

Delimitación de zonas potenciales de recarga hídrica en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, departamento de Madriz, Nicaragua

Delimitation of potential water recharge zones in the upper hydrographic unit Quebrada Arriba, department of Madriz, Nicaragua

Amarus A. Urbina-G.¹* y Eddy Vladimir Maradiaga-F.²

1. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua

2. Fundación Aldea, Jinotega, Nicaragua

*Autor de correspondencia: amaruz.au@gmail.com

Recibido: 02 de noviembre de 2020

Aceptado: 03 de marzo de 2021

Publicación en línea: 22 de abril de 2021

Resumen

Palabras clave:
unidad hidrográfica; infiltración;
manejo de agua; mapeo de zonas;
conservación de recursos

El agua subterránea es un recurso indispensable para el abastecimiento, el consumo humano y el desarrollo de actividades agropecuarias en las zonas rurales del país. Con el propósito de desarrollar estrategias y acciones de conservación y manejo de agua por parte de los comunitarios, se aplicó el mapeo de zonas potenciales de recarga hídrica en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, ubicada en el municipio de Yalagüina, departamento de Madriz, Nicaragua. El 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. La metodología empleada permitió delimitar unidades espaciales de recarga hídrica de forma integral y asocia variables ambientales como factores morfológicos, edáficos y efectos antrópicos, como elementos que rigen el almacenamiento y movimiento de agua en el recurso suelo. El estudio determinó que en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba hay cuatro categorías de posibilidad de recarga: un área de 91 ha (14 %) con una muy baja posibilidad, otra de 286 ha en categoría de baja recarga (44 %), seguida por 214,5 ha (33 %) de moderada posibilidad, y 58,5 ha (9 %) con alta posibilidad de recarga. En consecuencia, el contexto físico de la cuenca se clasifica con moderada capacidad de infiltración de agua en el suelo. Se concluye que las zonas con posibilidad de recarga baja y moderada son las áreas por priorizar, con acciones encaminadas a protección y conservación de recursos naturales.

Abstract

Key words:
hydrographic unit; infiltration; water
management; zone mapping;
conservation of resources

Groundwater is an indispensable resource for the supply of water for human consumption and the development of agricultural activities in rural areas of the country. In order to develop strategies and actions of conservation and water management by the communities, the mapping of potential water recharge zones was applied, in the hydrographic unit Quebrada Arriba, located in the municipality of Yalagüina, Department of Madriz, Nicaragua. The Water Recharge Potential Zones (ZPRH) map provides a valuable working tool for environmental management and provides the essential elements for the development of a territory management policy. The methodology allowed to delimit spatial units of water recharge in an integral way and associates environmental variables, such as morphological factors, soils and anthropic effects, as elements that govern the storage and movement of water in the soil resource. The study determined that in the Quebrada Arriba hydrographic unit there are 4 categories of recharge possibility, ranging in a very low possibility with an area of 91 ha (14 %) 286 ha in low recharge category (44 %), followed by a moderate possibility in 214.5 ha (33 %), and high recharge chance at 58.5 ha (9 %). Consequently, the physical context of the basin is classified as moderate water infiltration capacity in the soil. It is concluded that, in areas with the possibility of low and moderate recharge are the areas to be prioritized, in actions aimed at the protection and conservation of natural resources.

Introducción

Nicaragua cuenta con múltiples riquezas naturales y condiciones que favorecen el desarrollo agrícola, pecuario y agroindustrial (Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados, 2004; Sánchez-Merlos *et al.*, 2005). Entre ellas se encuentra el agua del subsuelo, un recurso de gran importancia, pero de difícil manejo debido a su sensibilidad a la contaminación y a la sobreexplotación (Ordóñez Gálvez, 2011; Buenaño *et al.*, 2018).

La recarga hídrica es la capacidad del suelo para retener y almacenar agua, lo que a su vez permite el flujo horizontal y vertical de esta como escorrentía subterránea y como recarga de acuíferos, respectivamente (González-Carrasco, 2011). El recurso hídrico es indispensable para el abastecimiento de agua de consumo humano y el desarrollo de actividades agropecuarias en las zonas rurales del país (Barranco Salazar, 2018) Sin embargo, muchas de las actividades humanas, como la degradación de los suelos por el mal manejo y la pérdida de los bosques, propician la erosión y cambios en los regímenes de infiltración (Rodríguez, y Pérez-Álvarez, 2014). Adicionalmente, estos problemas ambientales limitan la capacidad natural de recarga en acuíferos (International Union of Soil Sciences, 2008).

Según la Sociedad Mundial para el Agua (GWP, por sus siglas en inglés), en 2013, como un producto complementario al IV Censo Nacional Agropecuario, el Ministerio de Agricultura de Nicaragua (MAG) elaboró un mapa de escala nacional de regiones con potencial de recarga hídrica donde se utilizaron los siguientes criterios: perfil del suelo (profundidad, textura, drenaje y estructura) y topografía (pendiente). A partir de esta información se determinaron las superficies con mayor o menor capacidad de infiltración de agua para recarga subterránea y se clasificaron en tres tipos de recarga hídrica: alta, media y baja. Este estudio se hizo para todo el territorio, tomando en cuenta las propiedades concretas de cada cuenca hidrográfica del territorio, y los resultados del análisis evidenciaron que las regiones con más potencial de recarga hídrica se encuentran mayoritariamente en el sector central norte del territorio, en las piezas altas de la cuenca del flujo de agua Coco y del flujo de agua Enorme de Matagalpa. Cuantitativamente, hay 45,209 ha clasificadas con elevado potencial de recarga hídrica, 571,289 ha con potencial de recarga hídrica media y 465,057 ha con potencial de recarga baja (Global Water Partnership, 2016).

La identificación, delimitación y caracterización de regiones

potenciales de recarga hídrica en las cuencas es fundamental para la defensa de las fuentes de agua que abastecen las sociedades, con miras a priorizar inversiones en la defensa, conservación y funcionamiento correcto de estas. Derivado de este contexto y tomando en consideración que la identificación y caracterización de zonas potenciales de recarga hídrica es una herramienta para la reducción del deterioro de los recursos naturales, y además facilita la planificación y la gestión de los recursos hídricos (Maderey-Rascón, 2005), se pretende describir y representar geográficamente en escala semidetallada (1:25.000) zonas con potenciales de recarga de agua en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba. De esta manera se espera contribuir al futuro desarrollo de estrategias de conservación y protección en la cuenca que garanticen el funcionamiento del ciclo hidrológico, así como el bienestar y desarrollo económico de los actores locales del área de estudio.

Materiales y métodos

Descripción del sitio

La unidad hidrográfica Quebrada Arriba se encuentra localizada en el departamento de Madriz, y corresponde administrativa y geográficamente al municipio de Yalagüina, entre las coordenadas 13°29' latitud norte y 86°30' longitud oeste (Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal, 2012). La cuenca tiene una extensión de 6,5 km² y una elevación media de 806 m, y corresponde al nivel 7 (45-9516828) de acuerdo con el sistema de clasificación Pfafstetter para Nicaragua (figura 1).

Proceso metodológico

El presente trabajo se sustenta en la metodología propuesta por Matus *et al.* (2009), la cual aporta un valioso instrumento de trabajo para la gestión ambiental que ofrece los elementos esenciales para el desarrollo de una política de ordenamiento del territorio. Este método sencillo y de bajo costo fue seleccionado porque considera factores que condicionan los procesos de recarga como: pendiente, suelos, geología, cobertura boscosa y uso de suelos. Se ha decidido aplicarlo en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba porque esta se encuentra ubicada en el corredor seco nicaragüense, área geográficamente crítica en el tema de seguridad hídrica durante las últimas décadas, tal como sugiere (Rodríguez, 2014). Para la optimización de recursos se han utilizado técnicas de sistemas de información geográfica (SIG) con el fin de automatizar la ejecución del procesamiento de datos.

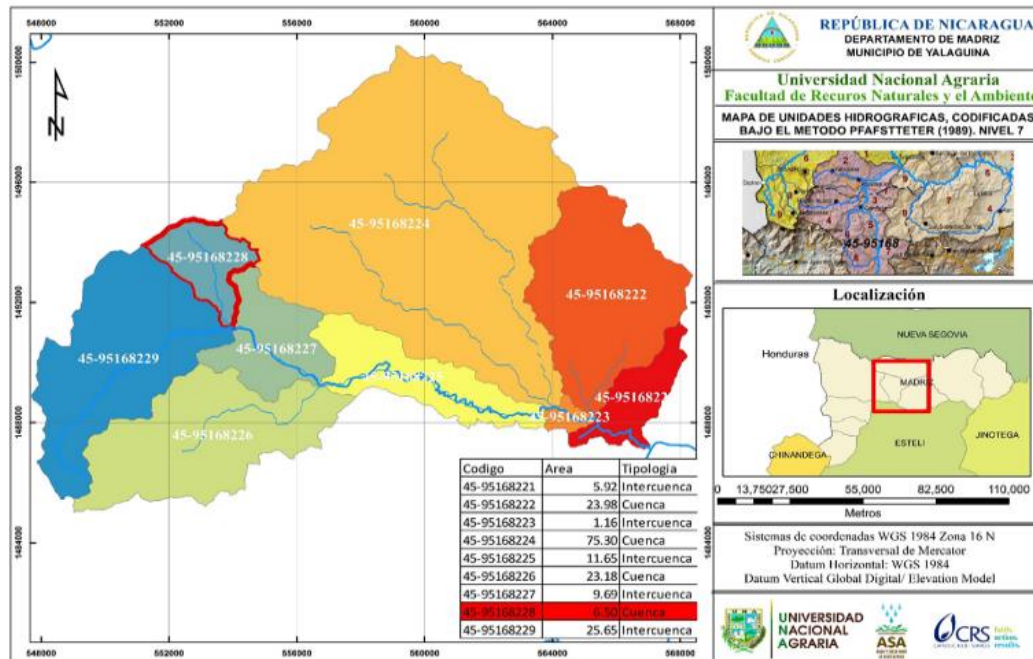


Figura 1. Ubicación de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba.

Organización de la investigación

Partiendo de información edáfica actualizada de investigaciones realizadas en la localidad, se identificaron a través de los SIG unidades de intervención para el muestreo y análisis de las condiciones fisiográficas, sumado a la recopilación de información secundaria del municipio. Esto permitió un primer acercamiento con las posibles zonas potenciales de recarga hídrica. La información utilizada fue: el mapa geológico del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (Ineter) del año 2014, el mapa topográfico del Ineter del año 1989, el modelo de elevación digital (DEM) con resolución espacial de 12,5 m, imágenes satelitales del software Terra Incógnita para la clasificación de los usos actuales de suelo, y el levantamiento edáfico a escala semidetallada en el sitio (Urbina y Maradiaga, 2019).

Levantamiento en campo

Para la evaluación de los elementos del modelo propuesto se emplearon los siguientes aspectos: el tipo de suelo (textura de los horizontes), la pendiente y micro relieve (porcentaje o grado de inclinación del sitio), la cobertura forestal (porcentaje de dosel y sombra de las especies forestales), el tipo de roca (asociada a litología del lugar), el uso de suelo (incluye uso actual y cobertura) (figura 2).

De acuerdo con la metodología de Matus (2007). Para cada

elemento de la ecuación se elabora una unidad de mapeo para cada variable que expone la posibilidad de que la recarga hídrica sea muy alta o muy baja, en base a las características específicas de las mismas.

La ponderación numérica que se utiliza para la evaluación y mapeo de cada componente del modelo se encuentra entre valores de 1 al 5 según las diferentes situaciones que se pueden encontrar dentro de cada elemento evaluado, siendo 5 el valor máximo asignado a las zonas con mayor potencial de recarga y 1, el valor mínimo que se le asigna a las zonas con menor potencial de recarga hídrica.

Análisis de la información

Una vez evaluados cada uno de los elementos del modelo y aplicada la ponderación correspondiente (tabla 1), se empleó la ecuación propuesta por Matus (2007).

$$ZPRH = 0,27 (Pend) + 0,23 (Ts) + 0,12 (Tr) + 0,25 (Cve) + 0,13 (Us)$$

Donde:

Pend: Pendiente y Micro relieve

Ts: Tipo de suelo

Tr: Tipo de roca

Cve: Cobertura vegetal permanente

Us: Usos del suelo

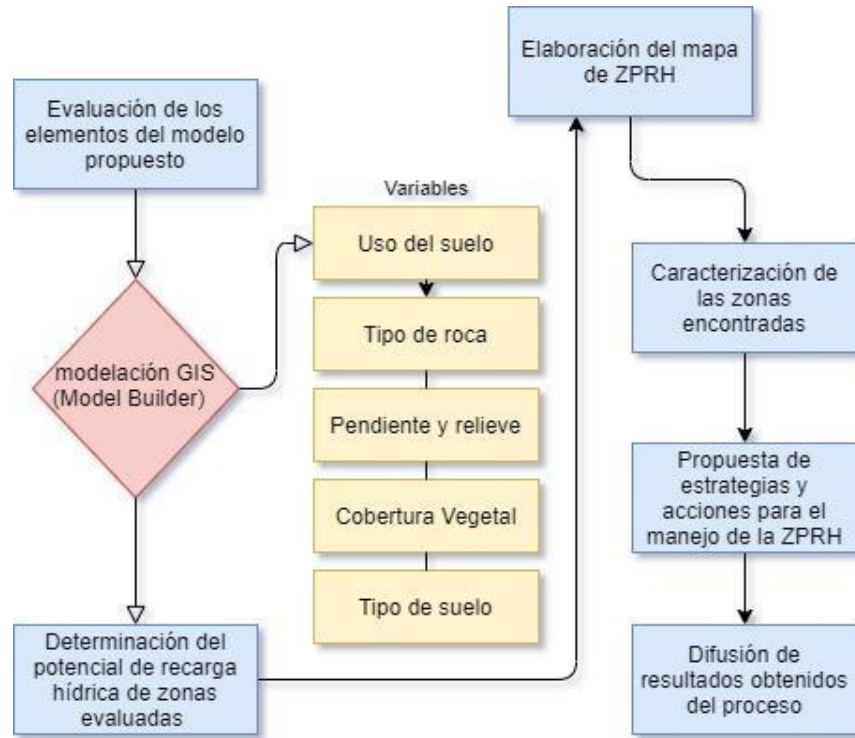


Figura 2. Flujograma para la determinación de ZPRH en la Unidad Hidrográfica QA.

Tabla 1. Posibilidades de Recarga Hídrica. (Fuente: Matus, 2007)

Posibilidad de Recarga Hídrica	Rango (adimensional)
Muy alta	4,1-5
Alta	3,5 – 4,09
Moderada	2,6 – 3,49
Baja	2 – 2,59
Muy baja	1 – 1,99

Resultados

Descripción de los suelos

En la unidad hidrográfica Quebrada Arriba se identificaron cinco subgrupos taxonómicos de suelo (figura 3): Typic Ustorthens (30 %), Typic Argiustolls (7,9 %), Typic Calciustep (13,2 %), Typic Haplustalf (35,09 %) y Typic Haplustepts (14 %). En estos se puede encontrar una posibilidad de recarga predominante baja y moderada por el tipo de textura presente en los endopedones y la alta presencia de rocas impermeables en los perfiles. A continuación, se describen los suelos de esta cuenca:

Typic Argiustolls: suelo resultado de la adición a largo plazo de altos contenidos de materiales orgánicos. Es de color oscuro y alta fertilidad, reconocido como el suelo agrícola más importante desde el punto de vista productivo. Presenta un

horizonte B enriquecido con arcilla y alto grado de humedad. Su posibilidad de recarga hídrica es de alta a muy alta por las condiciones que posee para la infiltración en sus horizontes.

Typic Calciustep: suelo de moderada fertilidad, conformado en la parte baja de la cuenca, desde deposiciones coluviales. Muestra horizonte superficial y subsuperficial de color negro y textura de franco arcillosa a arcillosa. Descansa sobre horizontes cámbicos Bw1, Bw2. Muestra una disminución de calcio disponible a partir de los endopedones hasta el horizonte superficial (A). Su probabilidad de recarga hídrica es de moderada a alta.

Typic Haplustepts: Suelo mineral con débil desarrollo de horizontes que muestra una serie de pedogénesis de A-Bw1-Bw2-Cr y textura franco arcillosa a arcillosa. Tiene escasa capacidad de retención de humedad y baja producción de

biomasa. Su capacidad de recarga es baja por la limitante arcillosa de su textura en los horizontes, que restringe la infiltración de agua subsuperficial por largos periodos de tiempo.

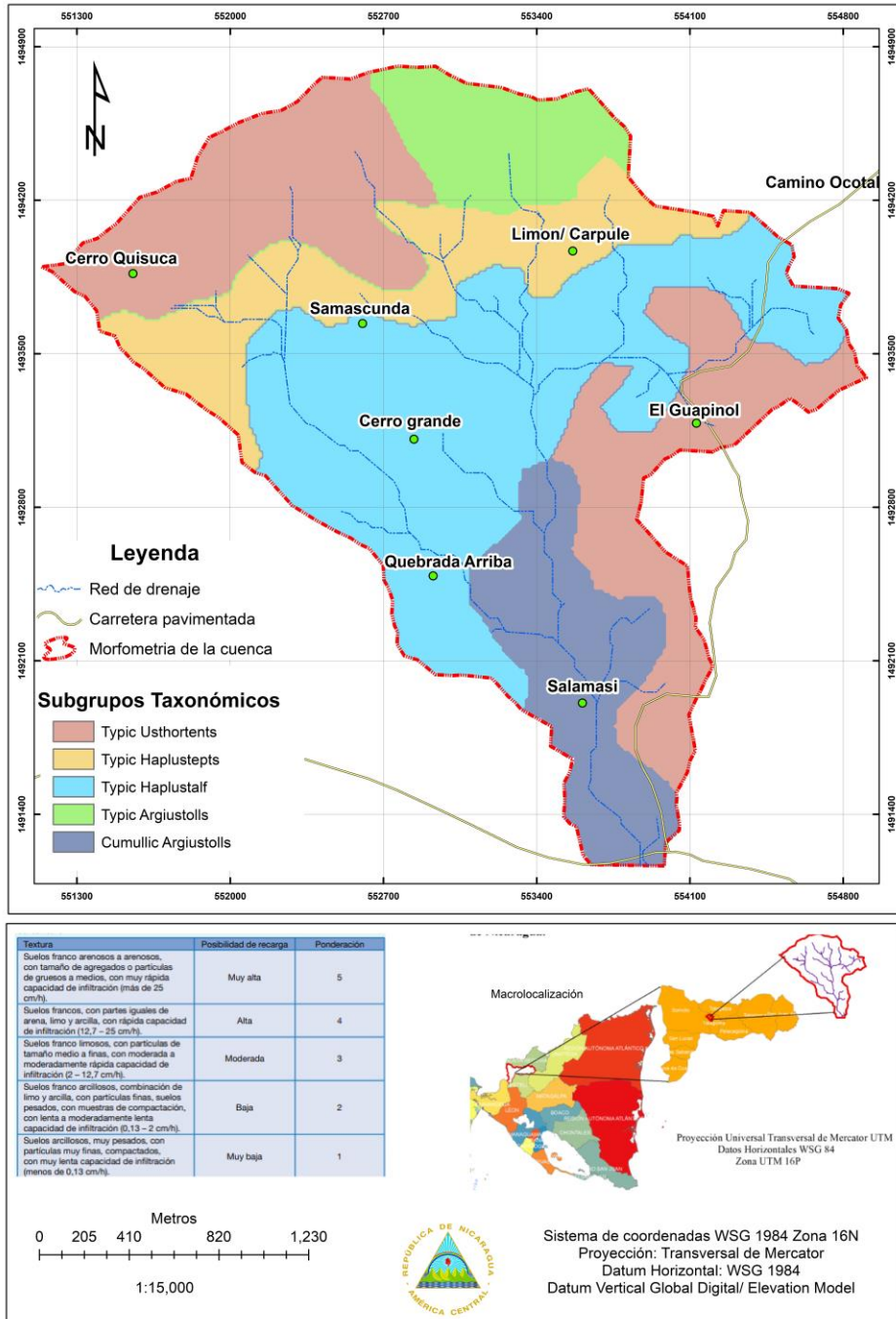


Figura 3. Subgrupos taxonómicos de suelo para la unidad hidrológica Quebrada Arriba.

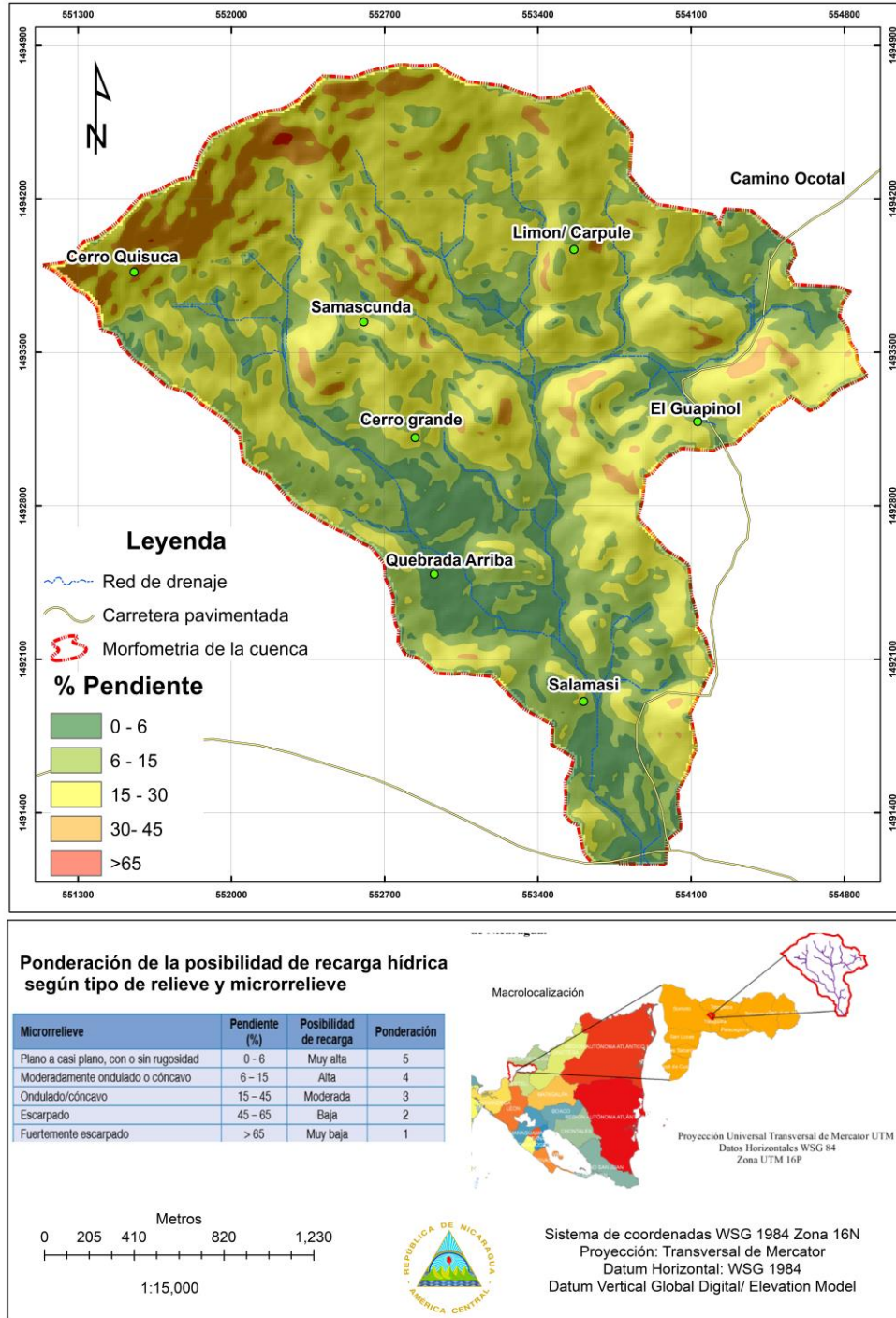


Figura 4. Pendiente de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba.

Typic Haplustalf: suelo predominante en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, que ocupa un área de 228 ha, un 35,09 % del total del área de estudio. Las características de esta unidad de suelo fueron clasificadas como alfisol de régimen de humedad ústico (llueve la mitad del año y seis meses son de sequía), con presencia de epipedón ócrico, que descansa sobre un horizonte argílico de acumulación de arcilla iluvial. La

secuencia textural es arcillosa en los horizontes A y Bt. La capacidad de recarga es moderada.

Typic Usthorthens: suelos superficiales con alta presencia de conglomerados rocosos en la superficie y dentro del perfil, característicos de un suelo entisol, con perfil A-R. Su posibilidad de recarga hídrica es de muy baja a baja dado que son suelos jóvenes o en desarrollo y que se encuentran

situados en pendientes mayores de 30 %, por lo que no favorecen a la infiltración.

Porcentaje de pendiente del terreno

La unidad hidrográfica Quebrada Arriba está constituida por un sistema montañoso de relieve que varía desde extremadamente ondulado a muy escarpado, con alturas entre los 980 y 1.638 m. Las pendientes que más predominan oscilan entre 15 % y 30 % y ocupan un área total de 203,89 ha, que corresponde al 31,36 % del área total de cuenca.

Las áreas de pendiente del terreno que tienen posibilidades de recarga para el acuífero se presentan en la figura 4. En este apartado es importante reconocer que más del 75 % de la unidad (504 km²) tiene de baja a muy baja posibilidad de infiltrar agua de lluvia en el suelo debido a que las pendientes son mayores a 30 % de inclinación, lo que favorece el escurrimiento superficial y, con ello, se aceleran los procesos erosivos en los suelos de la microcuenca.

Cobertura y uso actual de suelos

La mayor parte de la extensión territorial de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, 213 ha aproximadamente (33 % del área total de la cuenca), está siendo utilizada por sistemas de pasto y árboles dispersos. En segundo lugar, 180 ha (28 % del área total de la cuenca) corresponden a cultivos anuales. Por último, otras áreas menores están ocupadas por vegetación arbustiva, bosque latifoliado ralo y bosque de coníferas (25 %, 12 % y 13 %, respectivamente). En la figura 5 queda evidenciado cómo estas variables combinadas (cobertura y uso) arrojan como resultado una moderada recarga para el territorio.

Litología de la unidad hidrográfica

De acuerdo con el levantamiento del Ineter del año 2004, la litología en el área se caracteriza por dos tipos de formaciones, que se describen a continuación:

Formación matagalpa. Se caracteriza por poseer rocas volcánicas y sedimentarias tales como tobas riolíticas-dacíticas, lavas andesíticas-basálticas, ignimbritas y areniscas. De acuerdo con el grado de permeabilidad que poseen este tipo de rocas, se da normalmente una moderada posibilidad de recarga a los acuíferos del sitio. La formación abarca un área aproximada de 280,87 ha, que representa un 43,2 % del área total de la unidad hidrográfica.

Formación grupo coyol inferior. Esta formación posee únicamente rocas de origen volcánico como lavas basálticas, andesíticas, riolíticas-dacíticas y aglomerados. De acuerdo con el grado de permeabilidad que poseen este tipo de rocas, la posibilidad de recarga hídrica a los cuerpos oscila entre baja y moderada. Esta formación abarca un área de 369,41 ha, es decir, un 56,8 % del área respectiva (figura 6).

Estos resultados son determinantes porque su aporte ofrece un panorama general y datos exactos del comportamiento de la dinámica del agua en las capas de los acuíferos que hay en la unidad hidrográfica.

Zonas potenciales de recarga hídrica

El estudio determinó que en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba existen cuatro categorías de posibilidad de recarga: muy baja, en un área de 91 ha (14%); baja, en 286 ha (44 %); moderada, en 214,5 ha (33 %), y alta, en 58,5 ha (9 %). En consecuencia, el contexto físico de la cuenca se clasifica como de "moderada" capacidad de infiltración de agua en el suelo. Más del 40 % del área total se ubica en la categoría de moderada a alta posibilidad de ocurrencia de recarga hídrica (figura 7).

Zonas con potencial de recarga hídrica muy baja: estas unidades corresponden a la parte alta de la cuenca y presenta un mosaico similar a la parte baja y media con áreas de cultivo, pasto y vegetación arbustiva como lo manifiestan Urbina y Maradiaga (2019). La alteración del ecosistema forestal en el área de estudio es crítica siendo necesario el manejo y conservación de la vegetación existente para que mejore los procesos que intervienen en la producción de agua y las condiciones edafoclimáticas. En estas áreas se ha podido observar la disminución de cobertura tanto de los bosques de coníferas como el bosque seco latifoliado; lo cual evidencia una seria fragmentación del ecosistema forestal. Asimismo, en el escurrimiento superficiales en estas áreas es alta, debido a las características del relieve y el tipo de suelo, además, de aspectos geológicos que no favorecen la recarga del acuífero.

Zonas con potencial de recarga hídrica baja: estas zonas se encuentran ubicadas en las comunidades del Guapinol y Samascunda principalmente, las pendientes se encuentran en el rango del 15 al 30 % y refleja características similares a las unidades anteriormente descritas, con predominio del uso de pasto más árboles dispersos, vegetación arbustiva y ciertos fragmentos de bosque latifoliado ralo.

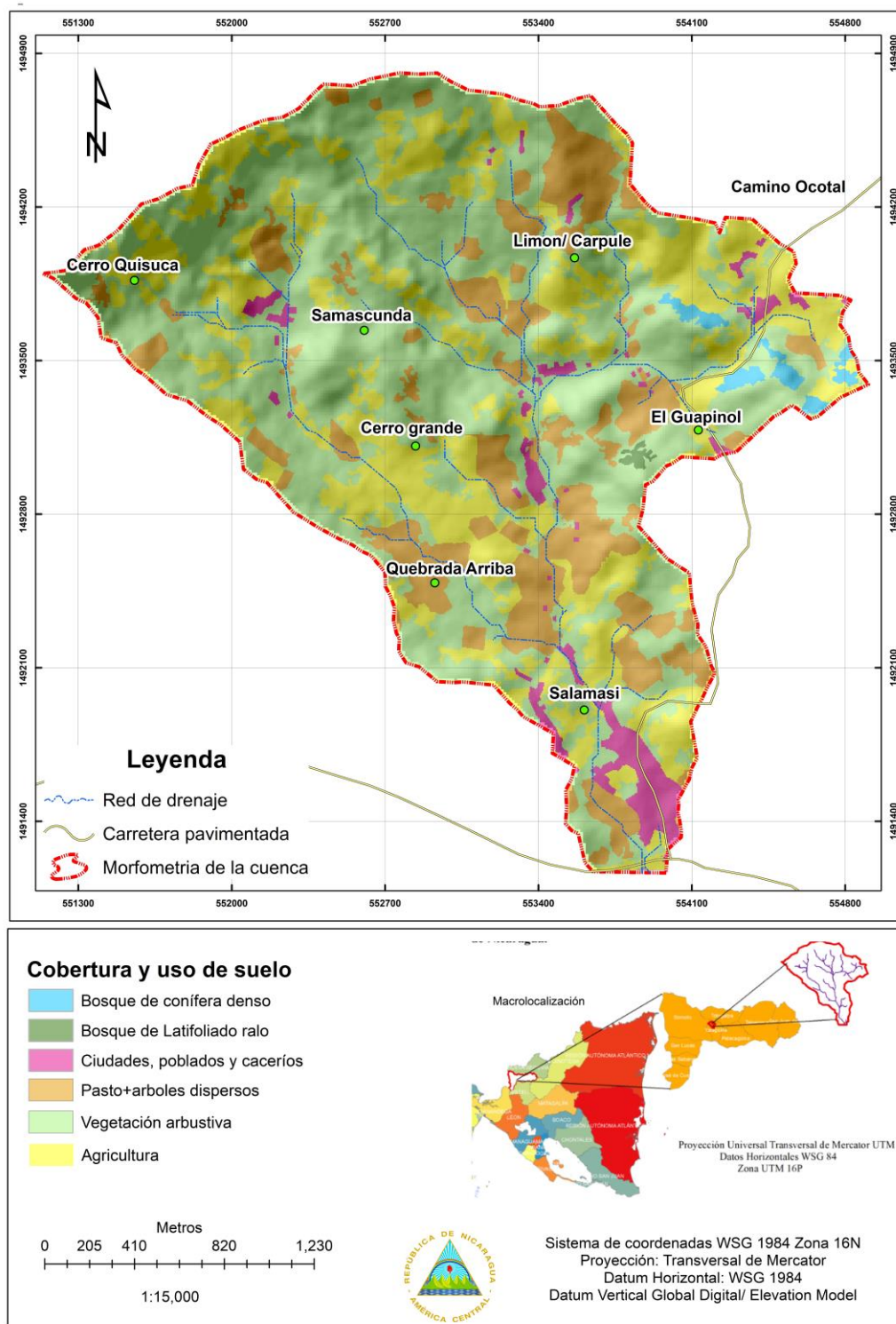


Figura 5. Cobertura y uso actual del suelo en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba.

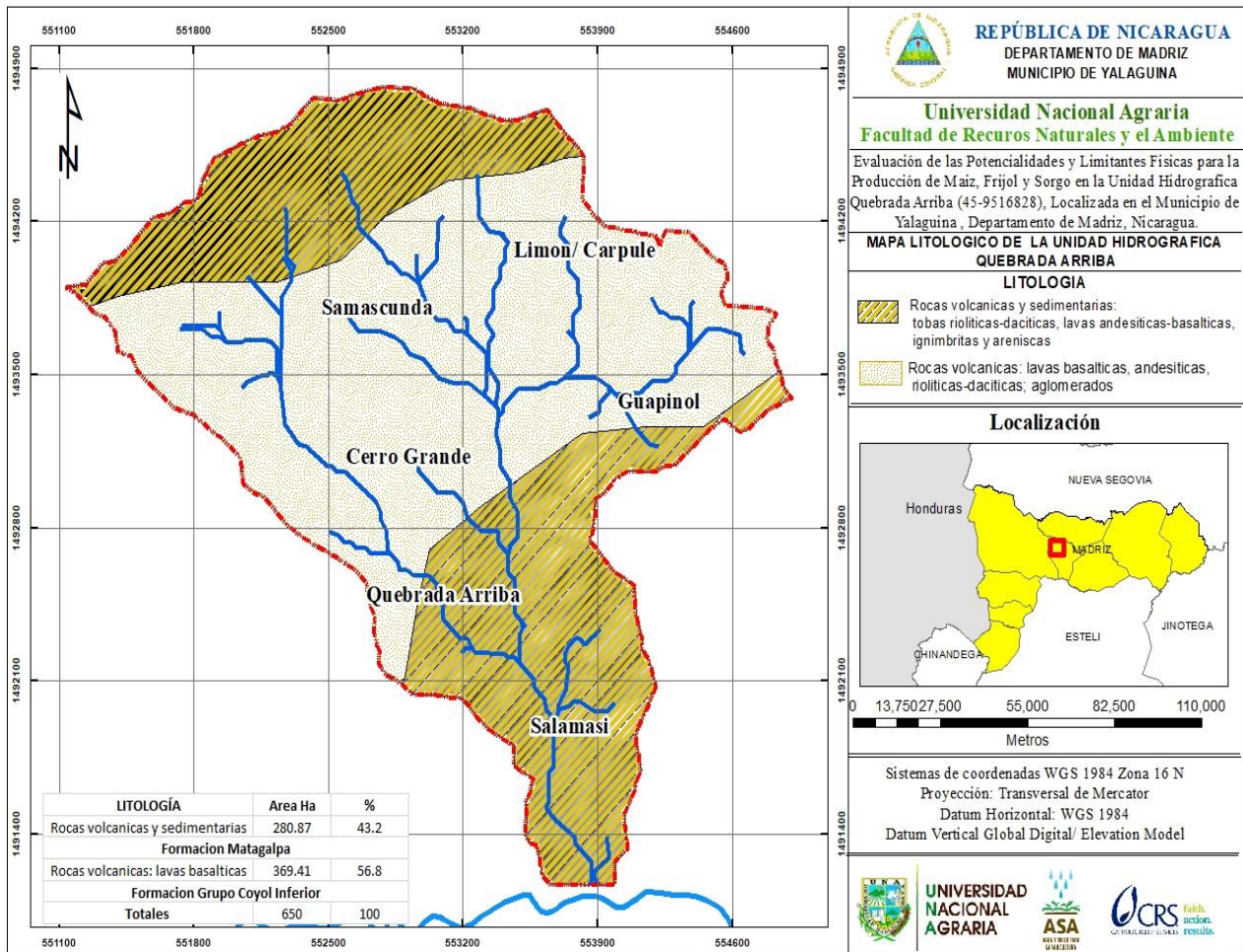


Figura 6. Litología de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba.

Zonas con potencial de recarga hídrica moderada: muestran propiedades litológicas favorables, pendientes onduladas y tipos de suelo asociados a texturas franco arenosa y depósitos coluviales del cuaternario, localizados en comunidades como Cerro Grande, El Limón y los Carpules. En este rango de recarga, se tiene la oportunidad de impulsar actividades de conservación y protección de recursos naturales para aumentar la posibilidad de infiltración.

Zonas con potencial de recarga hídrica alta: el modelo permitió definir que las comunidades Salamasi y Quebrada Arriba son

zonas con alta y muy alta posibilidad de recarga, dado que se encuentran en terrenos planos a moderadamente ondulante, con texturas franco arcillosa a franco arenosas en sus perfiles. Por lo que estas zonas deben ser manejadas bajo un enfoque de conservación y protección de recursos naturales, con el fin de garantizar la infiltración en estas. Por otro lado, Urbina y Maradiaga (2019) recomiendan establecer zonas de protección especial para el bosque de galería, por su posición estratégica y el elevado potencial de recarga hídrica que este tiene por su amplia cobertura forestal y las propiedades de su relieve.

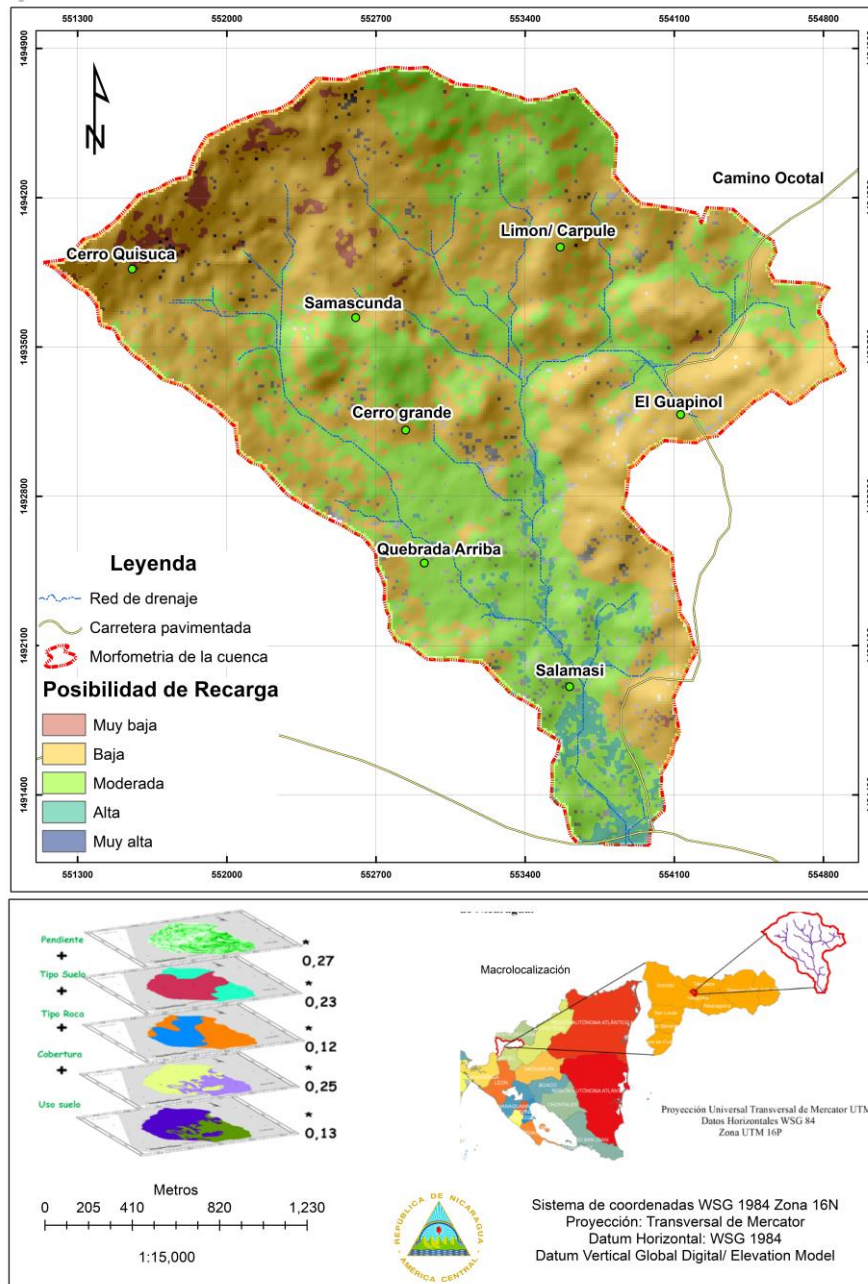


Figura 7. Mapa de zonas potenciales de recarga hídrica de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba.

Discusión

Las áreas con pendientes planas a casi planas, que ocupan aproximadamente 7,78 ha (1,19 % del área total de la unidad hidrográfica), son las que más favorecen a la recarga hídrica ya que, como sugieren Matus *et al.* (2009) en pendientes suaves, el agua se mueve lentamente y permanece por más tiempo en contacto con el suelo, lo que favorece el proceso de infiltración. Además, en estas zonas se da un bajo escurrimiento superficial, por lo que se clasifican con una

posibilidad de recarga hídrica muy alta. Asimismo, dado que su unidad geográfica en el territorio es relativamente pequeña, se optó por denominarla zona de alta posibilidad de recarga.

Las áreas con pendientes moderadamente escarpadas ocupan una superficie de aproximadamente 80,79 ha (12,42 % respecto al área total) y tienen una posibilidad de recarga alta dado que, aunque hay escurrimiento superficial, según lo registrado por Úbeda (2016), el agua se mueve con menor velocidad hacia las zonas más planas, permitiendo que buena

parte del líquido se infiltre y se recarguen los acuíferos.

Las pendientes que se encuentran en el rango del 15 % al 30 %, que ocupan 203,89 ha (31,36 % del área de la unidad hidrográfica), tienen potencial de recarga moderada debido a que hay una mayor limitación para que el agua se infiltre, de forma que se incrementa la escorrentía en volumen y velocidad (Gámez-Morales, 2010). Entretanto, las áreas con pendientes mayores del 45 % de inclinación, las cuales representan el 46,27 % de la superficie, se categorizaron con una posibilidad de recarga baja y muy baja ya que en estos casos el agua que se precipita escurre superficialmente con mucha más facilidad gracias a la energía cinética (Unesco, 1986), por lo que la infiltración será mucho más baja, incrementando a su vez los procesos erosivos en el suelo.

Las condiciones edáficas de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba facilitan potencialmente el proceso de recarga hídrica subsuperficial, particularmente en zonas de la cuenca donde los suelos tienen alta capacidad de retener agua, sobre una base con presencia de horizontes subsuperficiales arcillosos. No obstante, la deforestación de la ribera del río expone el suelo a la erosión en general de la cuenca (Urbina y Maradiaga, 2019). De igual modo, la parte baja de la cuenca presenta un potencial de recarga muy alto debido a la presencia de agregados gruesos (gravas y arenas) provenientes de las laderas. En este sentido, Matus *et al.* (2009) explican que se presentan buenos niveles de recarga hídrica en suelos con texturas gruesas debido a su gran capacidad de permeabilidad.

En la unidad hidrográfica también se identificaron sitios con pendientes altas que favorecen el aumento en la velocidad de la escorrentía y alteran las condiciones del suelo, la capacidad de recarga y la susceptibilidad a procesos erosivos, mientras que, por el contrario, en las pendientes suaves, principalmente la ribera del cauce principal y sus tributarios, el agua permanece por más tiempo en contacto con la superficie, lo que ayuda al proceso de infiltración (Urbina y Maradiaga, 2019). Un dato importante y particular en el estudio es que los mejores suelos de la cuenca, de acuerdo con su capacidad productiva, se encuentran ubicados en zonas escarpadas y degradadas, que reducen la capacidad de recarga hídrica en la unidad de tierra. Además, la parte baja del territorio está constituida por una matriz arenosa, proveniente de una terraza aluvial, con moderado potencial de recarga debido al cambio de uso de suelo en el sitio de estudio.

Agradecimientos

Agradecemos a toda la comunidad universitaria de la Universidad Nacional Agraria por su apoyo, en especial a la Facultad de Recursos Naturales y el Ambiente por poner a nuestra disposición a catedráticos de vasta experiencia en las ciencias del suelo y agua. También a Catholic Relief Services (CRS) por brindarnos las herramientas y los recursos que fueron necesarios para llevar a cabo esta investigación. Finalmente, agradecemos a los actores locales de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba por su disposición y acompañamiento en el trabajo de campo de este proceso investigativo.

Referencias

- Alberto Rodríguez, W. 2012. Análisis Espacial de la Cobertura y uso de suelos en imágenes satelitales. Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.
- Barranco Salazar, A.R. 2018. El agua subterránea y su importancia socio ambiental. <http://www.uaslp.mx/ComunicacionSocial/Documents/Divulgacion/Revista/Quince/227/227-04.pdf> . Consultado: 11 de febrero de 2020. Consultado: 15 de mayo 2020.
- Buenaño, M., Vásquez, C., Zurita-Vásquez, H., Parra, J. y Pérez, R. 2018. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua en la cuenca del Pachanlica, provincia de Tungurahua, Ecuador. *Intropica* 13(1): 41–49. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.2405>
- Gámez-Morales, W.R. 2010. *Texto básico de Hidrología Superficial (1ª ed)*. Universidad Nacional Agraria. Managua.
- González-Carrasco, W. 2011. Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para consumo humano en la subcuenca del río Zaratí, Panamá. Tesis de Maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
- GWP (Global Water Partnership). 2016. Situación de los recursos hídricos en Centroamérica. Nicaragua_URL: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpcam_files/srh_nicaragua_2016.pdf . Consultado: 15 de septiembre 2020.
- Instituto de Nicaragüense de Fomento Municipal (INIFOM). 2012. Caracterización del Municipio de Yalagüina. Madriz, Nicaragua.URL:<https://es.scribd.com/doc/137753725/Caracterizacion-Yalaguina-Tgl-2012> . Consultado: 27 febrero de 2018.

- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). 2014. Cuencas Hidrográficas de Nicaragua bajo la Metodología Pfafstetter. Managua, Nic: GIZ Nicaragua. <http://www.ana.gob.ni/DocumentosSiAGUA/slideshow/Album%20Cuencas%20Nic%20Revisado.pdf>. Consultado: 01 de julio 2019.
- International Union of Soil Sciences (IUSS). 2008. Base referencial mundial del recurso suelo: Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Roma.
- La Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL). 2004. Características generales del País Análisis Sectorial De Agua Potable Y Saneamiento De Nicaragua._URL: https://www.paho.org/nic/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=desarrollo-Aostenible-y-salud-ambiental&alias=32-analisis-sectorial-de-agua-potable-y-saneamiento-nic&Itemid=235. Consultado: 10 de mayo de 2020.
- Maderey-Rascón, L.E. 2005. *Principios de Hidrogeografía: Estudio del ciclo hidrológico*. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.
- 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 del río Jucuapa, Nicaragua*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba.
- Ordoñez-Gálvez, J.J. 2011. Cartilla Técnica: Aguas subterráneas –Acuíferos. URL: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpsam_files/publicaciones/varios/aguas_subterraneeas.pdf. Consultado: 11 de febrero de 2020.
- Porta, J., López-Acevedo, M. y Roquero, C. 2003. *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente*. Editorial. Mundi-Prensa. Madrid.
- Rodríguez, D.M y Pérez Álvarez, P. 2014. Determinación de la recarga hídrica potencial en la cuenca hidrográfica guara, de Cuba. Aqua-LAC: *Revista del Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe* 6(2): 58-70.
- Sánchez Merlos, D., Harvey, C.A., Grijalva, A., Medina, A., Vilchez, S. y Hernández, B. 2005. Diversidad, composición y estructura de la vegetación en un agropaisaje ganadero en Matiguás, Nicaragua. *Revista de Biología Tropical* 53 (3-4) 387-414.
- Úbeda, O. 2016. Potencial a deslizamientos de tierra y zonas de recarga hídrica en la subcuenca del Río Musunce, Madriz, Nicaragua. Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- UNESCO. 1986. Manual de uso y conservación del agua en zonas rurales de América Latina y el Caribe: agua, vida y desarrollo, tomo 2. Montevideo: INCA Editorial Mendoza.
- Urbina, A., y Maradiaga, E. 2019. Evaluación del Potencial Biofísico para la Producción de Maíz (*Zea mays* L.), Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y Sorgo (*Sorghum bicolor* L.) en la Unidad Hidrográfica Quebrada Arriba (45-9516828), Yalagüina, Madriz. Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- Citar como:** Urbina-G, A.A. y Maradiaga-F, E.V. 2021. Delimitación de zonas potenciales de recarga hídrica en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, departamento de Madriz, Nicaragua. *Intropica* 16(1): 43-54. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.3813>.