

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Caracterización hidrogeológica para aprovechamiento del agua subterránea con fines de riego, en El Plantel, Masaya, Nicaragua

Hydrogeological characterization for use of groundwater for irrigation purposes, in El Plantel, Masaya, Nicaragua

Raquel Izabá-Ruiz¹, Karen Morales-Hernández²

¹ Máster en Ciencias del Agua, Departamento Manejo de Cuencas, Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2884-1189> / raquel.izaba@ci.una.edu.ni

² Ingeniera en Recurso Naturales Renovables, graduada de la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables-Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2719-6376> / karen_9613@hotmail.com
Universidad Nacional Agraria, Nicaragua



RESUMEN

El estudio se realizó en la Unidad de Experimentación y Validación de Tecnologías El Plantel, perteneciente a la Universidad Nacional Agraria (UNA) que tiene como objetivo caracterizar las condiciones del agua subterránea a través del monitoreo de niveles piezométricos, balance hídrico y calidad del agua para riego. Se seleccionaron como objeto de estudio el pozo #1 (pozo principal) y pozo #3 (pozo de referencia). Para evaluar el flujo de agua subterránea se midieron niveles estáticos del agua en un período de mayo 2020 a abril 2021. Para determinar el balance de agua subterránea se utilizó el principio de entrada y salida de agua al acuífero, donde la entrada de agua se estimó con la recarga potencial por el método del Balance Hídrico del Suelo propuesto por Schosinsky (2006); las salidas de agua se estimaron a partir de las descargas de agua subterránea; junto con las extracciones por bombeo para regar los cultivos establecidos en El Plantel. La calidad del agua para riego se evaluó utilizando criterios de calidad del agua propuestos por U.S Salinity Laboratory y la Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y Agricultura por sus siglas en inglés (FAO). Los resultados sugieren que las fluctuaciones de niveles piezométricos, tienen comportamiento natural durante un ciclo hidrológico en la zona, donde se muestra que está influenciado por la variación de las precipitaciones. El balance hídrico subterráneo muestra que la actividad de aplicación del riego en El Plantel no está provocando explotación del recurso hídrico subterráneo, ya que las salidas de agua son menores que la entrada al acuífero; el agua de exceso es parte del almacenamiento en el acuífero local. La calidad del agua subterránea utilizada en El Plantel es apta para riego.

Palabras clave: nivel piezométrico, recarga potencial, balance hídrico subterráneo, calidad del agua.

ABSTRACT

The study was carried out in the Unit for Experimentation and Validation of Technologies El Plantel, belonging to the National Agrarian University (UNA), which aims to characterize the conditions of groundwater through the monitoring of piezometric levels, water balance and water quality for irrigation. Well #1 (main well) and well #3 (reference well) were selected as study objects. To evaluate the flow of groundwater, static water levels were measured in a period from May 2020 to April 2021. To determine the groundwater balance, the principle of entry and exit of water to the aquifer was used, where the entry of water was estimated with potential recharge by the Soil Water Balance method proposed by Schosinsky (2006); water outflows were estimated from groundwater discharges; along with extractions by pumping to irrigate the crops established in El Plantel. Irrigation water quality was evaluated using water quality criteria proposed by the U.S. Salinity Laboratory and the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The results suggest that the fluctuations of piezometric levels have a natural behavior during a hydrological cycle in the area, where it is shown that it is influenced by the variation of rainfall. The groundwater balance shows that the irrigation activities in El Plantel are not causing exploitation of the groundwater resource, since the water output is less than the input to the aquifer; the excess water is part of the storage in the local aquifer. The quality of the groundwater used in El Plantel is suitable for irrigation.

Keywords: Piezometric level, potential recharge, groundwater balance, water quality.

Recibido: 14 de enero del 2022

Aceptado: 21 de octubre del 2022



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 edgardo.jimenez@ci.una.edu.ni

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

El uso del agua subterránea juega un papel importante en la economía mundial, para la agricultura, industria y uso doméstico. Las extracciones del agua subterránea en el mundo alcanzan entre 982 000 millones de metros cúbicos anuales, donde la agricultura utiliza el 70 % de las extracciones de agua subterránea (Margat y Der Gun, 2013).

En Nicaragua, el 80 % de la población utiliza el agua subterránea para las principales actividades económicas (industria, riego y consumo humano). Las fuentes de agua subterránea más importantes se encuentran en la región del Pacífico, donde se han caracterizado 12 acuíferos que presentan características geológicas que permiten la fluidez y almacenamiento del agua. Dentro de estas características se encuentran: los cuaternarios, depósitos aluviales, piroclásticos, aluviales antiguos y rocas del grupo o acuífero Las Sierras, que es considerado como uno de los principales depósitos de agua subterránea del país (Vega *et al.*, 2019; Losilla *et al.*, 2001; Fenzel, 1989).

Para caracterizar las condiciones de un acuífero es necesario el monitoreo a través de mediciones de niveles estáticos y piezométricos del agua. “El estudio de las fluctuaciones de niveles de agua en un periodo de tiempo, es fundamental para evaluar la recarga al acuífero, el almacenamiento subterráneo y consecuentemente planificar correctamente la explotación del agua subterránea. Las oscilaciones del nivel estático se deben a causas que suponen un cambio en el almacenamiento subterráneo, tales como la sucesión de épocas secas a húmedas; así como, extracción de agua por bombeo” (Donna *et al.*, 2021).

Esta investigación se realizó en la Unidad de Experimentación y Validación de Tecnologías El Plantel, finca propiedad de la Universidad Nacional Agraria, donde se levantó un inventario de pozo para definir los criterios de la investigación. A partir de este inventario, se identificó el pozo #1 (principal) y pozo #3 (referencia). El pozo # 1 es el principal objeto de estudio debido a que, este pozo se utiliza para aplicación de riego de las áreas productivas en El Plantel.

El objetivo del estudio es caracterizar las condiciones del agua subterránea a través del monitoreo de niveles piezométricos y observar las condiciones de la dirección del flujo en un ciclo hidrológico; del mismo modo estimar el balance hídrico de agua subterránea para evaluar el impacto positivo o negativo de la extracción de utilizada para riego en El Plantel. Los resultados obtenidos son un punto de partida para iniciar un sistema de monitoreo en el área de interés que

permitirá a los tomadores de decisiones proponer un plan de manejo y protección del agua subterránea en el área.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la zona de estudio. El Plantel se localiza en el municipio de Masaya, departamento de Masaya en las coordenadas UTM, X: 598941 y Y: 1336762, tienen un área de 171.8 ha (1.71 km²) (Figura 1).

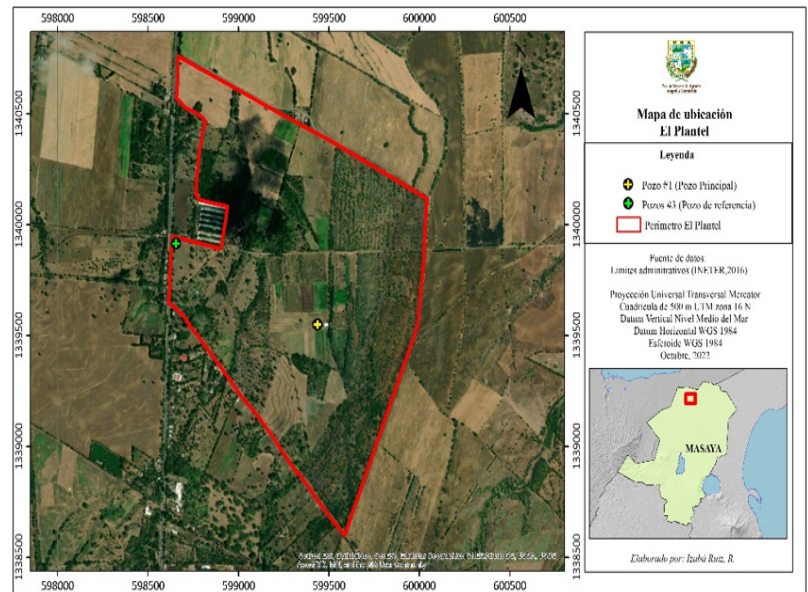


Figura 1. Mapa de ubicación de la unidad de experimentación y validación de tecnología El Plantel.

El clima de la zona de estudio se clasifica como trópico seco; según base de datos climáticos del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 2020), presenta precipitación anual de 1 02.4 mm y temperatura media de 27.6 °C. El tipo de suelo predominante es molisol, con textura franco arcillo limoso.

La geología está representada por rocas volcánicas con predominio de lava, tobas, cenizas, aglomerados, escorias; así como basálticos y andesitas basálticas (Fenzel, 1989); presenta pendientes planas entre 0 % y 5 % (Morales-Hernández, 2021).

Entre las características hidrogeológicas del área de estudio se puede mencionar que, pertenece al acuífero La Sierras, en el cual predominan los estratiforme poroso; es decir, es un acuífero con capacidad de almacenamiento y movimiento del agua subterránea, considerando valores de transmisividad de alta a muy alta entre 100 y 1 000 m²día⁻¹ (Krásný y Hecht, 1989). Este acuífero está estimado como uno de los acuíferos más productivo del país (Losilla *et al.*, 2001).

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

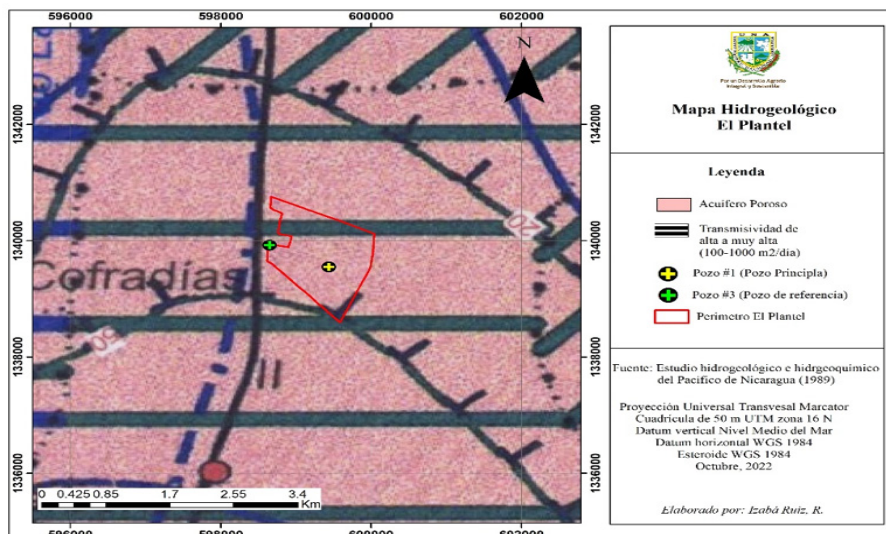


Figura 2. Mapa hidrogeológico de la unidad experimental El Plantel.

El uso del suelo más destacado en El Plantel es de bosque y tacotales con el 53.77 % de uso del área total, seguido de pastizales con 17 % y las plantaciones de eucalipto con 11.47 %. Las áreas de cultivo anuales y permanente son 13.71 %, el porcentaje restante se encuentra distribuido entre barbecho, potreros y áreas de infraestructuras con 3.96 % (Morales-Hernández, 2021).

Los cultivos establecidos se encuentran bajo sistemas de riego. Entre los sistemas más utilizado tenemos el riego por goteo, microaspersión, aspersión y cañón (aspersión de alta presión). El período de riego se distribuye durante todo el verano y el período de canícula entre julio a agosto. Los principales cultivos permanente son: plátano, coco, guayaba, mango, aguacate. Los cultivos anuales principales son sorgo, maíz, pipián y yuca (Morales-Hernández, 2021).

Métodos

Monitoreo de niveles piezométricos. Se identificaron los pozos en la finca, donde se realizaron mediciones de niveles estáticos y determinación de los niveles piezométrico (NP) durante el ciclo hidrológico mayo 2020 a abril 2021. Cada pozo fue georreferenciado e identificación. Con estas mediciones se determinó el mapa piezométrico utilizando el programa ArcGIS 10.3, con la herramienta interpolación, IDW que se puede caracterizar como un suavizador de las líneas, representando las líneas de flujo; así como interpolador exacto, fiel a los datos muestreados (Gomes *et al.*, 2018). Para realizar el análisis de la variación de niveles piezométricos y el comportamiento del flujo subterráneo se consideró tomar el pozo principal (Pozo # 1) y el Pozo # 3 (pozo de referencia) ya que este se encuentra ubicado aguas abajo del pozo principal (Pozo # 1).

Determinación de la recarga al acuífero. Se aplicó el balance hídrico del suelo propuesto por Schosinsky (2006), utilizando los siguientes parámetros:

Datos climáticos. Los datos de temperatura media, máxima y mínima de la Estación Aeropuerto Internacional Augusto C. Sandino, así como los datos de precipitación de la Estación Guanacastillo; para ambos parámetros se utilizó datos de un período de 12 años desde 2008-2020 y datos de temperatura media, mínima y máxima de la Estación Aeropuerto Internacional Augusto C. Sandino del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER).

Datos de suelo. Otra característica importante utilizada en el método de Schosinsky (2006) son las propiedades del suelo como Capacidad de Campo (CC), Punto de Marchitez Permanente (PMP) y Densidad Aparente (Da). Para la CC y PMP se tomaron muestra de suelo a partir de dos perfiles de suelo que se excavaron uno aguas arriba y otra agua abajo de la ubicación Pozo # 1. Las muestras se llevaron a al laboratorio de suelo y agua de la Universidad Nacional Agraria (UNA). La Da se tomó de Fuentes y García (1999).

Coefficiente de infiltración. Se determinó con la fórmula de Schosinsky y Losilla (2000):

$$C = (Kp + Kv + Kfc)$$

Donde: C: coeficiente de infiltración; Kp: fracción que infiltra por efecto de pendiente (adimensional); Kv: fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal (adimensional); Kfc: coeficiente de infiltración textura (adimensional).

Para valores de fc igual 6 mm día⁻¹ – 1 568 mm día⁻¹, Kfc se calcula con la siguiente la expresión de Schosinsky y Losilla (2000):

$$Kfc = 0.267 \ln (fc) - 0.000154fc - 0.723$$

Donde: fc son los valores del índice de infiltración obtenida a través de prueba de campo por el método del anillo sencillo propuesto por United States Department of Agriculture (USDA, 2001); se realizaron 48 pruebas de infiltración distribuidas en el área de estudio.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP).

Por medio de los datos de temperatura máxima, media y mínima de un período de 12 años (2008-2020) de la estación meteorológica Aeropuerto Internacional Augusto C. Sandino, se estimó el valor de la evapotranspiración potencial (ETP) a través de la fórmula de Hargreaves y Samani (1985) que indica:

$$ET_o = 0.0135 (t_{med} + 17.78) R_s$$

Donde: ET_o = evapotranspiración potencial diaria, en mm día⁻¹; t_{med} = temperatura media, en °C (grados Celsius); R_s = radiación solar incidente, convertida en mm día⁻¹.

A partir de los datos de precipitación, evapotranspiración potencial (ETP); características de suelo: CC, PMP y textura; así como del coeficiente de infiltración C, utilizamos la hoja de cálculo del modelo de Balance Hídrico de Suelo (BHS) de Schosinsky (2006), que se usa para determinar la recarga potencial al acuífero mediante la ecuación de Schosinsky (2006).

$$R_p = P_i + H_{Si} - H_{Sf} - ETR$$

Donde: R_p : recarga potencial en mm; P_i : precipitación que infiltra en mm; H_{Si} : humedad del suelo inicial en mm; H_{Sf} : humedad del suelo final en mm; ETR : evapotranspiración potencial en mm.

Determinación de la descarga de agua subterránea. Se consideró la ley de Darcy (Hiscock, 2005), considerando la dirección del flujo, el gradiente hidráulico entre el pozo # 1 y el pozo # 3, ubicado en la parte Noreste de El Plantel; a la vez se consideró un ancho de descarga del área formada entre las curvas piezométricas generadas por los pozo # 1 y # 3. Para el cálculo de la descarga se utilizó la ecuación de Darcy expresada en Hiscock (2005):

$$Q = T i l \text{ (m}^3 \text{ día}^{-1}\text{)}$$

Donde: Q = caudal de descarga (flujo subsuperficial) subterránea en m³/día; T = transmisividad en m² día⁻¹; L = ancho de la descarga en m; i : gradiente hidráulico entre Pozo # 3 al pozo # 1.

Balance hídrico subterráneo. En el balance hídrico subterráneo se utilizó la ecuación propuesta por D'Elia *et al.* (1985), basada en el principio de entrada y salida de agua. Entrada de agua = salida de agua del acuífero.

$$R_p = E_{xp} + Q_{sub} \pm \Delta S$$

Donde: R_p : Recarga potencial se obtendrá a partir del BHS; E_{xp} : Extracciones por pozos; Q_{sub} : Descarga de agua subterránea; ΔS : Cambio en el almacenamiento.

Calidad del agua para riego. Se tomaron muestras de aguas en el pozo # 1 (pozo principal) y pozo # 3 (pozo de referencia). Estas muestras fueron trasladadas al Laboratorio de suelos y agua de la UNA para realizar análisis de cationes, aniones, conductividad eléctrica y pH. Los resultados se compararon con las normas Riverside (Staff, 1954) y de calidad del agua para riego propuesto por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Ayers y Westcot, 1985).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Niveles piezométricos en pozos de estudio. Los niveles piezométricos registrados en el período de mayo 2020-abril 2021 en el pozo # 1 (principal) se encuentran entre 52.62 m a 54.21 m; presentándose los niveles más superficiales en los meses más lluviosos entre septiembre y octubre. El nivel más profundo en diciembre, que coincide con el inicio del período de riego. Comparando con los niveles del pozo # 3, se puede observar que este pozo presenta mayores descensos en el flujo de agua subterránea, indicando que el flujo de agua se mueve del pozo # 3 al pozo # 1. Lo descensos del pozo # 3, podrían estar influenciado por el bombeo de pozos vecinos de El Plantel. Es importante indicar que, no hubo permiso para acceder a las fincas vecinas con el fin de georreferenciar y medir el nivel estático en los pozos; sin embargo, de acuerdo con el mapa interactivo de recursos hídricos (aprovechamiento del agua subterránea) de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), los pozos más cercanos se encuentran entre 500 y 800 metros de distancia dentro del radio de influencia del pozo # 3 (Figura 3).

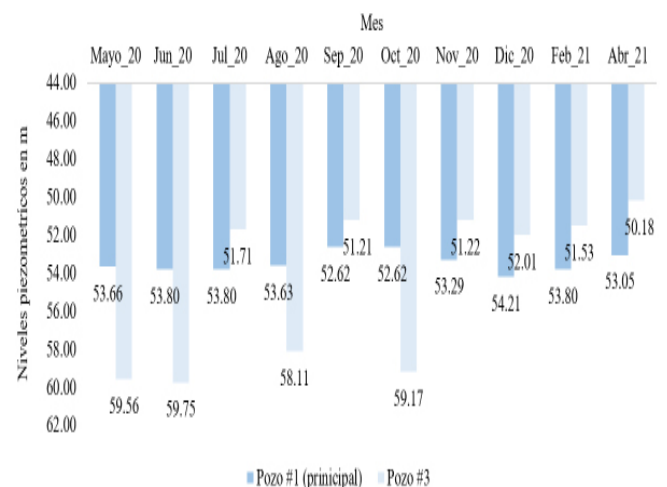


Figura 3. Comparación de niveles piezométricos entre el pozo principal (pozo # 1) y pozo de monitoreo (pozo # 3), mayo 2020 – abril 2021.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Las fluctuaciones de niveles observados sugieren que es el comportamiento natural durante un ciclo hidrológico en la zona, donde se muestra que está afectado por la variación de la precipitación (Figura 4). En los meses de septiembre y octubre se puede observar un restablecimiento de los niveles, que coincide con los meses más lluviosos de la época. Los niveles piezométricos registrados concuerdan con el comportamiento de estos niveles en estudios anteriores en el acuífero Las Sierras, donde expresan el comportamiento histórico de los niveles piezométricos en la zona N-E con descarga hacia el Lago Xolotlán, se encuentran entre 40-120 m (INETER, 2009; krásný, 1989).

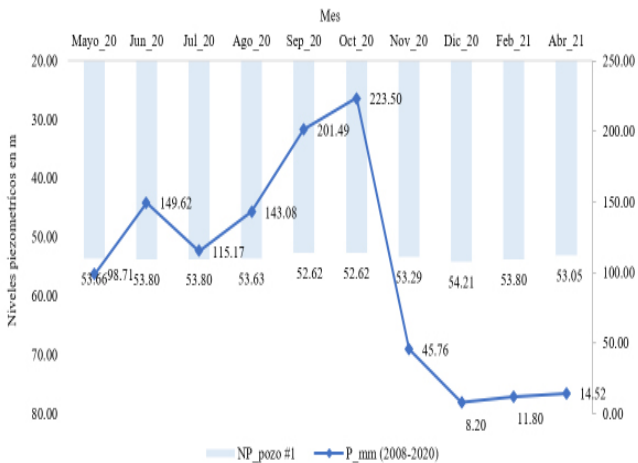


Figura 4. Comparación de niveles piezométricos versus precipitación en el área de estudio.

El mapa piezométrico presenta las líneas de flujo en el mes de octubre 2020 y febrero 2021. Se observa que el flujo de agua subterránea principalmente se mueve de Oeste - Sur en el mes de octubre 2020. En el mes de febrero se observa en dirección Oeste - Norte. Esta condición sugiere que el flujo de agua subterránea esté afectado por el bombeo en finca vecina

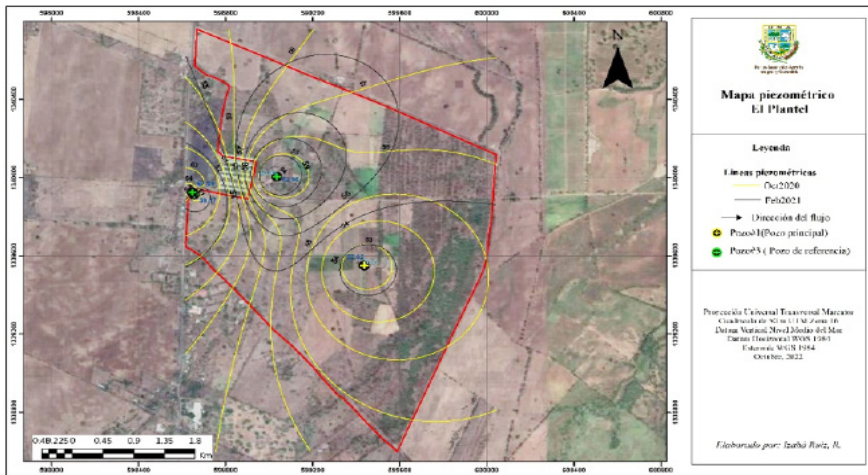


Figura 5. Mapa piezométrico presentando niveles de octubre 2020 y febrero 2021.

en la zona norte de El Plantel (Figura 5), ya que el movimiento del flujo se refleja más hacia el Norte con relación al pozo # 3. En el caso del pozo # 1, en este mes se refleja un nivel piezométrico más profundo, esto coincide con el uso del pozo para riego en la época seca.

Recarga potencial. Los resultados de la recarga potencial obtenidos a partir del balance hídrico de suelo se presentan en el Cuadro 1. Las mayores recargas se presentaron en el bosque latifoliadas ralo y en la plantación de eucaliptos con 0.101 m. Las menores recargas se presentaron en suelo con uso de pasto con (0.041 m). Se puede observar que los cultivos anuales presentan mayor recarga (0.061 m) que los cultivos permanentes (0.052 m) a pesar de que se encuentran dentro de las mismas condiciones hidrofísicas del suelo; este resultado induce a que, los cultivos permanentes sostienen láminas de agua aprovechables mayor que los cultivos anuales; por lo anterior, el aporte de agua a la recarga potencial es menor.

Cuadro 1. Recarga potencial anual en m³ año⁻¹ por cada uso del suelo

Uso del suelo	Área (m²)	Recarga Potencial (m año⁻¹)	Recarga Potencial (m³ año⁻¹)
Bosque latifoliado ralo	518 000.00	0.101	52 362.52
Plantación de eucalipto	196 969.52	0.101	19 910.85
Cultivos anuales	144 172.91	0.061	8 922.22
Cultivos permanentes	91 407.98	0.052	4 791.86
Pasto	293 549.30	0.041	12 086.69
Total			98 074.14

Fuente: Morales-Hernández (2021).

Los resultados de recarga en el bosque y plantación de eucalipto pudrían estar relacionado con las características hidrofísicas de esta área; son suelos profundos (0-97 cm), con abundantes macroporos, que por el tipo de vegetación facilita la infiltración del agua y por consiguiente la recarga al acuífero (Morales, 2021). En la zona donde se obtuvo las recargas más bajas podría estar influenciado por el tipo de uso (pasto), que son suelos más superficiales (0-33 cm) y presentan compactación por efecto del pisoteo del ganado. La recarga potencial al acuífero en El Plantel fue de 98 074.14 m³ año⁻¹. Es importante mencionar que los valores de mayor recarga potencial se reflejan en la parte Sur - Este, donde se encuentra ubicado el pozo de estudio (pozo # 1) y con cobertura vegetal boscosa; es decir, se puede considerar como la principal zona de recarga en El Plantel. Esta condición se puede observar en el comportamiento de los niveles piezométricos del pozo #

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

1, que presenta una recuperación por influencia de la recarga aguas arribas del mismo (Mejía y Ramírez, 2016).

Descarga de agua subterránea. Los resultados de descarga de agua subterránea entre el pozo # 1 y el pozo # 3 de la finca durante el período de monitoreo se presenta en el Cuadro 2. Los valores de descarga subterránea oscilan entre 37.89 m³ mes⁻¹ en el mes de abril, a 303.11 m³ mes⁻¹ en el mes de octubre. La descarga total de agua subterránea producida es de 1 505.23 m³ año⁻¹. Los valores negativos del gradiente hidráulico (i) indican que la descarga del agua subterránea en los meses de mayo, junio, agosto, octubre del 2020 y abril 2021 se producen en dirección Oeste del área de estudio; ya que los niveles piezométricos del pozo # 3 son más profundos que los niveles piezométricos del pozo # 1.

Cuadro 2. Descarga de agua subterránea estimada en El Plantel

Mes	NP Pozo # 1 (m)	NP Pozo # 3 (m)	T (m ² día ⁻¹)	l (m)	i	L (m)	Q (m ³ mes ⁻¹)
Mayo	53.66	59.56	240	861.65	-0.007	157.87	265.22
Junio	53.80	59.75	240	861.65	-0.007	157.87	265.22
Julio	53.80	51.71	240	861.65	0.002	157.87	91.92
Agosto	53.63	58.11	240	861.65	-0.005	157.87	189.44
Septiembre	52.62	51.21	240	861.65	0.002	157.87	62.14
Octubre	52.62	59.17	240	861.65	-0.008	157.87	303.11
Noviembre	53.29	51.22	240	861.65	0.002	157.87	90.98
Diciembre	54.21	52.01	240	861.65	0.003	157.87	96.34
Febrero	53.80	51.53	240	861.65	0.003	157.87	99.96
Abril	53.05	54.21	240	861.65	-0.001	157.87	37.89
							1 502.23

El movimiento de flujo del agua en el pozo # 3 hacia el pozo # 1 podría estar influenciado por bombeo de la finca vecina, prolongando el descenso de los niveles piezométricos (pozo # 3). En el mes de diciembre, enero y febrero que es la época seca, se invierte el valor del gradiente hidráulico indicando que el flujo de agua se mueve del pozo # 1 al pozo # 3; es decir, de los niveles piezométricos más profundo a los más someros. Ramos-Leal *et al.* (2009) indican que la inversión del gradiente hidráulico en la época de seca, alcanzó mayor elevación en los niveles piezométricos; en este particular, el cambio del gradiente hidráulico podría estar influenciado por el bombeo del pozo # 1, debido a que en esta época se utiliza para riego, lo que provoca mayor profundidad en los niveles piezométrico.

Extracción de agua subterránea para riego. En el Cuadro 3 se presentan los resultados de la demanda o extracción del agua subterránea del pozo principal. El pasto es el cultivo que utiliza más área de siembra y la mayor cantidad de agua de riego anual, seguido de los cultivos perennes con la menor área de siembra. Los cultivos anuales son lo que demandan menos agua durante la aplicación del riego en un área igual a 0.14

km². La demanda total anual o extracción del pozo es de 72 800.62 m³ anuales. Estas extracciones ocurren principalmente en la época seca entre noviembre y abril.

Cuadro 3. Extracción del pozo principal en El Plantel período mayo 2020 - abril 2021

Uso del suelo	Área en km ²	Extracción de agua para riego (m ³ año ⁻¹)
Pasto	0.29	48 404.75
Cultivos perennes	0.09	24 172.00
Cultivos anuales	0.14	223.87
Total	0.52	72 800.62

Fuente: Morales-Hernández (2021).

A pesar de que se riega menos área en los cultivos perennes, estos consumen aproximadamente la mitad del agua utilizada para el riego del pasto; esto podría deberse a que estos cultivos alcanzan una profundidad radicular mayor; demandando una mayor lámina de agua.

Balance hidrogeológico. En el Cuadro 4, se presentan los resultados del balance hídrico subterráneo, la principal entrada es la recarga potencial, con una recarga total de 98 076.50 m³ año⁻¹. Las salidas están representadas por la descarga de agua subterránea y las extracciones por bombeo para riego, obteniendo una salida 74 302.85 m³ años⁻¹. Los resultados del balance hídrico subterráneo indican que la variación en el almacenamiento del acuífero en la zona de El Plantel es de 23 773.64 m³ año⁻¹. Esto indica que las actividades de riego donde se utiliza el agua subterránea en El Plantel, no están provocando explotación del recurso hídrico subterráneo en esta zona, ya que la entrada al acuífero es mayor que las salidas; el agua restante forma parte del almacenamiento del acuífero.

Cuadro 4. Balance hídrico subterráneo en El Plantel

	Parámetros	m ³ año ⁻¹
Entrada	Recarga potencial	98 076.50
	Total, entrada	98 076.50
Salidas	Descarga agua subterránea	1 502.23
	Extracciones de agua para riego	72 800.62
	Total, salidas	74 302.85
	ΔS	23 773.64

Calidad del agua para riego. Los resultados del análisis de laboratorio en las muestras de agua de los pozos # 1 y # 3 en El Plantel, comparadas con la Norma Riverside y FAO, indican que se clasifican como C2S1, lo que significa que son aguas aptas para riego con control para evitar problemas de salinidad, presentando un grado de salinidad media, con bajo contenido de sodio y apta para riego en la mayoría de los casos (Figura 6).

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

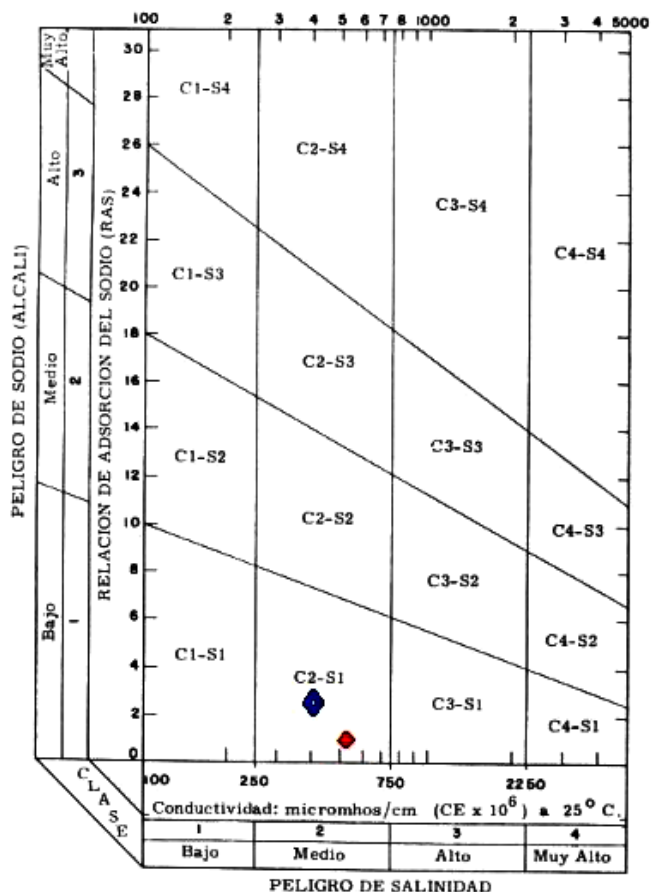


Figura 6. Gráfico de clasificación del agua para riego.
Fuente: U.S Sanity Laboratory Staff (1954).

En el Cuadro 5, se presenta el resumen de los resultados de las muestras de aguas extraídas de los pozos # 1 y # 3, comparando los resultados bajo los parámetros establecidos en cuanto a problemas potenciales en aplicación

de riego en las Normas de Calidad de Agua para la Agricultura propuesto por Ayers y Westcot (1985).

Con relación a la conductividad eléctrica (CE) y sólidos totales disueltos (STD), según el rango de valores establecidos por problemas de salinidad, se determinó que, el agua de ambos pozos se encuentra dentro de las concentraciones habituales en agua para riego, y no presentan ningún grado de restricción, siendo apta para riego. El valor de CE del pozo # 3 con respecto al pozo # 1 es mayor, esto podría estar relacionado con los STD que se encuentran en mayores concentraciones en el pozo # 3; lo cual podría estar influenciado por la presencia del ion Bicarbonato (HCO_3^-), ya que coincide con los valores de pH entre 7 y 10 en los que predomina el ion Bicarbonato; además se encuentra en correspondencia con su formación geológica que presentan rocas ricas en bicarbonatos (Altamirano, 2007; Hiscock, 2005; Hem, 1985).

De acuerdo a la toxicidad iónica específica, las concentraciones de ion sodio (Na) y Cloro (Cl), para aplicar riego por superficie y aspersión, en ambos pozos se encuentran dentro de los rangos habituales de uso para riego; de modo que no presentan grado de restricción.

Para efectos diversos, las concentraciones presentes de Bicarbonatos (HCO_3^-) en el pozo # 1 para aplicar riego por aspersión, no presenta ningún grado de restricción, siendo apta para riego; en cambio para el pozo # 3 las concentraciones de HCO_3^- fueron de 3.56 m l^{-1} , indicando que poseen un grado de restricción de ligero a moderado. Las altas concentraciones de bicarbonatos en el pozo # 3, ocurren debido a la hidroquímica del acuífero de Las Sierras, donde predominan las aguas bicarbonatadas cálcicas (Krásný y Hecht, 1989; Apelo y Postma, 1993).

Los niveles de pH para el pozo # 1 y # 3, se encuentran entre los rangos normales, de modo que estos niveles no representan ningún grado de riesgo.

Cuadro 5. Interpretación de la calidad de agua para riego para los pozos # 1 y # 3 en El Plantel, según directrices de FAO (1985)

Problemas potenciales en aplicación de riego	Unidad	Pozo # 1	Pozo # 3	Grado de restricción de uso		
				Ninguno	Ligero a moderado	Severo
Salinidad (afecta la disponibilidad de agua del cultivo)						
CE	dS m^{-1}	0.5128	0.621	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
STD	mg l^{-1}	328.19	397.44	< 450	450 – 2 000	> 2 000
Toxicidad iónica específica (afecta a cultivos sensibles)						
Sodio (Na)						
Riego superficial	RAS	2.51	1.05	< 3	3 – 9	> 9
Riego por aspersión	Meq l^{-1}	1.44	1.48	< 3	> 3	
Cloro (Cl)						
Riego superficial	Meq l^{-1}	0.41	0.54	< 4	4 – 10	> 10
Riego por aspersión	Meq l^{-1}	0.41	0.54	< 3	> 3	
Efectos diversos (afecta a cultivos susceptibles)						
Bicarbonatos (HCO_3^-) (solo rociadores aéreos)	Meq l^{-1}	0.74	3.56	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5
pH		7.63	7.09	Rangos normales 6.5 – 8.4		

CE: Conductividad eléctrica, STD: Sólidos totales disueltos, dS m^{-1} : decisiemens por metro, RAS: Relación de adsorción de sodio, meq l^{-1} : Miliequivalentes por litro.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

CONCLUSIONES

Los niveles piezométricos se han comportado de acuerdo con la variación temporal de las precipitaciones y se encuentra en el rango histórico de niveles piezométricos del acuífero en esa zona.

La mayor recarga del acuífero en El Plantel se produce en el área con cobertura boscosa y en las plantaciones forestales, que corresponde a más del 50 % del uso de suelo; esto sugiere que el uso del suelo en El Plantel ha favorecido a la recarga de agua subterránea.

Los resultados del balance hídrico subterráneo reflejan que la extracción de agua en el pozo # 1, no exceden a la recarga del acuífero, por tanto, no existe explotación del recurso de agua subterránea en El Plantel.

El análisis de las muestras de aguas del pozo # 1 destinado para riego en El Plantel, cumple con los parámetros permisibles en riego establecidos en la norma de calidad de agua para la agricultura de la FAO; así como con los criterios de las Normas Riverside, de modo que es agua apta para riego. A su vez, se determinó que muestras pertenecientes al pozo # 3 presentan un grado de restricción de ligero a moderado, de modo que, son aguas con control para riego.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Dirección de Investigación, Extensión y Posgrado (DIEP) de la Universidad Nacional Agraria por financiar esta investigación a través de los Fondos Concursables de Investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altamirano C, M. C. (2007). *Estudio de la microcuenca y diseño de Plan de acción Participativo para potenciar la disponibilidad y calidad de agua en la comunidad de Colonia Roque, municipio de Tipitapa. Departamento de Managua. 2002.* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma De Nicaragua]. <https://repositorio.unan.edu.ni/2396/>.
- Apelo, C. & Postman, D. (1993) “*Geochemistry, groundwater and pollution*” Ed. Balkema.
- Autoridad Nacional del Agua (2022, 25 de octubre). *Mapa Interactivo de Recursos Hídricos (Aprovechamiento subterráneo)*. <http://aguaysaneamiento.info.ni/nimbu/mapas.html>.
- Ayers, R. S & Westcot, D. W. (1985). *Water quality for Agriculture*. FAO.
- D’Elia, M., Paris, M. y Pérez, M. (2018). Balance de agua en un acuífero como base para la gestión sostenible y seguridad hídrica. *Aqua-LAC, 10(1)*, 26–38. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373147> Donna, F., Ibañez, S., Gomez, L., Pabla, T., Vélez, V. y Rovira, S. (2021). *Análisis de las variaciones piezométricas de la subcuenca del carrizal a lo largo de su serie histórica*.
- Fenzel, N. (1989). *Nicaragua: geografía, clima, geología e hidrogeología*. Universitario.
- Fuentes Yagüe, J. y García Legaspi, G. (1999). *Técnicas de riego*. Ediciones Mundi Prensa.
- Gomes, M., De Vargas, T., Belladona, R. y Duarte, M. (2018). Aplicação do Interpolador IDW para Elaboração de Mapas Hidrogeológicos Paramétricos na Região da Serra Gaúcha. *Scientia cum industria, 6(3)*, 38-43.
- Hargreaves, G. H. & Samani, Z. A. (1985). Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture, 1(2)*, 96–99. <http://doi.org/10.13031/2013.26773>
- Hem, J. D. (1985). *Study and Interpretation the Chemical of Natural of Characteristics Water*. USGS. <https://doi.org/10.3133/wsp2254>
- Hiscock, K. (2005). *Hydrogeology Principles and Practice*. Blackwell Publishing.
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2020). *Base de datos climática de la Dirección de Meteorología de INETER*.
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2009). *Estudio de Caracterización hidrogeológica e Isotópica del lago de Nicaragua*.
- Krásný, J. y Hecht, G. (1989). *Estudios hidrogeológicos e hidroquímicos de la Región del Pacífico de Nicaragua*. COSUDE, INETER.
- Losilla, M., Rodríguez, H., Schosinsky, G., Stimson, J. y Bethune, D. (2001). *Los Acuíferos Volcánicos y el DD Sostenible en América Central*.
- Margat, J. & Der Gun, J. V. (2013). *Groundwater around the world A Geographic Synopsis*. CRC Press/Balkema.
- Mejía, V. y Ramírez, J. (2016). *Análisis De Las Variaciones De Niveles Piezométricos Del Complejo Acuífero Cuaternario, Registrados Dentro De Pozos Profundos, Por La Car, Entre 1998 Y 2007, En La Sabana De Bogotá* [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia]. RIUCaC. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14015/4/TRABAJO%20DE%20GRADO%20SABANA%20BOGOT%C3%81%20version%20final%20incluye%20agradecimientos.pdf>
- Morales-Hernández, K. (2021). *Caracterización de la oferta, demanda y calidad del agua subterránea para riego en El Plantel* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional UNA. <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/4412>
- Ramos-Leal, J. A., González-Moran, T. y Durazo J. (2009). La inversión del gradiente hidráulico y sus efectos en la hidrogeoquímica de dos grupos de pozos, bien diferenciados, en la zona de la Muralla, Guanajuato, México. *Revista de Geofísica, (59)*, 5–17.
- Schosinsky, G y Losilla, M. (2000). Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. *Revista Geológica de América Central, (23)*, 43–55. <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i23.8579>
- Schosinsky, G. (2006). Cálculo de la Recarga Potencial a un Acuífero Mediante Un Balance Hídrico De Suelos. *Revista Geológica de América Central, (34-35)*, 13–30. <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i34-35.4223>
- Staff, U. S. L. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*.
- United States Department of Agriculture. (2001). *Soil Quality Test Kit Guide*.
- Vega, A., Pizarro, J., Lizama, K., Guerra, P. y Pastén, P. (2019). *Calidad del Agua en las Américas Riesgos y Oportunidades*. IANAS.