



Influencia del uso del suelo en los niveles estáticos de pozos de la microcuenca del río La Carreta, San Juan de Cinco Pinos, Chinandega, Nicaragua

Influence of land use on the static levels in wells in La Carreta river microbasin, San Juan de Cinco Pinos, Chinandega, Nicaragua

Espinoza Acuña, Mariann José; López Barrientos, Félix

 Mariann José Espinoza Acuña 1
mareacuna11@gmail.com
Universidad Nacional Agraria (UNA), Nicaragua

 Félix López Barrientos 2
elixfl1993@gmail.com
Universidad Nacional Agraria (UNA), Nicaragua

La Calera
Universidad Nacional Agraria, Nicaragua
ISSN: 1998-7846
ISSN-e: 1998-8850
Periodicidad: Semestral
vol. 24, núm. 42, 2024
donald.juarez@ci.una.edu.ni

Recepción: 29 Agosto 2023
Aprobación: 06 Junio 2024

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/306/3064854009/>

DOI: <https://doi.org/10.5377/calera.v24i42.18141>

Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo donald.juarez@ci.una.edu.ni



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Resumen: El agua subterránea es un recurso vital que constituye la mayor reserva de agua dulce accesible, por lo que garantizar su disponibilidad es una acción prioritaria para el bienestar de las comunidades rurales. El objetivo de este estudio fue evidenciar la importancia de la cobertura vegetal y su influencia en la disponibilidad del recurso hídrico a partir del monitoreo de las variaciones de los niveles estáticos de agua subterránea en pozos en la microcuenca del río La Carreta, en San Juan de Cinco Pinos, Chinandega, Nicaragua. Se midió la profundidad del espejo de agua de los pozos con una sonda piezométrica Solinst Water Level Model 102 en febrero, marzo, abril, septiembre, octubre, noviembre y diciembre del año 2018. Se utilizó el modelo ANUDEM para generar mapas de los niveles estáticos de agua subterránea de la microcuenca a partir de la interpolación de las mediciones tomando en cuenta su topografía. Las condiciones climáticas del 2018 propiciaron que las variaciones de los niveles de agua subterránea fuesen más marcadas, presentando valores mayores a seis metros de profundidad del nivel estático durante el periodo seco, en suelos arcillosos con poca cobertura vegetal asociada a usos agropecuarios, en contraste con el periodo lluvioso, que se mantuvo a menos de cuatro metros de profundidad en gran parte de la microcuenca. La variación de los niveles estáticos en abril a noviembre en pozos rodeados con cultivos agrícolas y pasturas es menor comparado con los pozos rodeados de bosques latifoliados, evidenciando la incidencia de la cobertura forestal en la recuperación del nivel estático. Se concluye que el uso del suelo influye en la variación de los niveles estáticos del agua subterránea, siendo los usos que presentan mayor cobertura forestal los que favorecen que el espejo de agua de los pozos se encuentre más próximo a la superficie del suelo.

Palabras clave: condiciones hidrológicas, agua subterránea, gestión integral de cuencas, bosque de galería, bosque latifoliado abierto.

Abstract: Groundwater is a vital resource that constitutes the largest reserve of accessible freshwater, so guaranteeing its availability is a priority action for the well-being of rural communities. The objective of this study is to demonstrate the importance of vegetation cover and its influence on the

availability of water resources by monitoring the variations of static groundwater levels in wells in the La Carreta River micro-basin, in San Juan de Cinco Pinos, Chinandega. The depth of the water mirror of the wells was measured with a Solinst Water Level Model 102 water level indicator during February, March, April, September, October, November and December of 2018. The ANUDEM model was used to generate maps of the static levels of groundwater of the microbasin from the interpolation of the measurements considering its topography. The climatic conditions of 2018 caused the variations in groundwater levels to be more marked, presenting values greater than six meters deep from the static level during the dry period, in clay soils with little vegetation cover associated with agricultural uses, in contrast to the rainy period, where it remained less than four meters deep in much of the micro-basin. The variation of static levels in April to November in wells surrounded by agricultural crops and pastures is lower compared to wells surrounded by broadleaf forests, evidencing the notable incidence of forest cover in the recovery of the static level. It is concluded that land use influences the variation of static groundwater levels, with uses that have greater forest cover being those that favor the water surface of the wells to be closer to the ground surface.

Keywords: Hydrological conditions, groundwater, integrated basin management, gallery forest, open broadleaf forest.

El agua es un recurso finito y vulnerable ante los efectos del cambio climático. Los cambios proyectados en el ciclo hidrológico, particularmente en la recarga de aguas subterráneas, afectará a los ecosistemas y el bienestar de las sociedades (Pörtner *et al.*, 2022). Aumento de las temperaturas y cambios en los patrones de lluvia y escorrentía; mayor variabilidad en temperatura, lluvia, caudal de ríos y niveles de agua; el aumento del nivel del mar y la mayor frecuencia de eventos extremos significa que mayores áreas del mundo estarán expuestas al peligro climático (Lange *et al.*, 2020).

La principal fuente de abastecimiento de agua para el consumo humano son las aguas subterráneas, por tanto, es de particular importancia la protección y uso sostenido de los mantos acuíferos (Corrales, 2008). Más de la mitad de la población mundial depende de las cuencas hidrográficas boscosas para la obtención de agua potable (Mekonnen y Hoekstra, 2016, citado por Parmesan *et al.*, 2022). En Nicaragua, los recursos hídricos subterráneos más importantes están en la Costa del Pacífico, siendo los de mayor relevancia los del Noroeste de Nicaragua (Calderón, 2016), coincidente con una de las regiones más densamente pobladas. Los suelos de Chinandega, por su origen geológico (materiales volcánicos, aluviales y minerales volcánicos), presentan un gran potencial agrícola (Delgado *et al.*, 2004). Este potencial, en algunos municipios, está restringido por el relieve y la vulnerabilidad del suelo ante la erosión, clasificándolos como municipios de vocación forestal, como el de San Juan de Cinco Pinos, pero esto no ha sido un impedimento para desarrollar actividades agropecuarias en laderas.

NOTAS DE AUTOR

1 Ingeniera forestal

2 Ingeniero en Recursos Naturales, graduado UNA

Los recursos hídricos de Chinandega, junto con los de León y Managua, se han estudiado a una escala adecuada en términos de disponibilidad del agua, enfatizado en su calidad (Global Water Partnership Central America, 2016); sin embargo, no se encontraron estudios enfocados en las fluctuaciones mensuales de los niveles del agua subterránea, ni sobre la relación de éste con la cobertura vegetal.

El acceso al agua es un derecho humano fundamental y representa un factor esencial en el desarrollo integral y sostenible de la sociedad; su eficiente gestión es reconocida en los objetivos de desarrollo sostenible (Cerón *et al.*, 2021). La Ley No. 620, Ley General de Aguas Nacionales (Asamblea Nacional de la República de Nicaragua, 2007), establece que “el agua es un recurso estratégico para el desarrollo económico y social del país. La problemática del agua es un asunto de prioridad nacional y su uso, aprovechamiento eficiente, calidad y las acciones de protección contra inundaciones y sequías, son condiciones necesarias para sustentar de manera sostenible el desarrollo económico y social y de garantizar el abastecimiento básico a las presentes y futuras generaciones” (p. 5667)

Bajo este principio rector, el objetivo de esta investigación es evaluar la influencia del uso de suelo sobre los niveles estáticos de agua subterránea (NEA) para establecer la relación de la cobertura vegetal con la disponibilidad del recurso hídrico. Los resultados de este estudio podrán fungir como insumo para establecer las pautas del ordenamiento territorial de la microcuenca La Carreta, en San Juan de Cinco Pinos, Chinandega.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y descripción del área de estudio

La microcuenca del río La Carreta se encuentra ubicada entre las coordenadas 13°9'11" y 13°13'52" de latitud Norte y 86°49'34" y 86°52'44" de longitud Oeste, en el municipio San Juan de Cinco Pinos, Chinandega (González y López, 2020). Cuenta con una superficie 30.30 km² y una red hídrica que drena hacia la subcuenca del río El Gallo, que a su vez corresponde a la unidad hidrográfica 95337624 de la cuenca hidrográfica del Pacífico. Dentro de la microcuenca se encuentran las comunidades El Zacaton, Villa Francia, El Carrizal, Las Tablas, El Espino, Las Pozas, La Montaña, Las Lajitas, El Jicaro, Santa Fé y La Carreta. Figura 1.

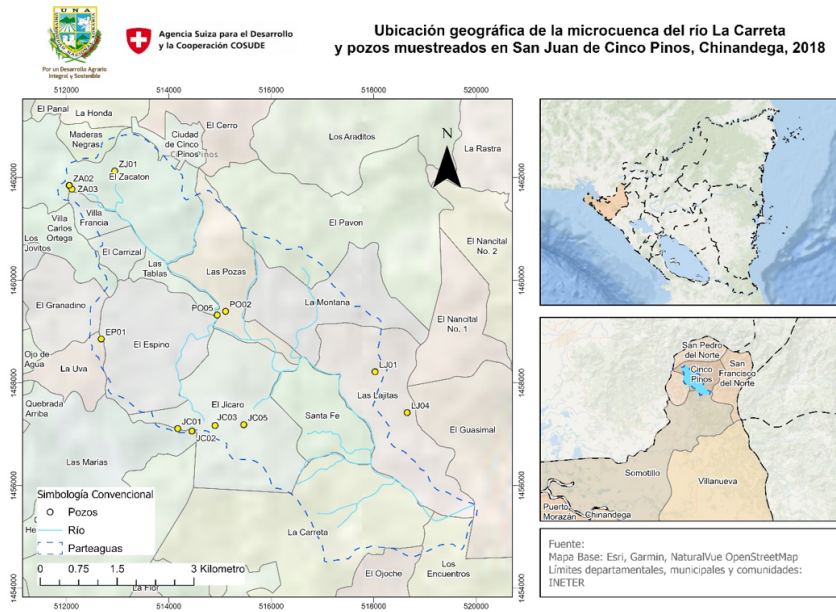


FIGURA 1.
Ubicación geográfica de la microcuenca del río La Carreta y pozos muestreados, San Juan de Cinco Pinos, Chinandega.

Según el Instituto Nicaragüenses de Estudios Territoriales (INETER, 2024), el clima es Caliente Sub Húmedo según la clasificación de Köppen, con precipitaciones anuales de 1 400 mm y temperatura media de 26 grados Celsius. Su superficie está compuesta por áreas de cultivos agrícolas, pastos con árboles dispersos, potreros, bosques latifoliados, bosques de galería, vegetación arbustiva y tacotales; siendo el uso predominante las superficies agropecuarias (34.44 % de la superficie total de la microcuenca), el cual en conjunto con superficies de pastos más arboles dispersos (16.39 %), corresponden a usos que presentan una posibilidad de recarga hídrica baja (González y López, 2020).

Geológicamente está constituida por rocas volcánicas y sedimentarias de la formación Matagalpa. Este acuífero tiene un potencial de recarga muy baja debido a que presenta cenizas volcánicas que actúan como agente cementante sobre las rocas. Los suelos presentes son entisoles (53.67 %) con texturas franca arenosa, seguido de vertisoles (24.94 %), caracterizados por ser arcillosos; alfisoles (20.40 %) e inceptisoles (0.99 %), de texturas franco arcilloso y arcillo limoso. Acorde a Matus (2014) por las clases texturales de los suelos presentes en la microcuenca, los entisoles presentan muy alta capacidad de recarga, sin embargo, estos se encuentran ubicados en superficies colinadas con pendientes mayores a 15 %, mientras que los órdenes que presentan mayor contenido de arcilla se localizan en las zonas menos inclinadas de la microcuenca (González y López, 2020).

Medición de la variable

El nivel estático es definido como la “posición que ocupa el agua subterránea en estado natural. Se expresa mediante la distancia medida desde la superficie del terreno hasta la superficie del agua en el subsuelo, cuando el equipo de bombeo no se encuentra en funcionamiento” (Armenta, 2013, p. 6). El Nivel Estático de Agua Subterránea (NEA) fue medido en metros con una sonda piezométrica Solinst Water Level Model 102, tomando en cuenta la profundidad del espejo de agua y la altura del brocal de 12 pozos (Figura 1) excavados a mano; las mediciones se realizaron en febrero, marzo, abril, septiembre, octubre, noviembre y diciembre del 2018.

Procesamiento

A partir del mapa de uso del suelo del año 2018 delimitado por González y López (2020), se identificó el uso circundante del pozo, así como los usos que se encuentran en la dirección del flujo del agua hacia la red de drenaje. Se interpolaron los datos de niveles estáticos de los pozos seleccionados mediante el modelo determinístico ANUDEM a través de la herramienta “De Topo a Ráster” de ArcMap. Los métodos de interpolación determinísticos calculan un valor para celda de la cuadrícula usando únicamente las propiedades físicas de las muestras de elevación (Goovaerts, 1997, citado por Paredes *et al.*, 2013).

Este método permite calcular valores en una cuadrícula regular de una superficie suave discretizada ajustada a grandes números de puntos de datos de elevación espaciados irregularmente, líneas de contorno, líneas de corriente, puntos de sumidero, límites de lagos y acantilados (Hutchinson, 2011). Los datos utilizados en este modelo fueron el NEA en los pozos, curvas de nivel espaciados a 20 metros y la red de drenaje de la microcuenca.

Análisis de datos

Se realizó un análisis descriptivo de los NEA y se determinaron los cuartiles de la variación porcentual de los niveles de los pozos según uso de suelo. La variación porcentual describe la relación entre un dato pasado y uno posterior; en este sentido, se tomó los registros de abril y noviembre como meses de referencia del periodo seco y lluvioso respectivamente. Para su cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% = \frac{(\#_2 - \#_1)}{\#_1} \times 100$$

Donde V_1 representa el nivel estático del agua en abril y V_2 , los registros en noviembre. Si el resultado es positivo, entonces indica que hay incremento porcentual en la variable, mientras que si es negativo expresa una disminución porcentual del nivel estático entre abril y noviembre.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La precipitación acumulada durante el 2018 fue de 1 864.10 mm, con un periodo lluvioso de seis meses a partir de mayo, y un período canicular entre julio y agosto. Los meses con mayores precipitaciones acumuladas fueron mayo y octubre. Los registros históricos de INETER para el periodo 1971-2010, indican que los subperiodos lluviosos de mayo a julio y de agosto a octubre, normalmente registran una precipitación acumulada de 800 mm en cada uno. Según el Índice Oceánico El Niño (ONI), el año 2018 es categorizado como año La Niña débil (Golden Gate Weather Services, 2022); también en este año se registró el paso de la onda tropical N° 42 en la región Norcentral de Nicaragua, que ocasionó que la precipitación en octubre fuese anómala (702.4 mm) con un excedente de agua en el suelo de 556.57 mm, superando la precipitación histórica del mes correspondiente a 200 mm según el registro histórico para el periodo 1971-2010; y casi alcanzando lo que normalmente se acumula en tres meses del subperiodo de agosto a octubre.

En el periodo seco (noviembre a abril) y en el periodo canicular (julio y agosto), se registran valores de déficit de agua entre 37.87 mm y 147.3 mm. Cuando la cantidad de agua que ingresa procedente de las precipitaciones es menor que el volumen total de agua que se pierde por evaporación desde la superficie del suelo y por transpiración desde las plantas, se manifiesta el déficit de agua (Lima *et al.*, 2012; citado por Villazón *et al.*, 2021). Marzo (147.3 mm) y agosto (141.3 mm) presentaron mayor déficit de agua en el suelo debido a la disminución de la precipitación. (Figura 2).

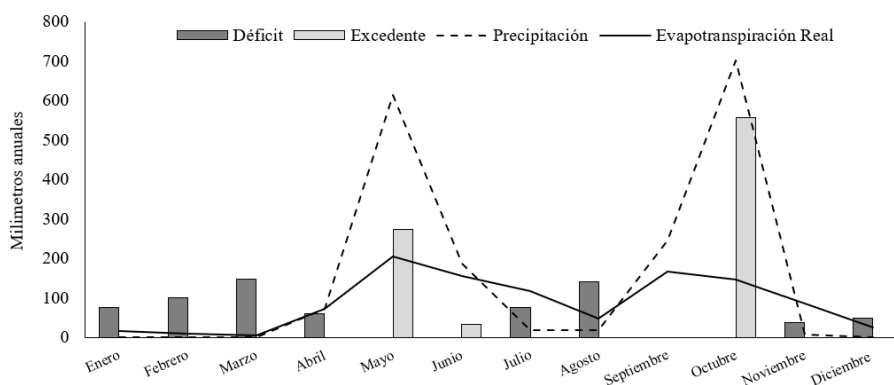


FIGURA 2.

Balance hídrico de la microcuenca del río La Carreta, San Juan de Cinco Pinos, Chinandega, 2018.

Nivel estático de agua subterránea

El nivel estático de agua subterránea en el período de febrero a abril presentó de manera general NEA mayores a cuatro metros, siendo los suelos vertisoles y alfisoles en las comunidades Las Lajitas y El Espino, los que presentaron las mayores profundidades (>10 metros). Estos suelos corresponden al grupo hidrológico D, suelos con alto potencial de escurrimiento superficial cuando están húmedos. El movimiento del agua en este suelo es restringido debido al alto contenido de arcilla que presentan en sus horizontes, típicamente con fracción de arcilla mayor de 40 % [United States Department of Agriculture y Natural Resources Conservation Service (USDA y NRCS, 2009)]. Por tanto, el agua precipitada en este periodo, principalmente en abril, resultó en pérdida por escurrimiento superficial, incidiendo negativamente en el NEA (Figura 3).

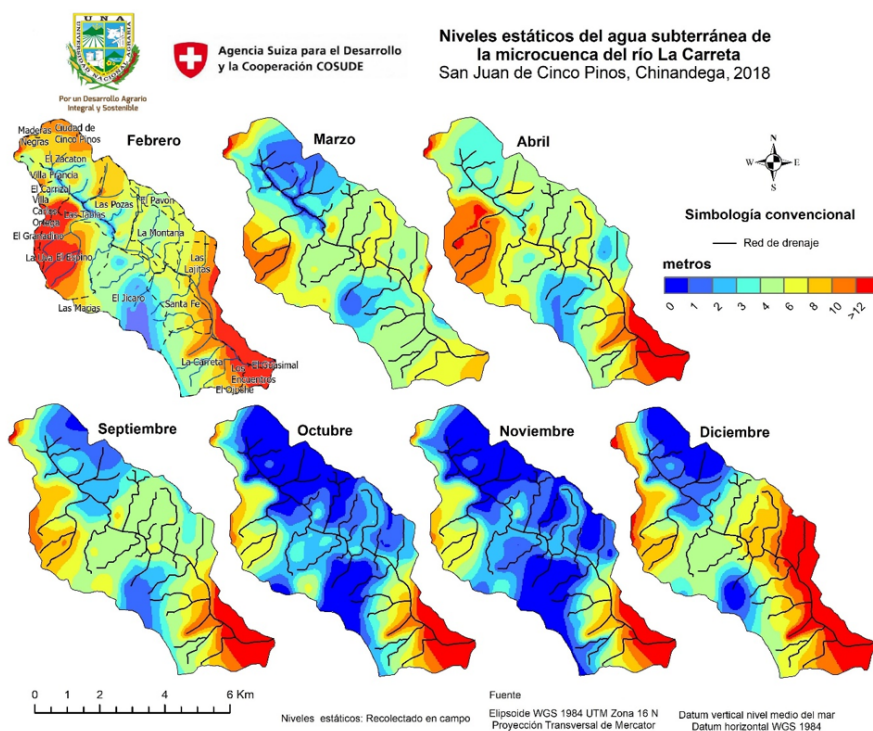


FIGURA 3.
Niveles estáticos en la microcuenca del río La Carreta,
municipio de San Juan de Cinco Pinos, Chinandega, 2018.

En contraste, los NEA en septiembre a diciembre presentaron profundidades menores de tres metros en la mayoría de la superficie, siendo este comportamiento más común en los suelos entisoles e inceptisoles, por presentar texturas franco arenosa, característico de grupo hidrológico B, con moderadamente bajo potencial de escurrimiento superficial, lo que propician la infiltración (USDA y NRCS, 2009). En este periodo, el NEA en los suelos vertisoles y alfisoles, registró profundidades mayores de cuatro metros, indicando que, pese a que haya un incremento de la precipitación, las condiciones texturales del suelo es una condicionante de la disponibilidad de agua subterránea (Figura 3).

Uso de suelo y niveles estáticos

El uso actual de suelo, la pendiente y el porcentaje de cobertura forestal, afecta directamente la disponibilidad de agua subterránea y los procesos de recarga del acuífero. En la zona de emisión de la cuenca (parte baja), donde el uso del suelo es de carácter agropecuario, con pendientes planas a ligeramente inclinadas, y con porcentaje de cobertura forestal menor a 35 %, presenta mayor profundidad del NEA, inclusive en el periodo lluvioso, en cambio, en la zona de captación de la cuenca (parte alta) donde la pendiente es inclinada a escarpada, con bosques latifoliados o sistemas silvopastoriles con porcentaje de cobertura mayores al 45 %, presentan los menores NEA, principalmente en los meses más lluviosos como octubre y noviembre (Figura 3, Figura 4, y Figura 5).

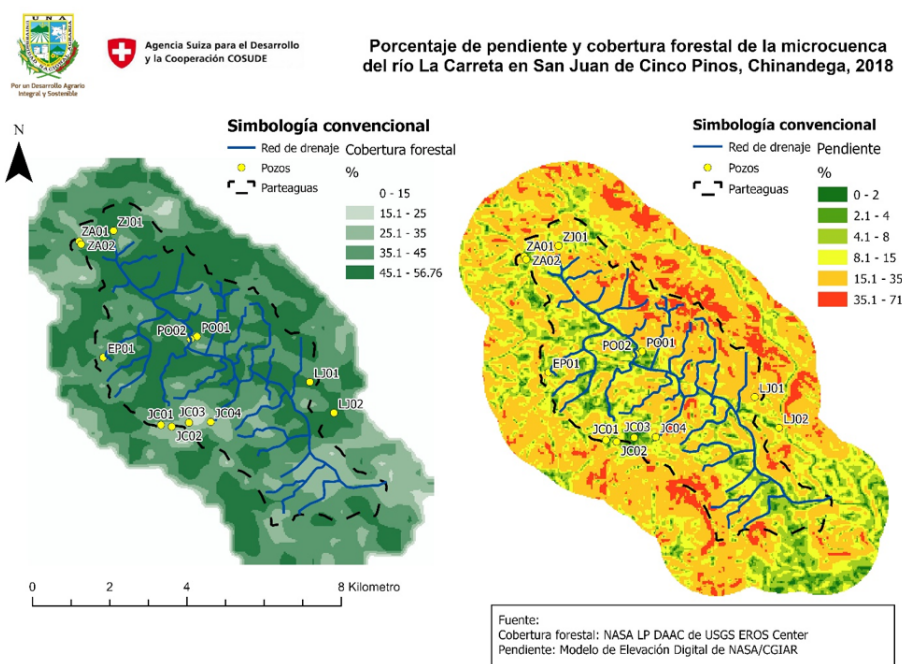


FIGURA 4.
Porcentaje de pendiente y cobertura forestal en la microcuenca del río La Carreta, San Juan de Cinco Pinos, Chinandega, 2018.

Se observa que, en abril y noviembre, las profundidades de los NEA son mucho mayores para los suelos con pasturas y cultivos agrícolas, siendo estos los usos que predominan en la microcuenca. No así para los usos que incorporan el componente forestal como bosques latifoliados, bosques de galería o sistemas silvopastoriles (Figura 4). En abril, los pozos con vegetación boscosa circundante presentaron niveles estáticos de agua subterránea (NEA), inferior a 10 metros, y en noviembre, igual y menor a 5.06 metros. La mayoría de los pozos con cobertura forestal a sus alrededores, presentaron NEA próximo a la superficie del suelo durante los meses lluviosos; en cambio, los pozos rodeados por potreros o cultivos agrícolas presentaron NEA entre 7.74 m y 17.04 m en abril y entre 2.99 m y 16.64 m en noviembre (Figura 6).

En áreas sin vegetación hay poca infiltración, ya que el agua se pierde fácilmente por escurrimiento superficial o evaporación, al no existir vegetación que logre interceptar las lluvias y retenga la humedad en el suelo. Úbeda (2016) señala que “cuando el suelo no cuenta con ninguna cobertura, la acción erosiva de la lluvia y el viento afectan de manera más directa al suelo, deteriorándolo con más facilidad, sumado a las presiones ejercidas por la actividad antrópica” (p. 15).

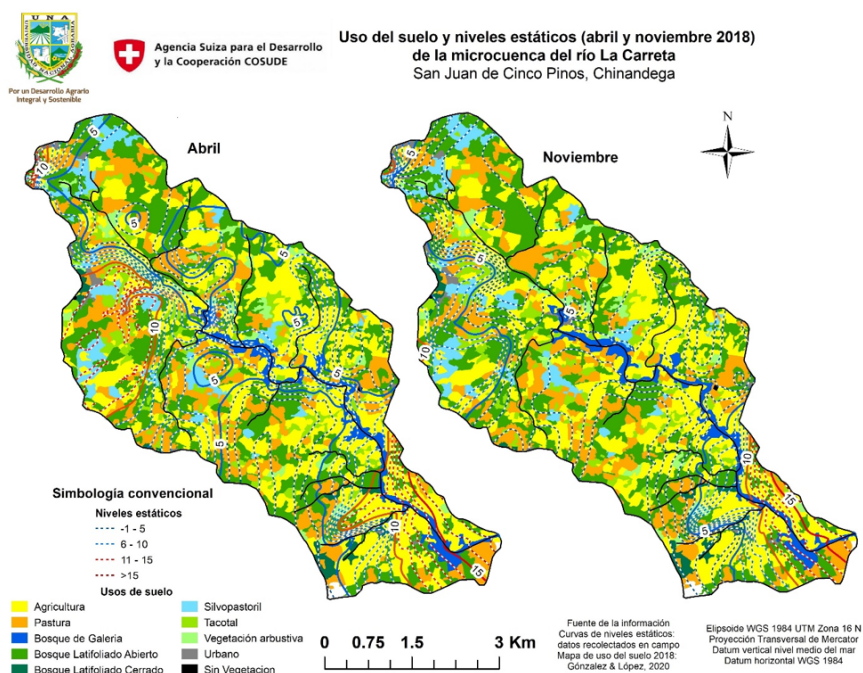


FIGURA 5.
Niveles estáticos en abril y noviembre según usos de suelo en la microcuenca del río La Carreta, San Juan de Cinco Pinos, Chinandega, 2018.

En la mayoría de los pozos donde el uso circundante corresponde a bosques latifoliados, el NEA no varía significativamente a lo largo de los meses. Esta condición se asocia a la influencia que ejerce la cobertura forestal en la disponibilidad del agua subterránea, debido a su papel en la interceptación de la lluvia, evaporación de la humedad superficial de la vegetación, la transpiración, la captación del agua de bruma y el mantenimiento de la infiltración y percolación, gracias a las raíces de los árboles que forman canales que propician el flujo de agua en el suelo (González y López, 2020; Stadtmüller, 1994). Estos procesos que ocurren en los bosques y áreas con vegetación permanente no sólo permiten mejorar la capacidad de infiltración del agua por los canales que se crean, sino que ayudan a mantener los agregados del suelo estables.

Los tacotales, vegetación arbustiva y árboles dispersos con pastos establecidos en la microcuenca, presentan una capacidad de recarga hídrica moderada (González y López, 2020), dado que hay presencia de sistemas silvopastoriles o vegetación permanente como lo son arbustos y áreas en estado de sucesión como es el caso de los tacotales, el agua que precipita logra infiltrar al ser interceptada por esta vegetación.

Pese a que la pendiente es un factor determinante para la pérdida de agua por escurrimiento superficial, se visualiza que, en zonas colinadas como en la comunidad Las Lajitas, el NEA tampoco varía bruscamente. Esto porque están en zonas de mayor vegetación, disminuyendo el efecto del escurrimiento superficial, y favorecido por una mayor infiltración y retención de agua.

Según Barrantes y Méndez (2016)

Las cubiertas boscosas durante el desarrollo y crecimiento captan alrededor del 50 % de las precipitaciones, por lo tanto, son importantes para mantener y regular los patrones hidrológicos. El suelo boscoso cuenta con alta densidad de hojarasca, raíces profundas, alto porcentaje de porosidad y materia orgánica, lo que permite que la lluvia se infiltre lentamente hacia el subsuelo, facilitando la recarga de los mantos acuíferos. (p. 11)

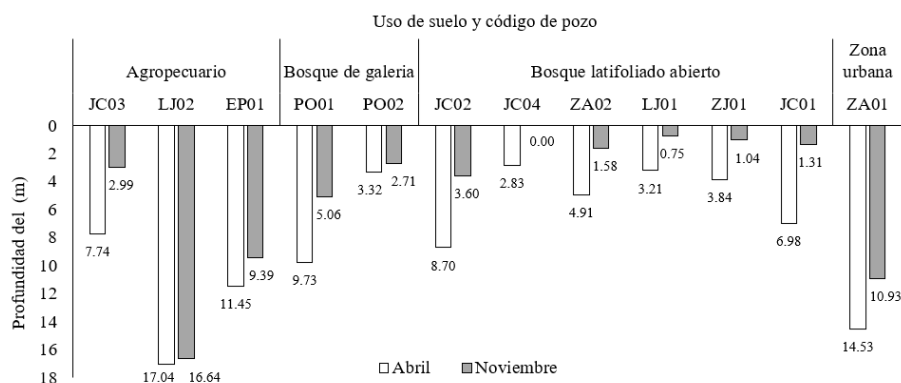


FIGURA 6.

Variación de los niveles estáticos de agua los pozos según uso de suelo, abril y noviembre 2018.

Considerando que los meses más lluviosos fueron mayo, septiembre y octubre con 613.24 mm, 245.25 mm y 702.41 mm respectivamente (Figura 2), es de esperarse que los niveles estáticos de agua subterránea (NEA) de muchos pozos disminuyeran su profundidad notoriamente en noviembre con respecto a abril, sin embargo, este comportamiento no se reflejó en todos los pozos. La mayoría de los pozos aledaños a usos agropecuarios se encuentran desprotegidos o con poca vegetación herbácea o arbustiva manejada inapropiadamente y en pendiente inclinada (>15 %). Esta condición favorece el deterioro de la estructura del suelo mediante la acción de salpicadura por las gotas de agua que precipita, creando una costra superficial a partir de las partículas más finas, lo que merma la infiltración y propicia la pérdida de agua mediante escurrimiento superficial (Prado y Veiga, 1993)

Los pozos próximos a usos agropecuarios y zonas urbanas presentaron las mayores profundidades de NEA, siendo el promedio mensual de 12.69 metros en abril y 9.99 metros en noviembre (Figura 6), presentando un rango de variación entre -2.35 % y -61.37 %, que corresponde a la disminución de la profundidad de NEA en noviembre con respecto a abril. Los pozos con variación próxima a cero mantienen prácticamente el mismo nivel estático, condición que se presenta en pozos con usos circundante de poca cobertura vegetal, como es el caso del pozo ubicado en la comunidad Las Lajitas (LJ02).

Los NEA promedio en pozos con cobertura forestal circundante (bosque de galería y bosque latifoliado abierto) fue de 5.44 metros en abril y de 2.01 metros en noviembre; con un rango de variación entre -18.37 % y -100 %, indicando que la disminución de la profundidad del agua en estos, con respecto a los pozos con usos agropecuarios, fue más notoria.

Herrera (2016) afirma que:

La cama de suelo forestal protege efectivamente el suelo y previene la obstrucción de los espacios porosos que constituyen las vías para la infiltración del agua. Esto ocurre en menor grado en coberturas de pastos, y mucho menor donde se encuentran cultivos [...] El sistema de raíces profundo de los árboles, el alto contenido de materia orgánica y la bien desarrollada actividad micro orgánica mejoran las propiedades del suelo e incrementan la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos forestales. (p.17)

Esto puede considerarse como un indicador de que la profundidad del agua subterránea en la mayoría de los pozos tiende a disminuir gracias a la influencia del sistema radicular de la vegetación forestal y de su dosel, que propician la infiltración y restringe las pérdidas de agua por evaporación.

CONCLUSIONES

En el periodo seco predominan niveles estáticos de aguas subterráneas a mayor profundidad en la parte media y baja de la microcuenca, coincidente con zonas de suelos franco-arcillosos y arcillosos, utilizados para la producción de granos básicos, mientras que, en el período lluviosos, los pozos ubicados en la parte alta y media de la microcuenca, en zonas boscosas, presentan niveles a menor profundidad. Sin embargo, se demuestran puntos donde los niveles no varían mucho a lo largo de los meses, asociado a la influencia que ejerce la pendiente, el tipo de cobertura, así como el tipo de suelo y sus características geológicas. Los pozos ubicados en áreas boscosas presentan nivel estático de agua subterránea a menor profundidad, puesto que el componente forestal juega un papel fundamental en el incremento de la infiltración y disminución del escurrimiento, gracias a su dosel y sistema radicular. Los pozos ubicados en áreas de poca vegetación reflejan los niveles estáticos de agua subterránea a mayor profundidad, consecuentemente por la poca infiltración y pérdida de agua por escurrimiento superficial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armenta Jiménez, J. A. (2013). *Guía para el monitoreo de aguas subterráneas*. <https://www.corpocesar.gov.co/files/Guia%20para%20monitoreo%20de%20pozos%20profundos%20aljibes%20y%20manantiales%20como%20manifiestacion%20de%20las%20aguas%20subterranas.pdf>
- Asamblea Nacional de la República de Nicaragua. (2007, 4 de septiembre). *Ley No 620. Ley General de Aguas Nacionales*. Diario Oficial N° 169. [http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/b92aaca87dac762406257265005d21f7/c0c1931f74480a55062573760075bd4b?OpenDocument&Click=062569D000710DD9.036abb82ad16c031062568a1005b2f3f/\\$Body/0.2470](http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/b92aaca87dac762406257265005d21f7/c0c1931f74480a55062573760075bd4b?OpenDocument&Click=062569D000710DD9.036abb82ad16c031062568a1005b2f3f/$Body/0.2470)
- Barrantes Barrantes, E. A. y Méndez Estrada, V. H. (2016). Riqueza del recurso hídrico y su relación con la cubierta vegetal en la reserva forestal Grecia. Alajuela, Costa Rica. *UNED Research Journal*, 8(1), 11-15. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/cuadernos/article/view/1215/1275>
- Calderón, H. (2016). Retos en la evaluación de recursos hídricos en cuencas pobremente aforadas, la situación de Nicaragua y Centroamérica. *Revista Científica Agua y Conocimiento*, 2(1), 49–64. <https://revistasnicaragua.cnu.edu.ni/index.php/agua/article/view/2305>
- Cerón, L. M., Sarria, J. D., Torres, J. S. y Soto-Paz, J. (2021). Agua subterránea: tendencias y desarrollo científico. *Información Tecnológica*, 32(1), 47-56. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000100047>
- Corrales Pérez, D. (2008). Estudio hidrogeológico del funcionamiento del acuífero del valle de Estelí-Nicaragua. *La Calera*, 8(10), 56–62. <https://lcalera.una.edu.ni/index.php/CALERA/article/view/102>
- Delgado Quezada, V., Ryan, C. y Bethune, D. (2004). *Sistema de flujo de agua subterránea y calidad de agua en un acuífero costero plano en el Noroeste de Nicaragua*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. <https://repositorio.unan.edu.ni/2578/>
- Global Water Partnership Central America. (2016). *Situación de los Recursos Hídricos en Centroamérica Nicaragua*. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/srh_nicaragua_2016.pdf
- Golden Gate Weather Services. (28 de octubre de 2022). *El Niño and La Niña years and intensities. Base don Oceanic Niño Index (ONI)*. <https://ggweather.com/enso/oni.htm>
- González Ñamendy, B. A. y López Moncada, S. C. (2020). *Caracterización de zonas potenciales de recarga hídrica en la microcuenca del río La Carreta, municipio de Cinco Pinos, Chinandega, 2018* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/4045/1/tnp10g643c.pdf>
- Herrera Ibáñez, I. R. (2016). La importancia del bosque en la recarga hídrica natural del acuífero noreste de la ciudad de Guatemala. *Ciencia, tecnología y salud*, 3(1), 17-26. <https://doi.org/10.36829/63CTS.v3i1.125>

- Hutchinson, M. F. (2011). *ANUDEM Versión 5.3. User Guide*. https://fennerschool.anu.edu.au/files/usedem53_pdf_16552.pdf
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2 de junio de 2024). *Variabilidad climática (1971-2010)*. <https://www.ineter.gob.ni/geoportales/variabilidadclimatica/index.html>
- Lange, S., Volkholz, J., Geiger, T., Zhao, F., Vega, I., Veldkamp, T., Reyer, C. P. O., Warszawski, L., Huber, V., Jägermeyr, J., Schewe, J., Bresch, D. N., Büchner, M., Chang, J., Ciais, P., Dury, M., Emanuel, K., Folberth, C., Gerten, D., ... Frieler, K. (2020). Projecting Exposure to Extreme Climate Impact Events Across Six Event Categories and Three Spatial Scales. *Earth's Future*, 8(12). <https://doi.org/10.1029/2020EF001616>
- Matus Silva, O. D. (2014). *Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua* [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. Repositorio Institucional. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/3299/Elaboracion_participativa_de_una_metodologia.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Paredes Hernández, C. U., Salinas Castillo, W. E., Martínez Becerra, X. y Jiménez Hernández, S. B. (2013). Evaluación y comparación de métodos de interpolación determinísticos y probabilísticos para la generación de modelos digitales de elevación. *Investigaciones Geográficas*, (82), 118-130. <https://doi.org/10.14350/rig.35906>
- Parmesan, C., Morecroft, M. D. Trisurat, Y., Adrian, R., Anshari, G. Z., Arneth, A., Gao, Q., Gonzalez, P., Harris, R., Price, J., Stevens, N. & Talukdarr, G. H. (2022). Terrestrial and Freshwater Ecosystems and Their Services. En Intergovernmental Panel on Climate Change (Ed.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability* (pp. 197–377). <https://doi.org/10.1017/9781009325844.004>
- Pörtner, H., Roberts, D. C., Adams, H., Adekan I., Adler, C., Adrian, R., Aldunce, P., Ali, E., Ara Begum, R., Bednar-Friedl, B., Bezner Kerr, R., Biesbroek, R., Birkmann, J., Bowen, K., Caretta, M. A., Carnicer, J., Castellanos, E., Cheong, T. S., Chow, W., ... Zaiton Ibrahim, Z. (2022). Technical Summary. En Intergovernmental Panel on Climate Change (Ed.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability* (pp. 37–118). <https://doi.org/10.1017/9781009325844.002>
- Prado Wildner, L. y Veiga, M. (1993). *Erosión y pérdida de fertilidad del suelo: relación entre erosión y pérdida de fertilidad del suelo*. <https://www.fao.org/4/t2351s/T2351s06.htm>
- Stadtmüller, T. (1994). *Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales. Medidas para mitigarlo*. (CATIE) https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2350/Impacto_hidrologico_del_manejo_forestal.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Úbeda Pineda, O. D. (2016). *Potencial a deslizamientos de tierra y zonas de recarga hídrica en la subcuenca del río Musunce, Madriz, Nicaragua* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/3361/1/tnp36u13.pdf>
- United States Department of Agriculture y Natural Resources Conservation Service. (2009). *National Engineering Handbook: Chapter 7 - Hydrologic Soil Groups*. <https://damtoolbox.org/images/e/e9/NEH7.pdf>
- Villazón Gómez, J. A., Noris Noris, P. y Vázquez Montenegro, R. J. (2021). Balance hídrico del suelo como herramienta para la planificación de labores en áreas agropecuarias de la provincia de Holguín. *Idesia (Arica)*, 39(4), 97-101. <http://doi.org/10.4067/S0718-34292021000400097>