



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

DIRECCIÓN DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

Trabajo de Tesis

**Balance hidrogeológico al noroeste del
acuífero Las Sierras, entre los municipios de
Tipitapa y Nindirí, 2024**

Autores

Br. Wesley René Martínez Sánchez
Br. Frederick Alexander Aburto Maltez

Asesores

Msc. Raquel Dolores Izabá Ruiz
Msc. Harvin Joel Bonilla Escoto

Presentado a la consideración del honorable comité
evaluador como requisito final para optar al grado de
Ingeniero Agrícola

Managua, Nicaragua
Febrero, 2025

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable comité evaluador designado por la Dirección de Ciencias Agrícolas como requisito final para optar al título profesional de:

Ingeniero Agrícola

Miembros del Comité Evaluador

Ing. Elvin Antonio Lagos Pineda

Presidente

MSc. Joel Isaías Angulo Rocha

Secretario

Ing. Freydell Saraí Pinell Rivera

Vocal

Lugar y fecha: Managua, Nicaragua, 18 de febrero de 2025

DEDICATORIA

El reflejo de lo que soy y hago es el fruto de la educación y el ejemplo que he recibido de mi familia. Con gratitud, dedico este trabajo a mi madre, María Aracely Sánchez Espinoza, a mi padre, Ceferino René Martínez Sánchez, por su amor y guía. También a mis hermanos: Lenin René Martínez Sánchez, Derick Emmanuel Martínez Sánchez, Jimmy Azarías Martínez Sánchez y, finalmente, pero no menos importante, a mi hermana Arely Denisse Martínez Sánchez.

A los seres queridos que aún están presentes en mi vida y aquellos que ya no están en este mundo, pero cuyo recuerdo permanece en mi corazón.

Con especial cariño, agradezco a mi novia, quien me ha brindado el amor y el apoyo que siempre anhelé. También a mis amigos: aquellos que han partido en busca de un mejor futuro y a quienes tengo cerca y disfruto en cada momento compartido. También, dedico unas palabras a Jefferson Steven Astorga Peralta, un amigo incondicional que aprecio mucho, que actualmente atraviesa un momento difícil. Pero con la ayuda de Dios y su fortaleza, confío plenamente en que superará esta adversidad.

Wesley René Martínez Sánchez.

Luego de un largo camino recorrido en este trayecto lleno de experiencias buenas y malas estando a un paso de culminar una de las últimas etapas de juventud en vida, a un paso de dar marcha atrás a esos jóvenes que fuimos, en recuerdo de cada uno de los momentos vividos con mis amigos en vida y docentes que por muy complicado que fuese el momento nunca defraudaron. En memoria de mis 2 grandes amigos que ya no están en vida les llevo siempre conmigo y mis abuelos que llevo en mi corazón. Todo éxito y derrota de enseñanza se lo debo a ustedes. Este último proyecto en conjunto de uno de mis grandes amigos y como último paso juntos luego de 5 años se culmina con la mejor de las actitudes y esperando todo sea un rotundo éxito. Simplemente gracias totales por tanto.

Frederick Alexander Aburto Maltez.

AGRADECIMIENTO

Primero, agradezco a Dios por brindarme el conocimiento, la sabiduría y la salud necesarias para culminar esta importante etapa en mi vida.

A mi familia, que a lo largo de mi camino siempre me ha dado amor, confianza y apoyo incondicional, tanto en los momentos difíciles como en los felices.

A mi novia, Priscila María Campos, quien conquistó mi corazón y me inspira a ser mejor cada día.

A mis asesores, Raquel Izabá Ruiz y Harvin Bonilla Escoto, por su paciencia, dedicación y valiosa transmisión de conocimientos, que fueron esenciales para concluir mi tesis.

A la Universidad Nacional Agraria, por su respaldo económico para financiar este proyecto y por ser mi segundo hogar, donde pude fortalecer mi educación, desarrollar mi madurez y alcanzar el sueño con el que comencé: ser ingeniero.

A mis amigos, cuyos recuerdos atesoraré siempre en mi corazón. De manera especial, a Manuel Isaac Silva Barrera, quien me ofreció no solo techo y comida, sino una amistad sincera e invaluable. Y a Frederick Alexander Aburto Maltez, mi amigo, con quien compartí el inicio de mi carrera y, juntos, hemos alcanzado esta meta.

Wesley René Martínez Sánchez.

AGRADECIMIENTO

En agradecimiento a quien en vida fueron mis abuelos, a ti Cesar, a ti Mercedes siempre presente en mi corazón, siempre presente en mi caminar, agradezco el corto tiempo compartido con ustedes y las enseñanzas brindadas, profundo agradecimiento a mis docentes que a pesar de las dificultades presentadas siempre nos hacían llegar el conocimiento a los salones, en deuda con mi madre por todo el sacrificio hacia mi persona, agradecido con mi padre, gracias a mis grandes amigos ese grupo de 4 que siempre fuimos desde aquel inicio de cursos hasta el final de él, en agradecimiento a mi pareja que me apoyo incondicionalmente en este proceso, en memoria de mis 2 grandes amigos que me acompañaron en tanto tiempo vivido hoy me hacen falta para celebrar estos logros. En agradecimiento a todos y cada uno que me brindo su mano y compartió su sabiduría conmigo, Gracias a todos y cada uno, por los que no están y por los que aún viven pues es el fin de esta etapa y proceso vivido.

Frederick Alexander Aburto Maltez

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I INTRODUCCIÓN	1
II OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
III MARCO TEÓRICO	4
IV MATERIALES Y MÉTODOS	8
4.1. Ubicación del estudio	8
4.2. Diseño Metodológico	8
4.2.1. Revisión de fuentes secundarias o base de datos	8
4.3. Metodología	10
4.3.1. Criterios para delimitar el área de estudio	10
4.3.2. Selección de puntos de muestreo	10
4.3.3. Recolección de datos de campo	10
4.4. Procesamiento de datos	11
4.4.1. Entradas	11
4.4.2. Salidas	14
4.4.3. Balance hidrogeológico	15
V RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
5.1. Medio Hidrogeológico del área de estudio	16
5.2. Parámetros hidrogeológicos del área de estudio	18
5.3. Recarga directa por el método Balance de Masa del Cloruro (BMC).	21
5.4. Recarga por retorno	22

5.5.	Escurrecimiento subterráneo entrada	23
5.6.	Extracciones de agua por bombeo	24
5.7.	Escurrecimiento subterráneo de salida	24
5.8.	Balace hidrogeológico	25
VI	CONCLUSIONES	28
VII	RECOMENDACIONES	29
VIII	LITERATURA CITADA	30
IX	ANEXOS	34

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Datos del pozo-1, pozo 2 y pozo-3.	¡Error! Marcador no definido.
2	Ubicación y textura de los perfiles de suelo.	12
3	Características hidráulicas del pozo-1, pozo 2 y pozo 3.	20
4	Representación de la transmisividad	20
5	Recarga directa del área de estudio	21
6	Recarga por retorno	22
7	Escurrimiento subterráneo de entrada	23
8	Extracciones por bombeo de la región	24
9	Escurrimiento subterráneo de salida	25
10	Balance hidrogeológico del área de estudio	26

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Representación del balance hidrogeológico	4
2	Ubicación área de estudio.	8
3	Ancho de la descarga del escurrimiento subterráneo de entrada y de salida.	14
4	Mapa geológico del área de estudio.	16
5	Perfil litológico de los 3 pozos identificados en el área de estudio	17
6	Cálculo de transmisividad con AQTEsolv pro pozo 1.	18
7	Calculo de la transmisividad con AQTEsolv pro del pozo 2.	19
8	Cálculo transmisividad con AQTEsolv pro del pozo 3.	19

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1	Registro precipitaciones mensuales 1993 – 2023.	34
2	Análisis cloruro de agua de lluvia y pozos en el área de estudio.	35
3	Volumen total de agua consumida a través de las extracciones de pozos.	36
4	Perfil litológico pozo 1	37
5	Perfil litológico pozo 2	37
6	Perfil litológico pozo 3	38
7	Prueba de bombeo pozo 1	39
8	Prueba de bombeo pozo 2	41
9	Prueba de bombeo pozo 3	44
10	Ubicación pozos y recolectores de lluvia.	46
11	Zonas de recarga directa.	48
12	Volumen de agua de los pozos ubicados en el área de estudio.	48
13	Ancho de descarga y distancias entre pozos.	51

RESUMEN

La investigación se desarrolló en el noroeste del acuífero Las Sierras, entre los municipios de Tipitapa y Nindirí, Nicaragua; abarcando un área aproximada de 42 km². El objetivo fue evaluar el balance hidrogeológico de la zona de estudio mediante el análisis de datos climáticos de los últimos 30 años, la instalación de colectores de lluvia y la toma de muestras de agua en pozos para calcular la recarga directa utilizando el método del balance de masa del cloruro. También se describieron perfiles litológicos para analizar la geología de la región, se estimó la recarga por retorno, se estudiaron registros de pruebas de bombeo y transmisividad para evaluar el escurrimiento subterráneo de entrada y salida; así como, el total de extracciones de agua de los pozos para conocer las salidas de agua en el sistema. Los resultados mostraron una geología dominada por rocas ígneas y sedimentos consolidados, identificándose que el acuífero es mayormente libre, con zonas de semi confinamiento en la parte alta del área estudiada. Las entradas totales al sistema fueron de 4.29 Mm³, donde la recarga directa aportó el 82%, seguida de la recarga por retorno con 2.28% y el escurrimiento subterráneo de entrada con 15.49%. Las salidas alcanzaron 2.26 Mm³, compuestas por un 26.55% de escurrimiento subterráneo de salida y un 73.89% de extracciones por bombeo. Los valores de transmisividad indicaron un rango medio a alto en la zona media del área de estudio y un rango moderado en la zona alta y baja. La variación de almacenamiento del balance hidrogeológico fue de 2.12 Mm³, confirmando la disponibilidad hídrica del acuífero para diferentes usos.

Palabras clave: Recarga directa, balance de cloruros, recarga por retorno, escurrimiento subterráneo, extracciones de agua, disponibilidad hídrica, variación de almacenamiento.

ABSTRACT

The research was carried out in the northwest of the Las Sierras aquifer, between the municipalities of Tipitapa and Nindirí, Nicaragua; covering an area of approximately 42 km². The objective was to evaluate the hydrogeological balance of the study area by analyzing climatic data from the last 30 years, installing rainwater collectors and taking water samples in wells to calculate direct recharge using the chloride mass balance method. Lithological profiles were also described to analyze the geology of the region, return recharge was estimated, pumping and transmissivity test records were studied to evaluate the underground inflow and outflow runoff; as well as the total water extractions from the wells to know the water outputs in the system. The results showed a geology dominated by igneous rocks and consolidated sediments, identifying that the aquifer is mostly free, with semi-confined zones in the upper part of the studied area. Total inputs to the system were 4.29 Mm³, where direct recharge contributed 82%, followed by return recharge with 2.28% and underground inflow runoff with 15.49%. Outputs reached 2.26 Mm³, composed of 26.55% underground outflow runoff and 73.89% pumping extractions. Transmissivity values indicated a medium to high range in the middle zone of the study area and a moderate range in the upper and lower zones. The storage variation of the hydrogeological balance was 2.12 Mm³, confirming the water availability of the aquifer for its different uses.

Key words: Direct recharge, chloride balance, return recharge, groundwater flow, water extractions, water availability, storage variation.

I INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos son esenciales para la supervivencia humana y de todos los organismos vivos. De diversas maneras, garantiza la supervivencia de todas las especies en el planeta y está presente en todas las actividades naturales y sociales. Sin embargo, factores como el crecimiento poblacional, desorden climático, actividades industriales, entre otros, han alterado de manera significativa tanto la cantidad como la calidad del recurso hídrico. Esta alteración hace que cada vez sea más complicado acceder a las fuentes de agua necesarias para satisfacer las demandas diarias. (Jiménez *et al.*, 2019)

Los principales usuarios del recurso hídrico en Nicaragua superficial y subterráneo incluyen sectores como el riego, la ganadería, la industria, el consumo doméstico, el comercio y la demanda ecológica. Según datos del año 2011, la extracción total de agua a nivel nacional fue de 1 545 km³. Destaca que el sector agrícola lidera estas extracciones con 1 185 km³, representando el 76% del total. De este volumen, 1.110 km³ se destinan al riego y 0.075 km³ al sector ganadero. (Rodríguez, 2016)

En Nicaragua se disponen de aproximadamente 141 981.43 manzanas destinadas a sistemas de riego en todo el país. De esta superficie, el riego por gravedad es predominante, cubriendo 80 947.04 manzanas, seguido por el riego por aspersión con 41 149.06 manzanas; el riego por goteo, con 8 049,02 manzanas; el riego manual (regadera o manguera), con 3 791.74 manzanas; y otros sistemas de riego que abarcan 8 045.07 manzanas. (Instituto Nacional de Información de Desarrollo [INIDE] y Ministerio Agropecuario y Forestal [MAGFOR], 2012, p. 23)

“La región noroeste del acuífero Las Sierras cuenta con un estudio que aborda la caracterización geológica, enfocado en las condiciones hidrogeológicas y el contexto geológico y estructural” (Martínez y Chevez, 2017). Estas indagaciones previas, al enfocarse en diferentes aspectos del acuífero, resaltan la necesidad estratégica de realizar un balance hidrogeológico. Esta es fundamental debido a la actividad agrícola en la región, por tanto, evaluar y gestionar adecuadamente este recurso es esencial para garantizar un suministro sostenible y eficiente con fines de riego.

La presente investigación tiene como objetivo realizar un balance hidrogeológico en el sector noroeste del acuífero Las Sierras, entre los municipios de Tipitapa y Nindirí. Para ello, se considera la caracterización del medio hidrogeológico de la zona de estudio, abarcando aspectos como la geología y la estructura hidrogeológica; con el propósito de comprender la dinámica del acuífero y su interacción con el entorno.

En primer lugar, se estiman las entradas de agua, tanto de la recarga directa, así como la recarga por retorno. Seguido del cálculo de las salidas del agua; representado por la escorrentía subterránea y extracciones por bombeo principalmente. A partir de esta información se realizará el balance del agua subterránea, para la estimación del almacenamiento. El balance hidrogeológico es fundamental con el fin de estimar un equilibrio hídrico en el acuífero y así obtener información fundamental para la gestión del recurso hídrico subterráneo, específicamente de utilidad en la finca experimental El Plantel. Los resultados permiten el diseño de políticas públicas y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles, asegurando un equilibrio adecuado entre la demanda de agua para fines agropecuarios y la capacidad del acuífero. Este enfoque contribuirá de manera significativa al bienestar de la comunidad local y a la protección del medio ambiente.

II OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Determinar el balance Hidrogeológico al noroeste del acuífero las Sierras, entre los municipios Tipitapa y Nindirí.

2.2. Objetivos específicos

1. Describir el medio hidrogeológico del área de estudio.
2. Estimar las entradas de agua por recarga directa y la recarga de retorno por riego.
3. Calcular las salidas de agua por extracciones por bombeo y escurrimiento de agua subterránea.

III MARCO TEÓRICO

El balance hidrogeológico constituye una herramienta fundamental para comprender la dinámica del agua subterránea en un sistema determinado, esta agua está ubicada bajo la superficie terrestre que se encuentra almacenada en los acuíferos, que son formaciones geológicas compuestas de materiales permeables como roca y sedimentos, capaces de retener y transmitir. (Rodríguez, 2016)

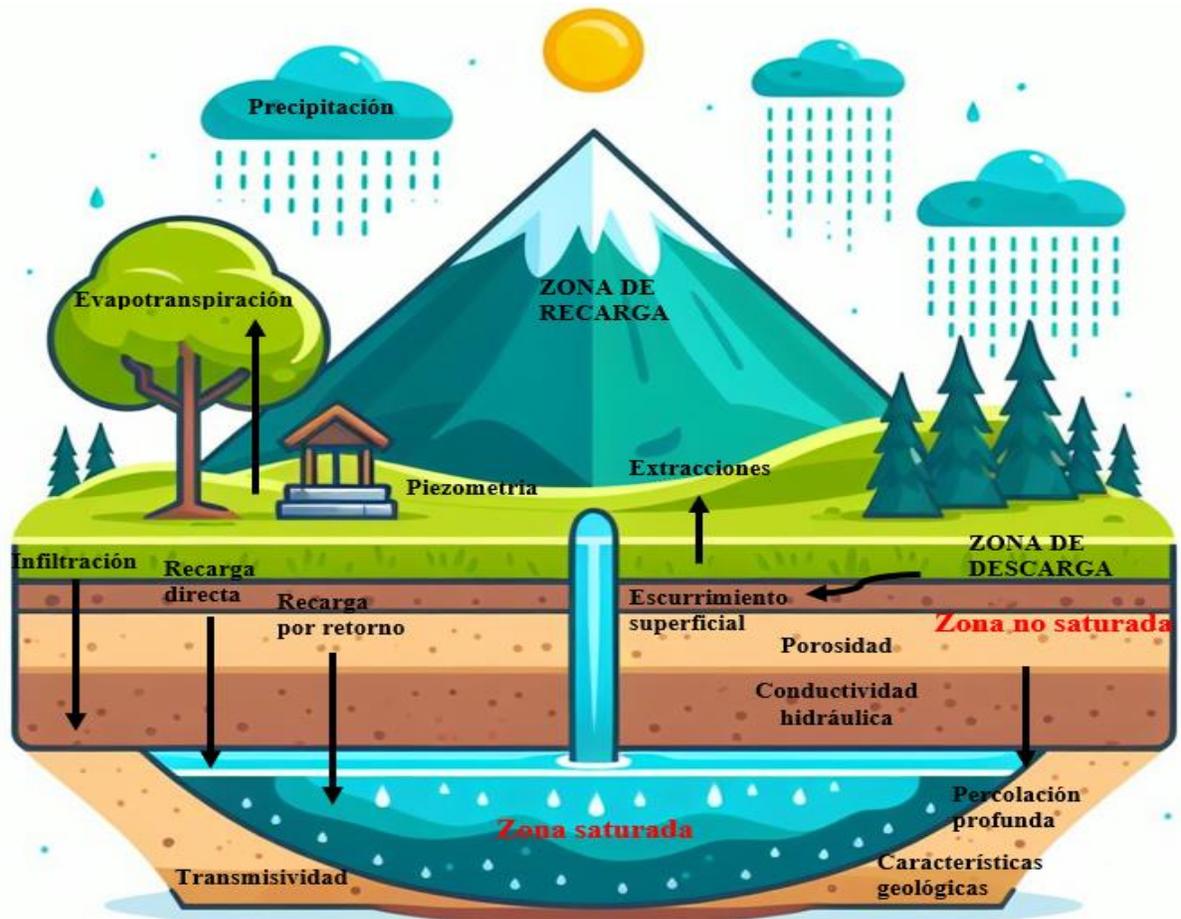


Figura 1 Representación del balance hidrogeológico

La figura 1, generada mediante inteligencia artificial con Microsoft Designer (2024), ilustra el balance hidrogeológico, tomando como punto de partida la precipitación, definida como el agua que cae desde la atmósfera hasta la superficie terrestre, parte de esta agua es propensa a la evapotranspiración, donde se pierde a través de eventos de evaporación directa desde la superficie del suelo y la transpiración de las plantas (Gavilán, 2019). Y otra parte se infiltra iniciando el movimiento del agua desde la superficie del suelo en la zona no saturada hacia

capas más profundas. A medida que el agua se infiltra, continúa su trayectoria hacia abajo mediante la percolación profunda. (Schilardi *et al.*, 2017)

El movimiento del agua en la zona no saturada está constituido por los parámetros, como la humedad dinámica en el suelo, como la capacidad de campo, que se refiere al contenido de agua que se retiene en un suelo después de ser saturado con agua, es fundamental indicando cuánta agua está disponible para procesos como la absorción por las raíces de las plantas, y el punto de marchitez permanente, que marca el contenido de humedad mínimo al cual las plantas no pueden extraer agua de manera efectiva. (Chicas *et al.*, 2014)

En la zona saturada, el agua subterránea se desplaza impulsada por diferencias de potencial hidráulico, generadas por las variaciones topográficas siguiendo las direcciones del flujo desde superficies más altas, hasta las más bajas en respuesta al gradiente hidráulico. La conductividad hidráulica es clave en este proceso, ya que representa la capacidad del material que permite el movimiento del agua en el acuífero, de igual manera la transmisividad definida por la capacidad del acuífero para transmitir el flujo de agua a través de su espesor y anchura. (Yampasi, 2019)

Este flujo está determinado por la geometría del espacio poroso, sigue rutas preferenciales de mayor porosidad, como la porosidad primaria con características sedimentarias permitiendo que el flujo del agua circule de forma más fácil, y la porosidad secundaria con formación geológica por meteorización, disolución y fracturación. Estas fracturas permiten un transporte rápido del agua, aunque también existen zonas donde el movimiento es más lento, dependiendo de la conectividad y tamaño de los poros y fracturas. (Moreno, 2019)

Para comprender el movimiento del agua en el balance hidrogeológico se necesita conocer las entradas y salidas de agua en un acuífero. La recarga, que según Figueredo (2019) “Constituye la entrada principal de agua al sistema y es el proceso en el cual se incorpora agua a un acuífero procedente de la zona que lo limita” (p. 2).

Esta acción se clasifica en dos componentes como son la recarga directa, la cual se describe como “el ingreso de agua a la reserva subterránea debido a la percolación vertical directa de la lluvia. Este proceso se origina a partir de los excesos de humedad en el suelo” (Ruiz, 2003, p. 1). Y la recarga por retorno, que se define por “La infiltración en el suelo de agua empleada en

el riego, la cual no es absorbida por las plantas y contribuye a la recarga de los acuíferos subterráneos” (García *et al.*, 2019, p. 1).

Custodio y Llamas (1983) indica que para calcular la recarga existen diversos métodos, dentro de los cuales se encuentra el del balance de cloruros, este método simple implica medir la concentración de cloruros en el agua que entra al acuífero, generalmente a través de la precipitación, y compararla con la concentración en el agua que sale, como en manantiales o pozos. La diferencia revela cuántos cloruros se han acumulado o perdido en el acuífero. Un aumento en la concentración puede indicar recarga, mientras que una disminución podría señalar la descarga. Este enfoque es útil para entender la dinámica del agua subterránea y su interacción con el entorno.

Las salidas del sistema se estiman mediante el proceso de descarga del acuífero, donde el agua subterránea abandona el sistema, entran en juego las extracciones, que se refieren al proceso de retirar agua almacenada debajo de la superficie de la tierra desde el acuífero o capas freáticas. (Calvete, s. f.)

El escurrimiento subterráneo se refiere a la porción del agua que se desplaza a través de las capas superiores del suelo en dirección a los cuerpos de agua. Una fracción de este escurrimiento se incorpora de manera inmediata a las corrientes superficiales, mientras que otra parte requiere un período considerable antes de unirse a ellas. Este componente ejerce influencia en los procesos de recarga y descarga del acuífero, así como en la disponibilidad general del agua. Funciona como un componente esencial del medio hidrogeológico. (Félix, 2009)

Con base en la información recopilada, se han identificado antecedentes relevantes centrados en estudios similares del acuífero Las Sierras, los cuales resultan de gran utilidad para el presente análisis.

En la zona entre los lagos Xolotlán y Cocibolca, vinculada con el acuífero de Tisma, la conexión subterránea entre ellos está influenciada por la presencia de afloramientos de tobas (rocas volcánicas porosas) y los flujos subterráneos de agua que provienen de la zona donde se recarga el acuífero. Esta condición ayuda a evitar que los flujos de agua del lago Xolotlán se mezclen o se introduzcan directamente en la misma área. (Arriola, 2012)

Se ven considerablemente influenciados los diversos procesos subvolcánicos, el flujo profundo en el acuífero Las Sierras se ve afectado. En áreas como Tipitapa, Tisma y la costa suroeste del Lago Cocibolca, se manifiesta el termalismo, con la contribución de elementos como Arsénico, Flúor, Boro, Cloruros, y otros. Por otro lado, indica que el río Tipitapa transcurre por dos entornos tectónicos distintos. La interacción entre los bloques levantados y hundidos, así como el cambio en el régimen de esfuerzo en Hato Grande, influye en cómo se libera y recarga el agua subterránea. Este proceso converge hacia la formación de un sistema acuífero asociado con fracturas y fallas transversales en dirección noreste. (Zamorio, 2018)

También (Martínez y Chevez, 2017) explica que el flujo subterráneo en la zona norte del acuífero Las Sierras se desplaza en direcciones sureste-noroeste y suroeste-noreste, dividiendo el flujo mediante una barrera hidráulica estable. Según el inventario llevado a cabo en la zona se observa una concentración significativa de pozos, los cuales extraen volúmenes considerablemente altos de agua. Esta extracción intensiva genera una depresión en la lámina de agua, provocando un aumento en la profundidad de la capa freática.

Según Hurtado (2012), la vulnerabilidad hidrogeológica de la subcuenca Laguna de Tisma, existen niveles de vulnerabilidad clasificados como baja, media y alta. Además, se observó variabilidad en la profundidad del agua subterránea, dividida en cuatro rangos diferentes. La conductividad del agua también fue categorizada en tres niveles: baja, media y alta.

Los resultados del Balance hídrico de suelos (BHS) evidencian la presencia de condiciones hidrofísicas favorables que aseguran una adecuada oferta de agua para el almacenamiento subterráneo en la zona de estudio. Además, la demanda de agua se encuentra dentro de los límites del aporte disponible, satisfaciendo así las necesidades de riego en las áreas agrícolas y la calidad del agua subterránea es adecuada para su uso en riego, ya que se ajusta a los parámetros establecidos por las Normas Riverside y la FAO. (Morales, 2021)

IV MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del estudio

La investigación se realizó en el noroeste del Acuífero Las Sierras entre los municipios de Tipitapa y Nindirí; priorizando la dirección del flujo de agua subterránea aguas arriba y abajo de la Finca de Validación y Experimentación El Plantel de la Universidad Nacional Agraria. El área delimitada es de 41.81 km², en las coordenadas 599718 E y 1340095 N.

En la figura 2 se presenta el mapa de ubicación del área de estudio del balance hidrogeológico.

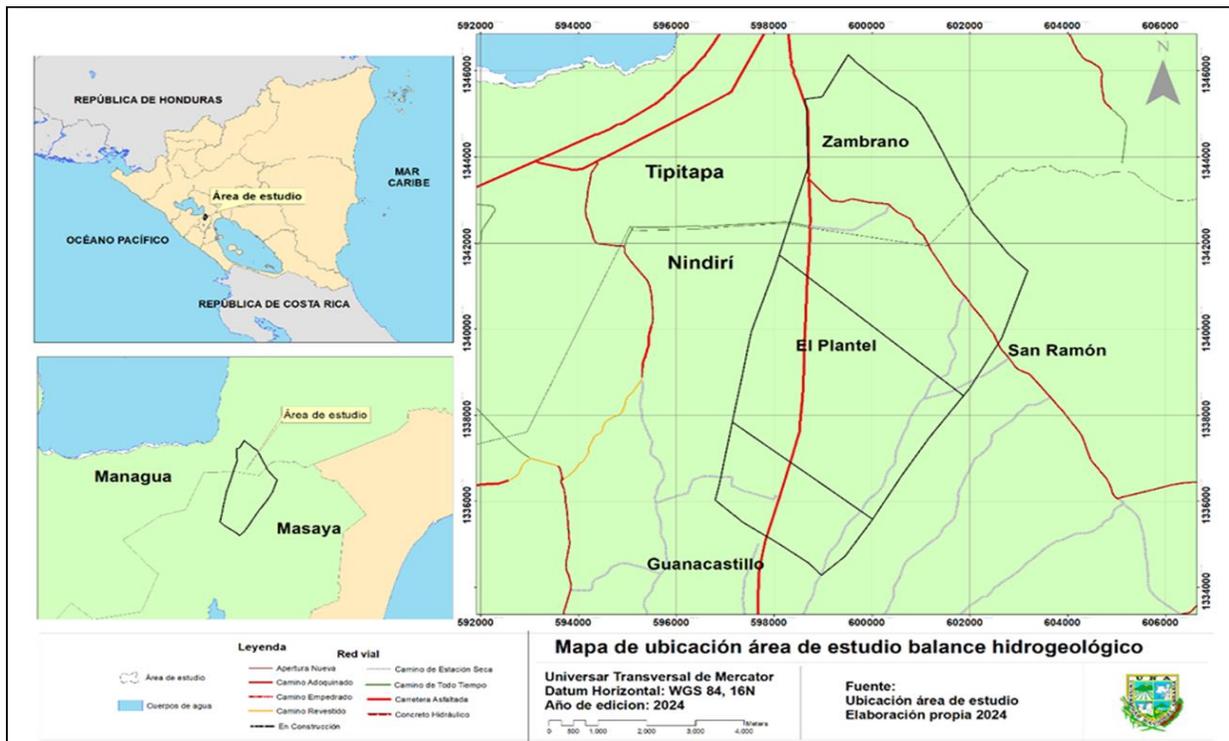


Figura 2 Ubicación área de estudio.

Según los registros históricos del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), establece que en la región del acuífero Las Sierras las temperaturas medias anuales son de 27 a 28 grados Celsius. Y, la estación meteorológica Augusto C. Sandino indica que en el registro desde el año 2000 a 2022 las precipitaciones medias anuales son de 1400 mm. (Membreño, 2022)

4.2. Diseño Metodológico

4.2.1. Revisión de fuentes secundarias o base de datos

Se consultó bibliografía relevante sobre los siguientes parámetros importantes. Estos incluyen el caudal total de las extracciones de agua subterránea y superficial en Nicaragua durante el año. Además, se utilizó la caracterización geológica del acuífero Las Sierras, basada en el modelamiento numérico. (Arriola, 2012)

También se consideró la dirección del flujo subterráneo en dirección noroeste dentro del acuífero Las Sierras. Por otro lado, se consultaron los niveles de conductividad hidráulica clasificados como alta, media y baja, así como la caracterización de la oferta, demanda y calidad del agua subterránea para riego en El Plantel. (Morales, 2021)

En cuanto a la litología, la caracterización geológica del área de estudio incluyó la recopilación de datos de los perfiles estratigráficos correspondientes a los tres pozos ubicados aguas arriba (Guanacastillo), en el centro (El Plantel) y aguas abajo (Zambrano) del área de estudio, nombrados como pozo-1, pozo-2 y pozo-3. Utilizando los programas QGIS y LibreCAD, se generó una representación gráfica de los perfiles de los pozos, la cual muestra las distancias en el eje de las abscisas y las elevaciones en el eje de las ordenadas, expresadas en metros sobre el nivel del mar. Además, se aplicó una escala de 1:40 para destacar las características topográficas geológicas. Los datos de prueba de bombeo de los pozos 1, 2 y 3 son los siguientes.

Cuadro 1. Características generales de los pozos de interés en el área de estudio

Datos	P-1	P-2	P-3
Coordenada X	597705	599237	598618
Coordenada Y	1334046	1339903	1344167
NEA (m)	99.59	51.66	29.2
Profundidad total (m)	169.164	152.40	91.44
Caudal (m ³ /h)	0.97	148.99	43.15
Abatimiento máximo (m)	4.55	21.41	22.50
Capacidad específica (m ³ /h)/m	0.21	6.96	1.92
Tiempo de bombeo (h)	10	17	12

Nota: Los datos del pozo 2 representan el caudal máximo, el abatimiento máximo y la duración total de la prueba de bombeo escalonada realizada en este.

4.3. Metodología

4.3.1. Criterios para delimitar el área de estudio

Para definir el área de estudio se utilizó el mapa hidrogeológico del acuífero Las Sierras; donde se identificaron dos líneas piezométricas dentro del área de influencia del flujo de agua entre la finca experimental El Plantel siguiendo la dirección del flujo, aguas arriba hacia aguas abajo. Se trazaron líneas perpendiculares entre las líneas piezométricas hasta formar un polígono con un área de 41.81 km². Es importante mencionar que el pozo ubicado en Guanacastillo (P-1) se encuentra agua arriba que la línea piezométrica de referencia de delimitación del área (línea 80); sin embargo, se consideró en el estudio debido a que, brindaba la información sobre litología y prueba de bombeo completa, que fue útil para los análisis hidráulicos de los pozos (Cuadro 1).

4.3.2. Selección de puntos de muestreo

Se seleccionaron tres puntos de muestreo siguiendo la dirección del flujo subterráneo, ubicados estratégicamente en tres zonas clave del área de estudio: Guanacastillo (zona alta), El Plantel (zona media) y San Ramón, Zambrano (zona baja). En cada uno de estos puntos se instalaron recolectores de agua de lluvia, y se asignaron tres pozos para toma de muestras de agua que represente las características hidráulicas cada zona del área de estudio (Anexo 10).

4.3.3. Recolección de datos de campo

Se recolectaron muestras de agua de lluvia de los recolectores de lluvia artesanales (galones de plástico) en las tres zonas establecidas y muestras de agua subterránea de los pozos desde agosto hasta diciembre de 2023. Es importante mencionar, que no se tomaron muestras de lluvia en los recolectores en septiembre debido a la falta de precipitaciones, y tampoco se registraron datos del pozo ubicado en San Ramón. En septiembre, octubre y diciembre del 2023, tampoco se tomaron muestras de agua en el pozo ubicado en Guanacastillo. Las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de Suelo y Agua (LABSA) de la Universidad Nacional Agraria para el análisis de cloruros. Esta información se utilizó en el cálculo de la recarga directa mediante el método del balance de masa del cloruro.

4.4. Procesamiento de datos

4.4.1. Entradas

Recarga directa por el método Balance de Masa del Cloruro (BMC)

Para calcular la recarga directa como medio de entrada se utilizó el BMC. Se tomaron en cuenta las muestras de lluvia de los recolectores en los puntos de muestreo establecidos, comparándolos con el contenido de cloruros de la muestra de agua de cada pozo seleccionado. Utilizando como supuesto de este método que, todo el cloruro del agua subterránea se origina en las precipitaciones y el cloruro de la escorrentía es despreciable. Se utilizó la ecuación propuesta en Barua *et al.*, (2020) donde el cálculo de la recarga neta en mm/año es:

$$R_{neta} = P * \left(\frac{Cl_P}{Cl_{AW}} \right)$$

Donde:

Rneta: recarga neta (mm/año).

P: valor de precipitación mensual al 75% probabilidad ocurrencia de un periodo de 30 años (mm/año).

Cl_P: concentración de cloruro de la precipitación (mg/litro).

Cl_{AW}: concentración de cloruro en el agua subterránea (mg/litro).

Las precipitaciones anuales se determinaron a partir de los registros meteorológicos de los últimos 30 años de la estación del Aeropuerto Augusto C. Sandino, identificada con el código 69027 asignado por Instituto Nacional de Estudios Territoriales (INETER) y localizada en las coordenadas 590174.23 E, 1342657.54 N. Con base en estos datos, se estimaron los valores mensuales considerando una probabilidad de ocurrencia del 75% (Gámez, 2009). Posteriormente, los valores utilizados se centraron en los meses de agosto a diciembre, correspondientes a las fechas de recolección de datos.

Para calcular la recarga neta, se multiplicaron las precipitaciones mensuales de los meses seleccionados por la concentración de cloruro en la lluvia y en los pozos. El valor total de recarga

se obtuvo sumando las recargas de cada zona y multiplicando este resultado por el área total de la región, que es de 41.81 km². Finalmente, los valores de recarga, expresados inicialmente en mm anuales, se convirtieron a m³ anuales.

Recarga por retorno

Para calcular la recarga por retorno, se utilizó un método propuesto por Flores (2004). Este método se basa en el tipo de suelo presente en el área de estudio y dado que la capa superior de los suelos es de textura franco arcillosa, se asumió una recarga por retorno equivalente al 20% del volumen total de agua utilizada para consumo agrícola y agropecuario en la región.

En el método se consideró utilizar datos de textura de suelo en Salas y Espinoza (2024) descrito en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Ubicación y textura de los perfiles de suelo.

Sitio	Coordenada X	Coordenada Y	Texturas
Perfil #1 Zambrano	600816	1212078	Arcillosa
Perfil #2 Guanacastillo	597378	1334777	Franco arcillosa
Perfil #3 Zambrano 2	692743	1339697	Franco arcillosa

Fuente: Salas y Espinoza (2024).

Escurrimiento subterráneo de entrada

Para el cálculo del escurrimiento subterráneo de entrada se utilizará la ecuación de la ley de Darcy por Hiscock (2005), considerando la dirección del flujo desde el pozo-1 hasta el pozo-2 Donde se tomó como referencia

$$Q = TiL \text{ (m}^3\text{/día)}$$

Donde

Q: es el Flujo subterráneo de entrada (m³/día).

T: valor de Transmisividad en el pozo-1 (m²/día).

L: ancho de la descarga de entrada (m).

I: gradiente hidráulico entre pozo-1 y el pozo-2.

Donde el gradiente hidráulico se calcula con la siguiente ecuación:

$$i = \left(\frac{h_1 - h_2}{l} \right)$$

Dónde:

hi: nivel piezométrico del pozo-1.

h2: nivel piezométrico del pozo-2 (El Plantel).

l: distancia entre pozo-1 y pozo-2.

El cálculo del valor de transmisividad se realizó con el software AQTEsolv Pro, utilizando los datos de los pozos presentados en el (Cuadro 1).

El cálculo del espesor saturado de ambos pozos se realizó mediante la fórmula siguiente:

$$b = P - NEA$$

Donde:

b: espesor saturado (m).

P: profundidad total del pozo (m).

NEA: nivel estático del agua (m).

El ancho de la descarga se determinó considerando las líneas piezométricas, que son perpendiculares al flujo de entrada y salida, basándonos en la distancia media entre cada pozo.

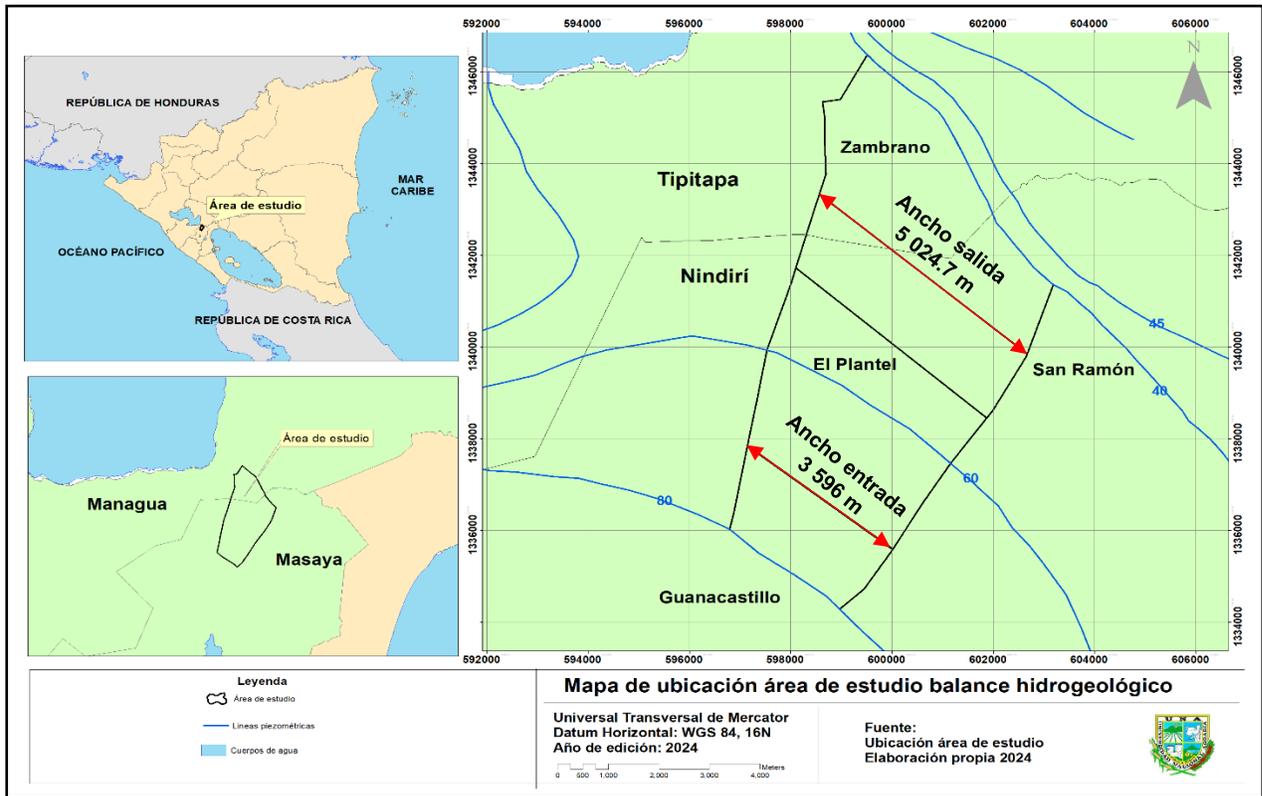


Figura 3 Ancho de la descarga del escurrimiento subterráneo de entrada y de salida.

4.4.2. Salidas

Extracciones por bombeo

Se empleó información proveniente de la plataforma virtual de [Autoridad Nacional del Agua, ANA, (2023)] para revelar el volumen del caudal de extracciones de pozos enfocados en consumo humano, industrial y agropecuario ubicados en el área de estudio.

Escurrecimiento subterráneo de salida

En este apartado se retoma el cálculo del escurrimiento subterráneo, esta vez enfocado en el flujo de salida del acuífero. Para ello, se ha utilizado la ecuación previamente presentada en el cálculo del flujo de entrada, aplicándola con los parámetros correspondientes al área de descarga. El flujo de salida se estima a partir de la transmisividad del pozo 3, el gradiente hidráulico entre los pozos 2 y 3, y el ancho de la descarga de salida (zona baja).

El gradiente hidráulico se obtiene evaluando la diferencia de nivel piezométrico entre los pozos 2 y 3, considerando la distancia entre ellos.

4.4.3. Balance hidrogeológico

Para determinar el balance hidrogeológico se aplicó metodología integral considerando estos parámetros para evaluar de manera completa el comportamiento hidrogeológico en el área de estudio delimitada, brindando información detallada sobre la interacción entre las entradas y salidas de agua subterránea.

$$\text{Ecuación: } (RP + Rr + E_{\text{sub entrada}}) - (B + E_{\text{sub salida}}) = \Delta S$$

Entrada:

Rp: recarga directa.

Rr: recarga por retorno.

Esub: escurrimiento subterráneo de entrada.

Salidas:

B: bombeo, (volumen de extracción).

Esub: escurrimiento subterráneo de salida.

V RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Medio Hidrogeológico del área de estudio

En la figura 4, se presenta el mapa geológico y fallas del área de estudio. El mapa revela la presencia de rocas volcánicas como lavas, tobas, cenizas, aglomerados, y escorias basálticas y andesíticas-basálticas, indicando una historia geológica marcada por actividad ígnea. Asimismo, se identifican sedimentos consolidados, tales como guijarros, arenas, suelos arenosos, y arcillas, reflejando procesos sedimentarios a lo largo del tiempo (Fenzl, 1989).

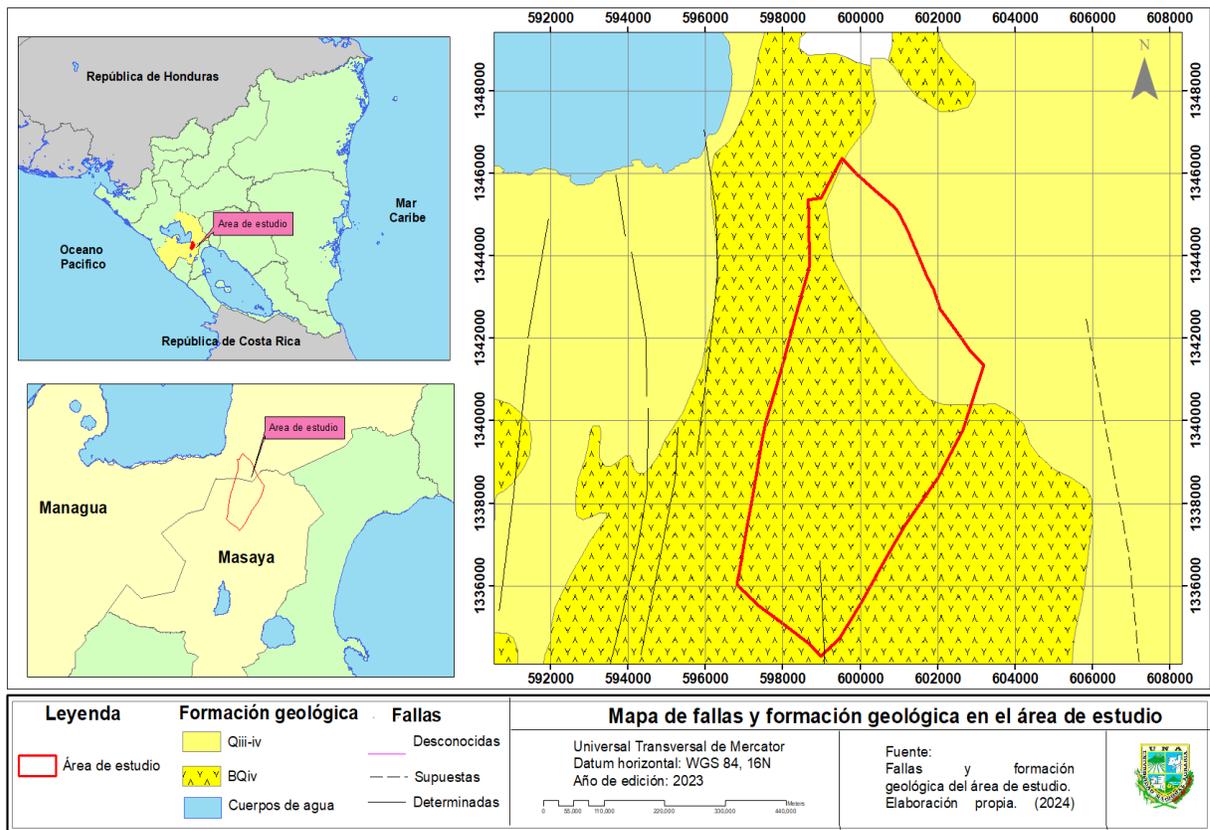


Figura 4 Mapa geológico del área de estudio.

Se observan fallas supuestas y determinadas, pueden desempeñar un doble papel en el comportamiento del flujo subterráneo. Por un lado, pueden actuar como conductos que favorecen el movimiento del agua a través de las fracturas. Por otro lado, dependiendo de sus características, también pueden funcionar como barreras naturales, influyendo en la dirección y el comportamiento del flujo en el acuífero.

Perfil litológico

La figura 5 muestra el perfil litológico de los pozos 1, 2, 3 ubicados en el área de estudio.

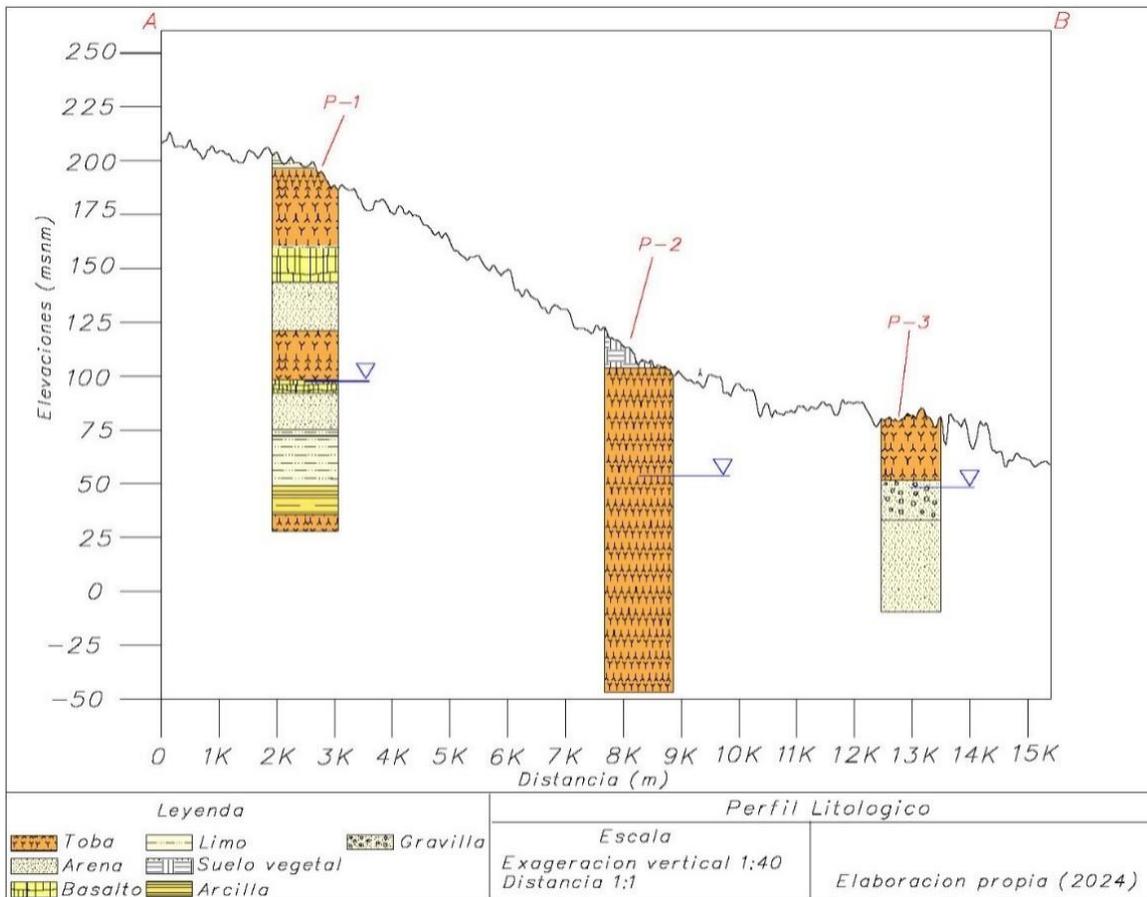


Figura 5 Perfil litológico de los 3 pozos identificados en el área de estudio

El pozo-1 presenta una secuencia geológica compuesta principalmente de materiales volcánicos, incluyendo una capa de suelo vegetal y limo, Debajo de estas capas, aparece una secuencia de arena y toba que facilita el almacenamiento y movimiento del agua. Más profundamente, se encuentra una capa de arcilla, que actúa como una barrera impermeable y finalmente basalto cuya capacidad para conducir agua depende de su nivel de fracturación, pero en general, actúa como un límite semipermeable.

En el pozo-2 predomina la toba, que es un material poroso, permite la acumulación y circulación de agua subterránea, favoreciendo el flujo horizontal del agua a través de sus poros y fisuras. Y finalmente el pozo-3 presenta una secuencia de limo, arena y gravilla, con una base de toba y

una capa superior de suelo vegetal. La presencia de materiales granulares como la gravilla y arena indica zonas de alta permeabilidad.

Los perfiles litológicos de los pozos P-1, P-2 y P-3 evidencian diferencias en las características del acuífero en el área de estudio. En el pozo 1, ubicado en la parte alta, el acuífero presenta condiciones generales de un sistema libre; sin embargo, la presencia de lentes de arcilla altera su comportamiento local, configurándolo como un acuífero semiconfinado. Por otro lado, en el pozo 3, que está más cerca de la descarga, el acuífero es libre.

5.2. Parámetros hidrogeológicos del área de estudio

Las siguientes figuras muestran los valores de transmisividad calculados con el programa AQTEsolv pro en función de los 3 pozos ubicados en el área de estudio.

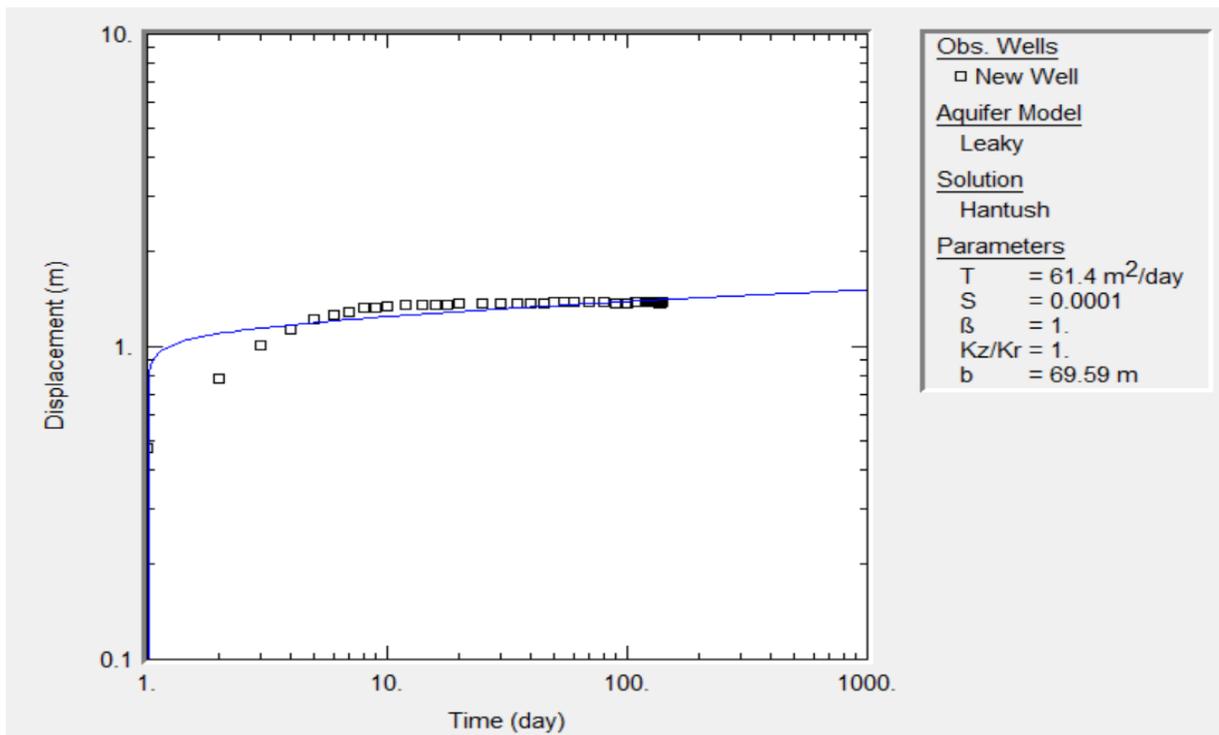


Figura 6 Cálculo de transmisividad con AQTEsolv pro pozo 1.

De igual manera la figura 7 muestra el valor de transmisividad en el pozo 2 calculado por el método de Hantush.

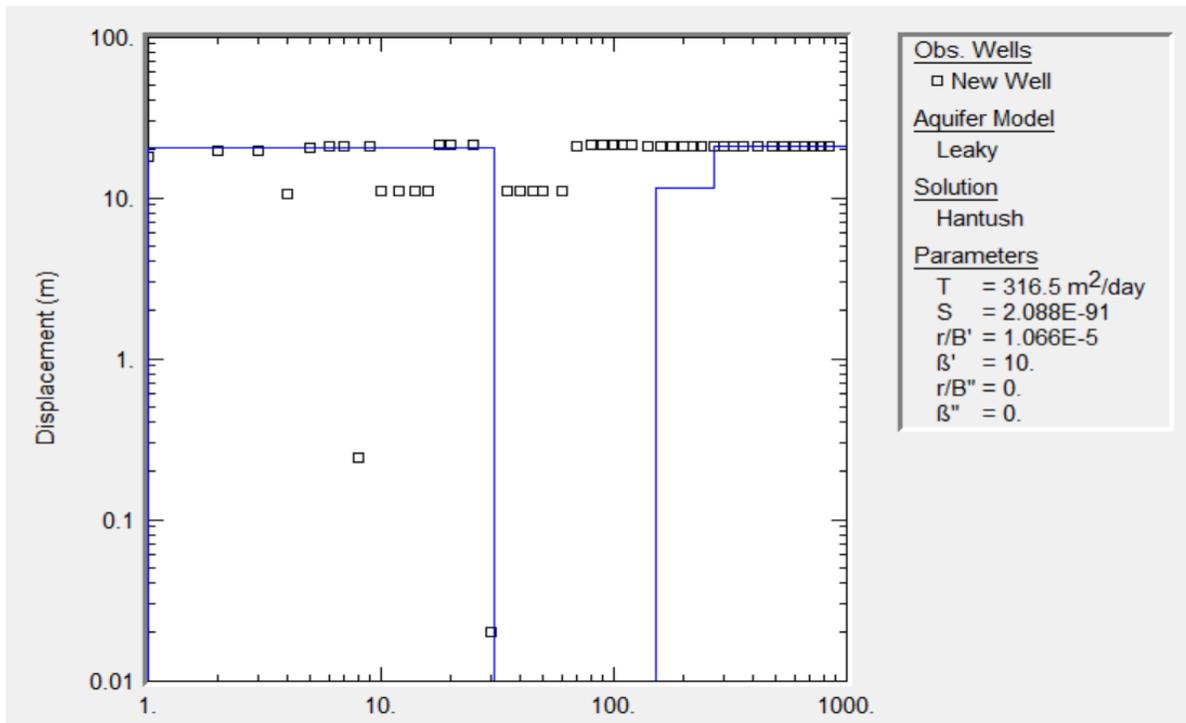


Figura 7 Cálculo de la transmisividad con AQTEsolv pro del pozo 2.

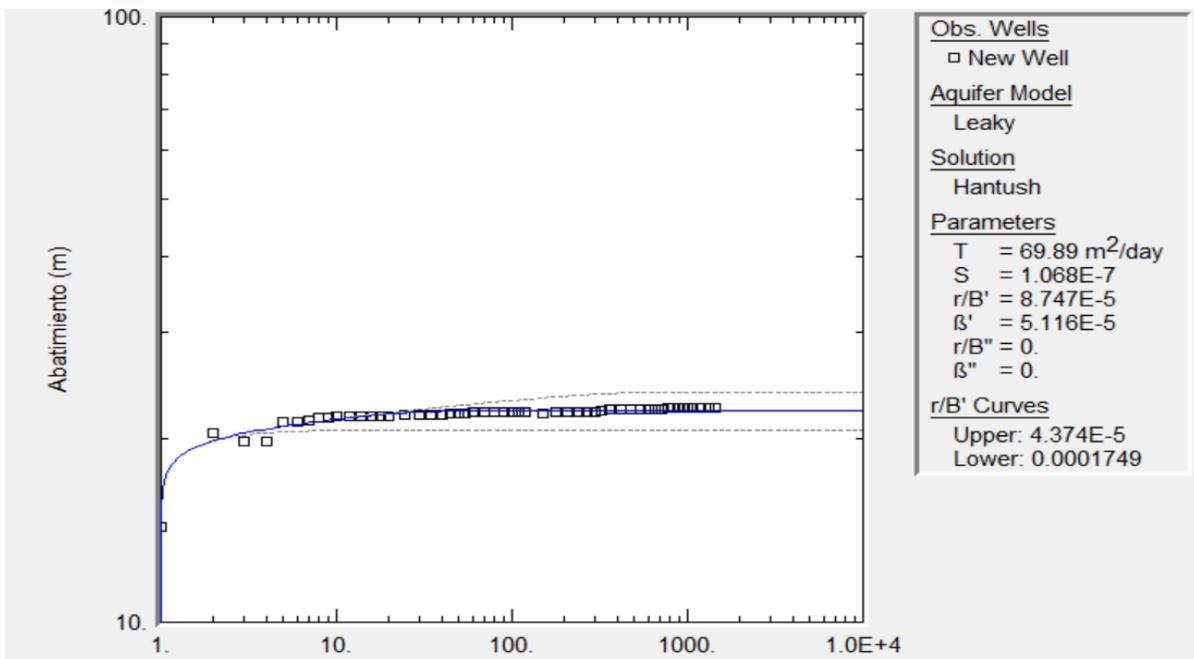


Figura 8 Cálculo transmisividad con AQTEsolv pro del pozo-3.

El cuadro 3 representa las pruebas realizadas, en función de los valores de transmisividad y espesor saturado de los 3 pozos.

Cuadro 3. Características hidráulicas del pozo-1, pozo 2 y pozo 3.

Parámetro	Pozo - 1	Pozo - 2	Pozo - 3
Transmisividad (m ² /día)	61.4	316.5	69.89
Espesor (m)	62.18	100.74	69.59

Cuadro 4. Representación de la transmisividad.

Clase de Transmisividad	Coefficiente de Transmisividad (m²/día)	Rango de Transmisividad	Posibilidades del acuífero
I	>1000	Muy alta	Pozos superiores 100 l/s con 10 m depresión teórica
II	500-1000	Alta	Pozos entre 50 y 100 l/s con 10 m de depresión teórica
III	100-500	Media a alta	Pozos entre 10 y 50 l/s con 10 m de depresión teórica
IV	10-100	Moderada	Pozos entre 1 y 10 l/s con 10 m de depresión teórica
V	1-10	Baja	Pozos menos 1 l/s y 10 m depresión teórica

Fuente: Villanueva y Iglesias (s. f.)

Los resultados indican que los valores de transmisividad de los pozos 1 y 3 están estrechamente relacionados, situándose dentro de un rango moderado a bueno según su transmisividad. En contraste, el pozo 2 presenta un valor más elevado, clasificado en un rango medio a alto en

m²/día, lo que sugiere que este pozo tiene una mayor capacidad para transmitir agua dentro del acuífero

Según Krásný (1998), los valores de transmisividad que se encuentran en el rango de 69 m²/día se pueden clasificar dentro de una categoría de transmisividad moderada, correspondiente a la clase tipo IV. Este rango indica que el acuífero tiene una capacidad de transmisión de agua es media. En términos prácticos, esto significa que el acuífero tiene una capacidad moderada para permitir el flujo de agua a través de su sección transversal.

Por otro lado, Benavides *et al.*, (2021) señala que "valores de transmisividad que oscilan entre 100 y 500 m²/día corresponden a acuíferos de productividad media a alta" (p.45). En la zona media, la alta productividad del acuífero está vinculada tanto a sus características geológicas, propias de un sistema libre, como a los valores de transmisividad registrados, que favorecen el movimiento y almacenamiento de agua subterránea

5.3. Recarga directa por el método Balance de Masa del Cloruro (BMC).

El Cuadro 5 muestra la recarga directa calculada por BMC, expresada tanto en mm/año y m³/año. Para este cálculo, se ha considerado un área de 41 807 800.19 m², que ha sido dividida en tres zonas de estudio

Cuadro 5. Recarga directa del área de estudio

Zonas	Recarga (mm/a)	Área (m ²)	Recarga (Mm ³ /a)
Zona alta	37.65	5 373 138.00	0.20
Zona media	120.95	15 194 688.95	1.84
Zona baja	73.99	21 239 973.24	1.57
Suma	232.60	41 807 800.19	3.61

La recarga en la zona alta fue de 0.20 Mm³/año correspondiente a un área de 5 373 138 m². Este valor relativamente bajo puede estar asociado a la litología del área, compuesta principalmente por materiales volcánicos masivos, como basaltos y tobas. Estos materiales, aunque tienen una porosidad secundaria derivada de fracturas, tienden a ser menos permeables en su matriz, lo que limita la capacidad de fluir y almacenar agua en el medio hidrogeológico. Según Hurtado (2012), "el terreno en esta zona presenta una pendiente moderada cercana entre 6 a 8%, lo que dificulta

la infiltración hacia el acuífero y favorece el desplazamiento del agua hacia áreas más bajas” (p. 12).

En la zona media se registra la mayor recarga directa, con 1.84 Mm³/año, equivalente a un área de 15 194 688.95 m². Aunque la litología de esta zona está dominada por tobas, que son menos permeables que materiales como arenas o limos, las fracturas en las tobas han favorecido una mayor infiltración de agua. Según Plata (2000), los valores de conductividad aumentan a medida que son más cercanos al lago Xolotlán, lo que sugiere que este fenómeno podría estar relacionado con la influencia de las precipitaciones cargadas de sales disueltas provenientes del lago, afectando los niveles de cloruros en la zona.

La recarga en la zona baja fue de 1.57 Mm³, a cubrir un área de 21 239 973.24 m². Este valor es casi tan alto como el de la zona media. Esto se explica por la proximidad al Lago Xolotlán, que altera la conductividad hidráulica y contribuye a una mayor concentración de cloruros en el agua subterránea, afectando así tanto la calidad como la eficiencia de la recarga en esta región.

5.4. Recarga por retorno

El cuadro 6 muestra el valor de la recarga por retorno en la región, calculado a partir del volumen total de agua destinado a los usos agrícolas y agropecuarios.

Cuadro 6. Recarga por retorno

Uso	Volumen Mm³/año
Consumo agrícola y agropecuario	0.50
Recarga por retorno	0.10

En la región norte del acuífero Las Sierras predominan los suelos franco arcillosos, arcillosos y arcillo arenosos. Estos suelos se han formado a partir de sedimentos dejados por las constantes crecidas e inundaciones de los cuerpos de agua en la depresión nicaragüense. La composición de estos suelos influye en la capacidad de infiltración (Arriola, 2012).

El cuadro 6 expresa la recarga por retorno de año con un valor de 0.10 Mm³/año. Este dato representa la cantidad de agua que, después de ser utilizada para fines agrícolas y agropecuarios, se reincorpora al acuífero a través de la infiltración en el suelo. La textura franco arcillosa del

suelo influye en la eficiencia del proceso de infiltración, esta textura permite que una proporción significativa del agua aplicada se infiltre y recargue el acuífero, mientras que el resto se retiene en el suelo.

5.5. Esgurrimiento subterráneo entrada

El cuadro 7 detalla los resultados del esgurrimiento subterráneo de entrada, analizando el flujo desde la zona alta hasta la zona media del área de estudio y considerando las distancias entre el pozo 1 y el pozo 2.

Cuadro 7. Esgurrimiento subterráneo de entrada

Parámetros	Valores
NEA pozo-1 (m)	99.59
NEA pozo-2 (m)	51.37
Distancia pozo 1 - 2 (m)	5 772.35
Ancho de la descarga (m)	3 596
Transmisividad pozo-1 (m ² /día)	61.4
Gradiente hidráulico pozo 1-2	0.0084
Esgurrimiento subterráneo (m ³ /día)	1 854.67
Esgurrimiento subterráneo (Mm ³ /anuales)	0.68

El gradiente hidráulico obtenido entre el pozo 1 y el pozo 2 es de 0.0084. Este valor indica que, por cada metro de distancia horizontal entre los pozos, hay una diferencia de aproximadamente 0.0084 metros en los niveles de agua. Este gradiente relativamente bajo sugiere que el movimiento del agua en el acuífero es lento.

Un ancho de descarga de 3 596 m en la zona alta de la región facilita una distribución más uniforme del agua a lo largo de esta extensión. Este valor considerable indica que el acuífero cuenta con una amplia área de influencia en el flujo de agua.

El esgurrimiento subterráneo registrado de 1 854.67 m³/día, que equivale a 0.68 Mm³/año, representa un volumen considerable de agua que ingresa al acuífero en la zona de estudio. Este

caudal de entrada es indicativo de una capacidad significativa del sistema acuífero para recibir y transportar agua subterránea, lo que es crucial para su balance hídrico.

5.6. Extracciones de agua por bombeo

En el Cuadro 8 se detallan las extracciones de agua subterránea por bombeo de los pozos identificados en el área de estudio de acuerdo con la información brindada por la Autoridad Nacional del Agua en la Plataforma SiAgua.

Cuadro 8. Extracciones por bombeo de la región

Uso	Volumen Mm ³ /año
Consumo industrial	0.07
Consumo humano	0.93
Consumo agrícola	0.37
Consumo humano e industrial	0.04
Consumo industrial y agropecuario	0.10
Consumo agropecuario	0.13
Consumo humano, industrial y agropecuario	0.03
Total	1.67

Fuente: ANA (2023).

El estudio del volumen de extracciones de agua subterránea por bombeo revela un total de 1.67 Mm³/año, con el consumo humano representando la mayor parte de estas extracciones, seguido por el uso agrícola e industrial. Esta situación destaca la vital importancia del acuífero Las Sierras como fuente principal de agua para la población y para las actividades económicas de la región.

5.7. Escurrimiento subterráneo de salida

El Cuadro 9 presenta los resultados del escurrimiento subterráneo de entrada, analizando el flujo desde la zona alta hasta la zona media del área de estudio, tomando en cuenta las distancias entre los pozos 2 y 3.

Cuadro 9. Escurrimiento subterráneo de salida

Parámetros	Valores
NEA pozo-2 (m)	51.37
NEA pozo-3 (m)	29.2
Distancia pozo 2 - 3 (m)	4 689.23
Ancho de la descarga (m)	5 024.7
Transmisividad pozo-3 (m ² /día)	68.89
Gradiente hidráulico pozo 2-3	0.0047
Flujo subterráneo (m ³ /día)	1 626.91
Flujo subterráneo (Mm ³ /anuales)	0.59

El gradiente hidráulico entre el pozo 2 y el pozo 3 es de 0.0047, lo que indica que, por cada metro de distancia horizontal entre los pozos, hay una diferencia de 0.0047 metros en los niveles de agua. Este valor es más bajo en comparación con el gradiente entre los pozos 1 y 2, lo que sugiere un flujo de agua más lento en esta parte del acuífero.

El ancho de descarga, que es de 5 024.7 m en la zona media-baja del área de estudio, permite una mayor dispersión del agua subterránea a lo largo de esa distancia, lo que facilita que el flujo se distribuya sobre una superficie más extensa.

El escurrimiento subterráneo en esta sección es de 1 626.91 m³/día, lo que equivale a 0.59 Mm³/año. Este volumen es menor que el flujo de entrada registrado entre los pozos 1 y 2, lo que podría indicar una disminución en la cantidad de agua que sale del sistema.

5.8. Balance hidrogeológico

El cuadro 10 presenta el análisis del balance hidrogeológico realizado en el área de estudio refleja la interacción entre las entradas y salidas de agua subterránea en el área de estudio. Este balance proporciona una visión integral de la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo, tomando en cuenta factores clave como la recarga directa, la recarga por retorno, el escurrimiento subterráneo de entrada y salida, así como las extracciones por bombeo.

Cuadro 10. Balance hidrogeológico del área de estudio

Entradas	Mm³/año
Recarga directa	3.61
Recarga por retorno	0.10
Escurrimiento subterráneo de entrada	0.68
Total entrada	4.39
Salidas	
Extracciones de pozos	1.67
Escurrimiento subterráneo de salida	0.59
Total salida	2.26
Variación almacenamiento	2.13

El balance hidrogeológico del área de estudio pone en evidencia la interacción entre las entradas y salidas del acuífero, destacando las variaciones en la recarga, el escurrimiento subterráneo y las extracciones. La zona media, en El Plantel, con su mayor capacidad de recarga y condiciones geológicas favorables, resulta crucial para la reposición de las reservas subterráneas. En cambio, la zona alta, en Guanacastillo, y la zona baja, en Zambrano y San Ramón, aunque también aportan al sistema, dependen en mayor medida del escurrimiento subterráneo para mantener sus niveles de agua.

El gradiente hidráulico y las características de los suelos de la zona baja hacen que el flujo subterráneo sea más lento. Aun así, el agua que llega de las zonas altas se distribuye a lo largo del acuífero y ayuda a compensar las partes donde la recarga es menor, a pesar de que las entradas superan las salidas, las extracciones por bombeo, destinadas al consumo humano, industrial y agrícola, ejercen una presión considerable sobre el sistema, especialmente en las zonas con recarga limitada.

Aunque actualmente las entradas de agua son superiores a las salidas, un aumento en el volumen de extracciones podría resultar en una disminución de los niveles freáticos. Esta situación podría comprometer no solo la disponibilidad de agua para el consumo humano y agrícola, sino también la estabilidad del acuífero en su conjunto.

En su estado actual, el balance hidrogeológico muestra un resultado positivo, ya que las entradas de agua superan las salidas. Sin embargo, para garantizar la sostenibilidad del acuífero con fines de riego, será necesario gestionar las extracciones, sobre todo en aquellas áreas donde la recarga es menor. Para optimizar el uso del agua subterránea y evitar la sobreexplotación en las zonas más vulnerables, se debería priorizar el riego en la zona media, donde la capacidad de recarga es mayor.

VI CONCLUSIONES

1. La geología del área, compuesta por materiales ígneos y sedimentarios, junto con una alta transmisividad, indica un acuífero de moderada a alta capacidad para almacenar y transmitir agua.
2. Con un 82% del aporte total, la recarga directa es la principal fuente de agua para el acuífero. La zona media, donde se encuentra El Plantel, registra los niveles más altos de recarga.
3. El balance hidrogeológico indica que las entradas de agua superan a las salidas, con una variación de almacenamiento de $2.12 \text{ Mm}^3/\text{año}$, indicativo de la notable capacidad de recarga y almacenamiento del acuífero. Esto asegura un suministro hídrico constante para el desarrollo de la actividad agrícola.

VII RECOMENDACIONES

1. Llevar a cabo estudios periódicos del balance hidrogeológico para evaluar las variaciones en las entradas y salidas de agua del acuífero. Estos estudios deben incluir el monitoreo de niveles freáticos, recargas y extracciones.
2. Realizar estudios que evalúen la calidad del agua en la región, con el objetivo de garantizar fuentes de agua potable para la población y calidad de agua para actividades de riego.
3. Recopilación de datos durante más de dos años al aplicar el método del balance de masa del cloruro, ya que esto permite la evaluación de las variaciones en periodos más amplio de tiempo.

VIII LITERATURA CITADA

- Arriola, P. M. (2012). *Modelamiento numérico de la dinámica de flujo subterráneo del acuífero de Tisma, para evaluar la conectividad entre los lagos Xolotlán y Cocibolca* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unan.edu.ni/2408/>
- Autoridad Nacional del Agua. (22 de octubre de 2023). *Aprovechamiento subterráneo*. <https://aguaysaneamiento.info.ni/nimbu/mapas.html?tema=>
- Barua, S., Cartwright, I., Dresel, E. P., & Daly, E. (2020). *Using multiple methods to understand groundwater recharge in a semi-arid area*. Monash University. <https://hess.copernicus.org/preprints/hess-2020-143/hess-2020-143.pdf>
- Benavides Guerrero, C. E., Caro Caro, L. E. y Martínez Mariño, J. E. (2021). Determinación del comportamiento hidráulico de los acuíferos del norte de la Orinoquia, Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(1), 109-126. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702021000100109
- Calvete, J. S. (s. f.). *Evaluación de las extracciones de agua subterránea mediante balance hídricos*. Universidad de la Coruña. https://www.igme.es/igme/publica/libros2_TH/art2/pdf/evaluacio3.pdf
- Instituto Nacional de Información de Desarrollo y Ministerio Agropecuario y Forestal. (2012). *Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO)*. <https://www.inide.gob.ni/docs/Cenagro/INFIVCENAGRO/IVCENAGROINFORME/assets/common/downloads/Informe%20Final%20IV%20CENAGRO.pdf>
- Custodio, E. y Llamas, R. M. (1983). *Hidrología Subterránea* (2. ed.). <https://us.docworkspace.com/d/sIE7NmMXKAcew3K0G>
- Chicas Soto, R. A., Vanegas Chacón, E. A. y García Álvarez, N. (2014). Determinación indirecta de la capacidad de retención de humedad en suelos de la subcuenca del río Torjá, Chiquimula, Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(1), 41-46. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542014000100007
- Félix Salas, F. B. (2009). *Análisis del escurrimiento de la cuenca del río San Miguel, Sonora, México* [Tesis de Maestría, Universidad de Sonora]. Repositorio Institucional. <http://repositorioinstitucional.uson.mx/handle/20.500.12984/7122>
- Fenzl, N. (1989). *Geografía, Clima, Geología y Hidrogeología*. https://estunaedumy.sharepoint.com/personal/raquel_izaba_ci_una_edu_ni/_layouts/15/onedrive.aspx?id=%2Fpersonal%2Frael_izaba_ci_una_edu_ni%2FD
- Figueredo Pan, J. L. (2019). *Metodología para determinar zonas de recarga hídrica en municipios o comunidades con recursos financieros limitados*. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/34946>

- Flores Meza, Y. (2004). *Criterios hidrogeológicos para la formulación del plan de gestión en el acuífero del valle de Sébaco* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma De Nicaragua, Managua]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/2357/>
- Gámez Morales, W. R. (2009). *Texto básico de hidrología*. (1. ed.). <https://cenida.una.edu.ni/textos/np10g192.pdf>
- García Sánchez, E., Andreu Rodes, J. M., Pulido Bosch, A., Jordán, M. M. y Navarro, J. (2019). *Estimación de la recarga en el acuífero de Aspe*. Universitat d'Alacant. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/88507>
- Gavilán, S. (2019). *Modelado del balance hídrico a partir de datos satelitales y meteorológicos para el análisis de los flujos superficiales del ciclo hidrológico* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata]. Repositorio Institucional. <https://doi.org/10.35537/10915/74374>
- Hiscock, K. M. (2005). *Hydrogeology: Principles and practice*. Blackwell Publishing. <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-hydrogeologyprinciplesandpractice.pdf>
- Hurtado Rojas, J. J. (2012). *Estudio de vulnerabilidad hidrogeológica de la subcuenca laguna de Tisma, utilizando el método Drastic* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional. <https://ribuni.uni.edu.ni/1194/>
- Jiménez Valencia, G., Félix Mera, J. E. y Alarcón Loor, J. R. (2019). Cuantificación de la recarga de agua en el sistema de riego Catarama mediante Modelo Renata. *Revista La Técnica*, (21), 31-44. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7018032.pdf>
- Krásný, J. y Hecht, G. (1998). *Estudios hidrogeológicos e hidroquímicos de la Región del Pacífico de Nicaragua*. <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UNANI.015328>
- Martínez Ruiz, D. A. y Chevez Rodríguez, M. I. (2017). *Caracterización hidrogeológica de la parte noroeste del acuífero Las Sierras* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua]. Repositorio Institucional <https://repositorio.unan.edu.ni/8331/>
- Membreño Castillo, K. D. y Arauz Martinez, B. J. (2022). *Documentación de las condiciones edafoclimáticas y evaluación del sistema de riego por aspersión, finca El Plantel 2020-2021* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/4558/>
- Microsoft Designer. (10 de Enero de 2024). *Representación del balance hidrogeológico*. https://login.microsoftonline.com/common/oauth2/v2.0/authorize?client_id=d85cc9fb-e599-480f-b999-d531be6472f0&scope=openid%20profile%20offline_ac

- Morales, K. L. (2021). *Caracterización de la oferta, demanda y calidad del agua subterránea para riego en El Plantel* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/4412/>
- Moreno Rojas, A. M. (2019). *Efectos del cambio de uso de suelo en la capacidad de recarga de agua subterránea en la cuenca del Río Teusacá, subcuenca hidrográfica del Río Bogotá*. <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/9b7e7adb-6b2e-4b63-9c69-d22564c123b7>
- Plata Berdman, A., Araguás, L., Avilés García, J. y Peña Martínez, R. (2000). *Relación entre el lago de Managua (Nicaragua) y las aguas subterráneas en su entorno*. Sistema español de información sobre el agua. https://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_articulo/Ingcivil/2001/121/articulo1/articulo.html
- Rodríguez, E. (2016). La problemática del agua en Nicaragua. *Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas*, 4(7), 261-285. <https://www.lamjol.info/index.php/REICE/article/view/2834/0>
- Ruiz, J. M. (2003). Utilización del balance de cloruros en la zona no saturada en la estimación de la recarga natural a un acuífero detrítico. *Estudios de la Zona no Saturada del Suelo*, 403-408. https://zonanosaturada.com/zns03/publications_files/p403-408.pdf
- Salas Lopez, J. V. y Espinoza B. E. (2024). *Influencia de la cobertura vegetal en la recarga potencial de agua subterránea al noroeste del acuífero Las Sierras* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://www.google.com/search?q=Influencia+de+la+cobertura+vegetal+en+la+recarga+potencial+de+agua+subterr%C3%A1nea+al+noroeste+del+acu%C3%ADfero>
- Schilardi, C., Dedios, C., Daroncano, G, C. (2017). *Agua y sociedad*. <http://grupomontevideo.org/sitio/wp-content/uploads/2015/11/Agua-y-Sociedad-ebook-.pdf>
- Villanueva Martínez, M. y Iglesias López, A. (s. f.). *Pozos y acuíferos*. http://www.xeologosdelmundo.org/wp-content/uploads/2020/08/pozos_acuiferos.pdf
- Yampasi Surco, L. G. (2019). *Aplicación del método de sondaje eléctrico vertical para la ubicación de pozos de agua subterránea en los centros poblados de Buena Vista y Miraflores en el distrito de Sama, Provincia y Región de Tacna* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10284>
- Zamorio Aburto, M. J. (2018). *Evaluación de la migración de contaminantes desde el Lago Xolotlán hacia el Lago Cocibolca* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/11010/>

Zegarra, E. (2016). *Diagnóstico sobre la situación y potencial del sector riego en Nicaragua*. Banco Interamericano de Desarrollo.
<https://publications.iadb.org/es/publicacion/15631/diagnostico-sobre-la-situacion-y-potencial-del-sector-riego-en-nicaragwah>

IX ANEXOS

Anexo 1. Registro precipitaciones mensuales 1993 – 2023.

Años	ene	feb	mar	Abr	may	jun	jul	Ago	sep	oct	nov	dic	Total genera l
1993	1.3	0.0	0.0	29.2	347.1	101.1	104.7	287.2	345.3	117.5	85.2	1.4	1420.0
1994	2.9	0.6	2.7	129. 1	83.2	49.3	97.4	109.4	167.7	223.1	143.3	10.2	1018.9
1995	0.0	0.0	16.0	115. 6	20.6	212.3	112.3	326.1	297.4	202.6	43.9	13.4	1360.2
1996	21.3	0.0	5.3	0.0	240.8	221.6	282.3	116.6	275.9	315.6	127.1	2.1	1608.6
1997	5.8	0.5	0.4	1.3	14.1	291.7	57.5	82.3	99.3	246.2	63.3	0.0	862.4
1998	0.0	0.0	0.0	0.0	50.6	117.2	100.5	119.2	229.8	836.4	91.6	19.7	1565.0
1999	4.1	56.5	6.9	37.2	45.2	141.5	195.9	168.6	348.9	192.1	56.7	0.3	1253.9
2000.	2.7	0.2	0.1	4.3	72.8	118.1	103.0	63.5	452.7	121.8	12.7	5.2	957.1
200	0.6	1.7	0.0	0.0	122.7	79.4	103.5	173.4	256.4	102.8	21.2	0.3	862.0
2002	2.3	1.4	0.0	0.5	473.7	98.4	106.3	154.9	237.0	130.8	18.5	0.8	1224.6
2003	1.1	0.0	9.1	113. 7	211.4	260.7	100.0	100.6	151.6	176.6	99.0	5.8	1229.6
2004	6.9	0.2	1.2	0.0	162.7	140.3	112.2	77.1	62.1	231.7	24.6	0.2	819.2
2005	0.1	0.0	0.0	31.1	289.2	220.1	105.3	196.2	238.7	243.2	70.8	0.4	1395.1
2006	8.1	0.2	2.7	0.1	40.2	138.2	136.4	74.6	130.9	105.0	44.2	2.7	683.3
2007	0.0	0.0	0.8	25.8	251.9	108.7	140.3	292.0	219.6	300.0	61.3	11.5	1411.9
2008	3.8	2.6	4.2	5.2	222.6	125.2	272.0	299.8	209.8	446.5	8.9	2.2	1602.7
2009	1.9	0.0	1.9	0.1	86.7	157.8	66.5	82.7	106.7	54.4	21.1	5.9	585.8
2010	0.0	0.0	0.0	103. 1	97.7	252.6	294.2	325.9	392.4	86.5	43.0	3.5	1598.9
2011	1.2	0.0	0.1	0.0	198.0	175.1	334.7	75.2	365.8	333.8	44.1	20.8	1548.7
2012	4.8	3.7	1.9	36.4	342.7	132.2	108.2	167.0	124.6	190.4	4.3	5.3	1121.5
2013	3.0	2.8	1.9	0.5	83.5	243.9	156.3	89.8	289.5	160.5	70.5	9.6	1111.8
2014	4.9	11.7	1.9	1.9	47.8	68.1	130.1	268.0	241.4	229.3	44.1	5.7	1054.9
2015	54.6	37.2	2.5	76.2	43.4	239.4	41.0	40.6	199.1	123.3	81.0	9.3	947.5
2016	0.0	3.5	6.2	22.1	48.9	125.5	27.8	45.9	67.1	133.0	59.4	15.1	554.3

2017	3.3	1.9	2.2	12.5	287.6	135.0	68.2	160.9	173.9	313.6	63.1	20.7	1242.9
2018	13.5	39.0	2.8	59.8	129.1	171.3	70.6	65.0	116.9	449.1	24.6	6.5	1148.3
2019	0.0	3.1	6.3	0.8	297.1	81.0	69.2	73.9	184.6	446.2	24.9	2.2	1189.1
2020	0.4	2.6	0.0	0.0	187.9	152.4	131.3	123.8	296.0	247.8	298.2	7.9	1448.3
2021	2.2	0.1	12.2	10.1	20.5	63.6	183.5	155.9	136.8	101.2	32.4	0.7	719.2
2022	0.4	9.8	0.0	59.7	299.3	283.4	183.6	199.0	501.3	242.2	89.3	2.3	1870.3
2023	1.6	5.2	59.7	1.8	1.6	5.2	59.7	1.8	43.4	172.1	55.9	203.3	611.3
Total general	152.8	184.4	148.9	878.2	4820.5	4710.2	4054.4	4516.9	6962.6	7275.3	1928.1	395.0	36027.3

Anexo 2. Análisis cloruro de agua de lluvia y pozos en el área de estudio.

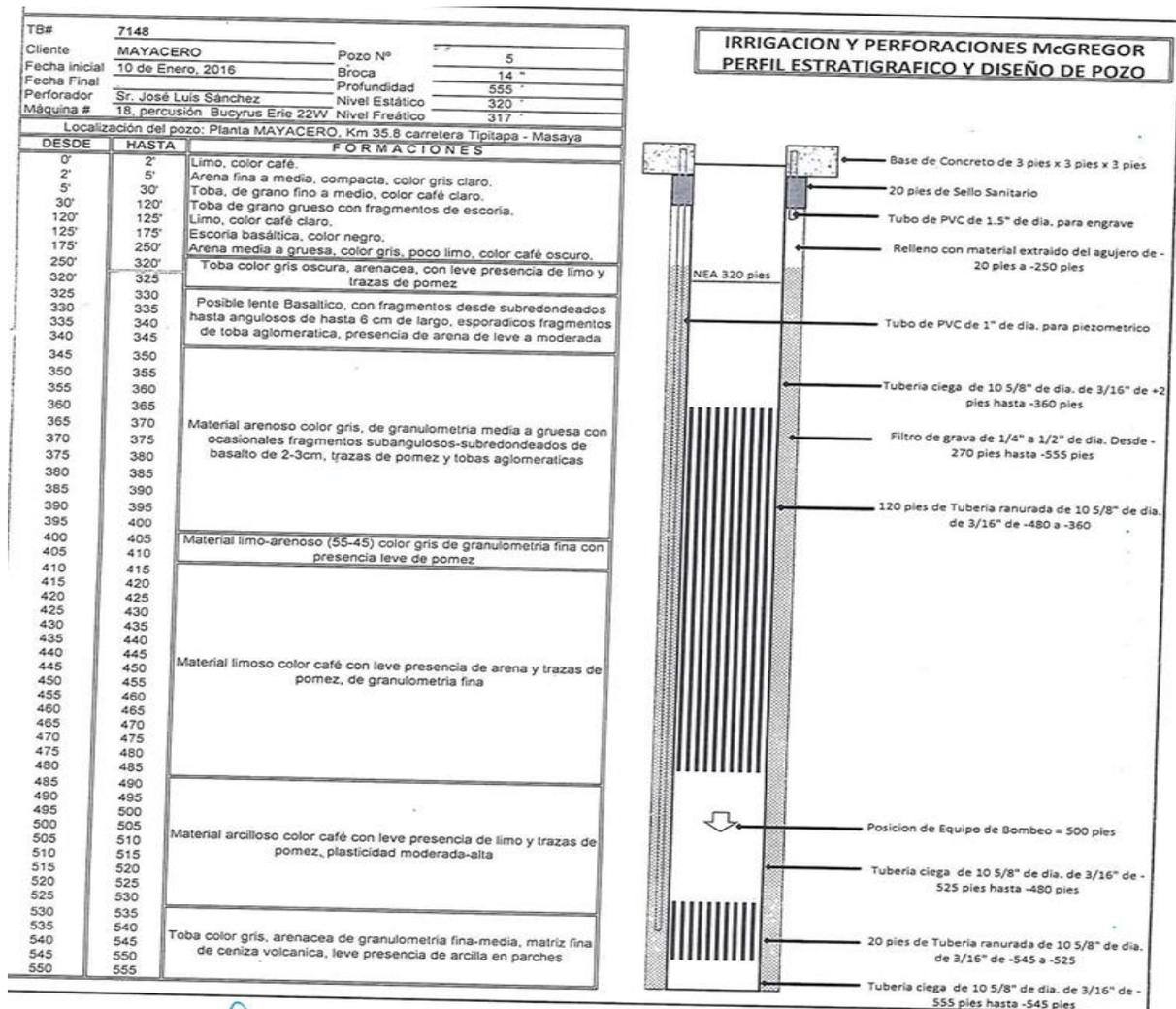
	análisis de cloro en agua		Mes	Agosto		
		meq/l	mg/l		Meq/l	
Punto 1: Guanacastillo	Luvia 1	0.21	7.463	Pozo 1	0.55	19.547
Punto 2: El Platel	Luvia 2	0.21	7.463	Pozo 2	0.46	16.348
Punto 3: Zambrano	Luvia 3	0.25	8.885	Pozo 3	0.27	9.596
	análisis de cloro en agua		Mes	Septiembre		
		meq/l	mg/l		Meq/l	
Punto 1: Guanacastillo	Luvia 1	0	0	Pozo 1	0.27	9.596
Punto 2: El Platel	Luvia 2	0	0	Pozo 2	0.34	12.084
Punto 3: Zambrano	Luvia 3	0	0	Pozo 3	0	0.000
	análisis de cloro en agua		Mes	octubre	2023	
		meq/l	mg/l		Meq/l	
Punto 1: Guanacastillo	Luvia 1	0.36	12.7944	Pozo 1	0	0
Punto 2: El Platel	Luvia 2	0.45	15.8153	Pozo 2	0.51	18.1254
Punto 3: Zambrano	Luvia 3	0.25	8.885	Pozo 3	0.49	17.4146
	análisis de cloro en agua		Mes	Noviembre	2023	
		meq/l	mg/l		Meq/l	
Punto 1: Guanacastillo	Luvia 1	0.17	6.042	Pozo 1	0.46	16.348
Punto 2: El Platel	Luvia 2	0.25	8.885	Pozo 2	0.51	18.125
Punto 3: Zambrano	Luvia 3	0.13	4.620	Pozo 3	0.42	14.927
	análisis de cloro en agua		Mes	Diciembre	2023	
		meq/l	mg/l		Meq/l	
Punto 1: Guanacastillo	Luvia 1	0	0	Pozo 1	0	0.000
Punto 2: El Platel	Luvia 2	0	0	Pozo 2	0.46	16.348
Punto 3: Zambrano	Luvia 3	0	0	Pozo 3	0.46	16.348

Anexo 3. Volumen total de agua consumida a través de las extracciones de pozos.

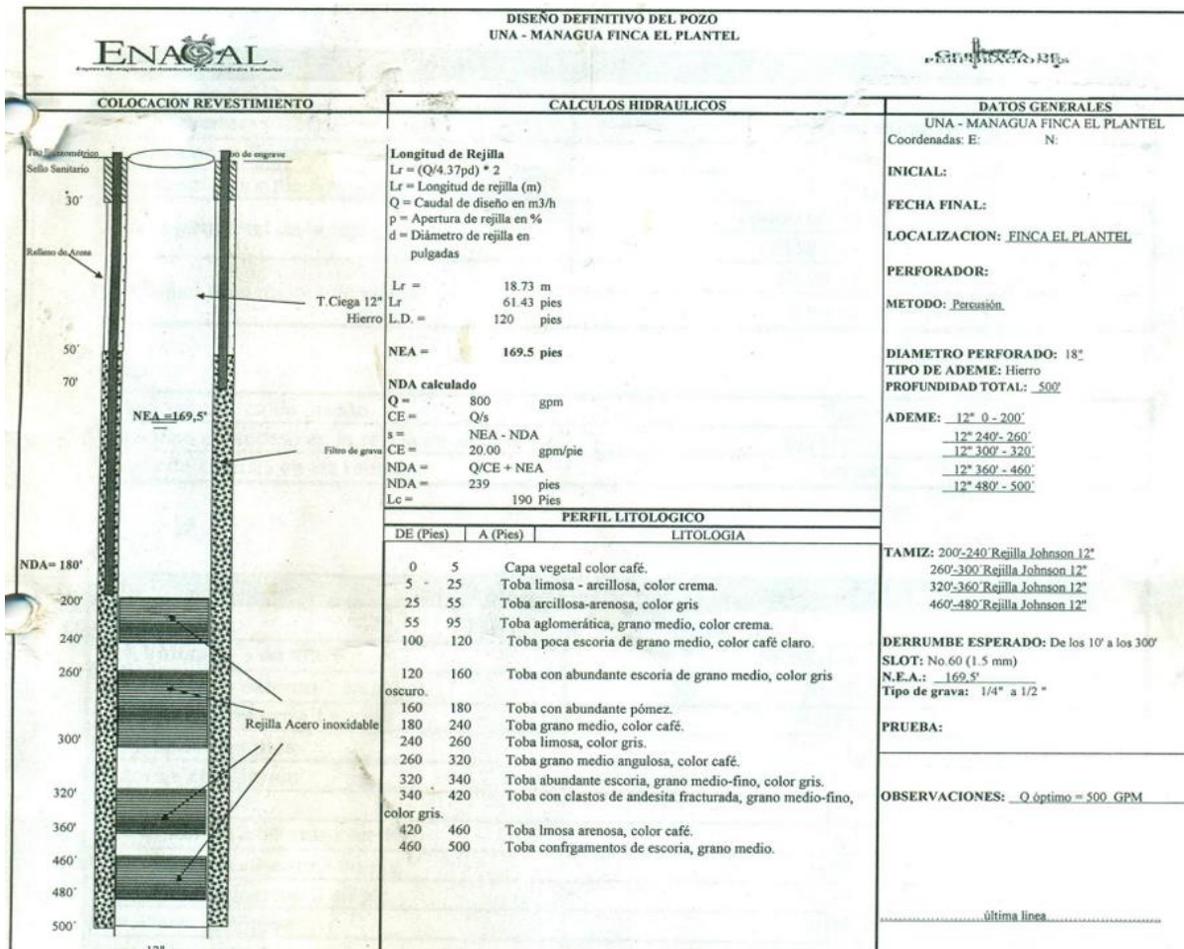
Uso	Volumen m ³ /año	Lat	Long	Departamento	Municipio
Industrial	60876.00	12.061	-86.101	Masaya	Masaya
Consumo humano e industrial	35040.00	12.067	-86.104	Masaya	Masaya
Doméstico, industrial y agropecuario	16800.00	12.077	-86.108	Masaya	Nindiri
Doméstico, industrial y agropecuario	25200.00	12.091	-86.096	Masaya	Masaya
Consumo humano y agropecuario	87780.00	12.105	-86.094	Masaya	Masaya
Consumo humano, agropecuario e industrial	30000.00	12.11	-86.093	Masaya	Masaya
Consumo humano y pecuario	35974.00	12.121	-86.093	Managua	Tipitapa
Consumo humano y agropecuario	4890.24	12.147	-86.087	Managua	Tipitapa
Consumo humano	42444.00	12.15	-86.085	Managua	Tipitapa
Consumo humano	42444.00	12.154	-86.087	Managua	Tipitapa
Consumo humano	16308.00	12.159	-86.090	Managua	Tipitapa
Consumo humano	170988.00	12.163	-86.088	Managua	Tipitapa
Consumo humano	204720.00	12.164	-86.091	Managua	Tipitapa
Consumo humano	102852.00	12.164	-86.092	Managua	Tipitapa
Industrial	10800.00	12.164	-86.092	Managua	Managua

Doméstico, industrial y agropecuario	60000.00	12.137	-86.069	Masaya	Tisma
Consumo Humano	196,214.90	12.181	-86.085	Managua	Tipitapa
Consumo Humano	148,151.90	12.187	-86.093	Managua	Tipitapa
Agrícola	319,996.80	12.131	-86.118	Masaya	Nindiri
Agrícola	55,560.00	12.139	-86.117	Masaya	Nindiri
Total	1667039.84				

Anexo 4. Perfil litológico pozo 1



Anexo 5. Perfil litológico pozo 2



Anexo 6. Perfil litológico pozo 3

Localización del pozo					
Km. 47 Masaya - Tipitapa					
DESDE	HASTA	FORMACIONES			
0'	1'	Suelo vegetal (material selecto), color café			
1'	100'	Cantera foma arenas, color gris			
100'	160'	Arena gruesa con gravilla angular, color gris			
160'	240'	Arenas media a gruesa, color gris oscuro			
240'	280'	Arenas media a gruesas subangulares de origen volcánica			
		semicompacta, color gris			

280'	300'	Arena media, subangular de origen volcánico muy compacta, color gris			

Anexo 7. Prueba de bombeo pozo 1

Hora A8:H58			Hora Finaliza:		06:00:00		
Inicio:	08:00:00 a. m.				p. m.		
Date/time	Nivel del agua (m)	Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Abatimiento (m)	Δs(m)	Caudal (GPM)	Caudal (m³/h)
08:00:00 a. m.	99.59	0	0	0.00	0		
08:01:00 a. m.	101.12	1	1	1.53	1.53		
08:02:00 a. m.	102.18	1	2	2.59	1.06	4.28	0.97
08:03:00 a. m.	102.90	1	3	3.31	0.72		
08:04:00 a. m.	103.30	1	4	3.71	0.40		
08:05:00 a. m.	103.58	1	5	3.99	0.28		
08:06:00 a. m.	103.72	1	6	4.13	0.14		
08:07:00 a. m.	103.83	1	7	4.24	0.11		
08:08:00 a. m.	103.91	1	8	4.32	0.08		
08:09:00 a. m.	103.95	1	9	4.36	0.04		
08:10:00 a. m.	103.99	1	10	4.40	0.04		
08:12:00 a. m.	104.02	2	12	4.43	0.03		
08:14:00 a. m.	104.03	2	14	4.44	0.01		
08:16:00 a. m.	104.04	2	16	4.45	0.01		
08:18:00 a. m.	104.06	2	18	4.47	0.02		
08:20:00 a. m.	104.07	2	20	4.48	0.01		

08:25:00 a. m.	104.08	5	25	4.49	0.01		
08:30:00 a. m.	104.09	5	30	4.50	0.01		
08:35:00 a. m.	104.09	5	35	4.50	0.00		
08:40:00 a. m.	104.10	5	40	4.51	0.01		
08:45:00 a. m.	104.10	5	45	4.51	0.00		
08:50:00 a. m.	104.12	5	50	4.53	0.02		
08:55:00 a. m.	104.11	5	55	4.52	-0.01		
09:00:00 a. m.	104.11	5	60	4.52	0.00		
09:10:00 a. m.	104.11	10	70	4.52	0.00		
09:20:00 a. m.	104.12	10	80	4.53	0.01		
09:30:00 a. m.	104.10	10	90	4.51	-0.02		
09:40:00 a. m.	104.10	10	100	4.51	0.00		
09:50:00 a. m.	104.12	10	110	4.53	0.02		
10:00:00 a. m.	104.12	10	120	4.53	0.00		
10:20:00 a. m.	104.12	20	140	4.53	0.00		
10:40:00 a. m.	104.12	20	160	5	0		
11:00:00 a. m.	104.12	20	180	4.53	0.00		
11:20:00 a. m.	104.12	20	200	4.53	0.00		
11:40:00 a. m.	104.11	20	220	4.52	-0.01		
12:00:00 p. m.	104.11	20	240	4.52	0.00		
12:30:00 p. m.	104.12	30	270	4.53	0.01		
01:00:00 p. m.	104.13	30	300	4.54	0.01		
01:30:00 p. m.	104.14	30	330	4.55	0.01		

02:00:00 p. m.	104.12	30	360	4.53	-0.02	12.94	70.53
02:30:00 p. m.	104.11	30	390	4.52	-0.01		
03:00:00 p. m.	104.10	30	420	4.51	-0.01		
04:00:00 p. m.	104.10	60	480	4.51	0.00		
05:00:00 p. m.	104.11	60	540	4.52	0.01		
06:00:00 p. m.	104.13	60	600	4.54	0.02		
						Fin de la prueba	

Anexo 8. Prueba de bombeo pozo 2

Nea (m)	Profundidad (m)	b (m)	
51.66	152.4	100.74	
	Caudal (gpm)	Caudal (m ³ /h)	
Prueba 1	650	147.63	
Prueba 2	360	81.77	
Prueba 3	656	148.99	
Prueba 4	656	148.99	
Hora	Tiempo	M totales	Abatimiento
PRIMERA PRUEBA			
11:21:00 a. m.	1	0	0
11:22:00 a. m.	2	70.97	19.30
11:23:00 a. m.	3	71.12	19.46
11:24:00 a. m.	4	71.42	19.76
11:25:00 a. m.	5	71.93	20.27
11:26:00 a. m.	6	72.67	21.01
11:27:00 a. m.	7	72.85	21.18
11:28:00 a. m.	8	72.98	21.31
11:29:00 a. m.	9	72.95	21.28
11:30:00 a. m.	10	72.92	21.26
11:32:00 a. m.	12	72.95	21.28
11:34:00 a. m.	14	72.95	21.28
11:36:00 a. m.	16	72.92	21.26
11:38:00 a. m.	18	72.92	21.26
11:40:00 a. m.	20	72.92	21.26
11:45:00 a. m.	25	73.08	21.41

11:50:00 a. m.	30	73.05	21.39
11:55:00 a. m.	35	73.05	21.39
12:00:00 p. m.	40	73.02	21.36
12:05:00 p. m.	45	73.00	21.34
12:10:00 p. m.	50	72.98	21.31
12:20:00 p. m.	60	72.95	21.28
12:30:00 p. m.	70	72.92	21.26
12:40:00 p. m.	80	72.92	21.26
12:50:00 p. m.	90	72.92	21.26
1:00:00 p. m.	100	72.92	21.26
1:10:00 p. m.	110	72.92	21.26
1:20:00 p. m.	120	72.93	21.27
INICIA RECUPERACIÓN			
01:20:00 p. m.	0	0	0
01:21:00 p. m.	1	0	0
01:22:00 p. m.	2	53.26	1.60
01:23:00 p. m.	3	52.64	0.98
01:24:00 p. m.	4	52.29	0.62
01:25:00 p. m.	5	52.25	0.59
01:26:00 p. m.	6	52.15	0.48
01:27:00 p. m.	7	52.01	0.34
01:28:00 p. m.	8	51.90	0.24
01:29:00 p. m.	9	51.87	0.20
01:30:00 p. m.	10	51.82	0.15
01:32:00 p. m.	12	51.75	0.09
01:34:00 p. m.	14	51.69	0.02
01:36:00 p. m.	16	51.68	0.01
01:38:00 p. m.	18	51.60	-0.06
01:40:00 p. m.	20	51.64	-0.02
01:48:00 p. m.	28	51.64	-0.02
01:50:00 p. m.	30	51.69	0.02
SEGUNDA PRUEBA			
2:00:00 p. m.	1	0	0
2:01:00 p. m.	2	0	0
2:03:00 p. m.	3	62.92	11.25
2:04:00 p. m.	4	62.28	10.62
2:05:00 p. m.	5	62.33	10.67
2:06:00 p. m.	6	62.51	10.84
2:07:00 p. m.	7	62.54	10.87
2:08:00 p. m.	8	62.58	10.92
2:09:00 p. m.	9	62.61	10.95
2:10:00 p. m.	10	62.58	10.92
2:12:00 p. m.	12	62.58	10.92

2:14:00 p. m.	14	62.58	10.92
2:16:00 p. m.	16	62.60	10.94
2:18:00 p. m.	18	62.61	10.95
2:20:00 p. m.	20	62.62	10.96
2:25:00 p. m.	25	62.65	10.98
2:30:00 p. m.	30	62.68	11.01
2:35:00 p. m.	35	62.62	10.96
2:40:00 p. m.	40	62.66	11.00
2:45:00 p. m.	45	62.66	11.00
2:50:00 p. m.	50	62.66	11.00
3:00:00 p. m.	60	62.70	11.04
3:10:00 p. m.	70	62.69	11.02
3:20:00 p. m.	80	62.71	11.05
3:30:00 p. m.	90	62.70	11.04
3:40:00 p. m.	100	62.71	11.05
3:50:00 p. m.	110	62.72	11.06
4:00:00 p. m.	120	62.75	11.09
TERCERA PRUEBA			
4:00:00 p. m.			
4:01:00 p. m.	1	69.49	17.83
4:02:00 p. m.	2	71.12	19.46
4:03:00 p. m.	3	71.27	19.61
4:04:00 p. m.	4	72.31	20.65
4:05:00 p. m.	5	72.34	20.67
4:06:00 p. m.	6	72.39	20.73
4:07:00 p. m.	7	72.41	20.75
4:08:00 p. m.	8	72.47	20.80
4:09:00 p. m.	9	72.47	20.80
4:10:00 p. m.	10	72.49	20.83
4:12:00 p. m.	12	72.49	20.83
4:14:00 p. m.	14	72.52	20.85
4:16:00 p. m.	16	72.57	20.90
4:18:00 p. m.	18	72.54	20.88
4:20:00 p. m.	20	72.57	20.90
4:25:00 p. m.	25	72.59	20.93
4:30:00 p. m.	30	72.59	20.93
4:35:00 p. m.	35	72.59	20.93
4:40:00 p. m.	40	72.59	20.93
4:45:00 p. m.	45	72.59	20.93
4:50:00 p. m.	50	72.59	20.93
4:00:00 p. m.	60	72.59	20.93
5:10:00 p. m.	70	72.57	20.90
5:20:00 p. m.	80	72.57	20.90
5:30:00 p. m.	90	72.59	20.93

5:40:00 p. m.	100	72.59	20.93
5:50:00 p. m.	110	72.63	20.97
6:00:00 p. m.	120	72.62	20.96
CUARTA PRUEBA			
6:20:00 p. m.	140	72.67	21.01
6:40:00 p. m.	160	72.67	21.01
7:00:00 p. m.	180	72.69	21.03
7:20:00 p. m.	200	72.69	21.03
7:40:00 p. m.	220	72.69	21.03
8:00:00 p. m.	240	72.69	21.03
8:30:00 p. m.	270	72.69	21.03
9:00:00 p. m.	300	72.69	21.03
9:30:00 p. m.	330	72.69	21.03
10:00:00 p. m.	360	72.67	21.01
11:00:00 p. m.	420	72.67	21.01
12:00:00 a. m.	480	72.69	21.03
1:00:00 a. m.	540	72.69	21.03
2:00:00 a. m.	600	72.69	21.03
3:00:00 a. m.	660	72.69	21.03
4:00:00 a. m.	720	72.69	21.03
5:00:00 a. m.	780	72.69	21.03
6:00:00 a. m.	840	72.69	21.03

Anexo 9. Prueba de bombeo pozo 3

Fecha	sábado, 17 de abril de 2021		Propietario	CENTROLAC	
Capacidad específica					
Localización	Km 46.5 Crrt. Tipitapa- Masaya		Diámetro de Descarga :	3"	
Diámetro de Revestimiento :	8"	plg	Caudal en G. P.M. :	190	
Profundidad de Pozo	300	pies	Hora Inicial de Prueba :	12:00 18/04/2021 AM 1	
Nivel Estático Pies	96.00	pies	Hora Final de Prueba :	12:00 18/04/2021 AM 1	
Tiempo en Minutos	N. B.(PIES)	Abat. (PIES)	O B S E R V A C I O N E S		
12:00 AM	0	96.00	Inicia Prueba de Bombeo. Caudal : 190 gpm		
	1	143.00			47.00
	2	163.00			67.00
	3	161.00			65.00
	4	161.00			65.00

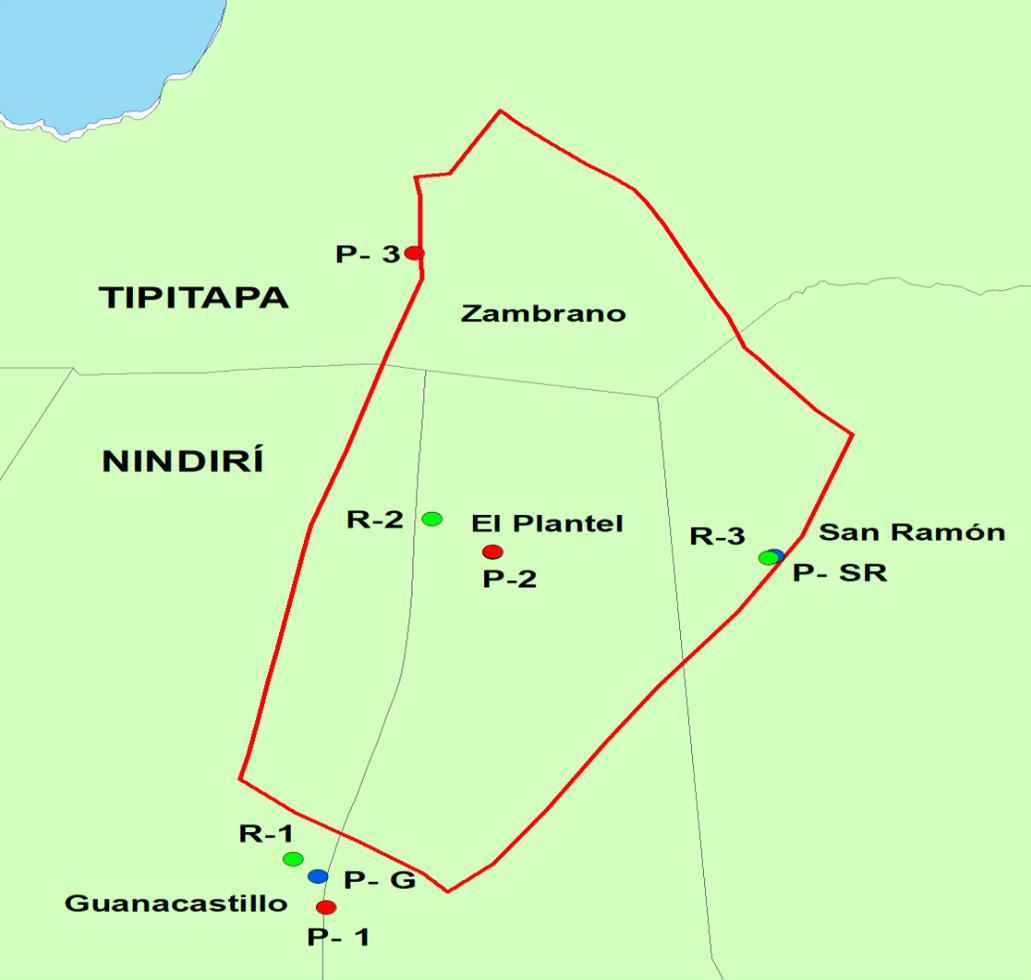
	5	166.00	70.00
	6	166.00	70.00
	7	166.50	70.50
	8	167.30	71.30
	9	167.40	71.40
12:10 AM	10	167.50	71.50
	12	167.60	71.60
	14	167.70	71.70
	16	167.80	71.80
	18	167.80	71.80
12:20 AM	20	167.80	71.80
	25	167.90	71.90
12:30 AM	30	168.10	72.10
	35	168.10	72.10
12:40 AM	40	168.10	72.10
	45	168.30	72.30
12:50 AM	50	168.40	72.40
	55	168.40	72.40
01:00 AM	60	168.80	72.80
01:10 AM	70	168.90	72.90
01:20 AM	80	168.80	72.80
01:30 AM	90	168.80	72.80
01:40 AM	100	168.80	72.80
01:50 AM	110	168.80	72.80
02:00 AM	120	168.80	72.80
02:30 AM	150	168.50	72.50
03:00 AM	180	168.80	72.80
03:30 AM	210	168.80	72.80
04:00 AM	240	168.80	72.80
04:30 AM	270	168.80	72.80
05:00 AM	300	168.90	72.90
05:30 AM	330	169.00	73.00
06:00 AM	360	169.50	73.50
07:00 AM	420	169.70	73.70
08:00 AM	480	169.40	73.40
09:00 AM	540	169.70	73.70
10:00 AM	600	169.70	73.70
11:00 AM	660	169.70	73.70
12:00 PM	720	169.70	73.70
01:00 PM	780	169.80	73.80
02:00 PM	840	169.80	73.80
03:00 PM	900	169.80	73.80
04:00 PM	960	169.80	73.80
05:00 PM	1020	169.80	73.80

Caudal : 190 gpm

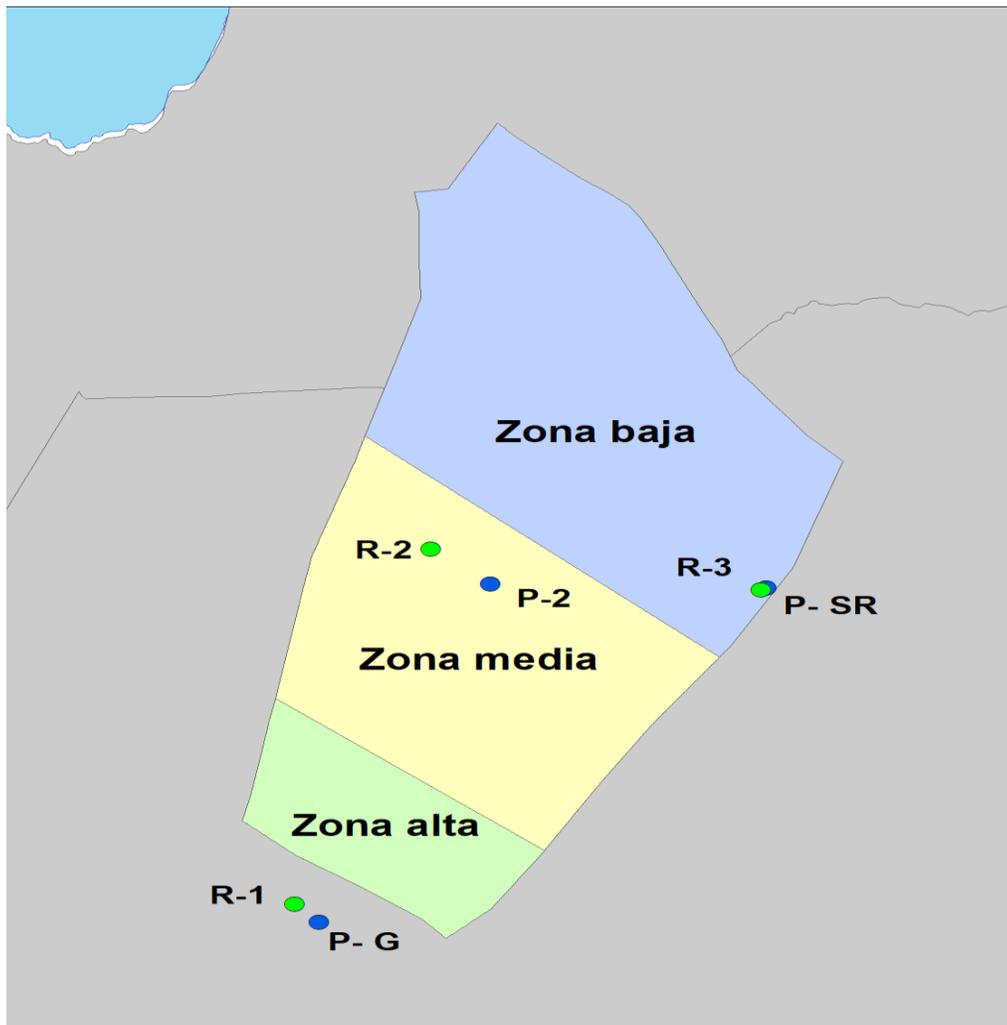
Agua
cristalina

06:00 PM	1080	169.80	73.80	
08:00 PM	1200	169.80	73.80	
10:00 PM	1320	169.80	73.80	
12:00 PM	1440	169.80	73.80	
12:00 PM	0	169.80	73.80	Inicia recuperación
	1	135.00	39.00	
	2	118.00	22.00	
	3	102.00	6.00	
	4	99.00	3.00	
	5	98.20	2.20	
	6	97.90	1.90	
12:07 PM	7	96.00	0.00	Finaliza recuperación

Anexo 10. Ubicación pozos y recolectores de lluvia.



Anexo 11. Zonas de recarga directa.



Anexo 12. Volumen de agua de los pozos ubicados en el área de estudio.

Empresa o propietario	Uso	Volumen m³/año	Lat	Long	Departamento	Municipio
Lanco Nicaragua, S.A.	Industrial	608 76.00	12.061	-86.101	Masaya	Masaya
Mayacero de Nicaragua, S.A.	Consumo humano e industrial	35 040.00	12.067	-86.104	Masaya	Masaya
Cargill de Nicaragua S.A.	Doméstico, industrial y agropecuario	16 800.00	12.077	-86.108	Masaya	Nindiri
Cargill de Nicaragua S.A.	Doméstico, industrial y agropecuario	25 200.00	12.091	-86.096	Masaya	Masaya
Avícola La Estrella, S.A.	Consumo humano y agropecuario	87 780.00	12.105	-86.094	Masaya	Masaya
Cargill de Nicaragua S.A.	Consumo humano, agropecuario e industrial	30 000.00	12.11	-86.093	Masaya	Masaya
Avícola Nica, S.A.	Consumo humano y pecuario	35 974.00	12.121	-86.093	Managua	Tipitapa
Noé De Jesús Torres Bravo	Consumo humano y agropecuario	4 890.24	12.147	-86.087	Managua	Tipitapa
Astro Industrial Park, S.A.	Consumo humano	42 444.00	12.15	-86.085	Managua	Tipitapa

Astro Industrial Park, S.A.	Consumo humano	42 444.00	12.154	-86.087	Managua	Tipitapa
Astro Industrial Park, S.A.	Consumo humano	16 308.00	12.159	-86.090	Managua	Tipitapa
Astro Industrial Park, S.A.	Consumo humano	170 988.00	12.163	-86.088	Managua	Tipitapa
Astro Industrial Park, S.A.	Consumo humano	204 720.00	12.164	-86.091	Managua	Tipitapa
Astro Industrial Park, S.A.	Consumo humano	102 852.00	12.164	-86.092	Managua	Tipitapa
Sae-A Technotex, S.A.	Industrial	10 800.00	12.164	-86.092	Managua	Managua
Cargill de Nicaragua S.A.	Domestico, industrial y agropecuario	60 000.00	12.137	-86.069	Masaya	Tisma
Sistema Penitenciario Nacional	Consumo Humano	196 214.90	12.181	-86.085	Managua	Tipitapa
Zona Franca Industrial Tipitapa, S.A.	Consumo Humano	148 151.90	12.187	-86.093	Managua	Tipitapa
Astro Agro, S.A.	Agrícola	319 996.80	12.131	-86.118	Masaya	Nindirí

Astro Agro, S.A.	Agrícola	55,560.00	12.139	-86.117	Masaya	Nindiri
---------------------	----------	-----------	--------	---------	--------	---------

Anexo 13. Ancho de descarga y distancias entre pozos.

