



Año 12, Julio-Diciembre 2025
Fecha de recepción: 10 de marzo 2025
Fecha de aceptación: 28 de mayo 2025

DOI: 10.5377/hycs.v26i12.21852

Propuesta de zonificación por recarga potencial en la unidad hidrográfica 9529136-6 (Distrito I, Managua)

Proposal for Zoning Based on Potential Recharge in Watershed Unit 9529136-6 (District I, Managua)

Luz Donayra Roblero Calderón calderondonayra@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-2026-7069>
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Managua (UNAN-Managua)

Lisseth Carolina Blandón Chavarria lbrandon@unan.edu.ni
<https://orcid.org/0000-0003-4125-0332>
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Managua (UNAN-Managua)

Resumen

En el contexto de la investigación, la recarga se define como el proceso de infiltración del agua hacia un acuífero, y la zona donde se da este proceso se denomina zona de recarga. La investigación desarrollada consiste en una propuesta de zonificación por recarga potencial, haciendo uso de la metodología propuesta por (Schosinsky, 2006). Esta metodología consiste en determinar la recarga potencial al acuífero mediante un balance de suelos. Una de las ventajas de dicha metodología es que considera varias variables que influyen en la recarga de los acuíferos, tales como: la precipitación mensual, la retención pluvial, la capacidad de infiltración de los suelos y sus características, la cobertura vegetal, profundidad de raíces, evapotranspiración real, uso del suelo y pendiente del terreno. El objetivo fundamental fue identificar espacialmente las zonas con mayor recarga potencial que sirvan como referencia en los planes de ordenamiento territorial desarrollados en la unidad hidrográfica. Se realizaron tres fases en el proceso investigativo, en la primera se recopiló información bibliográfica, en la segunda fase se procesó estadísticamente información de precipitación, textura de suelo, evapotranspiración y en la última fase se interpretó los resultados a nivel cualitativo y cuantitativo. Se elaboró mapas que muestran espacialmente las zonas con mayor y menor recarga, en esta última etapa se empleó los sistemas de información Geográfica. Los resultados muestran que la zona de mayor

recarga potencial en la unidad hidrográfica corresponde a suelos de cobertura vegetal de 50%. también se caracterizan por tener suelos con textura franco arenoso de origen volcánico, estas particularidades permiten una buena permeabilidad y un buen drenaje que contribuye a la recarga directa del acuífero. permiten una buena permeabilidad y un buen drenaje que contribuye a la recarga directa del acuífero.

Palabras clave: *Zonificación, Recarga potencial, Unidad hidrográfica, Ordenamiento territorial.*

Abstract

Within the context of this research, recharge is defined as the process of water infiltration into an aquifer, and the area where this process occurs is referred to as the recharge zone. The present study consists of a proposal for zoning based on potential recharge, employing the methodology proposed by Schosinsky (2006). This methodology determines the aquifer's potential recharge through a soil balance approach. One advantage of this methodology is that it considers multiple variables influencing aquifer recharge, such as monthly precipitation, rainfall retention, soil infiltration capacity and characteristics, vegetation cover, root depth, actual evapotranspiration, land use, and terrain slope. The primary objective was to spatially identify areas with the highest potential recharge to serve as a reference in territorial planning within the watershed unit. The research process was carried out in three phases: the first involved gathering bibliographic information, the second included the statistical processing of data on precipitation, soil texture, and evapotranspiration, and the final phase consisted of interpreting the results both qualitatively and quantitatively. Maps were produced to spatially depict areas of higher and lower recharge, employing Geographic Information Systems (GIS) in this last stage. The results indicate that the areas with the highest potential recharge in the watershed correspond to soils with 50% vegetation cover. These areas are also characterized by sandy-loam volcanic soils, which provide good permeability and drainage, thereby contributing to direct aquifer recharge.

Keywords: *Zoning, potential recharge, watershed unit, territorial planning.*

Introducción

La zonificación es una herramienta de gran aplicación por su utilidad en la planificación y el uso racional de los recursos naturales, ya que permite identificar unidades de manejo ambiental según la tasa de extracción, capacidad de uso, acervo cultural de las comunidades y capacidad de auto recuperación de los ecosistemas (Domínguez, et al, 2008). El agua subterránea es un recurso hídrico notable. El 80% de la población nicaragüense se abastece de agua subterránea utilizada en la industria, riego y consumo humano específicamente en

la Región del Pacífico Por lo cual se necesita tener cuantificada e identificadas las zonas de recarga más importantes en las cuencas de Nicaragua (Izabá Ruiz, R., y Cruz Castillo, J., 2022). El objetivo de esta investigación es identificar espacialmente las zonas con mayor recarga potencial que sirvan como referencia en los planes de ordenamiento territorial desarrollados en la unidad hidrográfica.

El enfoque en la investigación es sistémico dado que se apoya en diferentes técnicas y conocimientos de ciencias afines a la hidrología, por lo que para poder orientar su análisis se necesitó de otras disciplinas tales como: meteorología, edafología, geografía, geología y cartografía, principalmente.

El proceso investigativo consta de tres partes. El primero, recopilación de información bibliográfica vinculada a las características físicas y geográficas del territorio, se delimitó el área de estudio bajo la metodología Pfafstetter, la cual consiste en un proceso de delimitación por medio de Modelos Digitales del Terreno (DEM); en el que primero se determina el curso de agua principal de la cuenca a codificarse, seguidamente en orden jerárquico se clasifican las cuencas con números pares 2, 4, 6, 8 desde la desembocadura hacia la naciente del río principal y las intercuenca se codifican con números impares, 1, 3, 5, 7, 9 desde la desembocadura hacia la naciente del río principal.

En la segunda fase se procesó estadísticamente información de precipitación y se calculó la evapotranspiración por el método de Thornthwaite, una técnica utilizada en hidrología para calcular la evapotranspiración potencial (ETP) y el balance hídrico en una región, considerando factores como la temperatura y la duración del día. Asimismo, se realizaron dos pruebas de infiltración por el método doble anillo con un tiempo de duración de ocho horas. Finalmente, en la última fase se cuantificó numéricamente la recarga potencial por tipo de suelo, se identificó la recarga y se zonificó en la unidad las zonas con mayor recarga potencial y la ocupación de suelos de estas.

Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en la unidad hidrográfica 95291366, ubicada en la subcuenca II de la cuenca sur de Managua, política y administrativamente el área en estudio se ubica en su totalidad en el departamento de Managua (Ver Mapa 1: ubicación geográfica de la cuenca 9529136-6). En cuanto a las técnicas utilizadas para este estudio se empleó la observación en campo, el análisis documental de información existente y tratamiento estadísticos a la información cualitativa generada. Los instrumentos fueron: GPS, paquete de office, anillos de infiltración de suelo, y el software de Sistema de Información Geográfica Cuántica (Qgis).

El diseño metodológico se fundamenta en el enfoque mixto, que representa un conjunto de procesos cualitativos y cuantitativos. Además, es sistémico dado que la investigación se apoya en diferentes técnicas y conocimientos de ciencias afines a la hidrología. La metodología de la investigación es la propuesta por (Schosinsky, 2006) “La metodología y modelo del BHS tiene como principio conocer el potencial de agua subterránea; lo que conllevó determinar la recarga potencial con base a la distribución de la precipitación y el coeficiente de infiltración en los suelos” (Schosinsky, 2006, p.14).

Primeramente, se realizó la determinación de la recarga potencial y zonificación. Se realizó una sistematización de la información meteorológica del Aeropuerto Internacional Augusto César Sandino, Managua (69027), del cual se obtuvieron bases de datos climatológicos desde 1957 hasta 2020; además se realizaron dos pruebas de infiltración por textura de suelos con el método de doble anillo. En la siguiente tabla se resumen la ubicación de los sitios:

Tabla 1: Ubicación de los sitios de las pruebas de infiltración. Eje integrador VI, UNAN Managua y CIRA-UNAN 2023.

Identificador	Coordinada	Uso 2020	Taxonomía
Prueba 01	X:579767 Y:1339561	Uso urbano	Suelos arcillosos y fracos limosos
Prueba 02	X:579787 Y:1334933	Uso urbano	Suelos arcillosos y fracos limosos

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial la ecuación empleada fue la siguiente:
 $ETP=0.0023*(Tmed+17.78) *Ro *(Tmax-Tmin)^2$ Tmed: Temperatura media Ro: Radiación solar extraterrestre Tmax: Temperatura máxima absoluta Tmin: Temperatura mínima absoluta.

Para la se segunda fase se calculó el balance hídrico a partir de las siguientes variables:

- Precipitación media mensual (mm)
- Coeficiente de infiltración (C_f)= $0.88 C$, y $C = K_p + K_v + K_{fc}$
- Capacidad de Infiltración (F_c)
- Capacidad de campo de suelo:
- Punto de marchitez

Se determinó la recarga potencial por medio del Balance Hídrico de suelo propuesto por (Schosinsky, 2006). Los principales componentes del balance hídrico del suelo son: Precipitación media del área en estudio (P), Coeficiente de infiltración (Cf), Precipitación que se infiltra (I), Precipitación que se escurre (Esc), Evapotranspiración potencial (ETP), humedad del suelo inicial (Hsi), agua disponible (Agd), humedad del suelo final (Hsf), déficit de capacidad de campo (DCC), Evapotranspiración real (ETR), recarga potencial del acuífero (Rp). A continuación, se detallan las ecuaciones empleadas:

Para calcular la retención de lluvia mensual interceptada por el follaje (Ret), se aplicó la siguiente ecuación:

Tabla 2: Ecuaciones para calcular la retención de lluvia mensual.

Ecuaciones	Significado de la Ecuación	Símbolos y Significado	Resultados (Variable Calculada)
Retención de Lluvia por Follaje (Ret)	Cuantifica la cantidad de lluvia retenida por la vegetación.	Ret [mm/mes]: Retención de lluvia en el follaje. P [mm/mes]: Precipitación mensual. Cfo [adimensional]: Coeficiente de retención del follaje.	Ret
Coeficiente de Infiltración por Textura (Kfc)	Estima la fracción que infiltra en el suelo por su textura.	Kfc [adimensional]: Coeficiente de infiltración por textura. fc [mm/día]: Infiltración básica del suelo.	Kfc

Coeficiente de Infiltración Total (Ci)	Combina textura, pendiente y vegetación para la capacidad total de infiltración.	Ci [adimensional]: Coeficiente de infiltración total. Kp [adimensional]: Fracción que infiltra por pendiente. Kv [adimensional]: Fracción que infiltra por vegetación. Kfc (Ecuación 2).	Ci
--	--	---	----

Precipitación que Infiltra (Pi)	Calcula la lluvia que penetra en el suelo después de la intercepción.	Pi [mm/mes]: Precipitación que infiltra. P [mm/mes]: Precipitación mensual. Ret [mm/mes]: Retención de follaje (Ecuación 1). Ci (Ecuación 3).	Pi
Esorrentía Superficial (ESC)	Cuantifica la lluvia que fluye sobre la superficie del terreno.	ESC [mm/mes]: Esorrentía superficial. P [mm/mes]: Precipitación. Ret (Ecuación 1). Pi (Ecuación 4).	ESC
Evapotranspiración Potencial (ETP)	Estima la demanda máxima de agua por evaporación y transpiración (Hargreaves).	ETP [mm/mes]: Evapotranspiración potencial. Tmedia, Tmaxima, Tmininima: Temperaturas. Ro: Radiación solar extraterrestre.	ETP
Evapotranspiración Real (ETR)	Determina la pérdida efectiva de agua por la atmósfera y plantas.	ETR [mm/mes]: Evapotranspiración real. Disco duro: Humedad disponible. ETPR: ETP ajustada.	ETR
Humedad del Suelo Final (HSf)	Calcula el contenido de agua almacenado en el suelo al final del mes.	HSf [mm]: Humedad del suelo final. Disco duro: Humedad disponible. PM: Precipitación marginal. ETR: Evapotranspiración real. CC: Capacidad de campo.	HSf

Recarga Potencial al Acuífero (Rp)	Estima el excedente de agua que se mueve hacia el reservorio subterráneo.	Rp [mm/mes]: Recarga potencial mensual. Pi: Precipitación que infiltra. HSi: Humedad del suelo inicial. Hsf: Humedad del suelo final. ETR: Evapotranspiración real.	Rp
------------------------------------	---	---	----

Fuente: Elaboración propia.

Al aplicar este conjunto de ecuaciones, se obtiene un balance hídrico mensual completo para una cuenca o área de estudio. El proceso simula cómo la precipitación total se divide en sus principales componentes hidrológicos. Estas ecuaciones permitieron rastrear el camino del agua desde que cae como precipitación hasta que se pierde por escorrentía o evapotranspiración, o se almacena en el suelo y el acuífero, proporcionando una visión detallada de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la zona. Las tablas 3 y 4, corresponde a la metodología propuesta por Schosinsky, utilizadas para estimar cuánta agua de lluvia (escorrentía) se filtra o penetra en el suelo en lugar de fluir sobre la superficie. Añadiendo así los valores para las pendientes y el coeficiente por Cobertura y Uso de la Tierra muestra la relación entre la infiltración y el tipo de vegetación o uso del suelo.

Tabla 3: Datos del coeficiente de infiltración.

Por pendiente	Pendiente	Kp
Muy plana	0,02% - 0,06%	0,30
Plana	0,3% - 0,4%	0,20
Algo plana	1% - 2%	0,15
Promedio	2% - 7%	0,10
Fuerte	Mayor de 7%	0,06

Fuente: Datos metodología (Schosinsky, 2006)

Tabla 4: Datos del Kv tipo de cobertura y uso de la tierra.

	Por cobertura vegetal	Kv
	Cobertura con zacate menos del 50%	0,09
Terrenos	Cultivados 0,10 Cobertura con pastizal	0,18
	Bosques	0,20
	Cobertura con zacate más del 75%	0,21

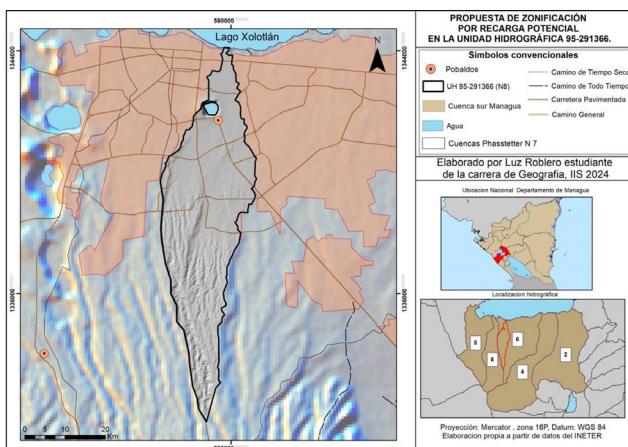
Fuente: Datos metodología (Schosinsky, 2006)

La tercera fase permitió obtener los datos cuantitativos de la Recarga potencial. Se crearon las tablas, los shapefile y se elaboró el mapa que contiene la información espacial sobre las zonas de recarga y se analizó el resultado en función de la cobertura y uso de la tierra.

Resultados y discusión

El área de estudio ubicada en la cuenca Sur de Managua denominada así por el proyecto hidroeléctrico Centroamericano (PHCA), esta área abarca la parte sur de la ciudad de Managua, la capital de Nicaragua, como su nombre indica. (Ver Figura 1). De acuerdo con la delimitación por método Pfafstetter la cuenca se corresponde con el código 9529136-6. La extensión es 20.2 km², y cae en su totalidad en el departamento de Managua, municipio de Managua.

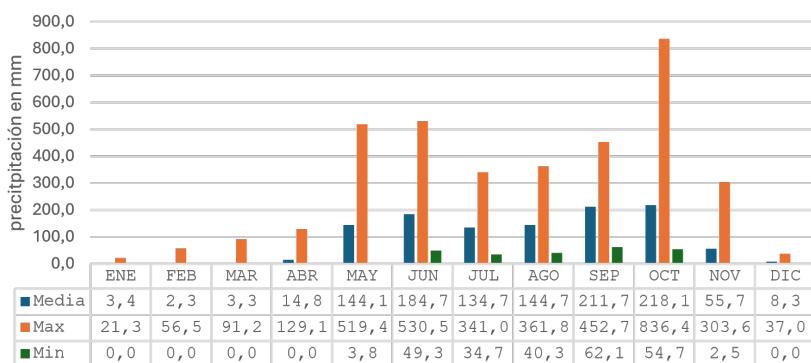
Figura 1: El mapa refleja la ubicación geográfica del área de estudio, (el color rosa pálido representa el área urbana, el color gris es toda la unidad hidrográfica y el color azul representa la laguna de Tiscapa).



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la caracterización climática en Nicaragua existen dos estaciones claramente definidas: la estación seca (noviembre-abril) y la estación lluviosa (mayo-octubre). El 90% de las lluvias caen durante la estación lluviosa con una pequeña interrupción entre julio y agosto, llamada “canícula o veranillo” (INETER, 2017). El promedio, en la zona de estudio se da una acumulación de precipitación en el año igual a 1125.8mm. En la figura 2, se muestran la distribución de precipitación a lo largo de un año, se observa un período estival en el cual hay escasez o ausencia de lluvias (diciembre-abril), seguidamente inicia el período lluvioso (mayo-noviembre); es de esperarse que los máximos acumulados en precipitación se presenten en el mes de octubre con 218.1mm/mes, aunque en este período lluvioso se presenta la canícula, que inicia a principios de junio y finaliza en el mes de agosto, un descenso significativo en las precipitaciones y aumento en las temperaturas.

Figura 2. Gráfico del comportamiento de la precipitación.

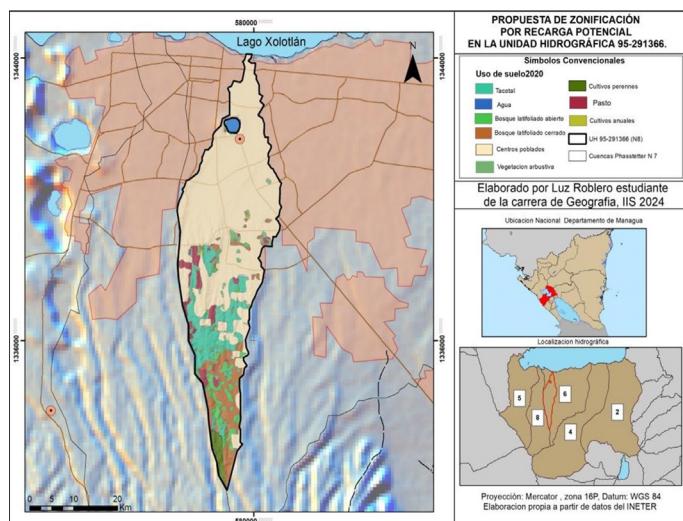


Fuente: Datos INETER.

Los factores determinantes en la recarga potencial de la cuenca es la cantidad de lluvia que cae y se infiltra, todo ello en función de la cobertura actual del suelo; así lo explica (Matus, et al. 2009), que la lluvia en las zonas de recarga de los acuíferos son la principal y más importante fuente de abastecimiento de agua, manantiales y cuerpos de agua subterráneos. Sin embargo, la práctica inadecuada en actividades como la agricultura, ganadería, el desarrollo urbanístico o la industria alteran las características de las zonas de recarga hídrica y dificultan la infiltración del agua al erosionar, dejando descubierto el suelo, lo cual genera una mayor escorrentía superficial y disminuye la recarga de los acuíferos. Esto reduce el nivel de las aguas subterráneas (acuíferos) y afecta la calidad de las aguas, que con frecuencia se vuelven inadecuadas para el consumo humano u otros usos como el riego.

De acuerdo con el mapa de cobertura y uso de la tierra (ver figura 3), el 38% del territorio norte corresponde centro poblados, indicando que son áreas totalmente impermeabilizadas donde los procesos de escorrentía son mayores, la retención e infiltración del agua de lluvias en esta zona es probablemente muy baja. De acuerdo con Cubides y Santos Granados (2018) el incremento de la concentración de la población en las ciudades ha generado un aumento brutal de la urbanización de suelos y, por lo tanto, de su impermeabilidad, produciendo un mayor volumen de escorrentía y una elevación en las velocidades de los flujos naturales, reduciendo los tiempos de concentración, produciendo temperaturas más altas, caudales de base más bajos durante la época de estiaje y niveles de contaminación mayores. Estos efectos tienen consecuencias drásticas en cuanto a los volúmenes y los caudales punta o caudales pico, que se producen y se deben transportar en la red de alcantarillado.

Figura 3: Cobertura y uso de la tierra.



Fuente: A partir de imágenes satelitales (Planet, 2023).

En cuanto a la cobertura y uso de la tierra que presenta la UH 95-291366 se categoriza por 9 coberturas, siendo la categoría de centros poblados la más predominante que ocupa el (38%) del territorio, seguido de tacotal con un total de (34%) y bosques latifoliados cerrados con un (28%). Por otra parte, las categorías de capacidad de uso del suelo establecidas por el Ministerio Agropecuario (MAGFOR, 2000) indica que: el 50% del área de la de la unidad hidrográfica es de uso forestal, 40% para uso agrícola y 10% del área es de uso pecuario, al confrontar la capacidad de uso y el uso actual, se obtuvieron los conflictos de uso del suelo en la subcuenca, teniendo así un sobreuso del suelo, en centros poblados, debido a que su uso potencial es de carácter Pecuario en Silvopastoril y Forestal.

Recarga y zonificación de las áreas con mayor potencial

El proceso de recarga se da de distintas formas y muchos factores influyen en este, se establece que hay tres tipos de recarga: directa, localizada e indirecta. Afirma que el suelo y la pendiente, son factores influyentes en la recarga y que esta sea directa, es decir el agua llega al acuífero directamente por percolación indirecta, es decir que llega por medio de la filtración de cuerpos de agua o recarga localizada, lo que implica la concentración de agua en un punto específico, como un charco (Bonilla, 2023).

De acuerdo con los resultados obtenidos en la unidad hidrográfica y la zonificación realizada a partir de las variables definidas por (Schosinsky, 2006) se observa que las zonas con mayor potencial de recarga (838 mm/anual) se ubican al Sur del territorio (Ver tabla 4), estas áreas de gran potencial se caracterizan por tener suelos con textura franco arenoso de origen volcánico, también esta área presenta cobertura boscosa (Bosque latifoliado abierto), estas particularidades permiten una buena permeabilidad y un buen drenaje que contribuye a la recarga directa del acuífero: por otra parte, Izabá Ruiz, R., y Cruz Castillo, J. (2022) plantea que las zonas con uso de suelo bosque, vegetación arbustiva y cultivos permanentes se ubican en la clasificación de recarga alta.

La parte media de la cuenca tiene textura franco arcilloso y tipo de suelo Molisol. La textura de esta área es la que condiciona la recarga, dado que estos suelos tienen poros más pequeños que se saturan rápido permitiendo una recarga menor y mayor escurrimiento; (González, et al. 2020) en su estudio titulado Caracterización de zonas potenciales de recarga hídrica en la microcuenca del río La Carreta, municipio de Cinco Pinos, Chinandega, menciona que los suelos con texturas franco arcilloso y arcillo limoso, poseen una capacidad de infiltración baja por ende, la posibilidad de recarga es baja, ya que, a pesar de que hay presencia de partículas de arena y limo, predominan las arcillas lo cual dificulta la infiltración del agua en el suelo.

Asociado a las condiciones de textura anterior en esta zona la recarga potencial se cuantificó en 836 mm/anual, aun así, se considera una zona con potencial alto de recarga. La zona con menor potencial de recarga se ubica en el sector norte de la cuenca, que se caracteriza por tener pendientes planas y suelos totalmente urbanizados, en este sector la recarga se cuantificó en 684 mm/anual; se debe considerar que al ser suelos que están totalmente impermeabilizados tiene bajo potencial de infiltración y el escurrimiento es mayor; el agua de esta zona discurre hacia los cuerpos de agua superficiales como la laguna de Tiscapa y el lago Xolotlán. En el siguiente cuadro se resumen las características de las zonas de recarga potencial de la cuenca.

Tabla 5: Caracterización de las zonas de recarga.

Descripción	Recarga potencial mm/anual	Área km ²	Tipo de recarga	Categoría
Zona 1	838	3km ²	74.4% P	3
Zona 2	836	10km ²	74.3% P	
Zona 3	684	7km ²	60.8% P	

Fuente: Elaboración propia.

En la implementación del ordenamiento territorial es importante contar con una zonificación de las áreas con mayores probabilidades de recargar al acuífero, esto permitirá gestionar los recursos hídricos de forma sostenible garantizando agua para las generaciones futuras; así también lo explica (Urbina, A., y Maradiaga, E., 2021) que contar con mapa de Zonas Potenciales de Recarga Hídrica (ZPRH) aporta un valioso instrumento de trabajo para la gestión ambiental, y ofrece los elementos esenciales para el desarrollo de una política de ordenamiento del territorio.

Tabla 6: Recarga de potencial a partir del acumulado de la lluvia.

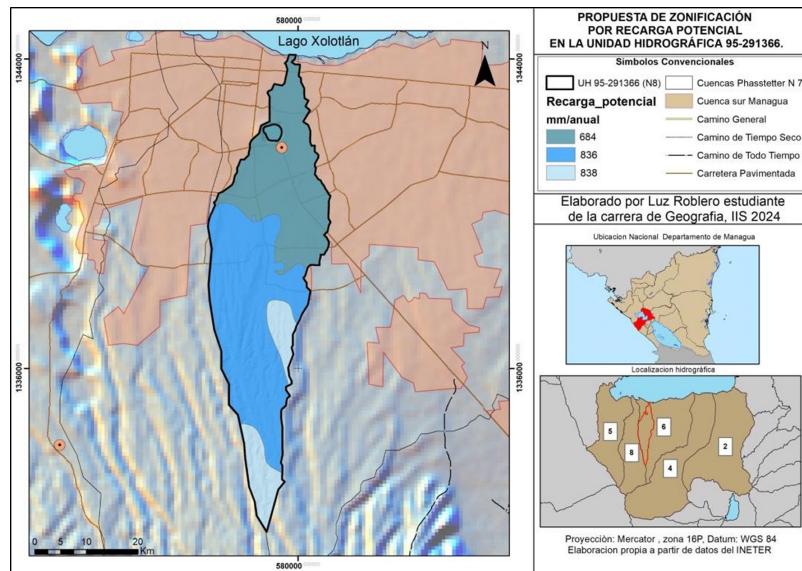
	Muy alta	Alta	Moderada	Baja	Muy baja
Recarga Potencial	45-50%P	30-35%P	10-20%P	5-10%P	< 5%P

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de toda el área de estudio se ubican en la categoría tres, indicando que presenta una recarga muy alta, debido a que el total de la precipitación caída en la unidad, más del 50% regresa al acuífero. He de destacar que la zona se ubica en uno de los acuíferos más productivos del país. El acuífero las sierras, acorde con el estudio, desde el punto de vista geológico, el área se ubicada en el graben de Managua perteneciente a la provincia geológica de la Depresión Nicaragüense, la cual se presenta dividida en dos grandes grupos: El Grupo Las Sierras del Pleistoceno constituido por ignimbritas y el Grupo Managua del Cuaternario, compuesto por depósitos piroclásticos poco consolidados (Woodward-Clyde Associates, 1975). Girard (2005), determinó que la formación de las sierras es un complejo

escudo ignimbrito y basáltico, es decir que son de origen volcánico. Presentando así un Suelo aluvial del Holoceno; Suelo geológicamente reciente, Consiste en arcilla limo-arenosa, limo no consolidado, arena limosa y gravas.

Figura 4: Mapa de la recarga potencial de la cuenca 9529136-6.



Fuente: Datos de INETER.

Estrategias para la protección de zonas de recarga hídrica

Existen diferentes estrategias para proteger estas zonas y a su vez favorecer la recarga hídrica; entre ellas están: la conservación y protección del bosque, la restauración y reforestación de riberas, capacitaciones a los pobladores en aspectos relacionados con la conservación y protección de los recursos naturales en las zonas de recarga, aumentando la cobertura vegetal puesto que a mayor cobertura, mayor capacidad de infiltración del agua, y por consiguiente más recarga hídrica (Izaba Ruiz, R., y Cruz Castillo, J., 2022).

De acuerdo con los resultados obtenidos, se determinó la zona con mayor cantidad de recarga hídrica; esta se encuentra en la parte Sur del área de estudio (Ver mapa3). Es importante monitorear que la expansión urbana de la cuenca no se extienda a estas zonas y se propone que esta área sea declarada como zonas de recarga de acuífero las Sierras; al igual se deben de establecer restricciones en cuanto al uso de los suelos, en la medida de lo posible evitar el desarrollo de la ganadería y la agricultura. La ganadería extensiva

sin prácticas conservacionistas provocaría compactación del suelo, perdida del parche del bosque latifoliado denso y ralo, además de aumentar los procesos de erosión severa que ya presenta la cuenca.

En lo que corresponde a la zona dos, que son áreas de pendiente ondulada, se sugiere construir obras de contención que estén ubicadas en zonas de mayor pendiente con el propósito de retener e infiltrar el agua de lluvia que se escurre desde la zona uno y dos. Además, este tipo de obra tiene un doble propósito es la retención de sedimentos y la infiltración inducida en la cuenca. Así mismo, en esta zona se desarrollan actividades agrícolas nombradas como cultivos perennes, es importante monitorear estas actividades además de capacitar a los agricultores en la implementación de sistemas agrosilvopastoriles y silvopastoriles con fines energéticos, forrajeras, maderables y frutales en las áreas destinadas a potreros. Finalmente, para la zona tres se propone tener un mayor control en el establecimiento de nuevas urbanizaciones, ejecución de los reglamentos vigentes en cuanto a ordenamiento territorial, revestimiento, mantenimiento de los cauces que atraviesan la ciudad para evitar que se rebasen e inunden los sectores urbanos producto del agua de escorrentía que baja del sector alto y medio de la cuenca.

Conclusiones

La categorización de las zonas de recarga permitió conocer cuáles son las áreas que se deben priorizarse al momento de la realización y ejecución de un plan de gestión integrado de recursos hídricos en la cuenca.

Se determinó que existen factores que condicionan la recarga, entre ellos, la textura del suelo, las pendientes, la cobertura y el uso de la tierra. Zonas con suelos tipo franco arenosa permiten una mayor infiltración de agua, lo que implicaría una mayor recarga de acuífero.

Se considera pertinentes la realización de otros estudios complementarios que contribuyan a comprender la dinámica del acuífero y las dinámicas de usos de suelo.

Listado de referencias

- Bonilla, J. (2023). *Zonificación de áreas con potencial de almacenamiento en la cuenca del río Tunjuelo*. <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/ba5ddebd-cc1d-4f92-b2ad-39e40891ed7f/content>
- Castillo, R. D. (2022). *Zonificación y estrategias para la protección de zonas de recarga de agua subterránea*. <https://repositorio.una.edu.ni/4663/1/NP10I98.pdf>

Domínguez, S., Velásquez, S., Jiménez, F., y Faustino, J. (2008). Zonificación ambiental para el ordenamiento territorial de la subcuenca bimunicipal del río Aguas Calientes, Nicaragua. https://www.academia.edu/97954310/Zonificaci%C3%B3n_ambiental_para_el_ordenamiento_territorial_de_la_subcuenca_bimunicipal_del_r%C3%ADo_Aguas_Calientes_Nicaragua

González Ñamendy, B., y López Moncada, S. (2020). Caracterización de zonas potenciales de recarga hídrica en la Microcuenca del río La carreta, municipio de cinco Pinos. Chinandega 2018. <https://repositorio.una.edu.ni/4045/1/tnp10g643c.pdf>

Granados, C. &. (2018). Control de escorrentías urbanas mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Pozos/Zanjas de infiltración1. http://scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672018000200032

INETER. (2017). Clima en Nicaragua: Características y Clasificación Climática. <https://studylib.es/doc/4874755/caracter%C3%ADsticas-del-clima-en-nicaragua>

Izabá Ruiz, R., y Cruz Castillo, J. (2022). Zonificación y estrategias para la protección de zonas de recarga en agua subterránea. <https://repositorio.una.edu.ni/4663/1/NP10I98.pdf>

Matus, O., Faustino, J., y Jiménez, F. (2009). Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica. aplicación práctica en la subcuenca-35,13-30. del río Jucuapa, Nicaragua. <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/REN10M433.pdf>

Schosinsky, G (2006). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. Revista Geológica de América Central, 34-35,13-30. <https://archivo.revistas.ucr.ac.cr//index.php/geologica/article/view/4223/4047>

Urbina, A., y Maradiaga, E. (2021). Delimitación de zonas potenciales de recarga hídrica en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, departamento de Madriz, Nicaragua. <https://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/ view/3813/3064>

Agradecimientos

Agradecemos a todas las personas que hicieron posible el desarrollo de esta investigación y que apoyaron en la recolección de datos en campo y procesamiento de información en gabinete: Bra. Celeste Reyes, Bra. María Alvarado, Br. Álvaro Serrano, Br. Marcos García, Br. Alex Luna. Bra. Keyling Gaytán y Bra. Diana Pérez, todos estudiantes de la carrera de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, al igual agradecemos a los maestros que conformaron el Eje Integrador VI del segundo semestre del año 2023.