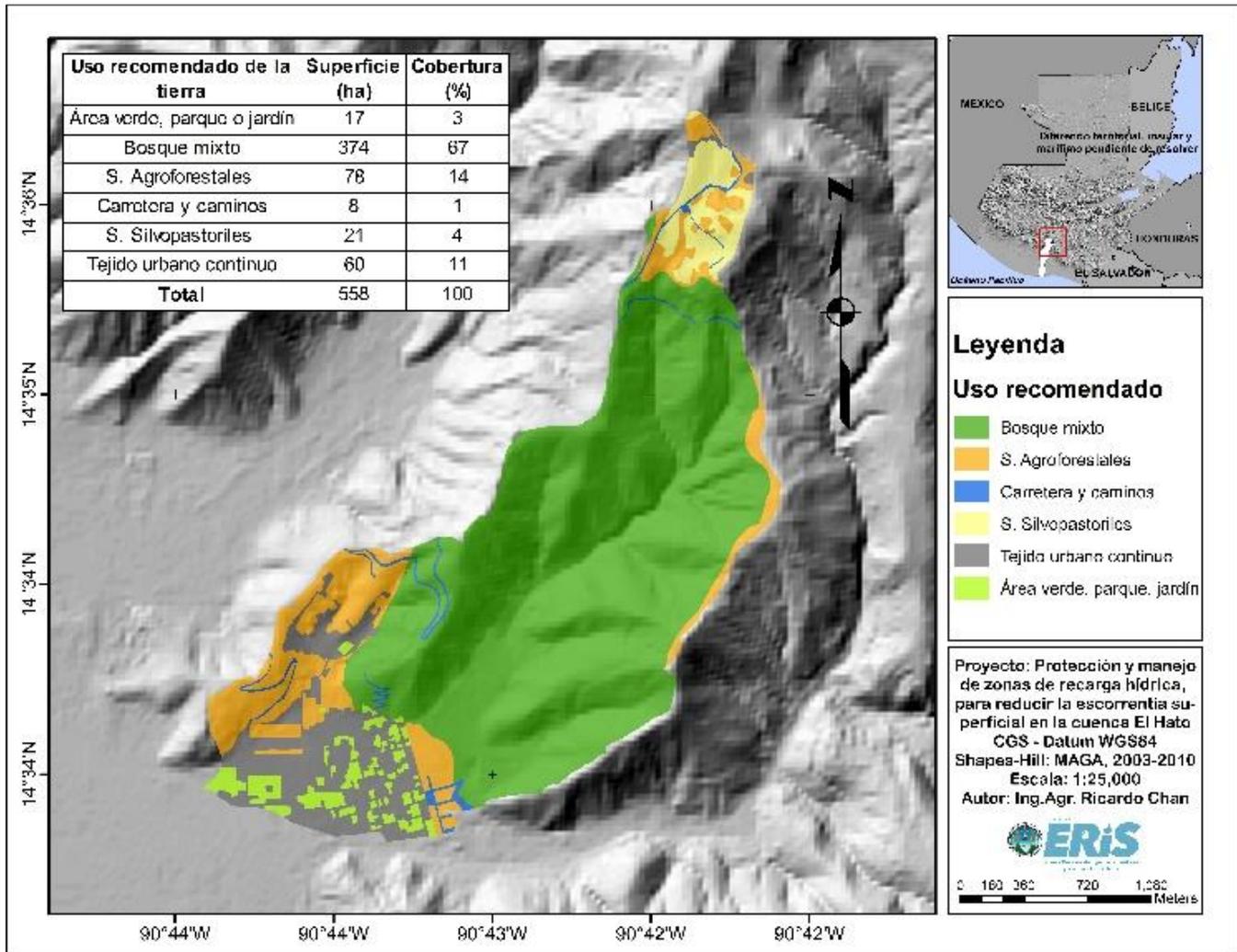
Por otra parte, se observó que la cobertura de uso agrícola en la cuenca debe ser de bajo impacto, utilizando sistemas agroforestales, que se refieren al asocio entre especies forestales y cultivos agrícolas permanentes, como café, o el establecimiento de árboles frutales que incluyen macadamia, aguacate, mora, arándanos, níspero, melocotón, manzana, pera y ciruela, que son aptos para 78 ha de la cuenca.

Además, se determinó que 21 ha de la cuenca requieren actividades silvopastoriles que combinan prácticas de ganadería tradicional con el uso de pastos y especies forestales.

El uso actual de la tierra se contrastó con la capacidad de uso para determinar la intensidad de uso de la tierra y el uso adecuado.

En la figura 7 se muestra la localización y superficie de los usos de la tierra adecuados según la capacidad de uso.

Figura 7: Uso de la tierra según su capacidad de uso



El efecto hidrológico de la propuesta de manejo para la cuenca se evaluó mediante ocho simulaciones hidrológicas asociadas a períodos de retorno de 2, 10, 25 y 50 años. Los escenarios evaluados fueron el uso actual de la tierra (figura 5) y uso de la tierra adecuado, según su capacidad (figura 7).

La estimación del impacto hidrológico se realizó según la diferencia entre las magnitudes de los caudales modelados en los dos diferentes escenarios de uso de la tierra en la cuenca, los cuales fueron resultados de las simulaciones en HEC-HMS®. En la tabla 5 se muestran los resultados de la modelación hidrológica:

Tabla 5: Simulaciones de caudal para evaluar el impacto hidrológico de las propuestas de manejo

TR	Caudal (m ³ /s)		Diferencia (m ³ /s)	Disminución de caudal (%)
	Caudal uso actual	Caudal uso adecuado		
2	4	3	0.5	14
10	11	9	2.2	20
25	19	15	3.3	18
50	27	22	4.1	15

Los resultados de la modelación hidrológica revelaron que, al aplicar las propuestas de manejo, las reducciones de caudales presentan diferencias estadísticamente significativas. En la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos de la prueba de hipótesis del estadístico t de Student de medias apareadas.

Tabla 6: Resultados de la prueba de T – Student

Parámetro estadístico	Valor
Coefficiente de correlación de Pearson	0.9994
Diferencia hipotética de las medias	0.0000
Grados de libertad	3.0000
Estadístico t	3.2401
P(T<=t) una cola	0.0239
Valor crítico de t (una cola)	2.3534
P(T<=t) dos colas	0.0478
Observaciones	4.0000

Debido a que el estadístico t fue mayor que el valor crítico de t para dos colas ($3.2401 > 3.1824$) y también que el valor probabilístico para dos colas de t crítica fue menor al valor de alfa ($0.0478 < 0.05$), el análisis estadístico muestra que sí existen diferencias estadísticas significativas en los valores de disminución de caudal al aplicar el uso de la tierra acorde a su capacidad con respecto al uso actual.

Se determinó que de 558 ha, 472 ha tienen potencial de recarga hídrica “muy alta y alta”, de las cuales 301 ha son críticas y deben recibir un manejo acorde a su capacidad de uso para garantizar su protección, restauración y conservación.

Discusión de resultados

La identificación de la recarga hídrica y el desarrollo de planes de manejo adecuados son de gran importancia tanto a nivel nacional como global, especialmente en el

contexto de Guatemala, un país caracterizado por su gran biodiversidad, pero también por la creciente presión sobre sus recursos hídricos.

A nivel global, los estudios sobre recarga hídrica han cobrado relevancia debido a la creciente preocupación por la escasez de agua, especialmente en regiones áridas y semiáridas. La gestión adecuada de las cuencas hidrográficas y las áreas de recarga se ha convertido en una estrategia clave para mitigar los impactos del cambio climático. Estas estrategias ayudan a reducir el riesgo de inundaciones y sequías, al tiempo que mejoran la resiliencia de las comunidades frente a fenómenos climáticos extremos. (Food and Agriculture Organization of the United Nations -FAO-, 2021).

En este contexto, la implementación de planes de manejo en cuencas hidrográficas, que incluyan prácticas de conservación y restauración de ecosistemas como los bosques y las áreas de recarga, se presenta como una respuesta efectiva para asegurar la sostenibilidad del recurso hídrico a largo plazo.

En Guatemala, las cuencas y áreas de recarga hídrica son esenciales para asegurar el abastecimiento de agua, especialmente en épocas de sequía, en un contexto de cambio climático que altera los patrones de precipitación. La urbanización, expansión agrícola y deforestación afectan los ecosistemas que facilitan la recarga de acuíferos. Por ello, es crucial gestionar sosteniblemente estos recursos para garantizar la seguridad hídrica y el bienestar de las poblaciones (Global Water Partnership -GWP-, 2022).

En este marco, la recarga hídrica de la cuenca El Hato fue evaluada bajo el criterio del balance hidrológico de suelos, según la metodología de Schosinsky (2006).

Asimismo, las áreas críticas de recarga hídrica se definieron a partir de la categorización utilizada en el estudio de Orozco et al. (2003), mientras que las áreas potenciales de recarga hídrica se identificaron conforme a la metodología de actualización de mapas de recarga hídrica de Guatemala, propuesta por el MARN (2017).

Las áreas identificadas como potenciales y críticas de recarga hídrica, presentan características

hidrofísicas favorables al proceso de infiltración, como: suelos francos arenosos y densidades aparentes de (1.05 g/cm^3 a 1.4 g/cm^3). Los resultados anteriores reflejan condiciones de baja compactación, ya que las densidades de suelos franco arenosos deben ser mayores a 1.4 g/cm^3 . Esta situación favorece el proceso de infiltración, ya que existe mayor espacio entre las partículas de suelo (Sandoval, 2007).

Según Sandoval (2007), la tasa de infiltración en suelos franco arenosos varían entre 1.3 cm/h a 7.6 cm/h, y en la cuenca El Hato resultaron valores de hasta 15.6 cm/h., lo que indica la facilidad que tienen el agua para infiltrarse en la cuenca y la baja compactación de la misma en áreas no perturbadas por actividades antropicas, como urbanización, agricultura, jardines o tala de bosques.

Por otro lado, la geología presentó rocas ígneas y metamórficas, que reflejan la presencia de acuíferos de tipo volcánico piroclástico y de lava, con presencia de tufas del período terciario. Este tipo de materiales son considerados depósitos de lava, que constituyen los acuíferos más productivos a 150 m de profundidad (Spilman, 2000).

En la cuenca San Juan Las Minas en Jutiapa, Guatemala, se determinó que los mayores valores de recarga hídrica de 39.34 mm/año, estaban asociados a coberturas de vegetación baja y arbustiva, geología ígneas o metamórficas del período terciario y suelos de la serie Mongoy, con textura franco-arcillosa (García, 2021). Las condiciones de precipitación, uso de la tierra y texturas de suelo pueden afectar el proceso de recarga hídrica, ya que la recarga hídrica en áreas de vegetación arbustiva de la cuenca El Hato fue de 241 mm/año. La diferencia entre ambos estudios radica en la textura de suelos y régimen de lluvia donde existe una diferencia de 128.7 mm/año.

Según García (2009), en las cuencas Tacó y Shusho de Chiquimula, Guatemala, la recarga hídrica con categorías “muy alta y alta” corresponden a usos de la tierra de bosques, texturas de suelo gruesas e infiltraciones de 12.7 cm/h a 25 cm/h. Por otra parte, las recargas medias y bajas están ocupadas por usos de la tierra como granos básicos, matorrales y pastos. Las áreas con muy alta y alta recarga hídrica de la cuenca El Hato, comparten características con las cuencas Tacó y Shusho de Chiquimula, en cuanto a tipo de cobertura

boscosa y texturas de suelos gruesas (franco arenosas). Las similitudes hidro-físicas de ambas cuencas se reflejan en los resultados de infiltración; para El Hato en áreas boscosas es de 15.6 cm/h.

Las condiciones de precipitación, suelos, geología y los usos de la tierra en la cuenca El Hato favorecen el proceso de recarga hídrica. En particular, se observó que 472 ha presentan una recarga hídrica muy alta o alta, con valores máximos de 368 mm/año. De estas, 209 ha están bajo un uso adecuado, con bosque mixto y cultivos agroforestales, lo que contribuye a una recarga hídrica eficiente.

En la cuenca del río Teocinte, localizada en San José Pinula, Guatemala, el factor suelo condicionante en la recarga hídrica, donde los suelos franco-arenosos con diversas coberturas como bosque, pasto y cultivos anuales obtuvieron valores elevados de recarga hídrica los 300 mm/año hasta 411 mm/año, donde la cobertura que mejor captación de agua obtuvo fue el área boscosa ya que contaba con mayor extensión (19 km^2), sobre este tipo de textura de suelo y topografía ondulado a suave (Ramírez Reyes, 2023).

El uso de la tierra es un factor determinante en la recarga hídrica, en la cuenca Cune de Colombia, donde se realizó un estudio comparativo utilizando una metodología participativa y utilizando sistemas de información geográfica, para ambos casos la mayor posibilidad de recarga hídrica se determinó en usos de la tierra forestal y áreas de conservación. (Díaz Ibañez, 2021).

De manera similar en la cuenca El Hato, se identificó que el bosque mixto es la unidad con la mayor recarga hídrica en la cuenca, alcanzando un total de $674,980 \text{ m}^3/\text{año}$. Este valor es significativamente mayor en comparación con otros usos de la tierra muestreados, lo que resalta la importancia de los ecosistemas forestales en la recarga hídrica. Las unidades de uso agroforestal, como los cultivos de café, presentan una recarga de $131,992 \text{ m}^3/\text{año}$, lo que demuestra un rendimiento positivo, aunque menor en comparación con el bosque mixto.

Por otra parte, al analizar la recarga volumétrica por unidad de superficie (km^2), se identificó que los bosques eucalipto y bosques mixtos presentan los mayores valores de recarga hídrica, con $368,195$

m^3/km^2 y $364,739 \text{ m}^3/\text{km}^2$, respectivamente, destacando su rol crucial en la infiltración y almacenamiento de agua. Los sistemas agroforestales, como el café y gravilea, también muestran buenos valores de recarga, con $367,405 \text{ m}^3/\text{km}^2$, aunque ligeramente inferiores a los bosques. En contraste, la vegetación arbustiva tiene valores más bajos de recarga ($216,096 \text{ m}^3/\text{km}^2$), pero al combinarse con árboles dispersos, este valor aumenta significativamente a $330,542 \text{ m}^3/\text{km}^2$, mejorando su capacidad de infiltración de agua.

Por otro lado, los usos de la tierra con vegetación arbustiva presentan valores más bajos, como el caso de la vegetación arbustiva con $216,096 \text{ m}^3/\text{km}^2$, lo que refleja una menor eficiencia en la infiltración del agua. Similarmente, los granos básicos tienen una recarga de $338,453 \text{ m}^3/\text{km}^2$, inferior a la de los ecosistemas forestales, pero aún significativa. Según Ramírez (2023), en la cuenca Teocinte, la mayor recarga fue ocupada por usos de la tierra de cultivos anuales donde hubo influencia directa del tipo de suelos franco-arenosos y relieves plano y ondulado. Por la extensión de la cuenca la oferta de agua asciende hasta los $460,574 \text{ m}^3/\text{km}^2$.

En la cuenca El Hato, las unidades de vegetación arbustiva con árboles dispersos de eucalipto presentan los valores más bajos de recarga hídrica. En particular, el bosque de eucalipto y arbustos genera solo $22,568 \text{ m}^3/\text{año}$, lo cual se debe a su limitada extensión de 6 ha dentro de las 558 ha totales de la cuenca, aunque aun así muestra una capacidad de captación de $368 \text{ mm}/\text{año}$. Por otro lado, la vegetación arbustiva tiene la menor capacidad de captación con $216 \text{ mm}/\text{año}$, pero ocupa una mayor área de 33 ha, lo que resulta en una recarga total de $216,568 \text{ m}^3/\text{año}$. Esta recarga podría incrementarse si se implementan prácticas adecuadas de manejo del uso de la tierra, sin intervención antrópica.

El estudio realizado en la cuenca del río Rocha en Bolivia, ha puesto de manifiesto la relevancia de la vegetación nativa, particularmente los bosques, praderas y vegetación baja arbustiva en el proceso de recarga hídrica. Las raíces frondosas de estas especies generan microporos en el suelo, lo que mejora la capacidad de infiltración del agua, cuando tienen baja actividad humana y topografía favorable que contribuye significativamente a la conservación hídrica a mediano y largo plazo (Peredo Ramírez, Y. E. 2022).

En términos generales, la recarga hídrica total de la cuenca El Hato es de $1,623,403 \text{ m}^3/\text{año}$, lo que subraya la importancia de las áreas forestales y agroforestales en la regulación hídrica. Esta oferta de agua varía según las condiciones climáticas de la cuenca, superficie, uso de la tierra, suelo y relieve. En contraste otras cuencas como en la cuenca Teocinte que tienen un potencial de recarga hídrica de $201,735,478.21 \text{ m}^3/\text{año}$ la cual tiene 7 veces más superficie que la cuenca El Hato. (Ramírez Reyes, L. R. 2023).

En la cuenca Guara, la cobertura vegetal también fue determinante para la recarga hídrica, ya que los usos de la tierra, como pastos y bosques, mostraron valores de recarga que variaron entre $101 \text{ mm}/\text{año}$ y $186 \text{ mm}/\text{año}$ (Álvarez y Lugo, 2014). De manera similar, otros estudios indican que, en las partes altas de las cuencas, la cobertura forestal es un factor clave que favorece el proceso de recarga hídrica (Roque, 2011). Este tipo de cobertura es favorable porque protege el suelo contra el impacto de las gotas de lluvia, disminuyendo su energía al impactar el suelo, y reduce el arrastre de suelo con la escorrentía superficial. Como resultado de lo anterior, las condiciones de infiltración mejoran y, por lo tanto, se garantiza una mayor recarga hídrica (Flores López et al., 2013).

En la cuenca Sicabá, localizada en Quiche, Guatemala, los valores de recarga hídrica con categoría muy alta y alta, corresponden a recargas hídricas medias en la cuenca El Hato, ya que en dicha región el promedio multianual de lluvias, son mayores, con rangos de $1,500 \text{ mm}/\text{año}$ a $2,300 \text{ mm}/\text{año}$ (Noriega, 2005). La cuenca Sicabá y El Hato cuentan con características hidrofísicas similares de suelo, geología y uso de la tierra, con la única diferencia que las lluvias anuales son mayores en Sicabá; mientras que en el Hato no superan los $1,200 \text{ mm}/\text{año}$ en promedio multianual.

En 558 ha de superficie que tiene la cuenca, 472 ha tienen potencial de recarga hídrica y de ellas 301 ha son críticas, debido a sus condiciones favorables para infiltración, pero susceptibles al proceso de erosión por sus condiciones de pendiente, mayores a 55 %.

La vegetación baja arbustiva ocupa 113 ha del total de las áreas críticas de recarga hídrica y se consideran tierras subutilizadas. Por otro parte, 111 ha están ocupadas por uso agrícola en áreas de vocación forestal; esto genera sobrecapacidad de la tierra y causa

degradación del suelo. Estas condiciones limitan el proceso de infiltración debido a la compactación del suelo, lo que favorece la pérdida de agua como escorrentía superficial.

Por último, se determinó que 60 ha tienen cobertura urbana establecidas en áreas que tienen condiciones óptimas para recarga hídrica; sin embargo, solo 12 ha se ubican en áreas críticas de recarga hídricas.

Se considera que 209 ha de la cuenca El Hato se manejan de manera correcta; están ocupadas con bosque mixto y cultivos agroforestales en uso correcto. Por otra parte, 349 ha requieren manejo, de manera que 113 ha deben reforestarse, dado que en la actualidad están ocupadas por vegetación baja arbustiva y 188 ha están ocupadas por cultivos agroforestales en tierras con capacidad de uso boscosa y silvopastoril. Estas áreas requieren de prácticas de conservación de suelo como construcción de terrazas, acequias, barreras vivas y muertas, sistemas de captación de agua de lluvia y pozos de infiltración.

Las prácticas de conservación de suelo y usos adecuados de la tierra están de acuerdo con los grupos de manejo asociados a la capacidad de uso de la tierra de la cuenca.

Para garantizar la sostenibilidad de las prácticas de conservación de suelos propuestas y su adaptación ante el cambio climático, se considera que estas prácticas pueden mantenerse efectivas a largo plazo bajo ciertas condiciones como por ejemplo: la integración flexible y adaptativa con patrones climáticos el uso de especies autóctonas y resistentes a la sequía o inundaciones, conformación de mesas de gobernanza y alianzas con instituciones orientadas a la producción agrícola.

Además, el establecimiento de un sistema de monitoreo constante que permita ajustar las estrategias en función de la evolución climática y las necesidades del ecosistema se debe considerar. De esta manera, no solo se asegura la conservación a largo plazo de los suelos y la recarga hídrica, sino también la resiliencia de las comunidades locales ante el cambio climático. Esto garantizará la continuidad de los beneficios económicos y ambientales derivados de las prácticas propuestas, haciendo que sean sostenibles tanto ecológica como socialmente. (FAO, 2018)

En la cuenca de la Laguna Retana y El Ovejero, localizada en Jutiapa, Guatemala, se identificaron áreas críticas de recarga hídrica con limitantes de pendiente. Se documentaron acciones de reforestación con cultivos forestales y agroforestales, así como prácticas de conservación de suelo, incluyendo barreras vivas, acequias y diques en cárcavas. Además, se llevaron a cabo charlas de concientización dirigidas a la población local (Chamorro, 2010).

El 68 % de la cuenca El Hato es de vocación forestal y posee características de suelos franco arenosos, con pendientes pronunciadas que promedian el 44 %. Las condiciones biofísicas en la cuenca El Hato hacen vulnerable al territorio a procesos erosivos; por lo tanto, se identificaron prácticas de conservación de suelo en áreas con sobreutilización de la tierra y en sitios con pendientes mayores al 12 %.

La simulación hidrológica desarrollada para los períodos de retorno de 2, 10, 25 y 50 años muestran que, al aplicar el manejo propuesto para la cuenca, la recarga aumenta en promedio un 16 % con relación a la recarga hídrica que proporciona el uso actual de la tierra.

Lo anterior indica que, al proporcionar el uso correcto de la tierra en la cuenca El Hato, se lograría reducir la escorrentía superficial; por lo tanto, también se reduciría la pérdida de suelo por consecuencia de la escorrentía superficial. Según García (2009), la disminución forestal en un 4.69 % dentro de las cuencas Tacó y Shusho implicó una reducción del potencial de recarga en un 15 %, favoreciendo la erosión y aumento de escorrentía superficial.

Es importante mencionar que la caracterización de cuencas e identificación de áreas de recarga hídrica en sus partes altas contribuye a las necesidades del país, según el acuerdo gubernativo 19 – 2021 del Ministerio de Recursos Naturales y Ambiente de Guatemala, y la Ley Forestal del Instituto Nacional de Bosques en su artículo 47 y resolución 4.23.97, relacionados con la protección y conservación de cuencas hidrográficas y orientadas a brindar manejo y facilitar la gestión integrada de cuencas hidrográficas.

Conclusiones

Se identificaron 472 ha como áreas potenciales y 301 ha como áreas críticas de recarga hídrica en la

cuenca El Hato, que requieren manejo adecuado debido a sus características biofísicas y riesgo de erosión.

Se identificaron 113 ha que requieren restauración forestal y 188 ha que necesitan prácticas de conservación del suelo y captación de agua, como terrazas, barreras vivas y sistemas agroforestales.

Las modelaciones hidrológicas demostraron que la aplicación de prácticas adecuadas puede reducir la escorrentía superficial en un 16 %, favoreciendo la recarga hídrica.

Es fundamental que las autoridades municipales integren las áreas de recarga hídrica en sus planes de desarrollo y ordenamiento territorial, para asegurar el uso sostenible del agua y la protección de fuentes hídricas.

Es necesario realizar estudios de viabilidad técnica y económica para implementar las prácticas y propuestas de manejo de suelos y recarga hídrica en la cuenca El Hato, considerando los recursos disponibles, los costos asociados y las posibilidades de implementación a gran escala.

En el contexto sostenibilidad de la propuesta de manejo es indispensable investigar el impacto del cambio climático en la recarga hídrica, ya que las variaciones climáticas podrían afectar la eficiencia de las medidas de conservación de suelos. Este análisis permitirá ajustar las estrategias de manejo a escenarios climáticos cambiantes y garantizar su efectividad a largo plazo.

La participación de los actores locales es otro factor crucial. Es importante explorar la efectividad de los mecanismos de pago por servicios ambientales y otros incentivos para motivar a las comunidades a involucrarse de manera activa en la protección y manejo de la cuenca, asegurando así una gestión integral y sostenible.

La restauración ecológica en áreas de alta erosión dentro de la cuenca es clave para mejorar la calidad y cantidad de los recursos hídricos, por lo tanto, investigar la efectividad de estas prácticas permitirá aumentar la resiliencia de la cuenca frente a la erosión y contribuirá a la sostenibilidad de los recursos hídricos a largo plazo.

Agradecimientos

El autor desea patentizar su agradecimiento al administrador de la finca Chacra de Antigua Guatemala por permitir el acceso a las áreas de muestreo.

Financiamiento

Este trabajo fue financiado con recursos propios del autor.

Conflicto de interés

El autor declara no tener ningún tipo de conflicto de interés que pudiera haber influido en esta investigación.

Como citar este documento

Chan Escobar, R.A. (2024). Propuesta de manejo de áreas críticas de recarga hídrica en la cuenca El Hato, Guatemala. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 19(1), 1-19.
<https://doi.org/10.36829/08ASA.v19i1.1784>

Consentimiento informado

No aplica.

Contribuciones de autor

Conceptualización, trabajo de campo, tabulación, análisis y escritura: RACE.

Declaración de disponibilidad de datos del estudio

- 1) Shapefile biofísicos fueron descargados de: <https://ideg.segeplan.gov.gt/geoportal/>
- 2) Datos climáticos fueron solicitados en la página oficial del INSIVUMEH en: https://insivumeh.gov.gt/?page_id=68675

Referencias

- Rodríguez Lugo, D.M., & Pérez Álvarez, P. (2014). Determinación de la recarga hídrica potencial en la cuenca hidrográfica Guara, Cuba. *Aqua-LAC*, 6(2), 58-70.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000230974>
- Chamorro Batres, T. M. (2010). *Determinación de zonas de recarga hídrica en la Laguna Retana y El Ovejero, Jutiapa, Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Díaz Ibañez, E. D., Hernández Ordoñez, C. S., Polanco Méndez, H., & Califa, L. J. (2021). Identificación participativa de zonas potenciales de recarga hídrica en la microcuenca Cune, Cundinamarca – Colombia. *Gestión y Ambiente*, 24(2), 1-15.
<https://doi.org/10.15446/ga.v24n1.95696>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura - Sistemas al límite*. Informe de síntesis 2021.
<https://doi.org/10.4060/cb7654es>
- García Aguirre, F. A. (2021). *Determinación de áreas potenciales de recarga hídrica natural de la microcuenca del río San Juan las Minas, Asunción Mita, Jutiapa, Guatemala*. [Tesis de maestría en Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza].
<https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/11145>
- García Alvarez, M. G. (2009). *Determinación de las zonas potenciales de recarga hídrica en las subcuencas de los ríos Tacó y Shusho, municipio de Chiquimula, departamento de Chiquimula*. [Tesis de licenciatura como Ingeniero Agrónomo en Sistema de Producción Agrícola, Centro Universitario de Oriente, Universidad de San Carlos de Guatemala].
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/2933/>
- Global Water Partnership (GWP). (2022). *Como la gestión de los recursos hídricos puede apoyar un desarrollo resiliente ante el clima en Guatemala*.
https://www.gwp.org/globalassets/global/about-gwp/publications/country-briefs/gwp_country_brief_guatemala_spanish.pdf
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2018). Censo Nacional de Población y Vivienda, para la república de Guatemala.
<https://www.ine.gob.gt/censo-poblacion/>
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). (2018). *Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia – IDF, para la república de Guatemala*.
- Flores López, H.E., de la Mora Orozco, C., Ruíz Corral, J.A., & Chávez Durán, Á.A. (2013). Efecto de la cobertura de suelo de tres cultivos sobre la erosión hídrica. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 12(1), 19-25.
<https://www.redalyc.org/pdf/4555/455545056004.pdf>
- Macías, J., Vargas, A., & Arellano, F. (2018). Conductividad hidráulica en dos sitios del valle central de Costa Rica: análisis comparativo de tres metodologías de ensayo en la zona no saturada. *Revista Geológica de América Central*, (59), 75-100.
https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0256-70242018000200071&script=sci_abstract&tlng=es
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación e Instituto Geográfico Agustín Codazzi (MAGA – IGAC). (2013). *Estudio Semidetallado de los Suelos del Departamento de Sacatepéquez, Guatemala*.
<https://www.maga.gob.gt/download/suelos-sac.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2017). *Memoria técnica de actualización de mapa de tierra forestales de captación, regulación y recarga hídrica, Guatemala*.
- Noriega Arriaga, J. P. (2005). *Determinación de las áreas principales de recarga hídrica natural en la microcuenca del río Sibacá, Chinique, Quiché*. [Tesis de licenciatura como Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala].
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2211.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). *Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales*.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/158f38e2-86ef-47a9-aa3e-21be6fe6bd28/content>
- Orozco, E., Padilla, T., & Salguero, M. (2003). *Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural (capacitación técnica)*. [Informe Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala y el Instituto Nacional de Bosques dentro del Proyecto de Conservación de Ecosistemas Forestales estratégicos].

- Peredo Ramírez, Y. E. (2022). *Lineamientos para la protección, manejo y conservación de fuentes de agua, y zonas de recarga hídrica en la microcuenca Larati, cuenca del río Rocha, Bolivia*. [Tesis de maestría en Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/3120/BCO23079826e.pdf?sequence=1>
- Ramírez Reyes, L. R. (2023). *Identificación de zonas de recarga hídrica mediante un balance hídrico de suelos en la microcuenca del río Teocinte, municipio de San José Pinula, Guatemala*. [Tesis de licenciatura como Ingeniero Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/18510/>
- Roque Sosa, J. C. (2011). *Formulación de un plan de manejo de plantaciones de palo blanco (Cybistax donnel Smith) y determinación de las principales áreas de recarga hídrica de la Microcuenca del río Pacayá, Hacienda San Gregorio Piedra Parada, Coatepeque, Quetzaltenango, Guatemala, CA*. [Tesis de licenciatura como Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6692/>
- Sandoval Illescas, J. E. (2007). *Principios de riego y drenaje*. Editorial Universitaria, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Schosinsky, G. (2006). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. *Revista Geológica de América Central*, 34(1). 13-30. <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i34-35.4223>
- Spilman, T. (2000). *Evaluación del recurso agua en Guatemala*. [Informe del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América].
- Turcios Castro, H. (2018). *Análisis de inundaciones pluviales en la ciudad de Antigua Guatemala, departamento de Sacatepéquez, Guatemala, C.A. y servicios realizados en el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático -ICC-, Guatemala, C.A.* [Tesis de licenciatura en Ingeniería en Gestión Ambiental Local, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03585.pdf>