

Área de Conocimiento de Agricultura

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE UN POZO PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA COMUNIDAD MOMOTOMBO, MUNICIPIO DE LA PAZ CENTRO, DEPARTAMENTO DE LEÓN 2023

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Agrícola

Elaborado por:

Tutor:

Br. Isabel del Carmen
Ramírez Martínez
Carnet: 2019-0607U

Br. Cristófer José Rojas
Morales
Carnet: 2018-0340I

Ing. Josué Ariel Acosta
Green

DEDICATORIA

Cada victoria presente en mi vida es gracias a la voluntad de Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, es por ello que dedico este trabajo Monográfico a su grata y especial compañía, por guiarme en este camino académico y brindarme la perseverancia necesaria para alcanzar esta meta.

A mis padres y hermano, quienes fueron mi motor, para seguir luchando por alcanzar mis objetivos, quienes, sin duda con su fe inquebrantable en mí, su apoyo, sacrificio y amor incondicional han sido la luz que me han guiado a lo largo de este camino académico.

Con profundo amor y gratitud dedico este logro con mención especial a mi mamá, por ser mi pilar en los momentos desafiantes y por celebrar conmigo cada triunfo. Este logro lleva impreso su amor y dedicación.

Br. Isabel del Carmen Ramírez Martínez

AGREDECIMIENTO

A Dios nuestro señor, fuente de sabiduría, fortaleza y guía. Asimismo, deseo expresar mi más sincera gratitud a la santísima virgen María, por interceder por mí y cubrirme con su manto de amor y gracia a lo largo de este arduo, pero gratificante proceso de mi vida.

A mis padres, hermano y familiares, quienes siempre han estado presentes a mi lado, brindándome su apoyo incondicional y las más alentadoras palabras de ánimo a lo largo de todo este tiempo.

A mi tía quien me acogió con inmenso amor y cariño en su hogar durante mi estadía y estudios, quien me brindo el calor de un hogar y me ha tratado como una hija más, apoyándome a lo largo de este proceso.

A mis amistades quienes han estado presentes en todo el transcurso de este tiempo, brindándome su cariño, apoyo emocional y valiosos consejos de ánimo los cuales fueron de gran ayuda.

A Ing. Josué Ariel Acosta Green, tutor de esta monografía, por su tiempo y constante disposición para guiarnos en la realización de este documento, gracias a su apoyo y paciencia, logramos concluir con éxito. Su experiencia y asesoramiento continuo nos proporcionaron las herramientas necesarias para llevar a cabo nuestra investigación y ofrecer un contenido valioso y trascendental.

A todo el equipo de docentes por su contribución en mi formación académica a lo largo de estos años.

A mi compañero de tesis, su compromiso y trabajo en equipo fueron fundamentales para el desarrollo y la culminación de esta Monografía.

Br. Isabel del Carmen Ramírez Martínez

DEDICATORIA

Primeramente, quiero dedicar este trabajo a Dios, quien es el que me ha dado la sabiduría y la fuerza para salir adelante y poder vencer cada uno de los obstáculos que me encontré y finalmente poder alcanzar uno de los objetivos planteados en esta vida.

De igual forma a mi mamá, Damaris Morales Vásquez, quien ha sido una gran fuente de inspiración por el gran esfuerzo y sacrificio que ha hecho para ser una persona de bien y que supo enseñarme que todo en esta vida es posible. Que, a pesar del cansancio, los problemas o el trabajo, siempre está a mi lado apoyándome.

A mi papá, José Agustín Rojas, por brindarme su ayuda y por estar atento a lo que necesitaba y por alentarme a seguir cumpliendo cada meta propuesta en el trayecto de mi vida.

A mi abuela, Teresa Del Carmen Vásquez, quien desde pequeño ha cuidado de mí, dándome consejos.

A mi hermano, Luis Siezar Morales, quien ha sido la persona que me motiva a seguir adelante y seguir mejorando en todos los aspectos de la vida.

Br. Cristofer José Rojas Morales

AGREDECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios y a cada una de las personas que me han ayudado en este trayecto, a mis padres quienes me han apoyado incondicionalmente y brindado lo necesario para concentrarme en mis estudios.

A nuestro Tutor Ing. Josue Ariel Acosta Green, quien ha estado pendiente de nuestros avances, nos ha brindado su conocimiento y tiempo para aclarar cada una de las dudas. Muchas gracias por su paciencia.

Br. Cristofer José Rojas Morales

RESUMEN

Este documento presenta un estudio hidrogeológico realizado en la comunidad Momotombo, municipio de La Paz Centro, departamento de León, Nicaragua. El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la disponibilidad de aprovechar los recursos hídricos subterráneos de la zona.

El análisis llevado a cabo abarca diversos aspectos, como el clima, las características del suelo y la geología de la zona de estudio. Además, se realizó una evaluación del medio hidrogeológico, analizando conceptos clave como la dinámica del acuífero, la hidráulica de pozos, analizando factores como la transmisividad, la conductividad hidráulica y la capacidad específica. Estos elementos proporcionaron el sustento teórico y metodológico necesario para abordar las condiciones hídricas subterráneas.

Los hallazgos de la investigación indican que el área donde se ubica el pozo de presenta condiciones hidrogeológicas favorables para la extracción de agua debido a los materiales geológicos presentes. Se logró identificar un acuífero libre con características adecuadas en términos de transmisividad, conductividad hidráulica y capacidad específica, lo que sugiere un gran potencial para el abastecimiento de agua potable.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos, el estudio concluye que es viable la explotación de un pozo para el abastecimiento de agua potable en la comunidad Momotombo. Los datos y análisis presentados en este documento proporcionan información valiosa que puede orientar futuras investigaciones o proyectos enfocados en el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos de la región.

Palabras claves: Hidrogeología, acuífero, transmisividad, hidrodinámica, abastecimiento.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	2
III. JUSTIFICACIÓN	4
IV. OBJETIVOS	5
4.1. Objetivo general.....	5
4.2. Objetivos específicos	5
V. MARCO TEÓRICO.....	6
5.1. Medio físico.....	6
5.1.1. Clima	6
5.1.2. Suelo	7
5.2. Geología	12
5.2.1. Estructura geológica.....	13
5.3. Geomorfología	13
5.3.1. Unidades geomorfológicas.....	13
5.4. Medio hidrogeológico.....	14
5.4.1. Acuífero	14
5.5. Hidrodinámica	16
5.5.1. Pozo	17
5.5.2. Gradiente hidráulico	18
5.6. Hidráulica de pozo	18
5.6.1. Transmisividad	18
5.6.2. Conductividad hidráulica.....	19
5.6.3. Capacidad específica	19
5.6.4. Coeficiente de almacenamiento	19

5.6.5.	Radio de Influencia.....	20
5.6.6.	Escurrimiento subterráneo.....	20
5.7.	Balance hídrico del suelo	21
5.7.1.	Infiltración	21
5.7.2.	Recarga potencial.....	21
5.8.	Balance Hidrogeológico	21
5.9.	Calidad de Agua.....	22
5.9.1.	CAPRE	22
5.9.2.	NTON 05 007-98	22
5.9.3.	Fisicoquímico.....	22
5.9.4.	Dureza del agua	23
5.9.5.	Bacteriológico	23
5.9.6.	Metales pesados	23
5.10.	Hidroquímica.....	23
5.10.1.	Cationes	23
5.10.2.	Aniones.....	24
VI.	DISEÑO METODOLÓGICO	24
6.1.	Tipo de Investigación	24
6.1.1.	Según el enfoque de la investigación	24
6.1.2.	Según el alcance de los resultados	24
6.1.3.	Según el tiempo de ocurrencia	24
6.2.	Ubicación del estudio	25
6.3.	Caracterización del medio físico	26
6.3.1.	Variables climáticas	26
6.3.2.	Suelo	27

6.3.3.	Geología	28
6.3.4.	Hidrogeología	28
6.3.5.	Hidrodinámica.....	28
6.4.	Hidráulica de pozo	28
6.4.1.	Análisis de características hidráulicas	28
6.4.2.	Recarga del acuífero	30
6.4.3.	Descarga del acuífero.....	31
6.4.4.	Balance hidrogeológico	32
6.5.	Calidad de agua subterránea	32
VII.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	33
7.1.	Caracterización del medio físico	33
7.1.1.	Variables climáticas.....	34
7.1.2.	Suelo	40
7.1.3.	Contexto geológico	45
7.1.4.	Contexto hidrogeológico	47
7.1.5.	Hidrodinámica.....	49
7.2.	Hidráulica de pozo	55
7.2.1.	Análisis de características hidráulicas	55
7.2.2.	Recarga del acuífero	62
7.2.3.	Descarga del acuífero.....	67
7.2.4.	Balance hidrogeológico	68
7.3.	Calidad de agua subterránea	72
7.3.1.	Análisis fisicoquímico.....	73
7.3.2.	Análisis bacteriológico	79
7.3.3.	Análisis metales pesados	80

7.3.4. Tipo hidroquímico	81
VIII. CONCLUSIÓN	84
IX. RECOMENDACIONES	86
X. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	87
XI. ANEXOS	i

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Uso y cobertura de la tierra	12
Tabla 2. Coordenadas y uso del pozo en estudio	25
Tabla 3. Parámetros para calidad de agua	32
Tabla 4. Datos históricos de precipitación (mm) de la estación meteorológica León – La Paz Centro (2000-2022)	35
Tabla 5. Datos históricos de temperatura (°C) de la estación meteorológica León – La Paz Centro (2000-2022)	37
Tabla 6. Distribución tipo de suelo en el área de estudio	42
Tabla 7. Distribución cobertura y uso de suelos en el área de estudio	44
Tabla 8. Distribución litológica en el área de estudio	46
Tabla 9. Datos técnicos Pozo Momotombo #4	53
Tabla 11. Resultado de velocidad de infiltración promedio del área de estudio	63
Tabla 12. Recarga del área de estudio	67
Tabla 10. Escurrimiento subterráneo dentro del área de estudio	68
Tabla 13. Balance hídrico subterráneo del área de estudio	69
Tabla 14. Proyección de la población.....	71
Tabla 15. Dotación de agua del pozo Momotombo #4- ENACAL	71
Tabla 16. Potencial hídrico del área de estudio	72
Tabla 17. Análisis fisicoquímico del Pozo Momotombo #4 ENACAL	73
Tabla 18. Clasificación de la Dureza por CaCO ₃ en el Agua, Según OMS	77
Tabla 19. Calidad de agua según dureza.....	78
Tabla 20. Análisis bacteriológico del Pozo Momotombo #4 ENACAL	80

Tabla 21. Análisis metales pesados	81
--	----

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Validación cruzada de datos de precipitación del Data Access Viewer e INETER (2000-2022)	34
Gráfico 2. Datos de históricos de precipitación (mm) de la estación meteorológica de León (2000-2022)	35
Gráfico 3. Datos de históricos de temperatura (°C) de la estación meteorológica de León-La Paz Centro (2000-2022)	37
Gráfico 4. Evapotranspiración de la zona de estudio	39
Gráfico 5. Niveles estáticos y dinámicos del pozo Momotombo #4 ENACAL - La Paz Centro 2016	50
Gráfico 6. Niveles estáticos y dinámicos del pozo Momotombo #4 ENACAL - La Paz Centro 2019	50
Gráfico 7. Recuperación del pozo Momotombo	59
Gráfico 8. Radio de influencia	62
Gráfico 9. Velocidad de infiltración - Finca Fátima	64
Gráfico 10. Velocidad de infiltración - Finca Los Pérez	64
Gráfico 11. Concentración de cationes mayoritarios	75
Gráfico 12. Concentración de aniones mayoritarios	76

ÍNDICE DE ECUACIÓN

Ecuación 1. Evapotranspiración	27
Ecuación 2. Transmisividad - Jacob	28
Ecuación 3. Conductividad hidráulica	29
Ecuación 4. Capacidad específica	29
Ecuación 5. Radio de influencia	30
Ecuación 6. Caudal del escurrimiento subterráneo	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de acuíferos.....	15
Figura 2. Hidrodinámica de agua subterránea	17
Figura 3. Estructura de un pozo	17
Figura 4. Gradiente hidráulico	18
Figura 5. Transmisividad.....	19
Figura 6. Radio de influencia.....	20
Figura 7. Mapa de ubicación	26
Figura 8. Permeámetro	31
Figura 9. Mapa de precipitación media anual del área de estudio	36
Figura 10. Mapa de temperatura media anual del área de estudio	38
Figura 11. Mapa taxonómico de suelos del área de estudio	43
Figura 12. Mapa uso y cobertura de suelos del área de estudio	44
Figura 13. Mapa geológico del área de estudio	47
Figura 14. Mapa hidrogeológico del área de estudio.....	49
Figura 15. Mapa piezométrico del área de estudio	52
Figura 16. Diseño Pozo Momotombo #4 ENACAL.....	54
Figura 17. Prueba de bombeo AQTESOLV	56
Figura 18. Clasificación de permeabilidad en materiales detríticos sedimentarios	57
Figura 19. Coeficiente de almacenamiento para diversos tipos de terrenos y acuíferos	60
Figura 20. Mapa de radio de influencia	61
Figura 21. Sitios seleccionados donde se realizaron las pruebas de infiltración en el área de estudio.....	65
Figura 22. Balance hídrico de suelos	66
Figura 23. Caracterización poblacional del proyecto Ampliación y Mejoramiento de Sistema de Agua Potable de Momotombo	70
Figura 24. Diagrama de Piper	82
Figura 25. Mapa hidroquímico del área de estudio	83

I. INTRODUCCIÓN

En el territorio centroamericano la calidad de los cuerpos de agua no es adecuada. Esto se debe en parte a que el crecimiento urbano y de la población en general ha provocado una mayor presión sobre las fuentes de agua. La inadecuada gestión de desechos, el uso excesivo de agroquímicos y las prácticas insostenibles de extracción de agua han deteriorado gravemente la calidad y disponibilidad de este vital recurso en la región Centroamericana (Tábora et al., 2011).

Roldán et al. (2019), Aducen que los principales problemas que enfrenta Nicaragua en la calidad de su agua son provocados por la contaminación debido a actividades agrícolas, industriales y procesos naturales del medio geológico que afectan las aguas subterráneas, así como por la eutrofización y sedimentación hacia los cuerpos de las aguas superficiales.

Por otra parte, Delgado et al. (2023), infiere que, la calidad de agua del pacifico del país se ve sumamente afectada por explotación agrícola, siendo los mayores contaminantes, la explotación de caña de azúcar, bananeras, maniseras y la ganadería. Así mismo Delgado aduce que el suministro de agua potable para la población del pacifico proviene principalmente de las aguas subterráneas, siendo estas mayormente explotadas, debido al poco aprovechamiento de las aguas superficiales, ya que, el agua superficial está contaminada o escasa.

Los estudios hidrogeológicos, se enfoca principalmente en la distribución, movimiento y calidad del agua almacenada, también examina las propiedades del suelo, así como los factores que afectan la recarga y descarga del agua subterránea. El proyecto de investigación se realizó en un área determinada del acuífero de Occidente, se definió la caracterización de los componentes del medio físico e hidrogeológico, así mismo, se analizaron las propiedades hidráulicas del acuífero, el movimiento de las aguas subterráneas, la demanda de agua de la población, al igual que se determinó la calidad de agua mediante un análisis de laboratorio, que permite evaluar las características hidroquímica y calidad del pozo en estudio.

II. ANTECEDENTES

En el año **(1989)**, **Fenzel** llevó a cabo en Nicaragua un trabajo que consistió en una recopilación de información científica en las áreas de clima, geografía, hidrogeología y geología, esto fue posible a través de la colaboración de varios investigadores e instituciones dedicadas a la investigación tales como INETER.

El estudio hidrogeológico de la región Pacífica de Nicaragua realizado por **Krásný (1998)**, tuvo como objetivo presentar el primer mapa hidrogeológico a escala 1:250,000 de esta zona, en el cual se muestran las condiciones hidrogeológicas de los principales acuíferos del pacifico del país, los resultados comprenden tres mapas temáticos para las áreas de Chinandega, Managua y Granada, en los que se presentan los tipos de medios hidrogeológicos, transmisividades y piezometría.

Así mismo, **Hecht, G (1998)**, elaboró un Mapa hidroquímico de los acuíferos del Pacifico de Nicaragua realizado a escala 1:250,000 en este se presentan los tipos de agua, así mismo se presentan concentraciones químicas de elementos nocivos para la salud tales como Cloruro, Nitrato, Boro y Fluoruro.

Por otra parte, una compilación de las informaciones estratigráficas con elementos esenciales para la confección del léxico estratigráfico del país fue realizada por **Hodgson Valrey (2000)**, a partir de informaciones sobre estructuras lineales, estructuras plegadas y estructuras circulares alineadas, esto con el fin de brindar una base para la preparación del entendimiento de actividades involucradas en la configuración de la geología de Nicaragua.

A través de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-MANAGUA, **Corriols (1999-2005)**, realizó investigaciones geofísicas e hidrogeológicas en el área del acuífero León-Chinandega con el fin de caracterizar la estructura interna del mismo, así como los orígenes y procedencias del agua subterránea en la zona. Los resultados geológicos y geofísicos mostraron un ambiente típico de regiones costeras. El basamento se caracteriza por su topografía irregular y profundidades variables. Los métodos geofísicos delimitaron la presencia de dos unidades geo-eléctricas, las que de

acuerdo a la información geológica pueden ser asociadas como los acuíferos principales en el área.

Por otra parte, científicos del centro de investigaciones Geocientíficas de Nicaragua **AMR/OEI-AECID/DICYT (2009)**, realizaron diferentes tipos de sondeos, en los acuíferos del noroeste del país, (León). En general, fue posible obtener modelos coherentes geoelectrónicos de la zona y los métodos se complementaron muy bien (sondeos transitorios, electromagnéticos y sondeos eléctricos verticales). Los modelos geoelectrónicos son una excelente adición a otros métodos de investigación, consideran los científicos nicaragüenses.

Altamirano & Delgado (2019), realizaron un estudio sobre la contaminación natural por arsénico en las aguas subterráneas de la comunidad rural “La Fuente”, para sugerir y promover el uso de fuentes alternativas de agua segura municipio La Paz Centro, León, Nicaragua, obteniendo como resultado que la mayoría de los pozos monitoreados en la comunidad de La Fuente superan el valor de concentración total de arsénico admisible ($10 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) en agua para la ingesta humana establecido por la Organización mundial de la Salud y adoptado por el Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados como norma de calidad para uso nacional, esto se debe a que el arsénico es de origen geogénico por estar ubicada en la base de las faldas septentrionales del volcán El Hoyo y del edificio de la caldera Galán.

Además, **Acosta Green (2019)**, realizó un estudio en 37 pozos en la parte alta del acuífero de Occidente, teniendo como principal resultado, un potencial hídrico subterráneo 127.6329 millones de metros cúbicos anuales (MMC), esta disponibilidad se calculó para el área de estudio la cual posee una superficie de 323.42 km² a partir de este, la extracción que generan los pozos no tiene una incidencia significativa sobre el acuífero, esto se puede inferir al alto dinamismo del acuífero.

III. JUSTIFICACIÓN

Corrales Pérez (2005), comenta que la principal fuente de abastecimiento de agua para el consumo humano son las aguas subterráneas, por tanto, es de importancia la protección y el uso sostenido de los mantos acuíferos. Kumar et al., (2009), argumentan, que el agua subterránea presenta características hidrogeológicas que la hacen menos susceptibles a la contaminación antrópica y a las variaciones ambientales. Sin embargo, la creciente demanda de este recurso hídrico ha conllevado a un aumento en la cantidad de agua extraída mediante perforaciones de pozos.

Por otra parte, las aguas subterráneas en la región de León-Chinandega tienen problemas de calidad debido a altos niveles de cloruro y sólidos disueltos en zonas de descarga regional. Además, están afectadas por desechos domésticos, industriales, así como por los efectos de la ganadería. Algunos estudios del sistema de flujo de aguas subterráneas en la Cuenca 64 han identificado problemas de sobreexplotación, lo que empeora aún más la calidad de este recurso hídrico (Vammen & Hurtado García, 2012).

La comunidad Momotombo es abastecida desde el año 2014 por un pozo construido por la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL). No obstante, este sistema de extracción de agua subterránea carece de estudios recientes sobre las propiedades hidráulicas del acuífero, así como de análisis actualizados sobre la calidad del agua extraída.

Este estudio hidrogeológico se presenta como una alternativa óptima para la actualización de información. A través de este análisis, se podrá conocer la disponibilidad y las características de las unidades hidrogeológicas que alimentan al pozo, así como la calidad del recurso hídrico que se está extrae para abastecer a la comunidad Momotombo.

Los resultados de este estudio hidrogeológico brindarán información necesaria para que ENACAL y otras instituciones vinculadas a la gestión de los recursos hídricos y la salud pública puedan tomar decisiones orientadas a asegurar la sostenibilidad a largo plazo del sistema de abastecimiento de agua potable en la comunidad Momotombo.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

- Realizar un estudio hidrogeológico para un pozo de abastecimiento de agua potable en la comunidad Momotombo, municipio de La Paz Centro, departamento de León 2023.

4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los componentes físicos, climáticos e hidrogeológicos del área de estudio, mediante datos meteorológicos de INETER, mapas topográficos e hidrogeológicos.
- Analizar las propiedades hidráulicas del acuífero y el comportamiento de la hidrodinámica donde se localiza el pozo, a través de la realización de una prueba de bombeo.
- Determinar la calidad del agua e hidroquímica del pozo, a través de la interpretación de resultados de análisis de laboratorios.

V. MARCO TEÓRICO

5.1. Medio físico

5.1.1. Clima

Es el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y evoluciones del estado del tiempo, durante un periodo de tiempo y un lugar o región dados, y controlado por los denominados factores forzantes, factores determinantes y por la interacción entre los diferentes componentes del denominado sistema climático (atmósfera, hidrosfera, litosfera, criósfera, biosfera y antropósfera). Debido a que el clima se relaciona generalmente con las condiciones predominantes en la atmósfera, este se describe a partir de variables atmosféricas como la temperatura, y la precipitación, denominados elementos climáticos (IDEAM, 2021).

De acuerdo al sistema de Köppen Modificado, la zona en estudio presenta un clima caliente y Sub-Húmedo con lluvia en verano; AW1y AW2, este clima predomina en toda la región del pacifico y en la mayor parte de la región Norte. Se caracteriza por presentar una estación seca (noviembre-abril), y otra lluviosa (mayo-octubre). La precipitación varía desde un mínimo de 600 mm, hasta un máximo de 2000 mm, la temperatura media anual registra valores de 30° grados Celsius en la parte central de la región del pacifico y de 18° grados Celsius en los lugares elevados del macizo montañoso central (INETER, 2005).

a. Precipitación

Milán Pérez (2009), define la precipitación como uno de los componentes del clima que sirve como regulador del ciclo hidrológico en un territorio e influye en el carácter de la ecología, el paisaje y los usos del suelo. Se define como todas las formas de humedad caídas en estado sólido o líquido sobre el suelo. Las nubes son la fuente principal de precipitación aunque la mayoría de ellas no originen precipitación (Milán Pérez, 2012).

Las precipitaciones en Nicaragua varían de menos de 800 mm en las zonas más secas a 5000 mm y más en la zona más húmeda. Estas precipitaciones sobre Nicaragua pueden registrarse en cualquier mes del año, pero la mayor cantidad cae entre mayo y

noviembre. En la Región del Pacífico y en gran parte de la Región Norte y Central, existen dos estaciones bien marcadas: la estación lluviosa que se extiende de mayo a octubre y la estación seca de noviembre a abril. En la Región Atlántica y en los territorios que se encuentran en las pendientes del Este del macizo montañoso central, precipita en el transcurso de todo el año (INETER, 2023).

b. Temperatura

La temperatura atmosférica, podemos decir que es uno de los elementos que constituyen el clima. Indica la cantidad de energía calorífica que hay acumulada en el aire en un momento y lugar determinados. Proviene de los rayos que emite el sol, es decir, la radiación solar que llega hasta la tierra. En meteorología es habitual hablar de temperaturas máximas y mínimas, estas son medidas a escala Celsius (°C) y Fahrenheit (°F) (Conforti, 2017).

c. Evapotranspiración

Se denomina evapotranspiración a la unión de dos fenómenos; la evaporación y la transpiración (Milán Pérez, 2012).

Thorntwaite (1948), denominó Evapotranspiración Potencial (ETP) a la evapotranspiración que se produciría si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptima.

Por el contrario, la Evapotranspiración Real (ETR) es la que se produce realmente en las condiciones existentes en cada caso (Sánchez, 2010).

5.1.2. Suelo

Es un recurso no renovable y debe ser visto como organismo vivo. Es un cuerpo natural producto de la interacción de cinco factores (Rocas, clima, Relieve, organismos y Tiempo). Que está compuesto por sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases y se ubica muy cerca de la tierra, que ocupa un espacio y se caracteriza por tener horizontes o capas que se distinguen del material roca como resultado, de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones, físico, químicas y biológicas, o por la habilidad de soportar plantas en un ambiente natural (INETER-DGOT, 2021).

✓ Orden

El suelo de acuerdo a sus características formativas y de manejo, puede clasificarse con base a estándares establecidos por sistemas taxonómicos internacionales como los propuestos por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), o la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) (Soil Survey Staff, 2001).

En este tipo de clasificación se utilizan órdenes, subórdenes, grandes grupos, subgrupos y familias, siendo esta última la más precisa. Sin embargo, la clasificación por órdenes es ya bastante detallada, ya que entre ordenes de suelos se encuentran diferencias marcadas. Existen 12 tipos de órdenes de suelo, descritos por la USDA: Alfisol, Andisol, Aridisol, Entisol, Espodosol, Gelisol, Histosol, Inceptisol, Molisol, Oxisol, Ultisol y Vertisol (Lizarazo & Restrepo, 2015).

Los suelos de Nicaragua se han clasificado en órdenes principales, dependiendo del origen se identifican como: Molisoles, Inceptisoles, Ultisoles, Vertisoles, Entisoles, Histosoles, Andisoles, Alfisoles y Oxisoles. Sin embargo, en la región del pacifico norte de Nicaragua solamente encontramos cinco tipos de suelos: Vertisoles, Entisoles, Inceptisoles, Molisoles y Alfisoles.

a. Suelos vertisoles (Sonzocuite)

Son suelos minerales de desarrollo reciente, con horizonte superficial de poco espesor, muy arcillosos, que durante la estación seca se contraen y presentan grietas anchas y profundas y durante la estación lluviosa se expanden, tienen formación de micro relieve en la superficie, son de muy profundos a moderadamente profundos (que no tienen contacto rocoso a menos de 50 cm de profundidad), la fertilidad del suelo es de alta a baja, formados de sedimentos lacustres o lagunares, de tobas, basaltos y otras rocas ricas en bases y fácilmente meteorizables.

b. Suelos entisoles

Son suelos minerales de formación reciente que tienen poca o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes genéticos, la mayoría no poseen el horizonte superficial con algún nivel de desarrollo, pero cuando se encuentra tiene colores claros u oscuros, la profundidad varía de profundos a muy superficiales, relieve de plano a muy escarpado, la fertilidad del suelo es alta a baja, en algunos suelos las inundaciones son frecuentes y prolongadas durante la estación lluviosa.

c. Suelos inceptisoles

Son suelos minerales de desarrollo incipiente, poco profundos a muy profundos; el horizonte superficial es de colores claros o de colores oscuros y el subsuelo tiene un horizonte alterado (horizonte cámbico) de textura franco arenosa muy fina a arcillosa, con estructura de suelo o ausencia de estructura de roca por lo menos en la mitad del volumen; con inundaciones ocasionales y prolongadas en algunas áreas.

d. Suelos molisoles

Son suelos minerales con estado de desarrollo incipiente, joven o maduro. Con un horizonte superficial de color oscuro, rico en humus, bien estructurado, suave en seco y un subsuelo de acumulación de arcilla aluvial (un horizonte cámbico cargado de arcilla u horizonte que por cambios de pH cambia de coloración); de poco profundos a muy profundos, fertilidad de baja a alta; desarrollados de depósitos aluviales y lacustres sedimentados de origen volcánico, rocas básicas, ácidas, metamórficas, sedimentarias y piroplásticas.

e. Suelos alfisoles

Son suelos minerales maduros, bien desarrollados. Con un horizonte superficial de color claro o de color oscuro y un subsuelo de acumulación de arcilla aluvial (horizonte cámbico); de muy profundos a pocos profundos (60 a 120 cm). En relieve de plano a muy escarpado, con una fertilidad de baja a media; desarrollados a partir de rocas ácidas, básicas, metamórficas, materiales indiferenciados y estratos sedimentarios de lutitas (Betancourt Medina & Calderón Turcio, 2013).

f. Suelos andisoles

Son suelos de origen volcánico por antonomasia. Se forman de cenizas y vidrios volcánicos, así como a partir de otros minerales piroclásticos, de colores oscuros, siendo altamente porosos, ligeros, permeables, de buena estructura y fáciles de trabajar. Los encontramos en climas del trópico seco, subhúmedo y diferentes regímenes de humedad de suelos (INETER-DGOT, 2021).

✓ **Suborden**

a. Usters

Los Usters son suelos de arcilla pesada (sonzocuite) de color gris o negro, conformado por arcilla expandible (montmorillonita) de estructura prismática o columnar muy fuerte, en clima seco, que se contrae y forma grietas cuando seca y se expande y encharca al humedecerse. Agrietamientos en las arcillas permanecen abiertos por 90 o más días acumulativos al año y pueden medir hasta 10 cm o más de ancho y llegar a un metro más de profundidad.

b. Psamments

Son suelos con drenaje pobre, arenosos en todo el perfil, en régimen de humedad ácuico, con poca o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes, saturados con agua todo el año, el nivel freático se mantiene a 50 cm o menos. El hidromorfismo no permite la formación de horizontes del suelo.

c. Aquolls

Son suelos de desarrollo juvenil, en etapa inicial de desarrollo de perfil, con epipedón mólico, carecen de un horizonte B, el horizonte C es muy grueso y fuertemente moteado, se saturan con agua durante la época lluviosa, el nivel freático es estacional y durante el periodo lluvioso se mantiene entre 20 a 50 cm de profundidad.

d. Udolls

Son suelos de desarrollo juvenil, en etapa intermedia de intemperismo químico, bien drenados, tienen epipedón mólico sobre un horizonte argílico bien desarrollado, en clima húmedo. Los suelos permanecen húmedos más de 90 días consecutivos en el año.

e. Vitrandes

Son suelos que se caracterizan por su origen, ya que se han desarrollado de materiales ricos en vidrios volcánico. Presentan textura franco arenosa, franca y franco arcillosa, en pendientes de 0 a 1.5%, con escurrimiento superficial lento a moderado y el riesgo de erosión casi nulo a moderado (INETER-DGOT, 2021).

✓ Textura

Los suelos de Occidente siguen considerados como los mejores de Centroamérica, dada la textura. Estos suelos en su gran mayoría son francos, o sea que permiten el laboreo, optimizan la retención de humedad, y por su misma estructura y textura el desarrollo radicular es óptimo. No obstante, también cuentan con suelos cuya textura es fina (arcilla) y gruesa (arena) (Navarro Hudiel, 2012) .

✓ Uso y cobertura

El uso y potencial de la tierra se define como la utilización más apropiada que tienen los suelos, para que, mediante sistemas adecuados de manejo, dentro de cada medio ambiente, puedan ser sometidos a una explotación sostenida con el mínimo deterioro de los suelos y la menor afectación a los otros recursos naturales conexos. El uso de la tierra no depende únicamente del recurso suelo, sino adicionalmente del recurso hídrico y de las costumbres humanas que al final determinan la existencia de una necesidad de uso (INETER-DGOT, 2021).

Para el uso y cobertura de suelo en la zona de estudio, se presentará un cuadro donde se indicarán los principales usos que dan a la tierra en esta área.

Tabla 1. Uso y cobertura de la tierra

Clase de cobertura y uso actual de la tierra	Descripción
Bosque latifoliado cerrado	Superficies naturales mayores o iguales a 0.5 ha con predominio de árboles maderables de hojas anchas mayores a 5 m de altura. Con copas que cubren el 70% o más de la superficie del suelo.
Caña de azúcar	Cobertura compuesta por cultivo de caña de azúcar, desarrollado muchas veces en monocultivos tecnificados. Encontrándose principalmente en la zona del pacifico del país.
Pastos	Comprende las tierras cubiertas con hierba densa, dedicadas a pastoreo permanente por un periodo de dos o más años. Incluye áreas de pasto cultivado, mejorado, pasto natural, pasto con maleza y pasto con árboles.

Fuente: (INETER-DGOT, 2021).

5.2. Geología

La geología del país es fruto de la actividad tectónica y volcánica que sucedió en las épocas Terciaria y Cretácica.

En consecuencia, la geología representa la base fundamental de la hidrogeología, es el resultado de numerosos flujos de lavas basálticas y andesíticas sucesivas, cubiertas y recortadas por sedimentos fluviales recientes que constituyen las principales unidades hidrogeológicas del país. La geología es la formación y evolución de la Tierra, los materiales que la componen y su estructura, de acuerdo a la información brindada por estudios regionales (Hodgson Valrey, 2000b).

5.2.1. Estructura geológica

Según Hodgson Valrey (2002), Nicaragua está dividida en 5 provincias geológicas estructurales, diferenciadas por su geomorfología, su estratigrafía, geología tectónica, geología histórica y geología económica (depósitos minerales metálicos y no metálicos), concluyendo así con:

- Provincia Geológica de Las Planicies de la Costa del Pacifico
- Provincia Geológica de La Depresión de Nicaragua
- Provincia Geológica Central de Nicaragua
- Provincia geológica del Norte
- Provincia de los llanos de la Costa Atlántica

El sitio de estudio se encuentra localizado al NW del Lago de Managua, en el municipio de La Paz Centro del departamento de León. El complejo volcánico Momotombo está situado en el extremo SE del segmento NW de la cordillera volcánica de los Maribios.

Este complejo volcánico Momotombo durante el transcurso del tiempo ha venido evolucionando por su continua actividad vulcano-tectónica, lo cual ha generado cambios de su centro eruptivo hacia el S-E, teniendo como actual centro de emisión el Volcán Momotombo, por lo tanto, la erupción que se originó en 1905 tenía su centro de emisión al N-W, siendo este el resultado de la intensa actividad volcánica (Espinoza & Velásquez, 2019).

5.3. Geomorfología

5.3.1. Unidades geomorfológicas

Las unidades y subunidades geomorfológicas son contrastes morfológicos y morfométricos que relacionan el tipo de material o la disposición estructural con la correspondiente topografía del terreno. Igualmente, esta se define por el contraste de las formaciones superficiales asociadas a procesos morfodinámicos actuales de meteorización, erosión, transporte y depositación (ANLA, 2019).

5.4. Medio hidrogeológico

5.4.1. Acuífero

Un acuífero se define como una formación geológica que está constituida por una o más capas de rocas, capaz de almacenar y ceder el agua. Se sitúa en el suelo en la zona denominada “zona saturada”. Los acuíferos se caracterizan por poseer una permeabilidad y una porosidad determinada, los cuales son parámetros que definen las características hidráulicas del acuífero, es decir, el movimiento del agua depende del tipo de rocas del suelo (Valdivielso, 2020).

Acuífero es el nombre que se da a un lecho definido de roca o sedimento que contiene abundante agua subterránea en sus poros, hendiduras o fisuras. Los acuíferos se pueden considerar vastos repositorios naturales donde se almacena agua subterránea. El agua subterránea contenida en los acuíferos representa el 95% del agua dulce disponible en el planeta y es la fuente de agua potable de casi un tercio de la población mundial (Ramsar, 2023).

✓ Tipos de acuíferos

Los acuíferos se pueden clasificar de varias maneras según el criterio que se utilice:

- a. **Según las características litológicas:** Detríticos, carbonatados.
- b. **Según el tipo de huecos:** Poroso, Kárstico, fisurado.
- c. **Según la presión hidrostática:** Libres o no confinados (en contacto con el aire y separados por la zona no saturada), confinados o cautivos (sometidos a una presión superior a la atmosférica y en zona totalmente saturada) y semiconfinados (algunas confinadas son semipermeables).
- d. **Según su extensión:** Acuíferos locales o puntuales (pequeñas extensiones) y acuíferos regionales (muy extensos).

Figura 1. Tipos de acuíferos



Fuente: (Ponce, 2020).

a. Según las características litológicas o tipo de huecos

Acuíferos detríticos: Son acuíferos de rocas o sedimentos detríticos. Su permeabilidad se debe a la porosidad intergranular (de tipo primario). Si las rocas están parcialmente consolidadas o cementadas, la porosidad puede ser además de tipo secundario, por fisuración, disolución. Son todos los materiales con tamaño de grano de arena: arenas, arcosas, areniscas, gravas, conglomerados, etc (Hispagua, 2021) .

Acuíferos fisurados y/o kársticos: Se corresponden con acuíferos en rocas carbonatadas (calizas/dolomías) o bien otro tipo de rocas que presenten diaclasado, fracturación y/o disolución (rocas ígneas, metamórficas, detríticas bien consolidadas). Poseen permeabilidad debida a grietas y fisuras, tanto de origen mecánico como de disolución. Se encuentran entre las calizas, dolomías, yesos, granitos, basaltos..., siendo los dos primeros los tipos más importantes (Hispagua, 2021).

Acuíferos mixtos: su porosidad se debe a un conjunto de todas las anteriores causas. Un ejemplo pueden ser las arenas calcáreas o calcarenitas (Hispagua, 2021) .

b. Según las presiones hidrostáticas

Acuíferos libres no confinados o freáticos: Son aquellos en los cuales existe una superficie libre del agua encerrada en ellos, que está en contacto directo con el aire y por lo tanto, a presión atmosférica, al perforar pozos que los atraviesen total o parcialmente la superficie obtenida por los niveles del agua de cada pozo forma una superficie real (superficie freática, o water table) (Custodio & Llamas, 2001).

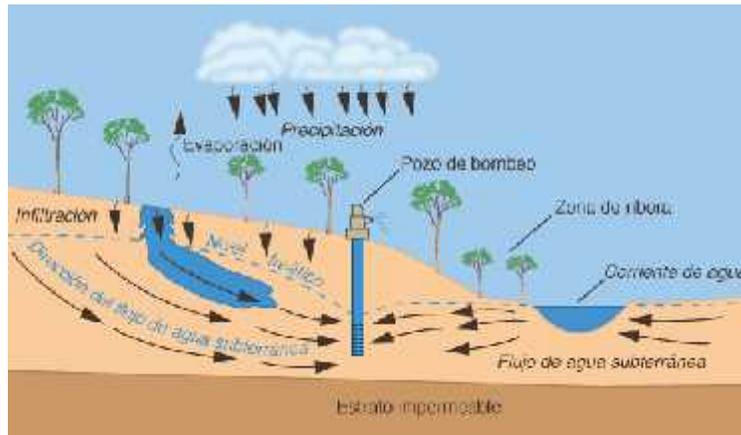
Acuíferos cautivos, confinados o a presión: El agua de los mismos está sometida a una cierta presión, superior a la atmosférica, y ocupa la totalidad de los poros o huecos de la formación geológica que lo contiene, saturándola totalmente. Por ello, durante la perforación de pozos en acuíferos de este tipo, al atravesar el techo del mismo se observa un ascenso rápido del nivel del agua hasta estabilizarse en una determinada posición (Custodio & Llamas, 2001).

Acuíferos semicautivos, o semiconfinados: Pueden considerarse como un caso particular de los acuíferos cautivos, en los que el muro (parte inferior) y/o el techo (parte superior) que los encierra no sea totalmente impermeable sino un acuitardo, es decir un material que permita una filtración vertical del agua, muy lenta, que alimente el acuífero principal en cuestión, a partir de un acuífero o masa de agua situada encima o debajo del mismo. Como es lógico, este paso vertical de agua es sólo posible cuando existe una diferencia de potenciales entre ambos acuíferos (el que recarga y el recargado) y puede hacerse en uno u otro sentido (Custodio & Llamas, 2001).

5.5. Hidrodinámica

Estudia el movimiento del flujo de agua subterránea en atención a los gradientes piezométricos que los originan y teniendo en cuenta las particulares características internas del medio físico; principalmente su potencialidad para almacenar y transmitir el agua. La hidráulica de pozos, como parte concreta de la hidrodinámica subterránea ha centrado su estudio en el movimiento del agua hacia pozos de captación de aguas subterráneas, a consecuencia de los gradientes producidos por una extracción puntual en el pozo (Iglesias López, 2006).

Figura 2. Hidrodinámica de agua subterránea

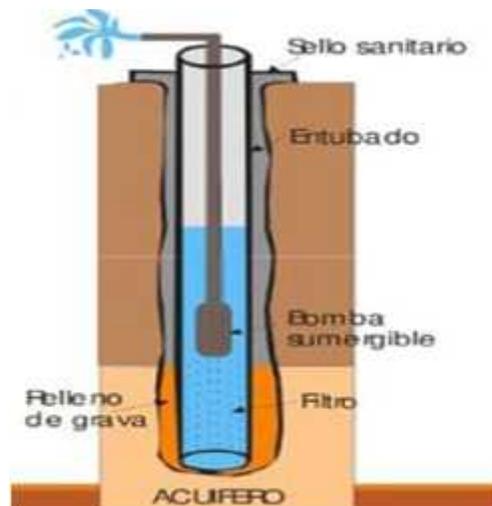


Fuente: (Ponce et al., 2020).

5.5.1. Pozo

El acceso al nivel freático siempre ha proporcionado una fuente importante de agua potable, la mayoría de las veces a través de pozos. Un pozo es un agujero hecho por el hombre en el suelo que se utiliza específicamente para acceder al agua subterránea. Los pozos vienen en diferentes formas y tamaños, pero su uso es generalmente el mismo. De hecho, para muchas personas tanto en países desarrollados como en desarrollo, el agua de pozo sigue siendo el principal suministro de agua para uso doméstico, riego y agua potable (Cruzito, 2020).

Figura 3. Estructura de un pozo

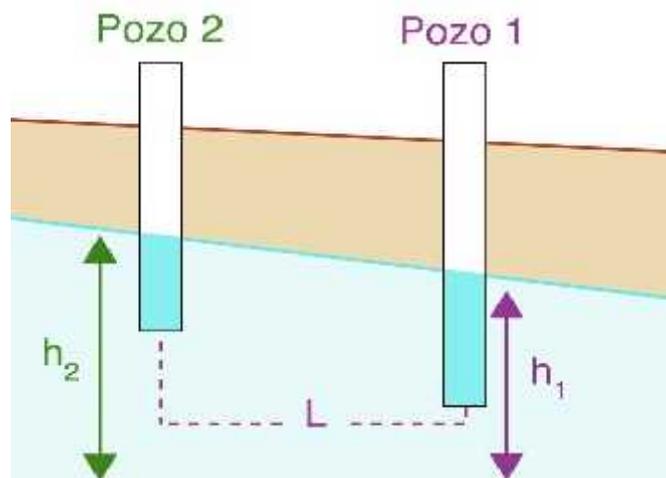


Fuente: (Oskata, 2019).

5.5.2. Gradiente hidráulico

Es la dirección del flujo de agua subterránea debido a diferencias del nivel piezométrico (pendiente), además es la fuerza conductora que hace que el agua se mueva. Cuando el gradiente es nulo, no hay fuerza conductora y todo el sistema está en equilibrio, consecuentemente no hay movimiento de agua (Millar, 2000). Su ecuación es: $i = H/l$, donde “ H” es la diferencia de potencial entre dos puntos del acuífero y “l” es la distancia en la dirección del flujo entre estos dos puntos.

Figura 4. Gradiente hidráulico



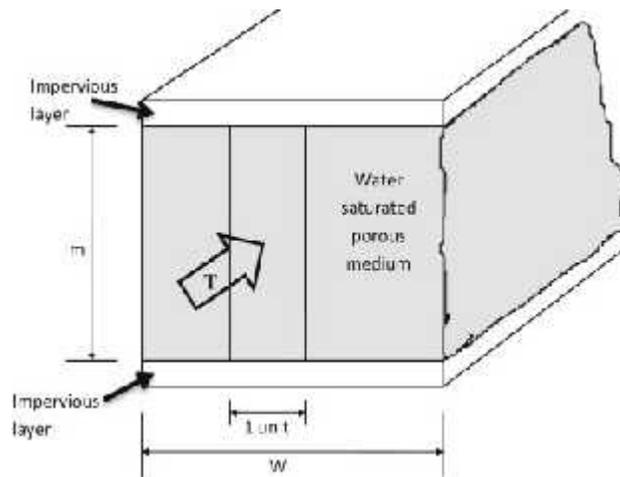
Fuente: (Ponce, 2020).

5.6. Hidráulica de pozo

5.6.1. Transmisividad

El concepto de transmisividad fue introducido por Theis en 1935, y se define como el caudal que se filtra a través de una franja vertical de terreno, de ancho unidad y de altura igual a la del manto permeable saturado bajo un gradiente unidad a una temperatura fija determinada (Custodio & Llamas, 2001).

Figura 5. Transmisividad



Fuente: (Zekâi, 2015).

5.6.2. Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica es la velocidad a la que el agua fluye a través de medios porosos (suelo y roca porosa o fracturada), expresada en unidades de velocidad (metros por segundo; pies por segundo) (Ponce, 2020). Está depende de la geometría del medio (tamaño de los granos, coeficiente de uniformidad y porosidad) y de las propiedades del fluido (peso específico y viscosidad dinámica) (AYA, 2014) .

5.6.3. Capacidad específica

Se llama caudal específico o capacidad específica de un pozo al cociente entre el caudal de agua bombeado y el descenso de nivel producido. El caudal específico no es constante para un determinado caudal, ya que, con el tiempo el descenso aumenta. Sin embargo, los descensos tienden a estabilizarse y por lo tanto el caudal específico también (Custodio & Llamas, 2001).

5.6.4. Coeficiente de almacenamiento

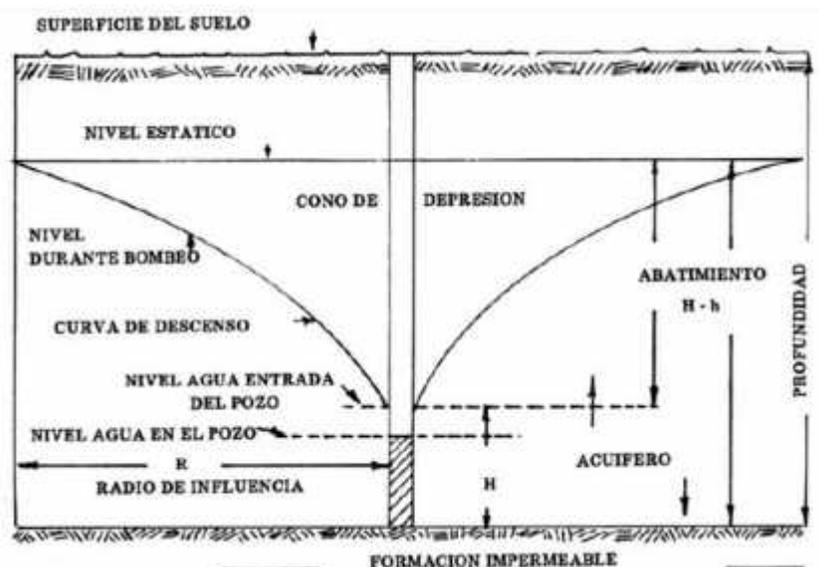
Se define como el volumen de agua que puede ser liberada por un prisma vertical del acuífero de sección igual a la unidad y altura equivalente al espesor saturado del mismo cuando se produce un descenso unidad del nivel piezométrico. El coeficiente de

almacenamiento, representado por S , es un valor adimensional. En acuíferos libres su valor coincide con la porosidad drenable (0,1-0,001). En acuíferos cautivos está ligado a la compresibilidad del agua y del medio acuífero, y su valor suele oscilar entre 10^{-5} y 10^{-3} (AYA, 2014).

5.6.5. Radio de Influencia

El radio de influencia es la distancia existente entre el pozo de bombeo y la zona del acuífero en la que la influencia del bombeo puede considerarse nula (Kleinfeld Avila, 2012).

Figura 6. Radio de influencia



Fuente:(Kleinfeld Avila, 2012).

5.6.6. Escurrimiento subterráneo

El escurrimiento subterráneo es aquel que, debido a una profunda percolación del agua infiltrada en el suelo, se lleva a cabo en los mantos subterráneos y que, posteriormente, por lo general, descarga a las corrientes fluviales.

Este escurrimiento subterráneo y la parte retardada del escurrimiento subsuperficial constituyen el escurrimiento base de los ríos (Morocho, 2008).

5.7. Balance hídrico del suelo

5.7.1. Infiltración

La infiltración se define como la velocidad máxima con que el agua penetra en el suelo. La capacidad de infiltración depende de muchos factores; un suelo desagregado y permeable tendrá una capacidad de infiltración mayor que un suelo arcilloso y compacto. Si una gran parte de los poros del suelo ya se encuentran saturados, la capacidad de infiltración será menor que si la humedad del suelo es relativamente baja. Si los poros del suelo en las capas superiores del mismo ya se encuentran saturados, la infiltración se hará en función de la permeabilidad de los estratos inferiores (Lesser y Asociados S.A., 2011).

5.7.2. Recarga potencial

Para determinar la recarga potencial para un área determinada se procede a determinar la capacidad de infiltración del suelo.

La infiltración es el volumen de agua que procede de las precipitaciones, a veces también de los ríos o de la recarga artificial, en un determinado tiempo, atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo o de las formaciones geológicas subyacentes (Custodio & Llamas, 2001).

5.8. Balance Hidrogeológico

El balance hidrogeológico plantea que las entradas de agua subterránea menos las salidas son iguales al cambio de almacenamiento. Las entradas corresponden a la recarga por flujo subterráneo y a la infiltración. Las salidas se dividen en el flujo subterráneo que sale del acuífero, estas variables corresponden a la evapotranspiración, la extracción a través de pozos y descarga de manantiales dentro de la zona de balance (Lesser y Asociados S.A., 2011).

5.9. Calidad de Agua

5.9.1. CAPRE

Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana. Es un organismo Técnico Regional encargado de dictar Normas Técnicas de control de calidad en materias de aguas potable y saneamiento entre los países miembros y afiliados, estableciendo la Norma Regional de Calidad de Agua para Consumo Humano, el objetivo de esta norma, es proteger la salud pública, ajustar, eliminar o reducir al mínimo aquellos componentes o características del agua que pueden representar un riesgo para la salud de las comunidades e inconvenientes para la preservación de los sistemas de abastecimiento de agua (IPSA, 1993).

5.9.2. NTON 05 007-98

Normas Técnicas Obligatorias Nicaragüenses. Las presentes Normas de Calidad de Agua para el consumo humano han sido adoptadas de la Norma Regional de Calidad del Agua para el Consumo Humano. Esta norma establece los parámetros para determinar los niveles de calidad exigibles de los cuerpos de agua (lagos, lagunas, lagos artificiales, manantiales, ríos, aguas subterráneas, estuarios y mares), de acuerdo con los usos a los cuales se destinen. Dichas normas presentan las concentraciones máximas permisibles de los parámetros que indican la calidad del agua, desde el punto de vista químico como bacteriológico.

5.9.3. Fisicoquímico

Los parámetros físico-químicos dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática; los métodos biológicos aportan esta información, pero no señalan nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización de ambos en la evaluación del recurso hídrico. La ventaja de los métodos físico-químicos se basa en que sus análisis suelen

ser más rápidos y pueden ser monitoreados con mayor frecuencia, en comparación con los métodos biológicos (Samboni Ruiz et al., 2007).

5.9.4. Dureza del agua

Propiedad de un agua caracterizada por la dificultad de hacer espuma con jabón. Es debida principalmente a la presencia de: Ca^{++} y Mg^{++} . Otros iones (Fe^{++} , Sr^{++} , Mn^{++}) también generan dureza, pero se encuentran en menores concentraciones. Por razones históricas se mide como mg/L de CaCO_3 (Sánchez, 2023).

5.9.5. Bacteriológico

Los parámetros bacteriológicos sirven para determinar la contaminación microbiológica del agua, se realiza la búsqueda de microorganismos indicadores como *Escherichia coli*, coliformes totales, coliformes fecales, aerobios mesófilos, microorganismos sulfitos reductores, entre otros. Estos parámetros son de elección debido a que son indicadores de alteraciones en la calidad del agua y la presencia de los mismos en concentraciones elevadas puede representar un riesgo para la salud humana (Amarilla Espinola, 2018).

5.9.6. Metales pesados

El término “metal pesado”, a pesar de ser ampliamente utilizado en el ámbito científico, no tiene una base científica rigurosa o una definición química. Aunque muchos de los elementos que se enlistan en el término “metal pesado” tienen una gravedad específica mayor que cinco, existen diversas excepciones a esta regla. Estrictamente, y desde el punto de vista químico, los metales pesados están constituidos por elementos de transición y post-transición incluyendo algunos metaloides como el arsénico y selenio (Chávez Vallarino, 2011).

5.10. Hidroquímica

5.10.1. Cationes

Un catión es un ion (sea átomo o molécula) con carga eléctrica positiva, es decir, que ha perdido electrones. Los cationes se describen con un estado de oxidación positivo. Esto

se debe a que han ganado o perdido electrones de su dotación, originalmente neutra, fenómeno que se conoce como ionización (Olave, 2013) .

5.10.2. Aniones

Un anión es un ion con carga eléctrica negativa, es decir, que ha ganado electrones. Los aniones monoatómicos se describen con un estado de oxidación negativo (Olave, 2013).

VI. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1. Tipo de Investigación

6.1.1. Según el enfoque de la investigación

Esta investigación es de enfoque mixto, puesto que, se integraron los métodos cualitativos y cuantitativos, donde se realizó un proceso de recolección y análisis de ambos métodos en el mismo estudio, permitiendo así tener datos más precisos y confiables.

6.1.2. Según el alcance de los resultados

La investigación realizada, es de tipo descriptivo y correlacional. De tal manera que el estudio descriptivo únicamente permitió recolectar, analizar y procesar los datos obtenidos del sitio web Data Access Viewer e INETER, así como también los datos obtenidos en campo, presentando así, una descripción detalla de las características y propiedades del agua subterránea en la zona de estudio.

En cuanto al tipo de estudio correlacional, este permitió identificar y cuantificar las variables, para luego determinar la asociación que existe y proporcionar información que permita comprender los patrones y tendencias en el comportamiento del medio hidrogeológico.

6.1.3. Según el tiempo de ocurrencia

Es una investigación de tiempo de ocurrencia prospectiva, ya que solo se evaluó un periodo de tiempo corto, esto de acuerdo al proceso de recolección, análisis y resultados del estudio.

6.2. Ubicación del estudio

Desde el punto de vista geográfico el pozo de estudio se localiza en la Comunidad de Momotombo del municipio de La Paz centro departamento de León, aproximadamente a 12 Km suroeste del centro de la ciudad de La Paz Centro ver (Figura 7 y Anexo 6. Prueba de bombeo).

Hidrográficamente, se ubica en la subcuenca Río San Juan circunscrita a la cuenca N°69, conocida comúnmente como Río San Juan, con código 952939, de acuerdo a la unidad 6, del método de Pfastetter. En Tabla 2 se muestran las coordenadas y uso del pozo en estudio.

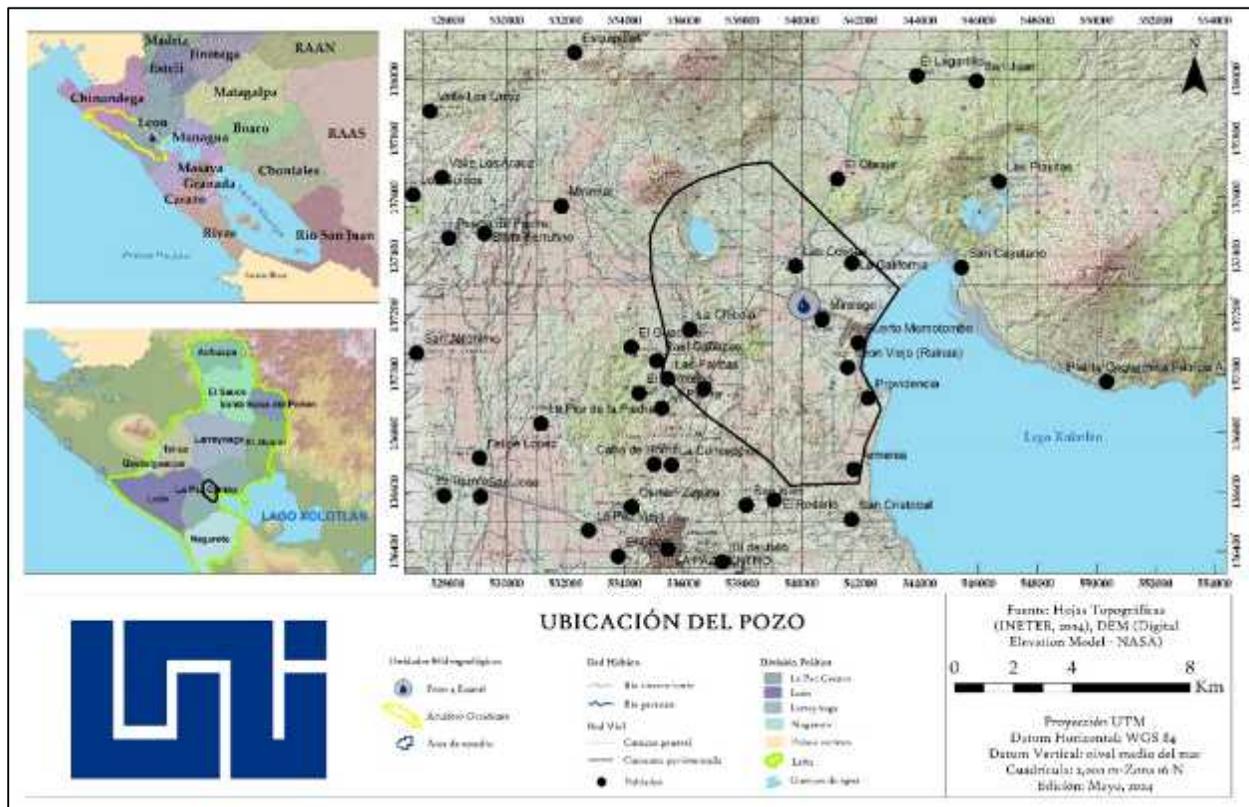
Tabla 2. Coordenadas y uso del pozo en estudio

NOMBRE	TIPO	COORDENADAS		ELEVACIÓN	USO
		X	Y		
Pozo Momotombo	Pozo Perforado	540084	1372363	89 msnm	Agua potable

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar la delimitación del área de estudio se utilizó los principios básicos de hidrogeología, donde una de las consideraciones es que debe haber una distancia de 3km aguas arriba (recarga). Partiendo de la delimitación de acuíferos del pacífico de Nicaragua, el área de estudio se ubica en el acuífero de Occidente, dentro de la curva a nivel 50, teniendo su punto de descarga natural en el lago Xolotlán. Por tanto, el área presenta una extensión de 62.88 km² y un perímetro de 29.30 km.

Figura 7. Mapa de ubicación



Fuente: Elaboración propia, con datos de INETER.

6.3. Caracterización del medio físico

Se realizaron mapas a escala regionales basados en datos e información brindada por INETER, al igual que se utilizó el programa ArcGIS, el cual permitió conocer el material rocoso y tipo de suelo presente en el área de estudio.

6.3.1. Variables climáticas

a. Precipitación

Para este parámetro, se recopiló información de datos meteorológicos brindados por el INETER, de la estación de León y La Paz Centro. Para obtener datos más precisos se descargaron los datos de ambas estaciones del sitio web Data Access Viewer, el cual contiene un registro de datos climáticos más completos, estos se encuentran en la unidad de medida correspondiente a milímetros (mm). Para obtener de manera visual los rangos

de precipitación presente en el área de estudio se realizó un mapa a escala a través del programa ArcGIS.

b. Temperatura

Con respecto a esta variable climática, se utilizaron datos de INETER, así como también del sitio web Data Access Viewer. Para obtener un rango de temperatura de manera visual se realizó un mapa a escala a través del programa ArcGIS, su unidad de medida corresponde a grados centígrados (°C).

c. Evapotranspiración

Se calculó mediante el método de Hargreaves simplificada, en este método se utilizaron las variables de temperatura mínimas, medias y máximas, las temperaturas se tomaron del promedio de las estaciones de León y La Paz Centro, al igual que contempla datos de radiación solar extraterrestre.

La fórmula utilizada por el método de Hargreaves es la siguiente:

$$E = 0.0 (\text{t}_m + 1.7) R_0 \times (\text{t}_m - \text{t}_m)^{0.5} \quad (1)$$

Donde:

E : Evapotranspiración potencial diaria, mm/día.

t_m : Temperatura media diaria, °C.

R_0 : Radiación solar extraterrestre, en mm/día (tabulada).

t_m : Temperatura diaria máxima.

t_m : Temperatura diaria mínima.

6.3.2. Suelo

Para el conocimiento del tipo de suelo que se encuentra en el área, se utilizó la información brindada por INETER, el uso y cobertura de suelo que se da en el área se identificó mediante datos de la NASA, por tanto, se realizaron mapas correspondientes al tipo, uso y cobertura de suelo a través del software ArcGIS.

6.3.3. Geología

La geología del área de estudio, se obtuvo por medio de literatura que se han realizado en el transcurso del tiempo, siendo las principales fuentes de información el estudio geotérmico de Momotombo y el mapa Minero geológico de Nicaragua, con los cuales se obtuvieron datos que se procesaron a partir del software ArcGIS.

6.3.4. Hidrogeología

El acuífero en estudio corresponde al Occidente, para ello fue necesario recopilar información acerca de estudios realizados a este acuífero por medio de literaturas, las cuales han sido brindadas por fuentes confiables como INETER.

6.3.5. Hidrodinámica

La hidrodinámica, describe el movimiento del agua, es decir, que permite conocer como se comporta el agua bajo diferentes condiciones y como interactúan en el medio. Para este caso, se utilizó como indicador el NEA (Nivel estático del agua) y el NF (nivel freático). Para conocer este compartimiento fue necesario la medición del nivel de agua con sondas a nivel, la cual para su interpretación se utilizará ArcGis.

6.4. Hidráulica de pozo

6.4.1. Análisis de características hidráulicas

a. Transmisividad

La transmisividad que se calculó en la prueba de bombeo, se realizó mediante el software AQTESOLV, teniendo como unidad de medida ($m^2/día$).

Otro método que podría utilizarse es mediante la fórmula de Jacob, la cual se expresa de la siguiente manera:

$$T = 0.1 \quad Q/\Delta s \quad (2)$$

Donde:

T : Transmisividad (m^2/d)

Q : Caudal (m^3/d)

Δs : Diferencia de altura (m)

b. Conductividad hidráulica

La permeabilidad o conductividad hidráulica se determinó mediante la realización de una prueba de bombeo y utilizando la siguiente formula:

$$K = T/b \quad (3)$$

Donde:

K : Permeabilidad o conductividad hidráulica (m/d)

T : Transmisividad (m^2/d)

b : Espesor de acuífero captado (m)

c. Capacidad específica

La capacidad específica se determinó a través de una prueba bombeo, donde se obtuvieron datos para determinar este parámetro mediante la siguiente ecuación:

$$q = Q/s \quad (4)$$

Donde:

q : Capacidad específica ($m^3/d/m$)

Q : Caudal de agua bombeado (m^3/d)

s : Descenso medido en el pozo o abatimiento (m)

d. Coeficiente de almacenamiento

El coeficiente de almacenamiento se estimó a partir de literatura donde se encontró información de datos geológicos o estudios hidrogeológicos que se han realizado con anterioridad, ya que, en el área no se cuenta con un pozo de observación.

e. Radio de influencia

El radio de influencia se calculó a través del método de Jacob, la cual dice que el radio de influencia depende del valor de transmisividad, coeficiente de almacenamiento del acuífero, del caudal y tiempo de bombeo del pozo.

La determinación del radio de influencia también contempla la realización de la prueba de bombeo y se utilizó la fórmula de Jacob que se expresa a continuación:

$$S = 2.3 \times Q / (4 \pi T) \times t \quad (2.2 \quad /r^2s) \quad (5)$$

Donde:

S: Abatimiento

T: Transmisividad (m²/día)

t: Tiempo de bombeo (día)

s: Coeficiente de almacenamiento (adimensional).

Q: Caudal de bombeo (m³/día)

r: Distancia del sitio con respecto al pozo

6.4.2. Recarga del acuífero

a. Infiltración

Para el conocimiento de la capacidad de infiltración, fue necesario realizar pruebas de infiltración en el lugar, esto se realizó por medio del permeámetro de Guelph, el cual consta de dos tubos, uno que actúa como depósito de agua y otro de menor dimensión que se pone en contacto con el suelo y lleva acoplado un sistema que permite mantener una carga hidráulica constante (tubo de mariotte). Dicha carga de agua dependió del tipo de suelo que se encontró en el sitio.

Figura 8. Permeámetro



Fuente: (Maser, 2023).

b. Recarga directa

La recarga potencial, se estimó por medio de datos climáticos, como es la precipitación y evapotranspiración. Igualmente, se necesitaron datos relacionados a la textura y uso de suelo para entender la infiltración que se obtuvo en el lugar. Para determinar la recarga potencial del acuífero se utilizó el método de Schosinsky donde se introdujeron las variables antes mencionadas.

6.4.3. Descarga del acuífero

a. Escurrimiento subterráneo

Para la determinación de este parámetro, fue necesario conocer la trayectoria del agua y la diferencia de altura que esta tiene al moverse de un punto a otro, para ello, se utilizó la ley de Darcy. Otros datos necesarios para obtener este escurrimiento, corresponde a la transmisividad y el ancho de la sección transversal, para aplicar la siguiente formula:

$$Q = Tl \quad (6)$$

Donde:

Q: Caudal del escurrimiento subterráneo (m³/ddía)

T: Transmisividad (m²/día)

i : Gradiente hidráulico

L : Ancho de descarga

6.4.4. Balance hidrogeológico

El balance hidrogeológico contempla la ecuación de masas, cuyo principio representa que las entradas deben ser igual a las salidas de agua del acuífero. Para ello, se necesitaron, los datos de recarga que se obtuvo del balance hídrico y la descarga subterránea la cual se tomó mediante la extracción o demanda del pozo en estudio, con el fin de evaluar el potencial hídrico del área, es decir, la cantidad de agua disponible en el acuífero donde se está extrayendo.

6.5. Calidad de agua subterránea

Para evaluar la calidad de agua, fue necesario recolectar muestras de agua del pozo en estudio, analizando diferentes parámetros para determinar su idoneidad para el consumo humano. Se emplearon como referencia las normas técnicas CAPRE y NTON.

Estas muestras se llevaron al Laboratorio de Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios Ambientales (PIENSA), quienes fueron los responsables de medir los parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos y metales pesados. Teniendo dichos resultados, se procedió a utilizar diagramas triangulares por medio de EasyQuim, para determinar el tipo de agua que se encuentra en el pozo en estudio. A continuación, se muestran algunos de los parámetros que el laboratorio determinó:

Tabla 3. Parámetros para calidad de agua

Parámetros Fisicoquímicos	Parámetros Bacteriológicos	Metales pesados
Potasio (k)	Coliformes Totales	Arsénico
Sodio (Na)	E. Coli	Plomo
Magnesio (Mg)		Cromo total
Sulfato (SO_4)		

Fuente: Elaboración propia.

Para la evaluación de estos análisis, el laboratorio PIENSA utilizó la metodología Standard Methods for the Examination of Water y Wastewater 23 RD 2017, Metodología HACH aprobada por la EPA.

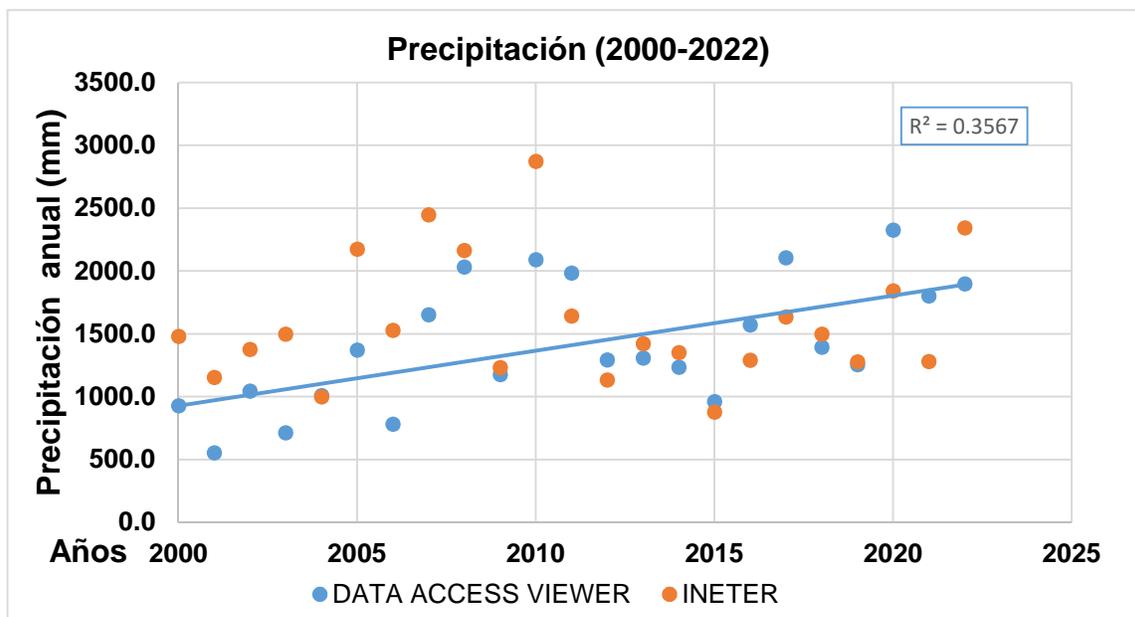
VII. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1. Caracterización del medio físico

Para la determinación de la variable climática de precipitación, se realizó la comparación de los datos obtenidos del sitio web Data Access Viewer e INETER de las estaciones de León y La Paz Centro, para observar su correlación y de esa forma decidir con cual trabajar. Para ello, fue necesario realizar la sumatoria anual de los últimos 23 años (2000-2022) y de esa forma realizar una gráfica y calcular el coeficiente de determinación estadístico (R^2).

El valor de R^2 corresponde a 0.3567, el cual explica un 35.67% de la variabilidad de los datos, por tanto, el valor deseado para explicar la variabilidad de los datos es 1 o más de 0.6. Los datos brindados por INETER presentaron una cantidad considerable de datos faltante, lo que afectó al momento de calcular el coeficiente de determinación, por tal razón, se decidió trabajar con los datos adquiridos en Data Access Viewer, ya que este contiene los datos de ambas estaciones completos, además de ser datos confiables realizados por la NASA.

Gráfico 1. Validación cruzada de datos de precipitación del Data Access Viewer e INETER (2000-2022)



Fuente: Elaboración propia, con datos del sitio web Data Access Viewer e INETER.

7.1.1. Variables climáticas

a. Precipitación

La precipitación es una de las variables climáticas necesarias para realizar la caracterización del área de estudio, por tanto, se utilizaron los datos obtenidos de las estaciones denominadas “León” con código 640443 y coordenadas 12°25 36 N 86°54 48 W y “La Paz Centro” con código 69123 y coordenadas 12°20 23 N 86°40 52 W, donde se empleó un periodo de 23 años desde enero del año 2000 hasta diciembre del año 2022.

Durante el análisis de los datos recopilados de ambas estaciones, se evidencia una igualdad en los valores. Este fenómeno puede deberse a diversos factores, como la precisión y calibración adecuada de los instrumentos de medición, la estabilidad de las condiciones meteorológicas durante ese periodo, o incluso la presencia de fenómenos naturales repetitivos. Por tanto, al realizar el promedio no se obtuvo varianza en los datos.

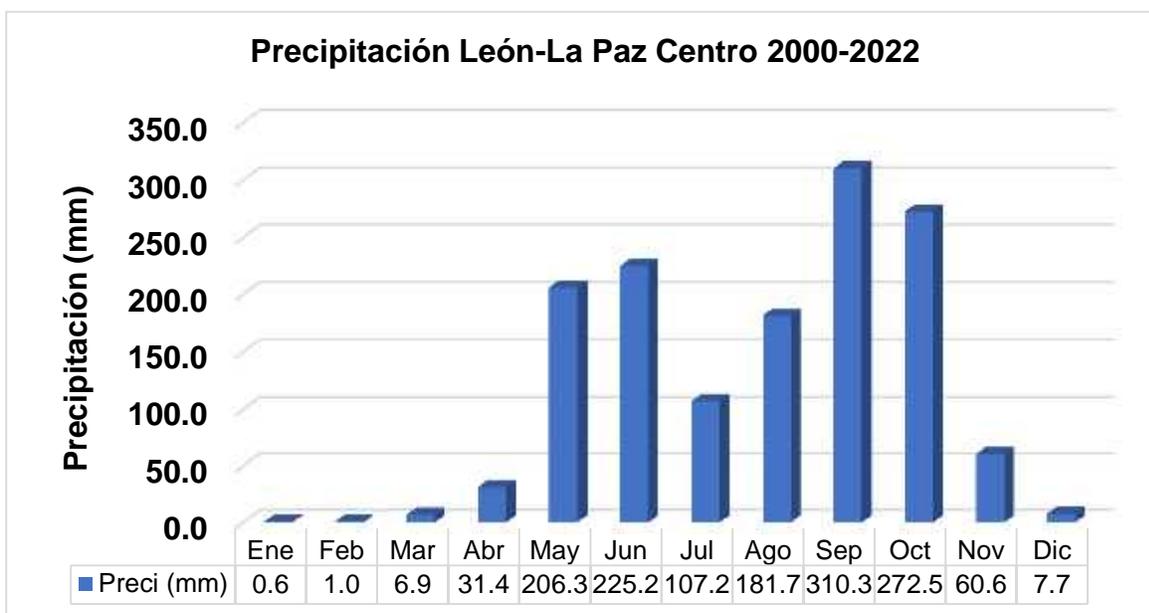
Tabla 4. Datos históricos de precipitación (mm) de la estación meteorológica León – La Paz Centro (2000-2022)

Parámetros	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Precip (mm)	0.6	1.0	6.9	31.4	206.3	225.2	107.2	181.7	310.3	272.5	60.6	7.7	1411.4

Fuente: Elaboración propia, con datos del sitio web Data Access Viewer.

A como se puede observar en los datos contenidos en la (Tabla 4 y Gráfico 2), se muestran los meses con altos niveles de precipitación, al igual que los meses donde la precipitación es considerablemente baja. Los meses donde se evidencia mayor precipitación, son septiembre con 310.3mm y octubre con 272.5mm, en Nicaragua el periodo lluvioso se considera entre los meses de mayo a octubre, durante esta época, las precipitaciones tienden a ser más frecuentes y abundantes. Mientras tanto que de noviembre a abril se inicia la temporada seca, donde las precipitaciones disminuyen drásticamente, obteniendo el valor más bajo en el mes de enero con 0.6mm.

Gráfico 2. Datos de históricos de precipitación (mm) de la estación meteorológica de León (2000-2022)

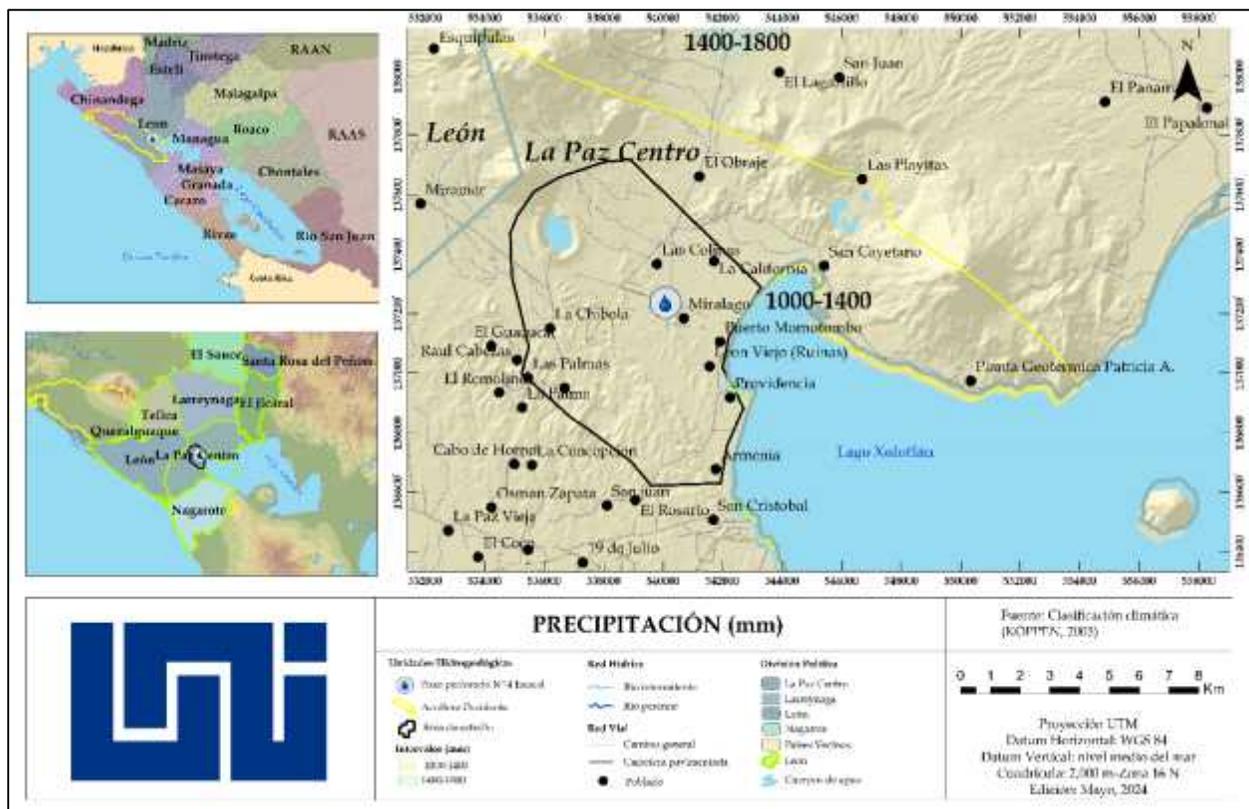


Fuente: Elaboración propia, con datos del sitio web Data Access Viewer.

A partir de los datos obtenidos de precipitación de la estación de León y La Paz Centro en un periodo de 23 años, la precipitación promedio es de 1,411.41mm, la cual se puede localizar dentro del intervalo de 1000 a 1400 mm anuales según la clasificación climática de INETER 2005 (Figura 9), evidenciando una discrepancia de 11.41mm de lluvia.

La IPCC (2021), infiere que la discrepancia entre los intervalos presentados por la clasificación climática y los datos medidos por Data Access Viewer, son derivados de los efectos del cambio climático ocurridos entre el año 2005 y 2022, experimentando con el paso del tiempo variaciones en la intensidad y frecuencia de las precipitaciones.

Figura 9. Mapa de precipitación media anual del área de estudio



Fuente: Elaboración propia, con datos de INETER.

b. Temperatura

Los datos de temperatura del área de estudio, fueron obtenidos de las estaciones denominadas “León” con código 640443 y “La Paz Centro” con código 69123, donde se empleó un periodo de 23 años el cual se encuentra comprendido desde enero del año

2000 hasta diciembre del año 2022. En ambas estaciones se evidencia una igualdad de valores, por tanto, al realizar el promedio no se obtuvo diferencia.

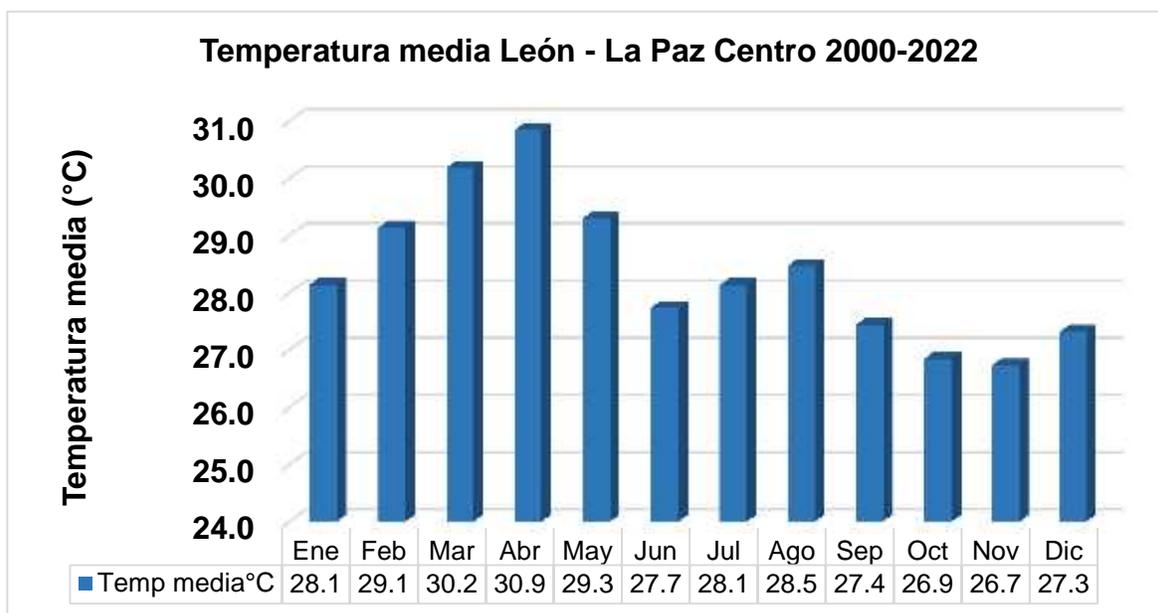
Tabla 5. Datos históricos de temperatura (°C) de la estación meteorológica León – La Paz Centro (2000-2022)

Parámetros	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temp media °C	28.1	29.1	30.2	30.9	29.3	27.7	28.1	28.5	27.4	26.9	26.7	27.3	28.4

Fuente: Elaboración propia, con datos del sitio web Data Access Viewer.

Respecto a la temperatura (Tabla 5 y Gráfico 3), se proporciona una visión general de los datos de temperatura media anual a lo largo de los años en el área de estudio, donde se puede identificar claramente las fluctuaciones estacionales, aumentando de febrero a abril, siendo los meses más calurosos marzo y abril, teniendo su máxima en abril de 30.9°C, este leve aumento de temperatura ocurre, ya que, se experimenta un aumento de la radiación solar y disminuye de junio a enero, siendo los meses más frescos de octubre a diciembre, registrándose la media mínima histórica en noviembre de 26.7°C.

Gráfico 3. Datos de históricos de temperatura (°C) de la estación meteorológica de León- La Paz Centro (2000-2022)

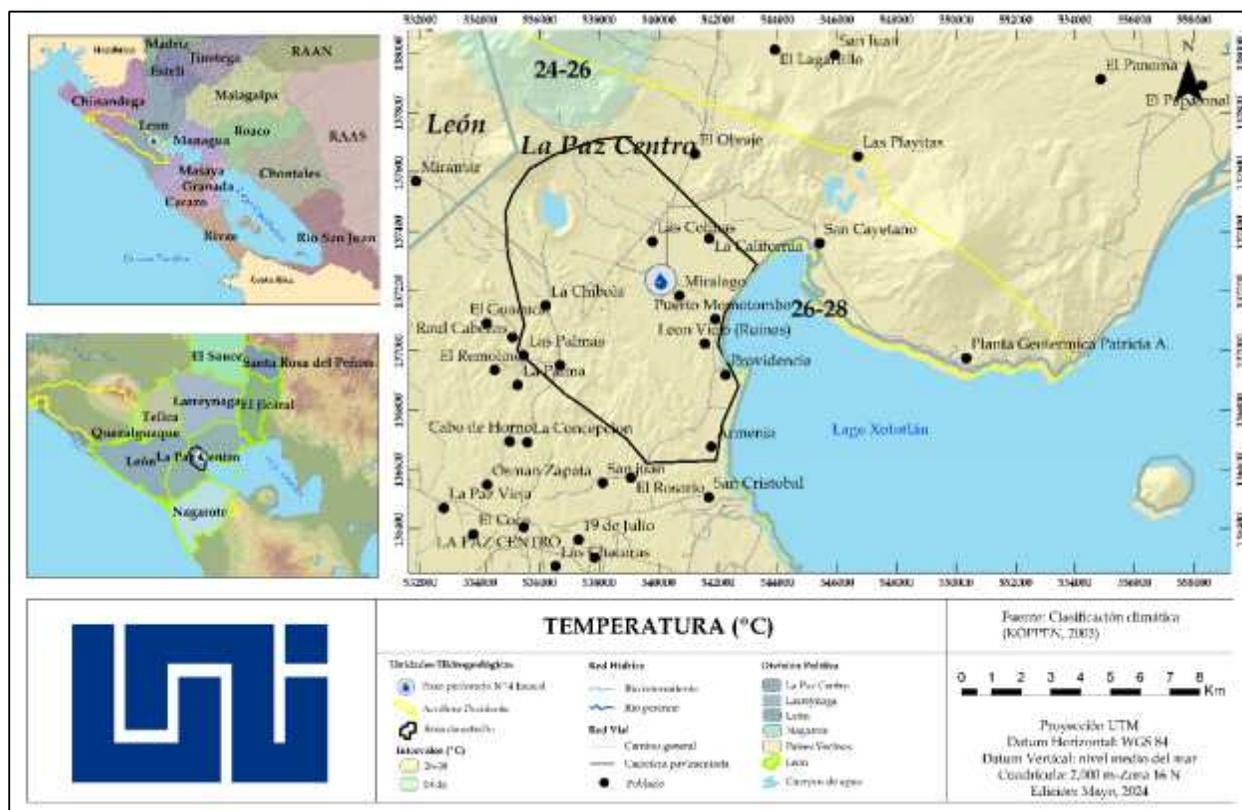


Fuente: Elaboración propia, con datos del sitio web Data Access View.

Realizando la comparación con los intervalos de clasificación presentadas por INETER 2005, se muestra en (Figura 10), en el área de estudio la temperatura oscila de 26-28°C, se puede concluir que este rango anual, se encuentra dentro de lo obtenido por las estaciones, con una varianza mínima, la cual se puede atribuir a varios factores, considerarlo dentro del contexto más amplio, el cambio climático global.

La IPCC (2021), en su sexto informe de evaluación sobre el cambio climático, habla sobre el aumento de la temperatura media de la superficie terrestre entre 2011 y 2020, la cual aumento 1.1°C (2°F) más alta que la temperatura promedio del siglo XIX (antes de la revolución industrial) y más alta que en cualquier momento en los últimos 100000 años.

Figura 10. Mapa de temperatura media anual del área de estudio



Fuente: Elaboración propia, con datos de INETER.

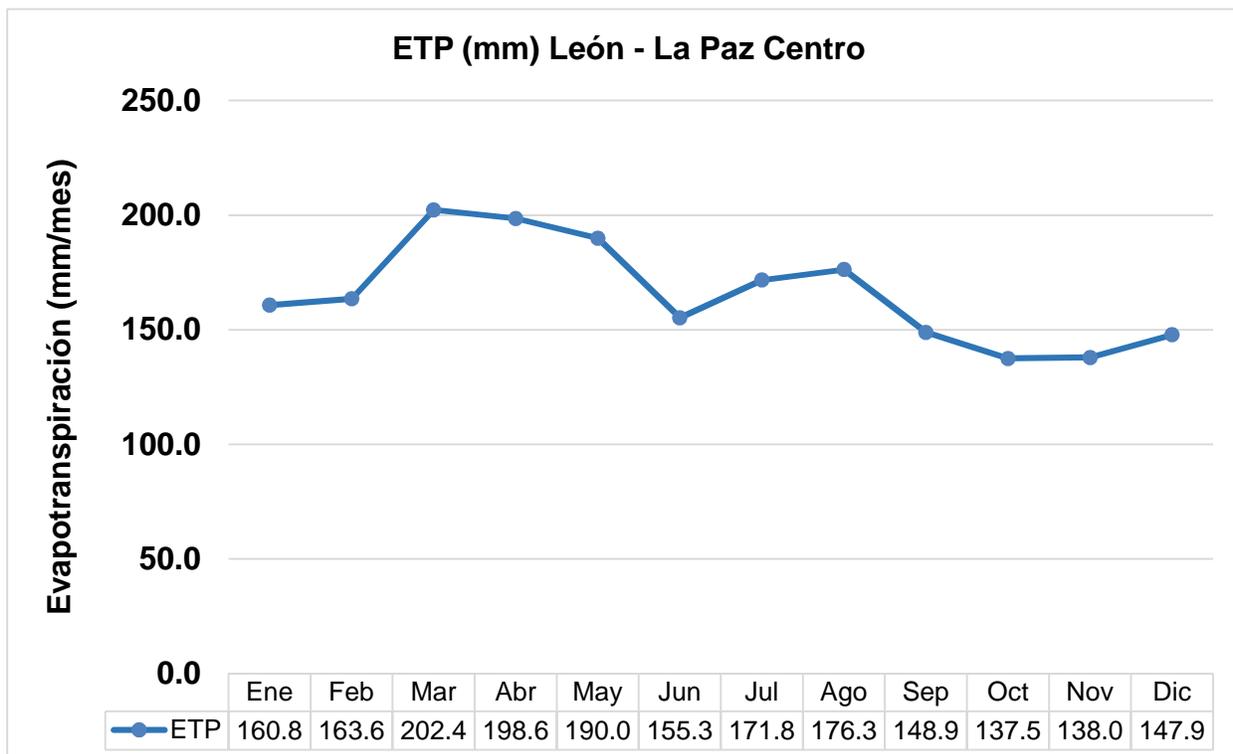
c. Evapotranspiración (ETP)

Para la determinación de la evapotranspiración potencial que involucra la pérdida de agua, la cual se da en conjunto de dos fenómenos; la evaporación que es de manera directa y la transpiración por medio de las plantas, se aplicó el método de Hargreaves

simplificada utilizando la Ecuación 1, que se muestra en el (Acápite VI), la cual utiliza las variables de temperaturas mínimas, medias y máximas, los datos tomados pertenecen a las estaciones denominadas “León” y “La Paz Centro”, donde se empleó un periodo de 23 años desde enero del año 2000 hasta diciembre del año 2022. Este método se seleccionó por su simplicidad y eficacia en áreas donde la disponibilidad de datos meteorológicos es limitada.

De acuerdo con el cálculo de la Evapotranspiración mediante el método de Hargreaves simplificado, la ETP anual total es de 1990.9 mm. Dentro de esta distribución, el mes que registra el valor máximo mensual es marzo, con 202.4 mm, indicando una mayor demanda de agua atmosférica, en cambio, el valor mínimo mensual es octubre, con 137.5 mm, reflejando una menor pérdida de agua debido a la evaporación y la transpiración (Gráfico 4, Anexo 1. 1. Cálculo de evapotranspiración potencial, pág. v).

Gráfico 4. Evapotranspiración de la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia, con datos del sitio web Data Access View.

7.1.2. Suelo

a. Taxonomía

De acuerdo con la caracterización de uso de suelo presentada por (MARENA, MAG, UNA, INAFOR, INETER, 2015), en el área de estudio se distinguen 4 tipos (Figura 11) y se describen con el apoyo del “1er Atlas Nacional de Suelos de Nicaragua”. A continuación, se muestran los tipos de suelo encontrados en el área, los cuales son:

) **Andisol**

INETER-DGOT (2021), describe a estos suelos, como suelos porosos con alta capacidad de infiltrar agua al manto acuífero, retener agua, purificarla y controlar la erosión, son de origen volcánico por antonomasia, se forman de cenizas y vidrios volcánicos, así como a partir de otros materiales piroclásticos, de colores oscuros, siendo altamente porosos, ligeros, permeables, de buena estructura y fáciles de trabajar. Presentan una horizonación típica de suelos jóvenes, con secuencias A-Bw-C-R.

Se encuentran dentro del suborden Vitrandis (DF) que se caracterizan por su origen de materiales volcánicos, presentan textura franco arenosa, franca y franco arcillosa, es apto para la mayoría de los cultivos propios de cada zona y no se requieren practicas especiales, excepto el buen manejo del suelo para su conservación, también pertenece al suborden Ustands (DG) derivados de los materiales volcánicos tanto de cenizas, como de otros piroclastos, permanecen secos más de 90 días consecutivos en años normales, el uso de estos suelos contempla un alto potencial productivo en ellos se han establecidos cultivos tales como algodón, maíz, caña de azúcar y más recientemente el cultivo de maní (INETER-DGOT, 2021).

) **Entisol**

Se caracterizan por ser suelos de reciente formación con poco o ningún desarrollo de horizontes o capas. La secuencia típica de horizontes es A-AC-R o A-R, generalmente muy superficiales, se encuentran en paisajes de laderas, superficies erosionadas y depósitos recientes, se desarrollan en cualquier tipo de clima. Estos suelos se localizan en los subordenes Aquepts (LB), Psamments (LD), Fluvents (LE) y Orthents (LF).

Aquents (LB) son suelos que tienen un régimen de humedad ácuico (agua) y materiales sulfídicos de colores grises, gris amarillento o azul grisáceo, todos o casi todos sus horizontes permanecen saturados con agua.

Por otro lado, los Psamments (LD) contiene una clase textural de arena franca fina o más gruesa en todas las capas y menos del 35% (por volumen) de fragmentos rocosos.

Los Fluents, por su parte, se han desarrollado a partir de la acumulación de los sedimentos de ríos en diferentes capas, ya sea de limos y arcillas ricas en materia orgánica o arcillas y arena muy fina, se conocen como suelos aluviales o de vega de ríos, son muy productivos pero sujetos a inundaciones por crecidas.

Por último, los Orthents son suelos de escaso desarrollo, se caracterizan por ser muy superficiales a moderadamente superficiales, porque se encuentran en lugares accidentados, con pendientes que van de 15 a más de 50%, donde la erosión reduce las posibilidades de desarrollo de horizontes. La mayor parte de éstos soportan agricultura de cultivos limpios, como frijol y maíz, favoreciendo su degradación y pérdida de forma acelerada (INETER-DGOT, 2021).

Ñ **Inceptisol**

De acuerdo al primer atlas nacional de suelos de Nicaragua emitido por INETER-DGOT (2021), en este orden, se incluye suelos que abarcan vastas regiones del trópico seco, regiones subhúmedas y húmedas del país, estos suelos presentan una horizonación típica de suelo joven A-Bw-C-R o A-Bw-C1-C2. Se han desarrollado de materiales geológicos recientes y presentan un horizonte cámbico que guarda estrecha relación con el material del que se ha originado el suelo.

Se localiza dentro de los subordenes de suelos Ustepts (KE) y Udepts (KG), estos comparten ciertas características distintivas, pero también presentan diferencias significativas en términos de su desarrollo y propiedades. Los Ustepts están definidos por el régimen de humedad del suelo Ústico (seco), permanecen secos por más de 90 días consecutivos en años normales. Por otro lado, los Udepts están definidos por el régimen de humedad el suelo Údico (húmedo), estos suelos permanecen secos menos de 90 días consecutivos en años normales.

Ñ Molisol

Estos suelos son de color oscuros, enriquecidos por los altos contenidos de materia orgánica, acorde con su definición etimológica son suelos suaves, bien estructurados, no son duros ni masivos. Su horizonación común es A-Bt-C-R o pueden encontrarse otras variantes en función del grado de desarrollo del suelo. Se han desarrollado a partir de materiales geológicos básicos, principalmente volcánicos, o de sedimentos en zonas de acumulación.

Los suelos molisoles están comprendido por tres subordenes Aquolls (IB), Ustolls (IG) y Udolls (IH). Los Aquolls son suelos definidos por el régimen de humedad del suelo Ácuica (Agua), presentando una saturación y reducción continua o periódica. No obstante, los Ustolls son suelos que se dan por el régimen de humedad del suelo Ústico (seco), estos permanecen secos por más de 90 días consecutivos durante el periodo lluvioso, lo que hace difícil que sean cultivados en régimen de secanos, ya que, no pueden retener suficiente agua.

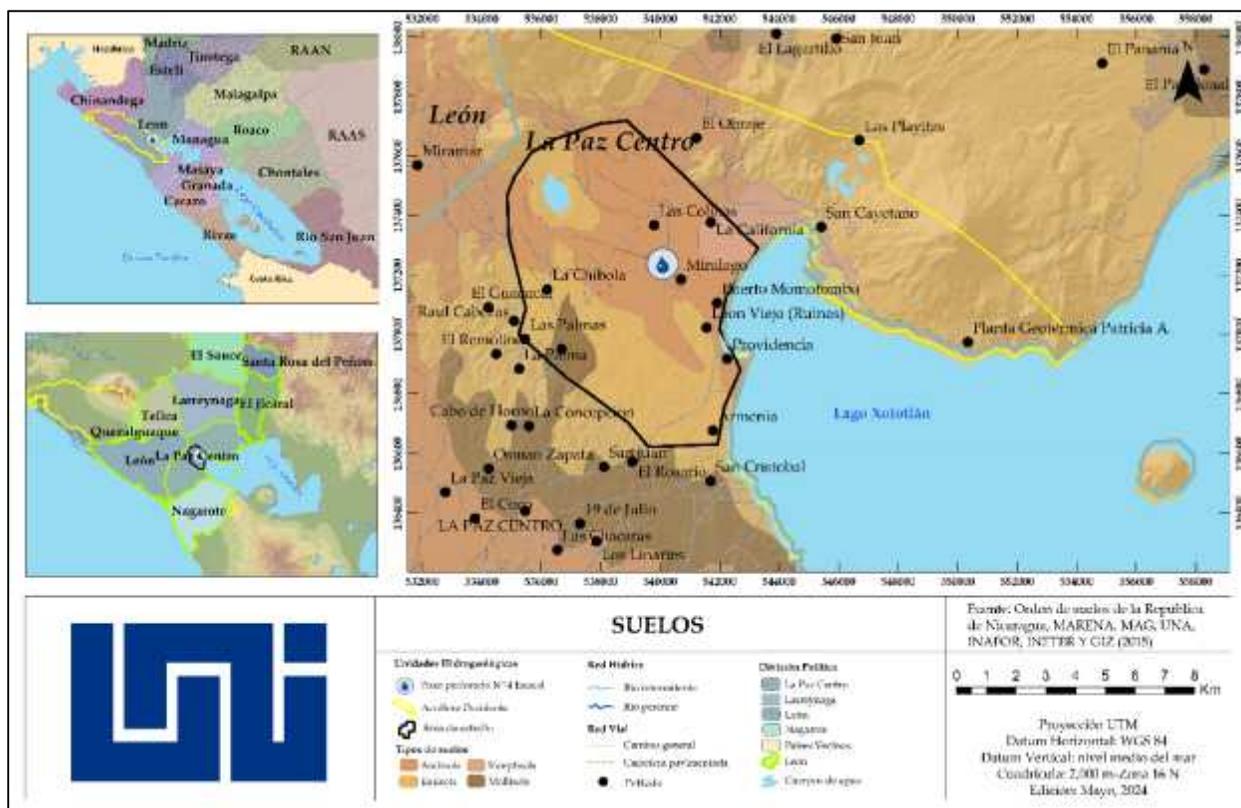
Finalmente, los suelos Udolls están definidos por el régimen de humedad del suelo Údico (húmedo), los cuales permanecen secos menos de 90 días consecutivos en años normales durante el periodo lluvioso, en Nicaragua están distribuidos en las regiones sub húmedas y húmeda (INETER-DGOT, 2021).

Tabla 6. Distribución tipo de suelo en el área de estudio

Área de estudio		
Tipo de suelo	Km²	%
Andisol	31.59	50.24
Entisol	26	41.35
Inceptisol	2.42	3.85
Molisol	2.87	4.56
Total	62.88	100

Fuente: Elaboración propia, con datos de MAREANA, MAG, UNA, INAFOR, INETER y GIZ.

Figura 11. Mapa taxonómico de suelos del área de estudio



Fuente: Elaboración propia, con datos de MAREANA, MAG, UNA, INAFOR, INETER y GIZ.

b. Cobertura y uso de suelo

El área en estudio presenta una variedad de coberturas y usos de suelos que reflejan la diversas actividades y características ambientales presentes, las cuales están compuesta por una combinación de elementos naturales y construidos que le confieren una diversidad visual y funcional (Figura 12).

En términos de vegetación, se observa una cobertura dispersa en el área de estudio, la cual está constituida con una amplia gama de especies arbóreas, tanto arboles nativos como ornamentales. En lo que respecta a los cultivos, se observa una presencia significativa de áreas destinadas a la agricultura, las cuales comprenden huertos comunitarios, pequeñas granjas familiares y parcelas de cultivo destinadas a la producción de alimentos locales y algunos para ser comercializados en el Municipio de La Paz Centro.

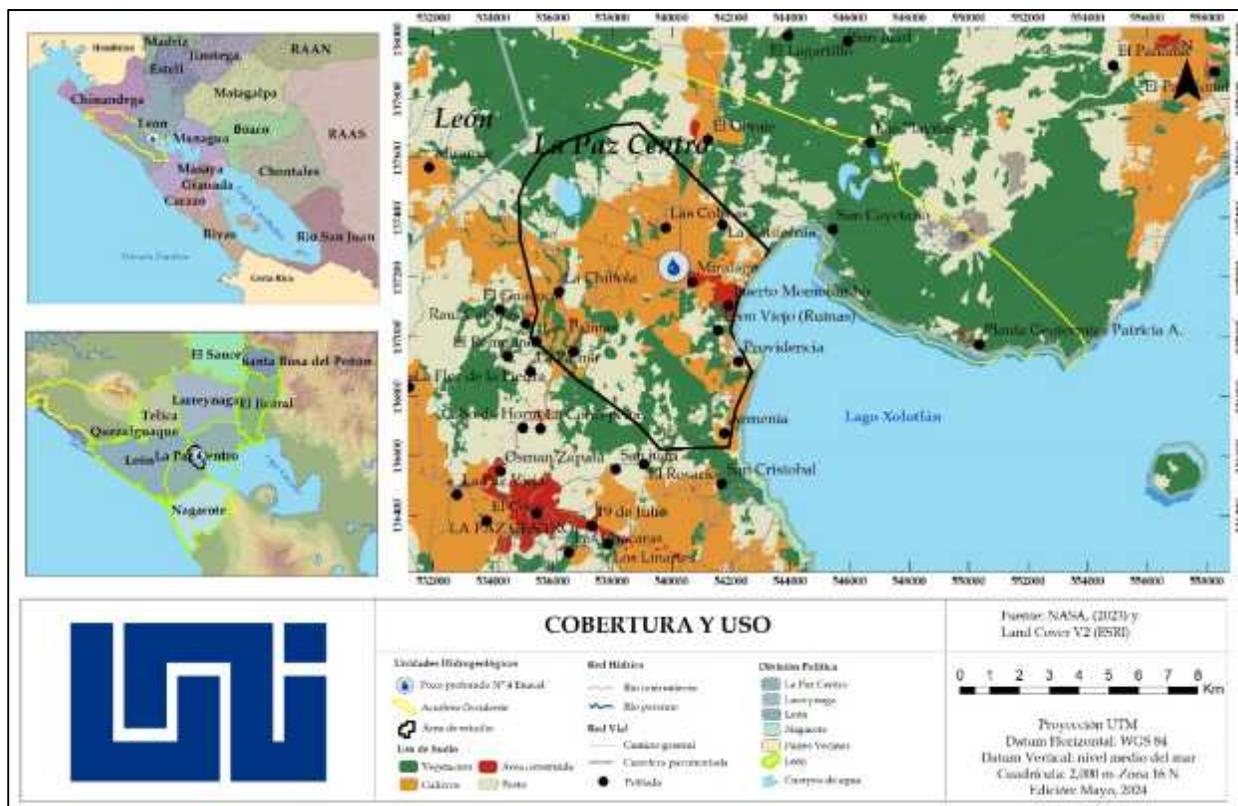
En cuanto a área construida, se localizan distribuciones de estructuras de viviendas tradicionales, destinada a actividades humanas, con infraestructuras que incluyen calles adoquinadas, aceras y otras instalaciones, que se extienden a lo largo del área de estudio. El pasto al igual que la vegetación se muestra de manera dispersa, estos constituyen una parte significativa en cuanto a paisaje y contribuye a la absorción de agua de lluvia y a la prevención de la erosión del suelo.

Tabla 7. Distribución cobertura y uso de suelos en el área de estudio

Área de estudio		
Uso y cobertura	Km ²	%
Vegetación	17.57	27.94
Pasto	17.47	27.78
Cultivo	25.37	40.35
Área construida	1.64	2.61
Agua	0.83	1.32
Total	62.88	100

Fuente: Elaboración propia, con datos de la NASA Y ESRI.

Figura 12. Mapa uso y cobertura de suelos del área de estudio



Fuente: Elaboración propia, con datos de la NASA y ESRI.

7.1.3. Contexto geológico

a. Estructura geológica

La estructura geológica encontrada en el área de estudio basada en la información contenida en el mapa Geológico (Figura 13), que han actuado a lo largo del tiempo, está constituida principalmente por dos unidades litológicas, las cuales corresponde a depósitos volcánicos (Qiv) y depósitos aluviales recientes (Qal).

Aluviales recientes (Qal): Es un suelo sedimentario que se ha formado a partir de material que ha sido transportado por corrientes de agua. Aunque generalmente los suelos aluviales son considerados de origen fluvial, las corrientes de agua que transportan el sedimento pueden provenir también de la lluvia o de las marismas, encontrándose en llanuras aluviales. Estos suelos presentan un perfil poco estructurado, el cual está formado de materiales no consolidados a los que transportan las corrientes de agua y que acumulan en su superficie cierta cantidad de materia orgánica.

Son suelos generalmente con suficiente cantidad de arcillas para hacerlos impermeables y son de color oscuros. Sus características particulares varían mucho y dependen en gran medida del material depositado, generalmente contienen bastantes minerales, aunque la proporción y tipo de minerales presentes van a variar dependiendo de la localidad y la fuente del material transportado.

Se forman en zonas de topografía llana o ligeramente ondulada y normalmente están sujetos a inundaciones periódicas. Su textura generalmente va de franco limosa a franco arcillo limosa y de acuerdo a su composición se pueden dividir en varios subtipos, como por ejemplo tónicos, móllicos y cálcicos con mayores cantidades de azufre, materia orgánica o calcio, respectivamente, en los primeros centímetros de profundidad (Lira Gómez, 2019).

Depósitos volcánicos (Qiv): Los depósitos volcánicos de origen reciente, formado por materiales piroclásticos, cenizas finas, poméz, lapilli, etc. Constituyen el relleno superficial de varias áreas de la región del pacifico de la Depresión Nicaragüense y de la

planicie León-Chinandega, que pueden ser clasificados como acuíferos excelentes con espesuras que llegan hasta los 90 metros.

Las capas más recientes están constituidas de pómez intemperizado y arenas piroclásticas finas hasta gruesas. Dentro de estas capas aparecen pequeñas lentes de aluviones arcillosos, arenas finas y gravas, productos de erosión de los sedimentos del pleistoceno y de piroclásticos cuaternarios. Cerca de las costas estas intercalaciones son formadas de arenas, arcillas y material orgánico.

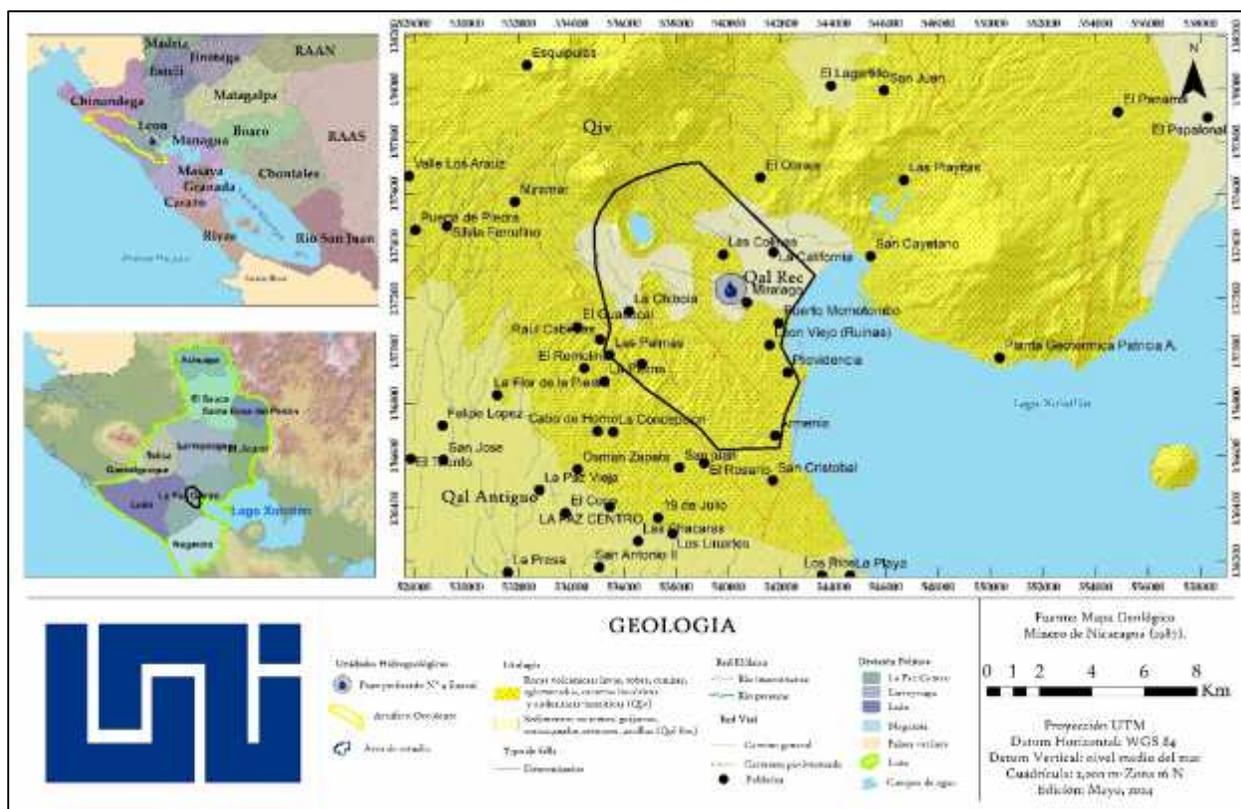
Los depósitos volcánicos son el resultado de materiales como rocas y gases emitidos por una erupción volcánica. Los volcanes son grietas en la tierra que permiten que la roca derretida o parcialmente derretida llamada magma salga a la superficie. (Aunque tan pronto como esta roca fundida golpea la superficie, ya no se llama magma, sino que se conoce como lava) (Fenzel, 1989).

Tabla 8. Distribución litológica en el área de estudio

Área de estudio		
Litología	Km²	%
Aluvial reciente (Qal)	18.54	29.48
Depósitos volcánicos (Qiv)	44.34	70.52
Total	62.88	100

Fuente: Elaboración propia, con datos del mapa Geológico y Minero de Nicaragua.

Figura 13. Mapa geológico del área de estudio



Fuente: Elaboración propia, con datos del mapa Geológico y Minero de Nicaragua.

7.1.4. Contexto hidrogeológico

a. Medio hidrogeológico

El área de estudio se encuentra sobre el acuífero León-Chinandega “Occidente”, a través del estudio de Calderón (2004), se detalla que es un acuífero libre y somero de 1300 km² de extensión, por otra parte, Hernández et al (2006), aduce que este acuífero cuenta con un potencial estimado de 462 millones de metros cúbicos anual (Mm³/año), siendo uno de los reservorios de agua subterránea más importante del país.

Custodio & Llamas (2001), describen al acuífero libre en el cual existe una superficie libre del agua encerrada en ellos, que está en contacto directo con el aire y por lo tanto, a presión atmosférica.

Los acuíferos de esta zona se componen de tres unidades hidrogeológicas. La unidad superior es un sedimento de aguas aluviales. Por debajo se sitúa una estructura

volcánica consolidada. Al final de estos acuíferos existe una zona de descanso, que actúa como una especie de sótano de la estructura. Las llanuras se utilizan principalmente para fines agrícolas y la mayoría de las explotaciones de riego provienen de pozos del acuífero superior (no más de 70 metros) (DICYT, 2009).

La transmisividad regional, que se refleja del mapa hidrogeológico del Pacífico de Nicaragua de Krásný (1998) en el área de estudio presenta un valor desde los 230 m²/d hasta 1200 m²/d, siendo clasificada como clase I (Tabla 7, Figura 14).

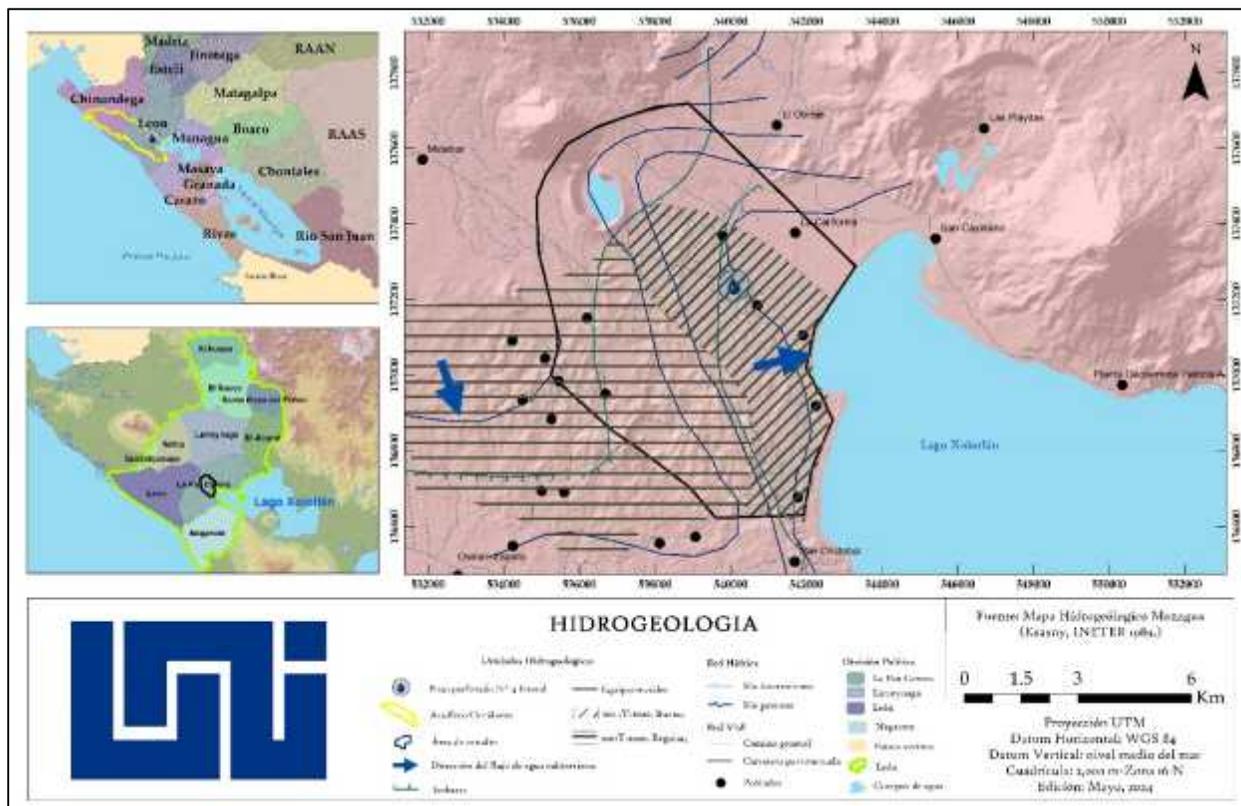
Con este tipo de transmisividad se entiende que la estructura geológica del área corresponde a sedimentos recientes y no consolidados que en su mayoría está compuesto por partículas con mayor espacio entre ellas, lo que ocasiona una mejor trayectoria del agua que es almacenada en el medio.

Tabla 7. Clase de transmisividades

Coefficiente de transmisividad (m²/d)	Clase de la transmisividad	Rango de la transmisividad
>1000	I	Muy alta
100 - 1000	II	Alta
10 - 100	III	Moderada
1 - 10	IV	Baja

Fuente: (Krásný, 1998).

Figura 14. Mapa hidrogeológico del área de estudio



Fuente: Elaboración propia, con datos del mapa hidrogeológico Managua de Krásný, INETER (1998).

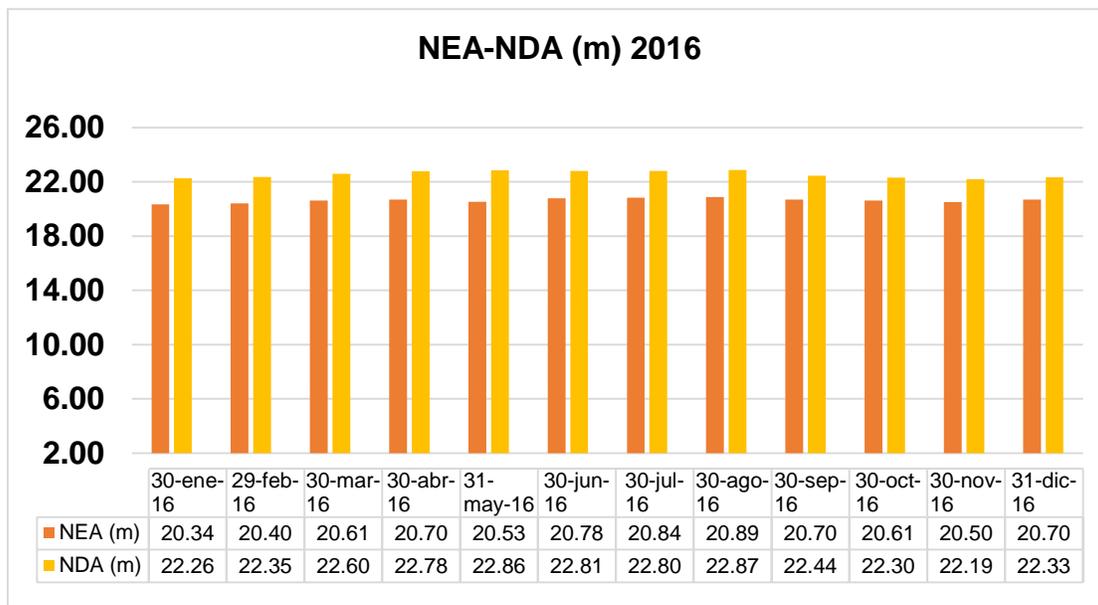
7.1.5. Hidrodinámica

La Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ENACAL) sede León, proporcionó los datos de los niveles estáticos y dinámicos del pozo de Momotombo #4 entre el año 2016 al 2019. Dichos datos oscilan entre 20.95 y 22.76 m durante el bombeo, realizando la diferencia entre ambos niveles se refleja la capacidad de almacenamiento del pozo y su capacidad para recuperar el agua durante la extracción.

A como se muestre en el Gráfico 5 y 6 el cual pertenece al año 2019, año en el cual se realizó el último monitoreo de niveles al pozo en estudio, (ver Anexo 2. 1. Niveles estáticos y dinámicos del pozo Momotombo #4 ENACAL, pág. vi), se presente una diferencia mínima entre el nivel estático de 0. 86 m y nivel dinámico de 1.09 m. Esto sugiere una estabilidad relativa en el nivel del agua a lo largo del período de monitoreo de cinco años. Estos niveles son indicadores clave para evaluar la salud hidrogeológica

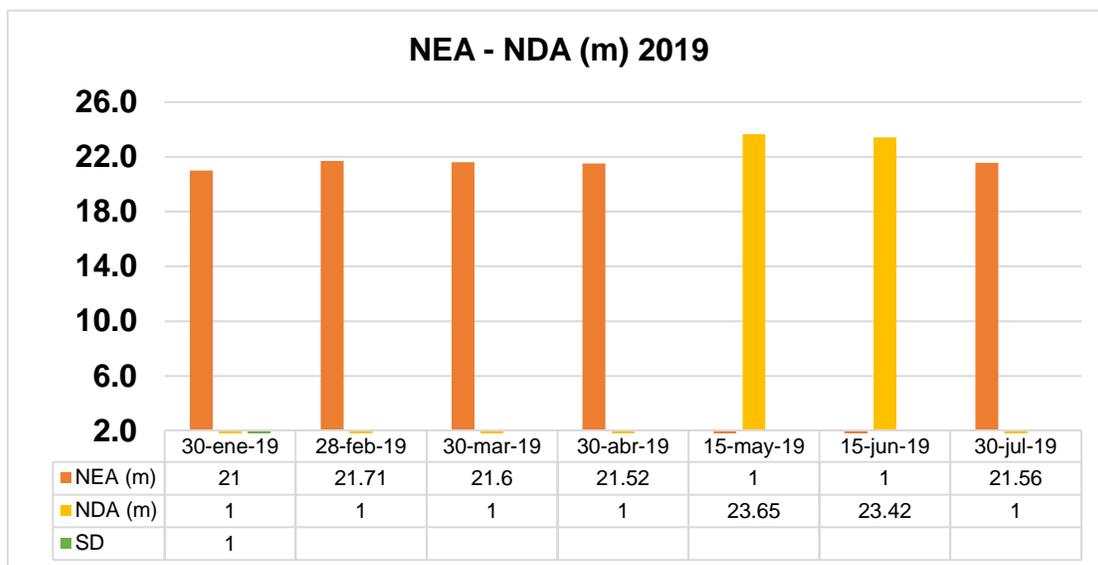
del pozo, o para comprender los efectos de actividades humanas o cambios ambientales en el sistema hidrológico, ayudando a prevenir la sobreexplotación y a diseñar estrategias de gestión adaptativas.

Gráfico 5. Niveles estáticos y dinámicos del pozo Momotombo #4 ENACAL - La Paz Centro 2016



Fuente: Elaboración propia, con datos de ENACAL.

Gráfico 6. Niveles estáticos y dinámicos del pozo Momotombo #4 ENACAL - La Paz Centro 2019



Fuente: Elaboración propia, con datos de ENACAL.

SD: Sin datos.

a. Inventario de pozo

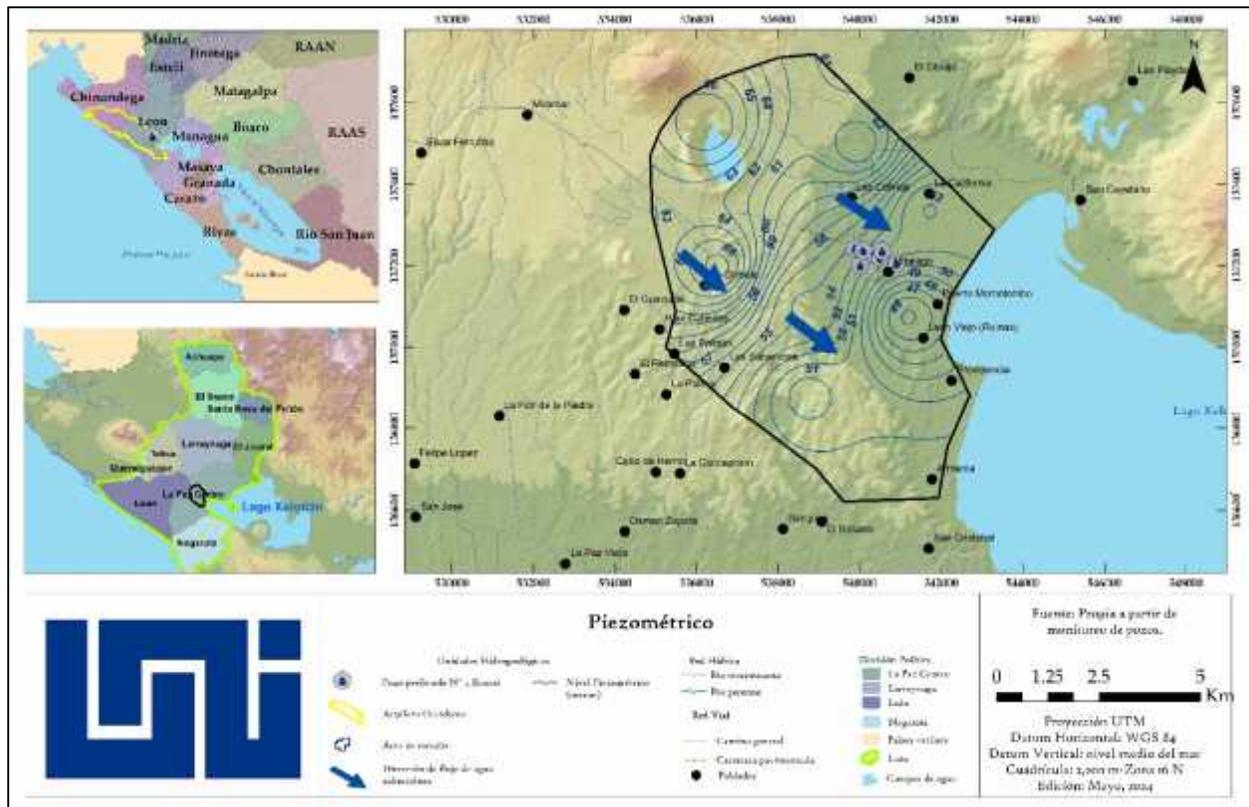
Las líneas de dirección de flujo son líneas imaginarias que trazan el camino que una partícula de agua subterránea podría seguir a través del acuífero. Líneas equipotenciales son líneas que conectan puntos con igual carga en el acuífero (los contornos de agua subterránea que se dibujan en un mapa son equipotenciales) (Uliana, 2012).

El área de estudio se encuentra sobre el acuífero de occidente, el cual se clasifica por ser un acuífero libre, por lo que las líneas equipotenciales son denominadas nivel freático.

La estructura geológica del área presenta una heterogeneidad, evidenciada por la diversidad de características de los aluviales recientes y los depósitos volcánicos. Esta heterogeneidad incide directamente en la naturaleza de los flujos subterráneos, ya que el agua se desplaza a través de los vacíos o poros de los depósitos aluviales, los cuales varían en granulometría, así como en los depósitos volcánicos piroclásticos, por tal razón, las condiciones del flujo subterráneo están intrínsecamente ligadas a la litología específica del área.

Los niveles estáticos del agua medidos en el área de estudio, muestran que los niveles de agua subterránea monitoreados en la misma se encuentran entre 17.42 y 29.72 m, ver (Anexo 2.2, Inventario de fuentes subterráneas, Pág. vi), con la información de niveles recopilada se realizó una interpolación de datos por medio del Software ArcGIS y la herramienta IDW, obteniendo las curvas equipotenciales del área de estudio (Figura 15), las cuales oscilan entre 65 hasta los 46 m.s.n.m, el movimiento del flujo subterráneo en el área de estudio tiene una dirección de noroeste a sureste, donde su punto de descarga es el lago Xolotlán.

Figura 15. Mapa piezométrico del área de estudio



Fuente: Elaboración propia, con datos recopilado.

b. Datos técnicos del pozo

El pozo de abastecimiento de agua está situado en la comunidad de Momotombo, con coordenadas UTM 540084E – 1372363N, el cual fue perforado a una profundidad total de 250 pies utilizando el método de perforación rotativa, donde se utilizó una torre de perforación con brocas de diferentes tamaños y características, hasta lograr llegar a la profundidad ya indicada y al diámetro de perforación de 14.75 pulgadas, lo que permite la instalación de tuberías de diferentes diámetros para diversas funciones, además de utilizar mortero y grava de río como revestimiento en la base y paredes del pozo.

Posteriormente, se instaló 120 pies de tubería ranurada de 8 pulgadas de diámetro slot 60 es para permitir el ingreso de agua desde el acuífero al pozo de manera controlada y 60 pies de tubería ciega de 8 pulgadas SDR 21. Esta tubería de ranuras finamente talladas permite la entrada de agua mientras evita la entrada de partículas sólidas.

Además, se colocó una tubería de niveles piezométricos de 1 1/2 pulgadas de diámetro para monitorear el nivel del agua dentro del pozo.

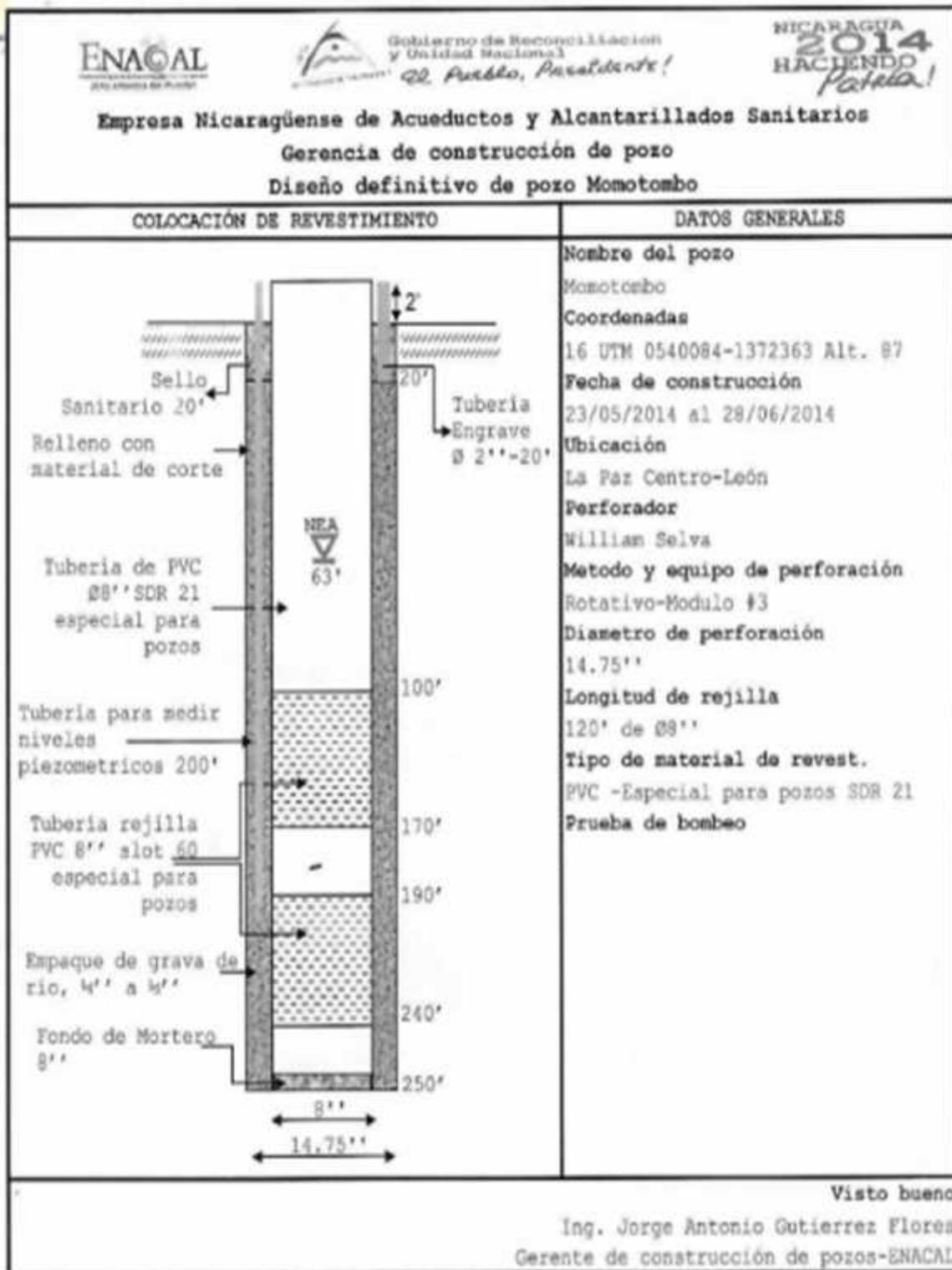
La longitud total de la columna de bombeo es de 180 pies, con un diámetro de 4 pulgadas, lo que permite una extracción eficiente del agua desde el acuífero hasta la superficie. El nivel de la bomba se ajusta para optimizar la eficiencia de extracción y mantener el suministro de agua constante. Este pozo cuenta con una bomba sumergible con un caudal de bombeo de 350 galones por minuto (gpm). Además, está equipado con una sarta de descarga de 4 pulgadas de diámetro, a través de la cual el líquido circula hasta llegar a los tanques de almacenamiento, no obstante, se realizan análisis de calidad del agua para verificar si cumple con los estándares establecidos para consumo humano.

Tabla 9. Datos técnicos Pozo Momotombo #4

Datos técnicos Pozo Momotombo #4	
Profundidad	250 pies
Método y equipo de perforación	Rotativo-modulo #3
Ø perforación	14.75 pulgadas (0.37465 m)
Tubería ciega	8 pulgadas SDR 21
Tubería ranurada	8 pulgadas PVC, slot 60
Tubería de niveles piezométricos	200 pies 1 1/2 pulgadas PVC
Sello sanitario	20 pies
Longitud de columna de bombeo	180 pies, 4 pulgadas hf
Limp. + Desarrollo	8 horas
Pruebas de bombeo	24 horas
Tipo de bomba	Sumergible
Caudal de diseño	350 gpm
Nivel estático del agua (NEA)	21.41m
Nivel dinámico del agua (NDA)	24.03m
Nivel bomba	190 pies

Fuente: Elaboración propia, con datos de ENACAL

Figura 16. Diseño Pozo Momotombo #4 ENACAL



Fuente: ENACAL-León.

7.2. Hidráulica de pozo

7.2.1. Análisis de características hidráulicas

Para evaluar los parámetros hidráulicos del área de estudio, se llevó a cabo una prueba de bombeo en el pozo Momotombo #4 de ENACAL, (Ver Anexo 3. 1. Resultados de la prueba de bombeo, Pág. ix), además, se realizó una medición de caudal, utilizando dos métodos: volumétrico y de la escuadra, a partir de esto, se obtuvo un caudal promedio de 325 galones por minutos (gpm).

La prueba de bombeo se llevó a cabo durante un período de 20 horas (equivalente a 1200 minutos), manteniendo un caudal constante de bombeo de 325 galones por minuto (gpm).

a. Transmisividad

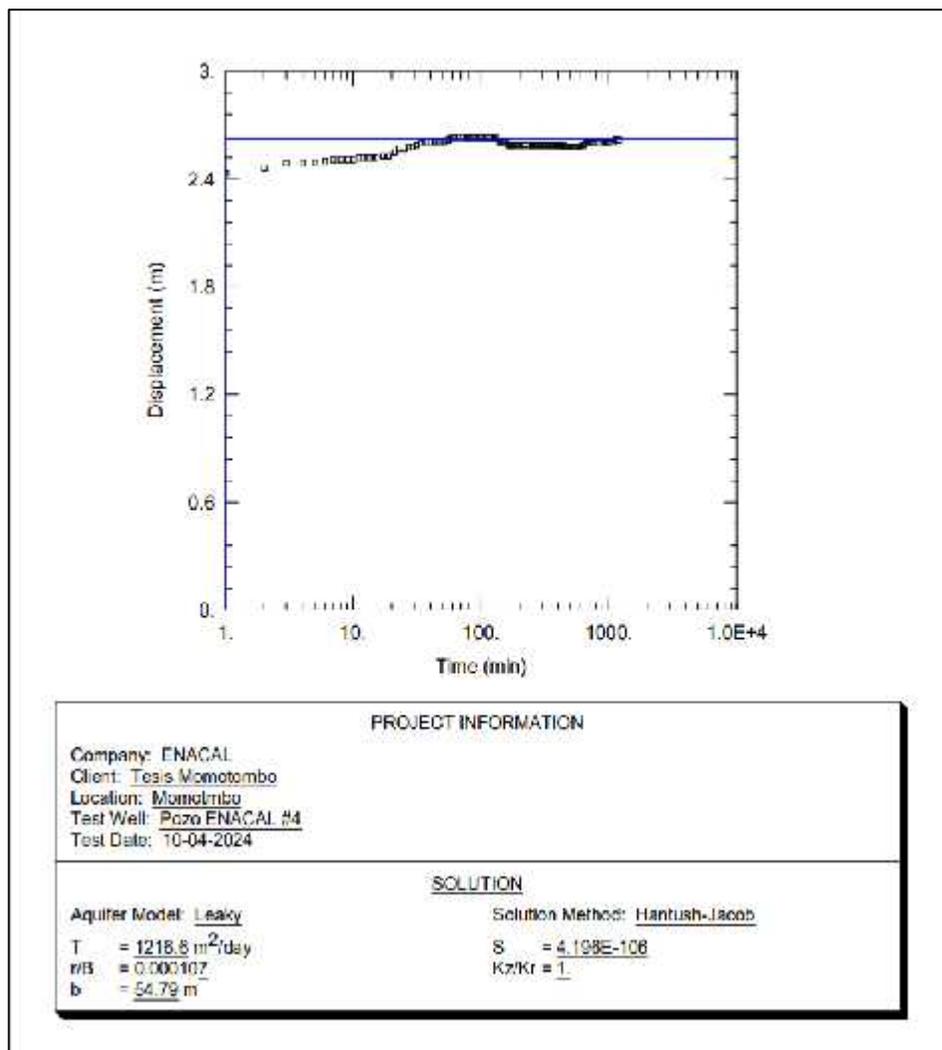
La transmisividad calculada en la prueba de bombeo, se realizó mediante el software AQTESOLV, expresada en unidades de medida (m^2/d), donde se utilizó el método de Hantush-Jacob, adecuado para acuíferos semiconfinados con fugas "Leaky".

De acuerdo con la metodología empleada en el AQTESOLV, la evaluación de las propiedades del acuífero implica comparar la función del pozo Hantush-Jacob $w(u,r/B)$ para acuíferos semiconfinados con fugas con los datos de extracción recopilados durante una prueba de bombeo (prueba de acuífero). La solución supone que no hay almacenamiento en acuitardos con fugas incompresibles y puede dar cuenta de pozos con penetración parcial (Hantush & Jacob, 1961).

Bajo el método utilizado se obtuvo una transmisividad de 1216.60 m^2/d (Figura 17), indicando que el pozo es altamente productivo, ya que, de acuerdo a la geología del área, esta se encuentra en aluviales recientes y depósitos volcánicos, los cuales suelen ser sedimento granulares y porosos, lo que permite que el agua pueda infiltrarse y moverse a través de los espacios porosos.

La transmisividad obtenida se encuentra dentro del rango del mapa hidrogeológico del pacífico y clasificándolo según las clases de transmisividad de Krásný (1998), se considera de clase I, indicando una transmisividad “Muy alta”, dado que se encuentra en el intervalo superior a $>1000 \text{ m}^2/\text{d}$, ver (Tabla 7. Clase de transmisividad, sub acápite 7.2.1. Análisis de características hidráulicas). Por otra parte, Fenzel (1989), caracteriza la cuenca subterránea León-Chinandega con una transmisividad del sistema acuífero que va de $300 \text{ a } 2000 \text{ m}^2/\text{día}$, con un valor promedio de $1320 \text{ m}^2/\text{día}$, lo cual indica que la transmisividad calculada se encuentra dentro del rango típico del acuífero determinado por Fenzel.

Figura 17. Prueba de bombeo AQTESOLV



Fuente: Elaboración propia, con el software AQTSOLVE.

b. Conductividad hidráulica

La permeabilidad o conductividad hidráulica se calculó utilizando la Ecuación 3, descrita en el diseño metodológico (Sub acápite 6.4).

La transmisividad utilizada es la calculada en la prueba de bombeo, la cual es de 1216.6 m²/d, el espesor de acuífero captado no es más que la profundidad total del pozo menos el nivel estático medido a la hora de iniciar la prueba de bombeo, siendo el espesor captado de 54.79 m.

De acuerdo al cálculo realizado se estimó una permeabilidad de 22.20 m/d equivalente a 2.57E-02 cm/s, encontrándose en el rango de permeabilidad de 10¹. Por su parte, Custodio & Llamas (2001), categorizan a la permeabilidad en el rango de 10¹ como un acuífero de alta productividad, ya que, el acuífero está compuesto por arena limpia, grava y una mezcla de ambos, permitiendo desarrollar una capacidad de drenaje óptima, lo que significa que el agua puede moverse fácilmente a través del acuífero, lo que lo hace favorable para el almacenamiento y la transmisión de agua subterránea.

Figura 18. Clasificación de permeabilidad en materiales detríticos sedimentarios

Permeabilidad (m/día)	10 ⁶	10 ⁵	10 ⁴	10 ³	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶
Tipo de terreno	Grava limpia		Arena limpia; mezcla de grava y arena		Arena fina; arena arcillosa; mezcla de arena, limo y arcilla; arcillas estratificadas			Arcillas no meteorizadas			
Calificación	Buenos acuíferos				Acuíferos pobres			Impermeables			
Capacidad de drenaje	Drenan bien				Drenan mal			No drenan			

Fuentes: (Custodio & Llamas, 2001).

c. Capacidad específica

La capacidad específica de un pozo es el caudal de agua bombeado entre el abatimiento medido en el pozo, por tanto, se calculó utilizando la Ecuación 4, descrita en el diseño metodológico (Sub acápite 6.4).

El caudal que brinda el pozo es de 1,771.38 m³/d, equivalente a 325 gpm, con un descenso medido en el pozo o abatimiento máximo de 2.63 m durante un bombeo de 20 horas.

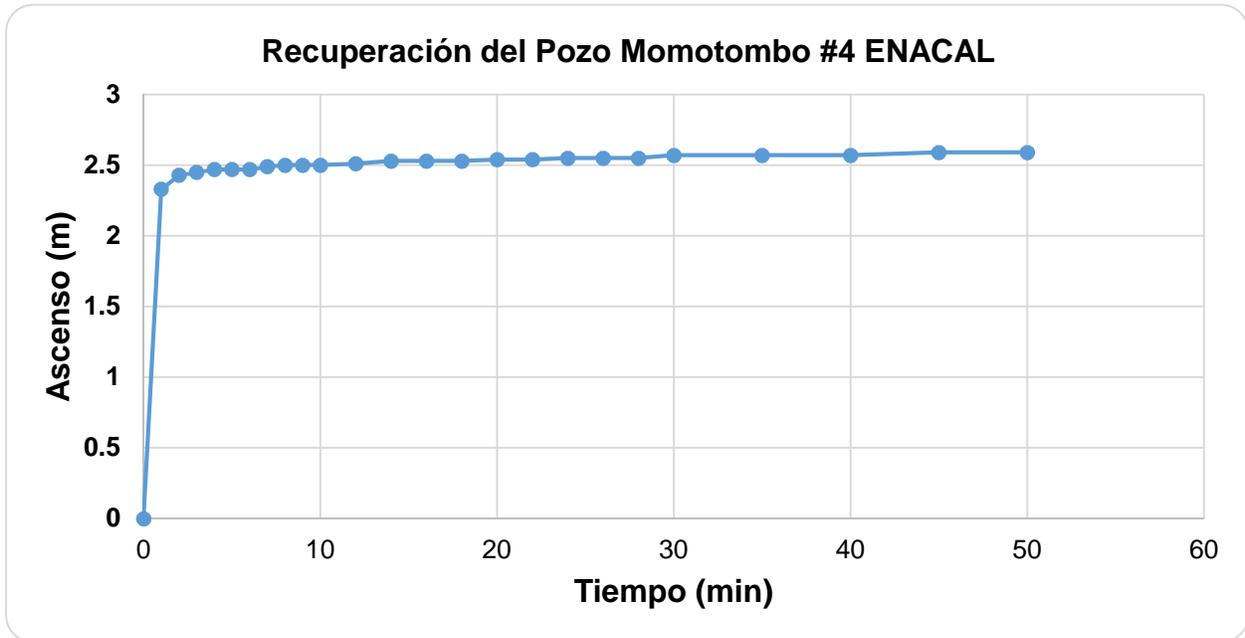
Luego de realizar el cálculo correspondiente, se determinó una capacidad específica de 673.53 m³/d/m, lo que equivale a 28.06 m³/h/m. Esto significa que, durante la prueba de bombeo realizada, el pozo extrae un volumen de agua de 28.06 m³ por metro de abatimiento en un lapso de 20 horas. Es importante destacar que la eficiencia del pozo no depende únicamente de la capacidad específica, sino también de la litología del área en la que se encuentra, en este caso se han identificado formaciones geológicas porosas y permeables que el pozo atraviesa (Ver, Figura 13. Mapa geológico del área de estudio), contribuyendo a que el pozo opere de manera más efectiva, permitiendo satisfacer de manera continua las demandas de agua de la comunidad.

d. Recuperación del pozo

Tras la finalización de la prueba de bombeo, se realizó el proceso de recuperación del pozo, el cual exhibió una tasa de recuperación del 98.85% en un periodo de 50 minutos, esto puede ser atribuido a la influencia del material geológico encontrado en el área, ya que está compuesto de material permeable y poroso, en (Tabla 9. Clasificación de permeabilidad en materiales detríticos sedimentarios, sub acápite 7.2.1. Análisis de características hidráulicas), donde se categoriza como un acuífero de alta productividad, permitiendo desarrollar una capacidad de drenaje óptima, lo que significa que el agua puede moverse fácilmente a través del acuífero.

En Gráfico 7, se puede observar el ascenso que se presentó durante la recuperación, mostrando que a partir del primer minuto se obtuvo una recuperación de más del 90%, lo que indica que es un pozo de alta productividad.

Gráfico 7. Recuperación del pozo Momotombo



Fuente: Elaboración propia.

e. Coeficiente de almacenamiento

El coeficiente de almacenamiento fue tomado del estudio hidrogeológico de la región del Pacífico de Nicaragua, elaborado por Fenzl (1989), con un valor de 0.10 (valor medio del rango antes descrito). Este coeficiente no fue calculado debido que, en la prueba de bombeo no se tomó en cuenta pozo de observación, siendo necesario para la debida estimación.

Los coeficientes de almacenamiento en la cuenca de León – Chinandega muestran un rango de 0.02 hasta 0.35 con un promedio relativo a la planicie total de 0.10 (Fenzel, 1989).

Figura 19. Coeficiente de almacenamiento para diversos tipos de terrenos y acuíferos

Tipo de material permeable	Forma del funcionamiento del acuífero	Valores de S (medio)
<i>Kárstico:</i>		
Caliza y dolomías jurásicas	Libre	2×10^{-2}
	Semiconfinado	5×10^{-4}
	Confinado	5×10^{-5}
Calizas y dolomías cretácicas y terciarias	Libre	$2 \times 10^{-2} - 6 \times 10^{-2}$
	Semiconfinado	$10^{-3} - 5 \times 10^{-4}$
	Confinado	$10^{-4} - 5 \times 10^{-5}$
<i>Poroso intergranular:</i>		
Gravas y arenas	Libre	$5 \times 10^{-2} - 15 \times 10^{-2}$
	Semiconfinado	10^{-3}
	Confinado	10^{-4}
<i>Kársticos y porosos:</i>		
Calcarenitas marinas terciarias	Libre	$15 \times 10^{-2} - 18 \times 10^{-2}$

Fuente:(Iglesias & Villanueva, 1984).

f. Radio de influencia

Utilizando la Ecuación 5, que se muestra en el diseño metodológico (Sub acápite 6.4). Se realizó el cálculo del radio de influencia para el pozo en estudio, al igual que se consideraron los pozos inventariados dentro del área (Figura 15. Mapa Piezométrico, Sub acápite 7.1.5. Hidrodinámica).

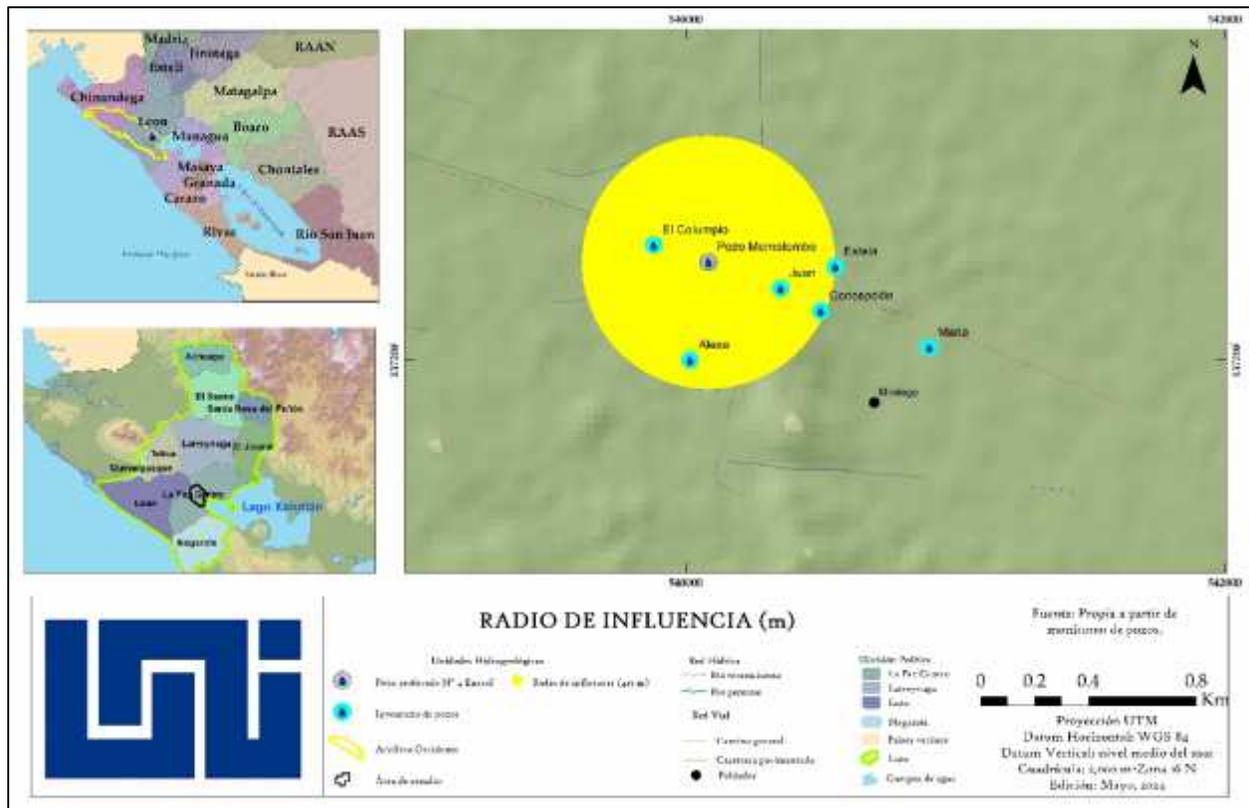
El radio de influencia del pozo Momotombo #4 ENACAL es de 471 m, equivalente a 0.471 km, formando el cono de abatimiento, el cual depende directamente del tiempo de bombeo expandiéndose en el acuífero, lo que indica que el nivel de agua de los pozos que se encuentran ubicados dentro del radio de influencia pueda ser afectados por la extracción de agua del pozo en estudio.

En Figura 20, se muestra la posible interacción entre el bombeo del pozo en estudio y los pozos inventariados en un rango de 471 m, abarcando los pozos; “El Columpio” situado a 213 m aproximadamente, al pozo “Alexa” a 370 m, al pozo “Juan” el cual se ubica a 285 m, el pozo “Concepción” situado a 468 m y el pozo “Estela” ubicado a 470 m. Este resultado deberá ser analizado con mayor detalle en estudio futuro para

determinar si realmente existe afectación en los niveles estáticos de los pozos antes mencionados.

El cono de abatimiento generado por la ecuación de Jacob, funge como un valor teórico, dado que al momento que se realiza la prueba de bombeo, se deben monitorear los niveles estáticos de los pozos cercanos, para corroborar la incidencia del bombeo del pozo en estudio.

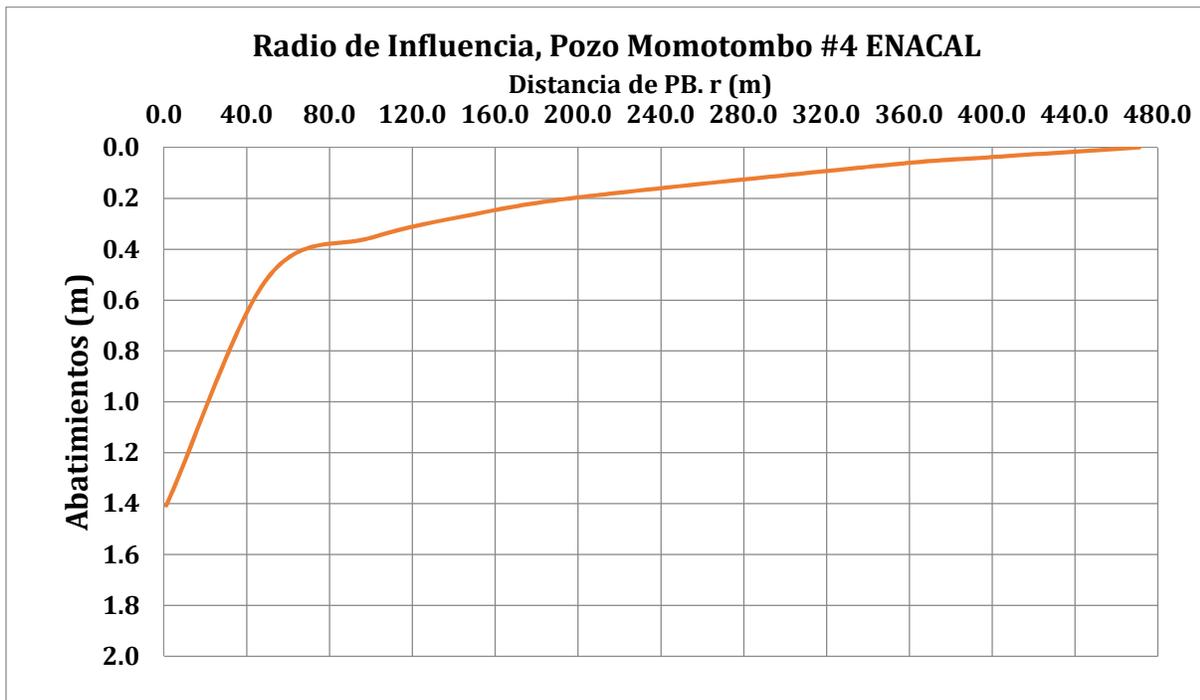
Figura 20. Mapa de radio de influencia



Fuente: Elaboración propia, con datos recolectados.

En gráfico 8, se muestra que entre mayor sea la distancia del sitio con respecto al pozo de bombeo, el radio de influencia es menor, debido a que el cono de abatimiento va disminuyendo.

Gráfico 8. Radio de influencia



Fuente: Elaboración propia.

7.2.2. Recarga del acuífero

a. Infiltración

Se realizaron dos pruebas bajo el método del permeámetro de Guelph distribuidas estratégicamente dentro del área de estudio con el propósito de determinar la capacidad de infiltración del suelo. Uno de los puntos se ubicó en una zona con cobertura vegetal densa, mientras que el otro se situó en un área con menor cobertura vegetal o exposición al sol. Estas pruebas permitieron obtener información detallada sobre la variabilidad espacial de la infiltración del suelo en el área y como influyen los factores como; la textura del suelo, la cobertura vegetal y la topografía.

Tabla 10. Resultado de velocidad de infiltración promedio del área de estudio

Ubicación	Coordenadas		Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de infiltración promedio cm/min
	X	Y		
Finca Fátima	537681.88E	1373346.08N	1.98	2.18
Finca Los Pérez	537348.46E	1371089.83N	2.38	

Fuente: Elaboración propia.

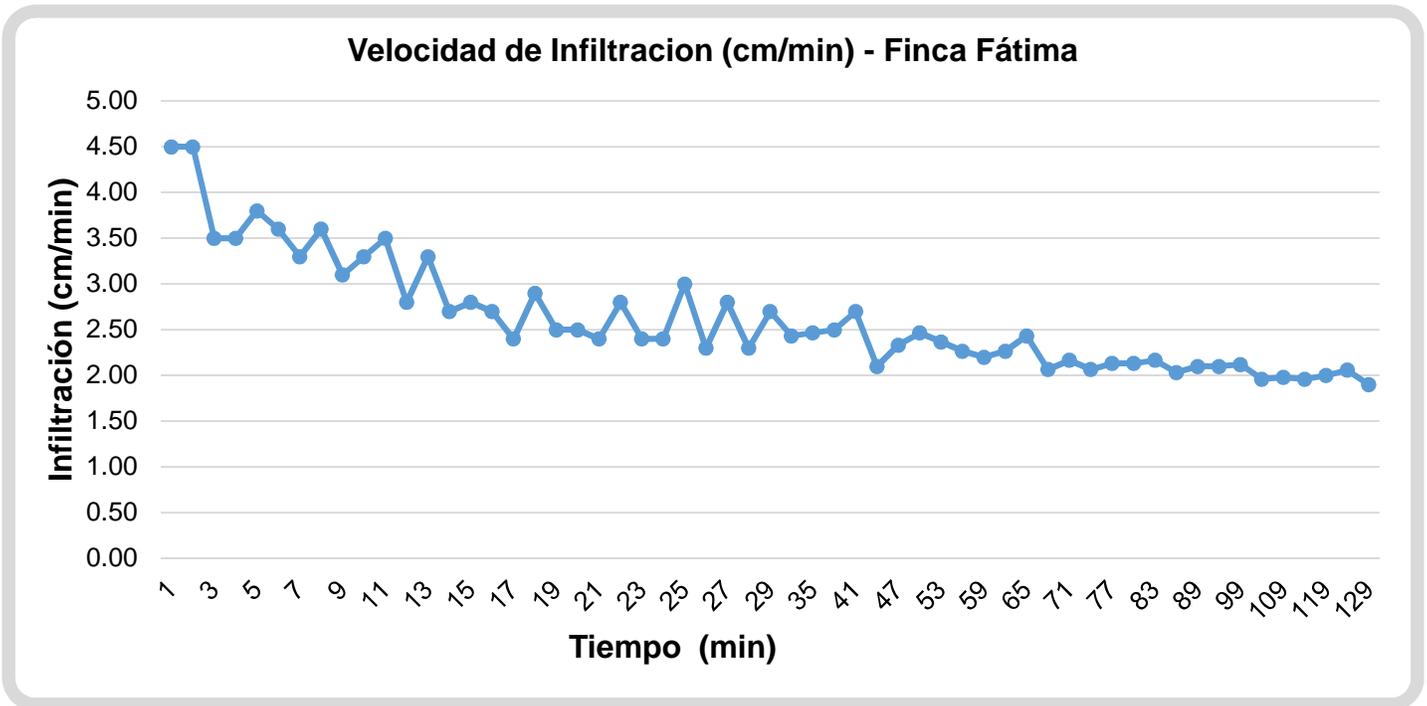
A como se aprecia (Tabla 10), la velocidad de infiltración promedio del área de estudio es de 2.18 cm/min equivalente a 39.18 mm/hr, se caracteriza por una ligera absorción, esto se debe a la presencia del tipo de suelo encontrado el cual fue arenoso, que, por su alta porosidad y granulometría, permite una rápida infiltración del agua a través de los espacios que se da entre las partículas de arenas. A su vez este resultado coincide con el tipo taxonómico del (sub acápite 7.1.2. Suelo), el cual muestra que el área posee, suelos porosos con alta capacidad de infiltrar agua al manto acuífero, retener agua, purificarla y controlar la erosión, siendo suelos de origen volcánico por antonomasia.

Los datos de velocidad de la prueba de infiltración de cada punto seleccionado se muestran en (Anexo 4. 1. Resultado de las pruebas de infiltración, pág. xiii).

En Gráfico 9 Finca Fátima, se muestra el comportamiento de la infiltración del suelo, se observa que la velocidad de infiltración en los primeros minutos fue alta, esto debido a la falta de humedad del suelo y porque el agua se comenzaba a penetrar en los poros y a medida que se fue agregando agua al suelo, su velocidad de infiltración fue disminuyendo, las variaciones de lectura se deben a la capacidad de infiltración, por lo que, este tipo de prueba no tendrá un comportamiento estable.

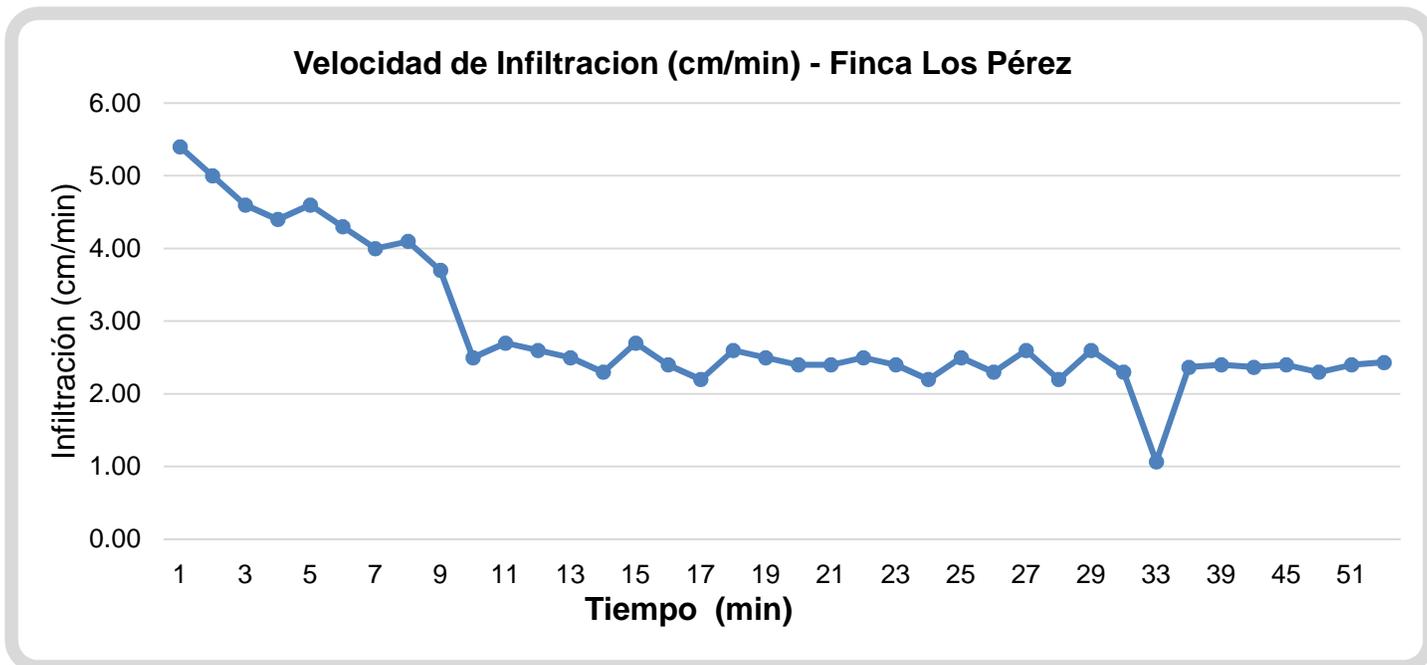
Por otro lado, en (Gráfico 10) Finca Los Pérez, se observa un decaimiento mayor debido a que el suelo se encontraba en condiciones secas, posterior a 10 minutos se mantuvo una infiltración base, a partir de la lectura del minuto 33 representa el relleno de agua al equipo de campo, por tanto, la decadencia del gráfico, volviendo a mantener minutos después la infiltración base.

Gráfico 9. Velocidad de infiltración - Finca Fátima



Fuente: Elaboración propia.

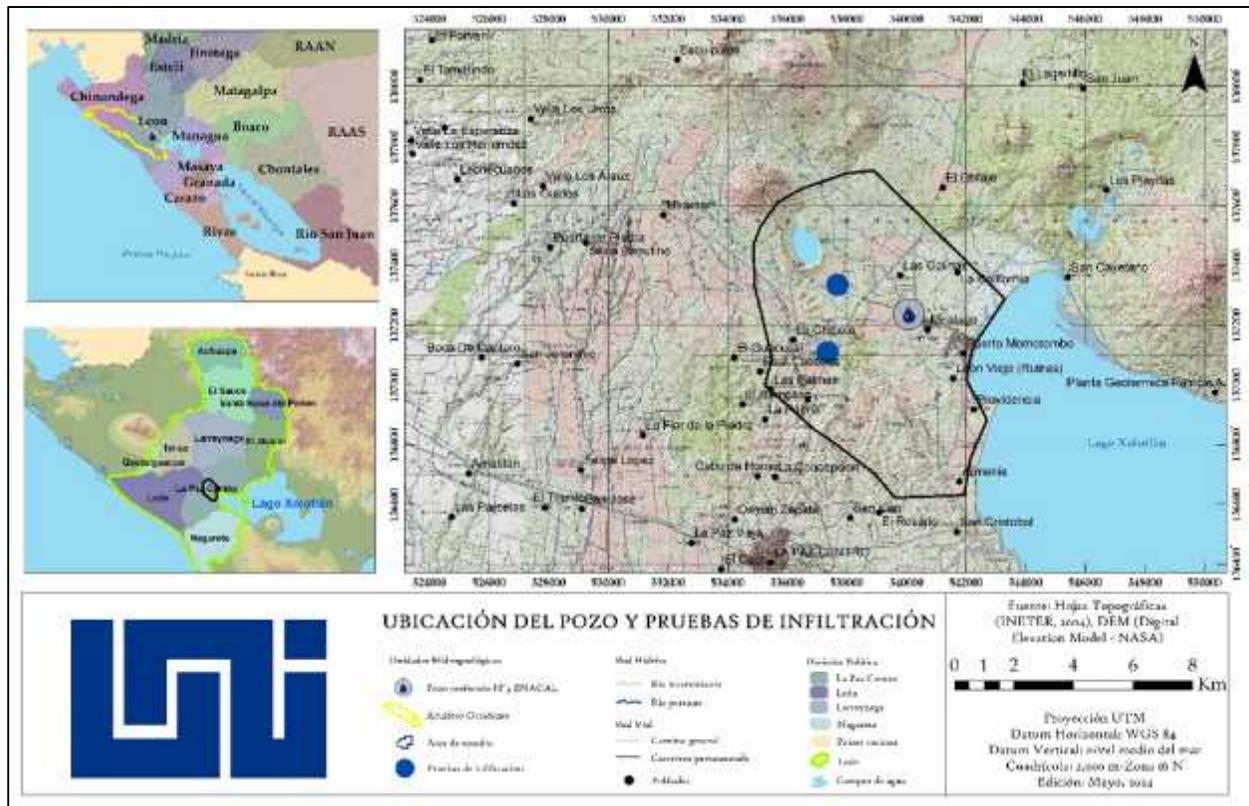
Gráfico 10. Velocidad de infiltración - Finca Los Pérez



Fuente: Elaboración propia.

En Figura 21, se muestra la distribución de los sitios seleccionados donde se realizaron las dos pruebas de infiltración dentro del área de estudio en La Paz Centro – Momotombo.

Figura 21. Sitios seleccionados donde se realizaron las pruebas de infiltración en el área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

b. Recarga directa

Para determinar la recarga potencial de un área determinada se procede a la determinar la capacidad de infiltración del suelo.

Con respecto a los datos obtenidos en las pruebas de infiltración, se realizó la recarga potencial del área en estudio, tomando en cuenta la estación meteorológica de León, los datos de precipitación y evapotranspiración potencial, también se consideró el coeficiente de infiltración, textura y uso de suelo y de esta manera se estimó la recarga potencial utilizando el método del balance hídrico de suelos de (Schosinsky N., 2006).

En el área en estudio se obtuvo una recarga potencial de 165.53 mm al año, el cual representa el 11.73% de la precipitación total, el restante se pierde en evapotranspiración, escorrentía, absorción de vegetación y suelo, (Anexo 4. 2. Balance hídrico de suelos Gunter Schosinsky, pág. xvii).

Figura 22. Balance hídrico de suelos

BALANCE HIDRICO DE SUELOS		
Gunter Schosinsky		
Zona de Estudio:	La Paz Centro - León	Estación: León - La Paz Centro
Localización:	Momotombo	Código: 64043 - 69123
Fecha:	5/3/2024	
Textura de Suelo:	Arenoso	
Simbología		
fc: Capacidad de Infiltración.		P: Precipitación Media Mensual.
Cl: Coeficiente de Infiltración.		Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.		ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.		ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.		ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.		HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.		HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR		HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR		DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente (ver léame)		Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación (ver léame)		NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración		Ret: Retención de Lluvia
fc [mm/d]	117.54	
Kp [0.01%]	0.15	
Kv [0.01%]	0.09	
Kfc [0.01%]	0.53	
Cl [0.01%]	0.77	
DS (g/cm ³):	1.55	
PR (mm)	300	
HSi (mm)	46.50	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12	
		por peso (%) (mm)
		CC 10.00 46.50
		PM 6.00 27.90
		(CC-PM) 4.00 18.60

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa (Tabla 11), los meses que presentan recarga son junio, agosto, septiembre y octubre, estos meses corresponde al periodo lluvioso del país (invierno), el resto de los meses corresponde al periodo seco (verano) con excepción a mayo y julio, que son meses que están en el periodo lluvioso, pero al igual que los meses de verano

la precipitación es nula por esta razón, en este periodo el acuífero no recibe recarga directa de producto de las precipitaciones.

A partir del método de Schosinsky se obtuvo una recarga potencial de 0.1655 m/mes, para obtener el valor de recarga directa se multiplica la recarga potencial por el área de estudio, esta alcanza un área total de 62.88 km² lo que equivale a 62,880,000 m², de acuerdo con esto se estimó una recarga anual de 10.41 Mm³/ anual.

Tabla 11. Recarga del área de estudio

DESC	Recarga (m/mes)	Recarga Directa (m³/mes)	Recarga Mm³
Enero	0.00000	0.0	0.0
Febrero	0.00000	0.0	0.0
Marzo	0.00000	0.0	0.0
Abril	0.00000	0.0	0.0
Mayo	0.02646	1663804.8	1.7
Junio	0.00761	478516.8	0.5
Julio	0.00000	0.0	0.0
Agosto	0.02213	1391534.4	1.4
Septiembre	0.06180	3885984.0	3.9
Octubre	0.04753	2988686.4	3.0
Noviembre	0.00000	0.0	0.0
Diciembre	0.00000	0.0	0.0
TOTAL/ Anual	0.1655	10,408,526	10.41

Fuente: Elaboración propia.

7.2.3. Descarga del acuífero

a. Ecurrimiento subterráneo

El cálculo de la descarga subterránea se realizó a través del principio de la dirección del flujo, establecido por Krásný (1998), y empleando la Ley de Darcy.

Para obtener los parámetros de esta ecuación, se consideró el valor de la transmisividad de (Figura 17, sub acápite 7.2.1. Análisis de características hidráulicas), además, se

utilizaron los niveles piezométrico de los pozos seleccionados para calcular el gradiente hidráulico, para la entrada de agua se estableció como punto de recarga el pozo “Momotombo #4” y para descarga el pozo “Concepción” y como salida de agua el punto de recarga el pozo “Concepción” y como descarga el pozo “María”, estos pozos fueron elegidos como puntos estratégicos, ya que siguen la dirección del flujo que coinciden como punto de descarga al lago Xolotlán, de la misma manera se estableció el ancho de descarga.

Tabla 12. Ecurrimiento subterráneo dentro del área de estudio

Sitio	T (m ² /m/día)	i	L (m)	Q (m ³ /día)	Q (m ³ /mes)	Q Mm ³ anual
Flujo de entrada	1216.6	0.0264	700	22,482.77	674,483.04	8.0938
Flujo de salida	1216.6	0.010	580	7,267.97	218,039.05	2.6165
Ecurrimiento Subterráneo Total				29,750.74	892,522.09	10.86

Fuente: Elaboración propia; Nota: T- Transmisividad, i- Gradiente hidráulico, Longitud de la zona (recarga o descarga), Q- Caudal, Mm³- Millones de metros cúbicos.

7.2.4. Balance hidrogeológico

Para realizar el balance hidrogeológico del área en estudio, se consideró el principio de conservación de masas y la ley de continuidad donde se considera que las entradas son igual a las salidas de agua. Se tomó como entrada de agua la recarga directa obtenida del balance hídrico de (Schosinsky N., 2006) y el escurrimiento subterráneo, Por otro lado, se consideró como salida, la descarga del acuífero o descarga subterránea, tomando en cuenta la extracción o demanda del pozo en estudio.

a. Potencial hídrico

Para que se realice un balance hidrogeológico es esencial disponer de información del potencial hídrico del área, es decir, la cantidad disponible de agua que tiene el acuífero de donde se extrae el recurso, esto se obtuvo a partir de la suma de la recarga directa y el escurrimiento subterráneo del área delimitada.

Tabla 13. Balance hídrico subterráneo del área de estudio

Sitio	Recarga directa (m³/anual)	Escorrentamiento Subterráneo (m³/anual)	Disponibilidad Potencial (m³/anual)	Disponibilidad (Mm³/anual)
Pozo Momotombo #4 ENACAL	10,408,526.40	10,859,018.79	21,267,545.19	21.27

Fuente: Elaboración Propia; Nota: Mm³- Millones de metros cúbicos.

Como se puede apreciar (Tabla 13), la disponibilidad de agua subterránea se estimó en 21,267,545.19 m³/ anual esto equivale a 21.27 Mm³/anual, ver los resultados por cada mes en (Anexo 5. 1. Balance hídrico subterráneo, Pág xvii), esta disponibilidad se calculó para el área de estudio la cual posee una superficie de 62.88 km².

b. Demanda

Se realizó una proyección de la población para un lapso de 20 años, según lo establecido en la norma para el abastecimiento de agua potable NTON 09 007-19, adecuándose a los parámetros de dotación de acuerdo a lo observado en el área. Utilizando el método geométrico, se realizaron los cálculos a partir de los datos poblacionales del año 2010, obtenidos de la plataforma SINIMBU (ENACAL et al., 2024), (Figura 23). Con esta información base, se estimó la proyección al año 2023 y posteriormente se proyectó al año 2043, con el objetivo de determinar si el pozo sería capaz de satisfacer las necesidades de la población futura.

Figura 23. Caracterización poblacional del proyecto Ampliación y Mejoramiento de Sistema de Agua Potable de Momotombo



Fuente: (ENACAL et al., 2024).

En Tabla 14, se muestra la proyección de la población y la dotación de agua calculada según la norma para abastecimiento de agua potable antes mencionada, el método utilizado para determinar la proyección poblacional, es adecuada para ciudades que no han alcanzado su desarrollo y que se mantienen creciendo a una tasa fija, en este caso, considerando una tasa de crecimiento de 2.5%.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, la comunidad en estudio se clasifica como una población rural dispersa con dotaciones de 80 litros por persona por día (lppd). No obstante, se tiene que calcular las pérdidas que se producen en un sistema de agua potable en cada uno de sus componentes, que según la norma estima en un 20% para localidades de más de 500 viviendas y un 15% para localidades de hasta 500 viviendas.

Esta demanda fue necesaria determinarla, puesto que, no se obtuvo información acerca de la capacidad de abastecimiento que tiene este pozo para suministrar a la población y la sarta de descarga no contaba con un caudalímetro en óptimas condiciones.

Tabla 14. Proyección de la población

AÑO	Población total	Cobertura %	Población Conectada		
			Habitantes	Dotación (lppd)	Consumo (lpd)
2023	5652	100	5652	80	452151.6
2043	9493	100	9493	80	759425.7

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, en (Tabla 15), se muestra la dotación total de la población en litros por segundos (l/s), incluyendo las perdidas que se producen durante la circulación del agua potable a través de las tuberías hasta llegar a las viviendas.

Tabla 15. Dotación de agua del pozo Momotombo #4- ENACAL

AÑO	CPD0 (lps)	comercial (lps7%)	publico (lps7%)	industrial (lps2%)	CPD (lps)	Hf perdida (15% CMD)	CPD total
2023	5.23	0.000	0.000	0.000	5.23	0.78	6.02
2043	8.79	0.000	0.000	0.000	8.79	1.32	10.11

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar (Tabla 15), la demanda total que se obtuvo es de 10.11 l/s lo que equivale a 873,504 l/d.

c. Potencial hídrico vs demanda

Para estimar el volumen no utilizado, es necesario comparar el potencial hídrico y la demanda, ya que esto permite conocer la capacidad que tiene el acuífero con respecto

a la demanda de agua que se ocupa para una determinada actividad, en este caso agua potable.

Según los datos de extracción del pozo en estudio ver (Tabla 16), se proyecta una extracción total 0.3188 Mm³/anual, los datos de extracción mensual se muestran en (Anexo 5. 2. Balance hidrogeológico total, pág. xviii).

Tabla 16. Potencial hídrico del área de estudio

ANUAL			
TOTAL	Disponibilidad (Mm ³ /anual)	Demanda (Mm ³ /anual)	Volumen no utilizado (Mm ³ /anual)
	21.27	0.3188	20.95

Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos, la disponibilidad de agua subterránea en el área de estudio es de 21.27 Mm³/anual, este volumen de agua representa un recurso hídrico aprovechable para satisfacer las necesidades de la comunidad.

Para completar el balance hidrogeológico, se tomaron los datos de extracción y disponibilidad del recurso y se realizó una diferencia para determinar el volumen disponible en el medio, dando como resultado 21.09 Mm³/anual, es decir, que solo se utiliza 1.49% de la capacidad total, por lo que este acuífero sufre con facilidad la extracción.

Como se refleja en (Anexo 5. 3. Balance hidrogeológico total, Pág xviii), en todos los meses del año hay más disponibilidad que lo extraído, esto se debe a que la cantidad que se necesita para suplir las necesidades básicas de esta población ocupa un porcentaje casi nulo de la capacidad de almacenamiento que tiene el acuífero.

7.3. Calidad de agua subterránea

En esta sección se presenta los resultados e interpretación de calidad de agua en el pozo en estudio, en base a los resultados obtenidos de análisis de laboratorio de las variables fisicoquímicas, bacteriológicas y metales pesados. Los resultados obtenidos en laboratorio son comparados con la norma de calidad del agua para consumo humano CAPRE y la norma para la clasificación de los recursos hídricos NTON 05-007-98.

El análisis de calidad de agua fue realizado por el Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios Ambientales (PIENSA).

7.3.1. Análisis fisicoquímico

La evaluación de la calidad del agua desde el punto de vista fisicoquímico se llevó a cabo en el Pozo Momotombo #4 de ENACAL.

La muestra de agua recolectada fue enviada al laboratorio para su posterior análisis, los parámetros evaluados se presentan en (Tabla 17). Los resultados obtenidos se compararon con las normativas de calidad de agua establecidas por CAPRE y NTON 05-007-98 (Tipo 1. Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él. Las aguas de este tipo se desagregan en dos categorías, categorizando el tipo de agua en estudio en: 1-A: Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes).

Tabla 17. Análisis fisicoquímico del Pozo Momotombo #4 ENACAL

Parámetros	Unidades	Pozo Momotombo #4 ENACAL	Normas CAPRE*	NTON 05-007-98*
Apariencia	Adm	Clara	NR	NR
pH*	Unidad de pH	6.95	6.5 -8.5	6.5 -8.5
Conductividad eléctrica (CE)*	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	754.00	400	NR
Sólidos Totales Disueltos (STD)	mg.l^{-1}	599.37	1000	1000
Color verdadero	mg.l.Pt-Co	<1.00	1	<15
Calcio (Ca^{2+})*	mg.l Ca	106.05	100	NR
Magnesio (Mg^{2+})	mg.l Mg	29.840	30	NR
Sodio (Na^+)	mg.l^{-1}	50.60	25	200
Potasio(K)	mg.l^{-1}	4.53	10	NR
Cloruros (Cl^-)	mg.l^{-1}	69.80	25	250
Nitratos (NO_3^-)	mg.l^{-1}	10.58	25	10

Sulfatos (SO₄²⁻)	mg.l ⁻¹	27.55	25	250
Carbonatos (CO₃⁻)	mg.l ⁻¹	<0.40	NR	NR
Bicarbonatos (HCO₃⁻)*	mg.l ⁻¹	400.00	NR	NR
Dureza Total (CaCO₃)*	mg.l ⁻¹	387.39	400	400
Nitritos (NO₂⁻)	mg.l ⁻¹	<0.003	1	10
Hierro Total (Fe)	mg.l ⁻¹	<0.006	0.3	0.3
Manganeso	mg.l ⁻¹	<0.006	0.01	0.5
Amonio (NH₄)	mg.l ⁻¹	<0.01	0.05	NR
Turbiedad	UNT	0.054	5	<5
Flúor (F)	mg.l ⁻¹	0.306	0.7-1.5²	0.7-1.5
Dureza cálcica (CaCO₃)	mg.l ⁻¹	264.60	NR	NR
Temperatura (T)*	°C	25.10	18-30	NR
Alcalinidad	mg.l ⁻¹	0.02	NR	NR

Fuente: Elaboración propia, Nota: NR: No reportado, *: Valor máximo admisible.

Los análisis de laboratorio revelan que el agua presenta una turbidez de 0.054 UNT, valor que se encuentra dentro de los límites de referencia establecidos en las normas CAPRE y NTON 05-007.98. Asimismo, el pH reportado es de 6.95, lo que indica que el agua es ligeramente ácida. Este rango de acidez es típico de las aguas provenientes de fuentes naturales, como manantiales, ríos y acuíferos subterráneos, cabe destacar que este valor de pH se encuentra dentro de los parámetros recomendados por las normas antes mencionadas, como por el rango óptimo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018) para agua potable, que va de 6.5 a 8.5.

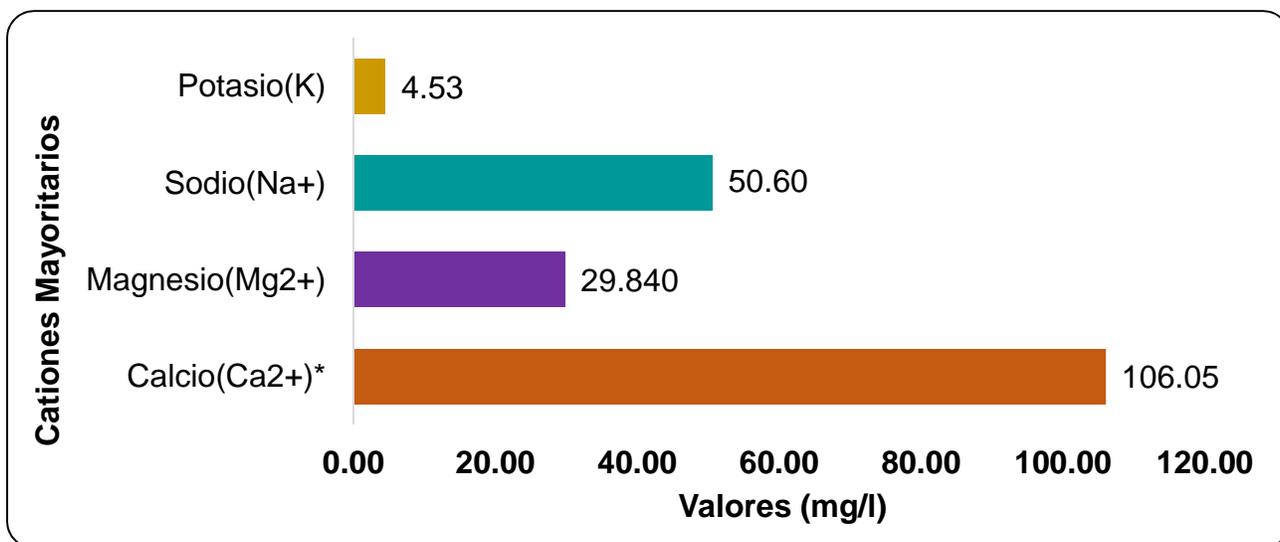
Las Guías para la calidad del Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018), enfatiza la importancia de controlar cuidadosamente el pH en todas las etapas de tratamiento del agua, ya que esto garantiza una clarificación y desinfección satisfactorias. Además, para que la desinfección con cloro sea eficaz, es preferible que el pH se mantenga por debajo de 8.

La conductividad eléctrica del agua reportada por los análisis es de 754 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, este valor supera el límite recomendado por la norma CAPRE, por su parte, la norma NTON 05-007-98 no reporta un valor recomendado, sin embargo, cabe destacar que ninguna de estas normas presenta un valor máximo admisible, el cual es el indicado al evaluar el

uso del pozo (Agua Potable). Si bien no establece un valor límite, la OMS (2018), recomienda mantener la conductividad eléctrica del agua potable por debajo de $1,500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Según la OMS (2018), los sólidos totales disueltos (STD) incluyen las sales, los minerales, los metales y cualquier otro compuesto orgánico o inorgánico que se encuentra disuelto en el agua, o que haya pasado a través del filtro. Estos componentes se presentan en el agua de consumo humano en concentraciones que, generalmente, no producen efectos perjudiciales sobre la salud, los análisis realizados muestran que el valor de los STD es de $599.37 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, el cual se encuentra dentro de los límites establecidos por las normas CAPRE Y NTON O5 007-98, las cuales indican que el valor máximo admisible es de $1000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

Gráfico 11. Concentración de cationes mayoritarios



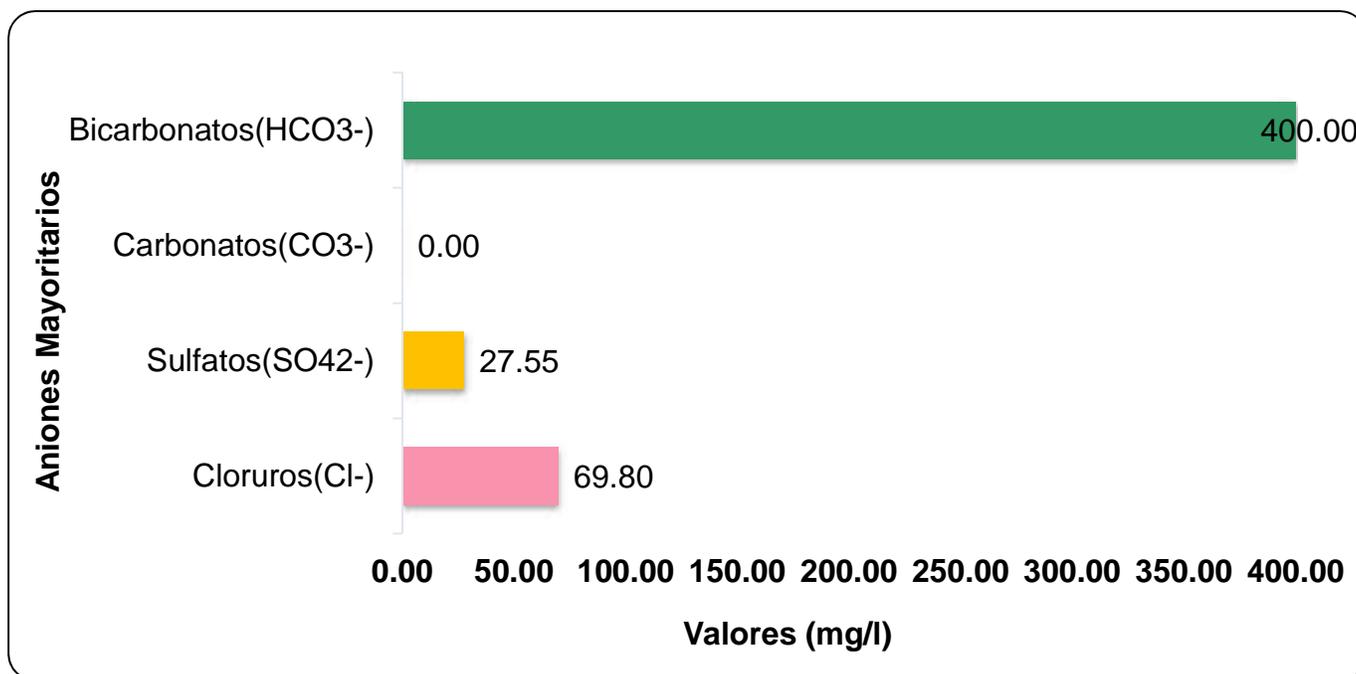
Fuente: Elaboración propia.

En Gráfico 11, el catión predominante es el calcio Ca^{2+} , seguido del Sodio Na^{+} , sin embargo, al observar los valores del contenido total de cationes mayores (Calcio, Sodio, Magnesio y Potasio), se aprecia que el Magnesio y el Potasio se encuentran dentro de los rangos del valor máximo admisible establecido en las normas CAPRE y NTON 05 007-98. No obstante, los niveles de calcio y sodio exceden los límites establecidos en dichas normas.

El valor de calcio es de 106.05 mg.l Ca, lo cual representa un exceso respecto al límite recomendado de 100 mg.l⁻¹ en la norma CAPRE. Por otro lado, la norma NTON 05-007-98 no establece un valor recomendado para este parámetro. En cuanto al sodio, este presenta una concentración de 50.60 mg.l⁻¹, el cual también excede el límite establecido de 25 mg.l⁻¹ en la norma CAPRE, mientras que se encuentra dentro del rango recomendado de 200 mg.l⁻¹ en la norma NTON 05-007-98.

Según UNESCO (2008), la composición química del agua subterránea suele estar influenciada por la geología de los acuíferos, particularmente por la presencia de minerales ricos en elementos como calcio, magnesio y sodio. Por lo tanto, los excesos de calcio y sodio encontrados en la muestra de agua pueden estar relacionados con la predominancia de material geológico rico en estos elementos en el área de estudio (Tabla 7. Distribución de la litología en el área de estudio, sub acápite 7.1. Caracterización del medio físico).

Gráfico 12. Concentración de aniones mayoritarios



Fuente: Elaboración propia.

En Grafico 12, el anión predominante es el bicarbonato HCO₃⁻, seguido de este los Cloruros Cl⁻, este presenta una alta concentración en el pozo, sin embargo, las concentraciones determinadas en aniones mayores (Carbonatos, Bicarbonatos, Cloruros

y Sulfatos) se encuentran dentro del valor máximo admisible de las Normas CAPRE y cumple con las NTON 05 007-98, a excepción del contenido de cloruro, el cual excede el límite 25 mg.l⁻¹ establecido en la norma CAPRE, aunque si cumple con el límite de la NTON 05 007-98.

Aunque no se cuente con un valor límite establecido para la concentración de bicarbonatos en el agua, la norma CAPRE, NTON 05 007-98 y la OMS señalan que el bicarbonato forma parte de los sólidos totales disueltos (STD) en el agua, dichas normativas establecen que los STD no deben superar los 1000 mg.l⁻¹. Por tanto, si bien no existe un valor máximo permisible directo, su concentración se encuentra regulada a través del límite general para los sólidos totales disueltos. El bicarbonato al igual que el calcio depende del material geológico encontrado en el área.

a. Dureza del agua

En el caso de la Dureza total, según la clasificación del Agua, por parte de la (OMS, 2018), esto se debe a la presencia de calcio y magnesio, causantes de la dureza del agua, que es directamente proporcional a la concentración de estas sales. El agua dura contiene iones que forman precipitados con el jabón o por ebullición. Donde se establecen rangos de dureza (mg.l⁻¹ CaCO₃), donde aguas 0-60 se determinan suaves, de 61-120 aguas moderadamente duras, 121-180 duras y de más de 180 muy duras.

Tabla 18. Clasificación de la Dureza por CaCO₃ en el Agua, Según OMS

Rango de Dureza (mg.l⁻¹ CaCO₃)	Descripción
0 – 60	Blandas
61 – 120	Moderadamente duras
121 – 180	Duras
Más de 180	Muy duras

Fuente: (OMS, 2018).

La calidad de las aguas en base a la concentración de dureza de CaCO₃, se puede inferir que el pozo de aprovechamiento se encuentra clasificado, entre rango de aguas muy

duras (Tabla 18), ya que estas presentan rangos de más de 180 mg.l⁻¹ CaCO₃, y en el resultado del análisis de laboratorio reporta 387.39 mg/l de CaCO₃. Por tanto, el agua extraída del pozo Momotombo #4 ENACAL, de acuerdo a su dureza es clasificada como agua de calidad media, (Tabla 19).

Tabla 19. Calidad de agua según dureza

Calidad del Agua	Rango de dureza
Aguas de buena calidad	Hasta 150 mg de CaCO ₃
Aguas de calidad media	Hasta 300 mg de CaCO ₃
Aguas de calidad aceptable	Hasta 500 mg de CaCO ₃
Aguas difícilmente utilizables	Por encima de 600 mg de CaCO ₃

Fuente: (Rodríguez, 2010).

Según López (2016), las aguas duras, es el resultado de minerales disueltos, como el calcio, magnesio y manganeso. Aunque no existe un valor de referencia basado en efectos sobre la salud para la dureza del agua, este parámetro puede incidir en la aceptabilidad del agua por parte del consumidor, en cuanto a sabor y a la formación de incrustaciones en el sistema de distribución y tuberías (UNESCO, 2008). Sin embargo, el agua dura no es un peligro para la salud humana y pueden ser tratada mediante diversos métodos de acuerdo con López.

La manera más común para ablandar el agua es a través de un ablandador de agua de intercambio iónico.

Este sistema funciona mediante el intercambio minerales duros de carga positiva (calcio y magnesio) con minerales suaves con carga positiva (de sodio o de potasio) en una superficie de resina que es regenerada. Este intercambio de minerales suaviza el agua y puede extender la vida útil de los sistemas de plomería ya que se reduce la obstrucción en las tuberías.

Actualmente, existen tres tipos básicos de suavizantes de transferencia de iones.

- Ñ El primero es un ablandador automático, este tipo de ablandador está conectado a un temporizador que cada cierto tiempo inicia el proceso de regeneración con el lavado de iones duros pegados a la resina y su sustitución por iones blandos. Esto permite un continuo intercambio de iones duros y blandos durante todo el día.
- Ñ El segundo tipo de suavizante es la regeneración iniciada por la demanda (DIR, en inglés), con este sistema, la regeneración se produce sólo cuando el agua blanda se ha agotado. Dado que este sistema se ajusta a la cantidad de agua utilizada en lugar del tipo automático, utiliza menos sal y agua y, por lo tanto, es más eficiente.
- Ñ El suavizante final es un intercambiador portátil, aquí un tanque es alquilado al dueño de la casa y tiene una resina regenerada, cuando la resina ya no puede intercambiar iones, el tanque se devuelve a la empresa y es regenerada allí (López, 2016).

7.3.2. Análisis bacteriológico

Los resultados del análisis bacteriológico efectuado y comparado con las normas CAPRE Y NTON 05-007-98, indican una baja presencia de coliformes fecales a como se muestra (Tabla 20).

Aunque la presencia de estos microorganismos sea baja, esto no implica ausencia total de estos, ya que, en el periodo lluvioso asciende el nivel del agua, por tanto, la presencia de estos agentes coliformes puede aumentar debido a la infiltración que se dan en esa época, lo cual puede conllevar a un incremento en la presencia de estos agentes contaminantes. Además, es posible que la situación se deba a que aguas arriba de la fuente de abastecimiento, existen familias que aún utilizan letrinas, las cuales se encuentran aproximadamente a una distancia entre 58 y 80 metros del pozo, lo que influye en la calidad del agua.

Por el momento no se encontró presencia de *Escherichia coli*, sin embargo, con la temporada lluviosa es muy probable que si se realizan estos análisis se obtengan valores de esta bacteria.

Tabla 20. Análisis bacteriológico del Pozo Momotombo #4 ENACAL

Puntos Muestreo	Coliformes Totales (NMP/100 ml)	Coliformes Fecal (NMP/100 ml)	Escherichia Coli (NMP/100 ml)
Pozo Momotombo #4 ENACAL	46	4.5	Negativo
Normas CAPRE	Negativo*	Negativo*	NE
NTON 05-007-98	Promedio mensual menor de 2000 NMP/ 100ml	NR	NR

Fuente: Elaboración propia, Nota: NR: No reportado, NE: No encontrado.

Algunos de los métodos que pueden ser utilizados para eliminar este microorganismo, es la cloración, la luz ultravioleta y ozonización.

Ñ **Cloración**

Existe la cloración de choque y la continua. La cloración de choque consiste en suministrar una alta concentración de cloro al agua durante un periodo corto de tiempo y se suele utilizar después de acontecimientos como una tormenta que ha inundado el pozo o una reparación. Por su parte, la continua consiste en suministrar cloro de forma regular y medida al agua, aunque conviene limpiarlo después.

Ñ **Luz ultravioleta**

La radiación ultravioleta también sirve para acabar con las bacterias coliformes. En el pozo se instala una lámpara de radiación UV dentro de una cámara de metal.

Ñ **Ozonización**

Al igual que el cloro, se puede utilizar el ozono para matar las bacterias, aunque resulta un sistema más caro (Idris, 2019).

7.3.3. Análisis metales pesados

Según los datos obtenidos por laboratorio en el análisis de metales pesados en el pozo de aprovechamiento, el cual se tomó en el periodo seco “Mayo”, el agua se encuentra dentro de los límites permisibles de referencia establecidos en las normas CAPRE y

NTON 05-007-98, ya que, estos resultados indican que la presencia de arsénico, plomo y cromo total es mínima, los cuales no representan riesgos significativos para su consumo u otro uso (Tabla 21).

Tabla 21. Análisis metales pesados

Parámetros	Unidades	Pozo Momotombo #4 ENACAL	Normas CAPRE	NTON 05-007-98
Arsénico	mg.l ⁻¹	<0.002	0.01	NR
Plomo	mg.l ⁻¹	0.001	0.01	0.01
Cromo total	mg.l ⁻¹	0.005	0.05	0.05

Fuente: Elaboración propia.

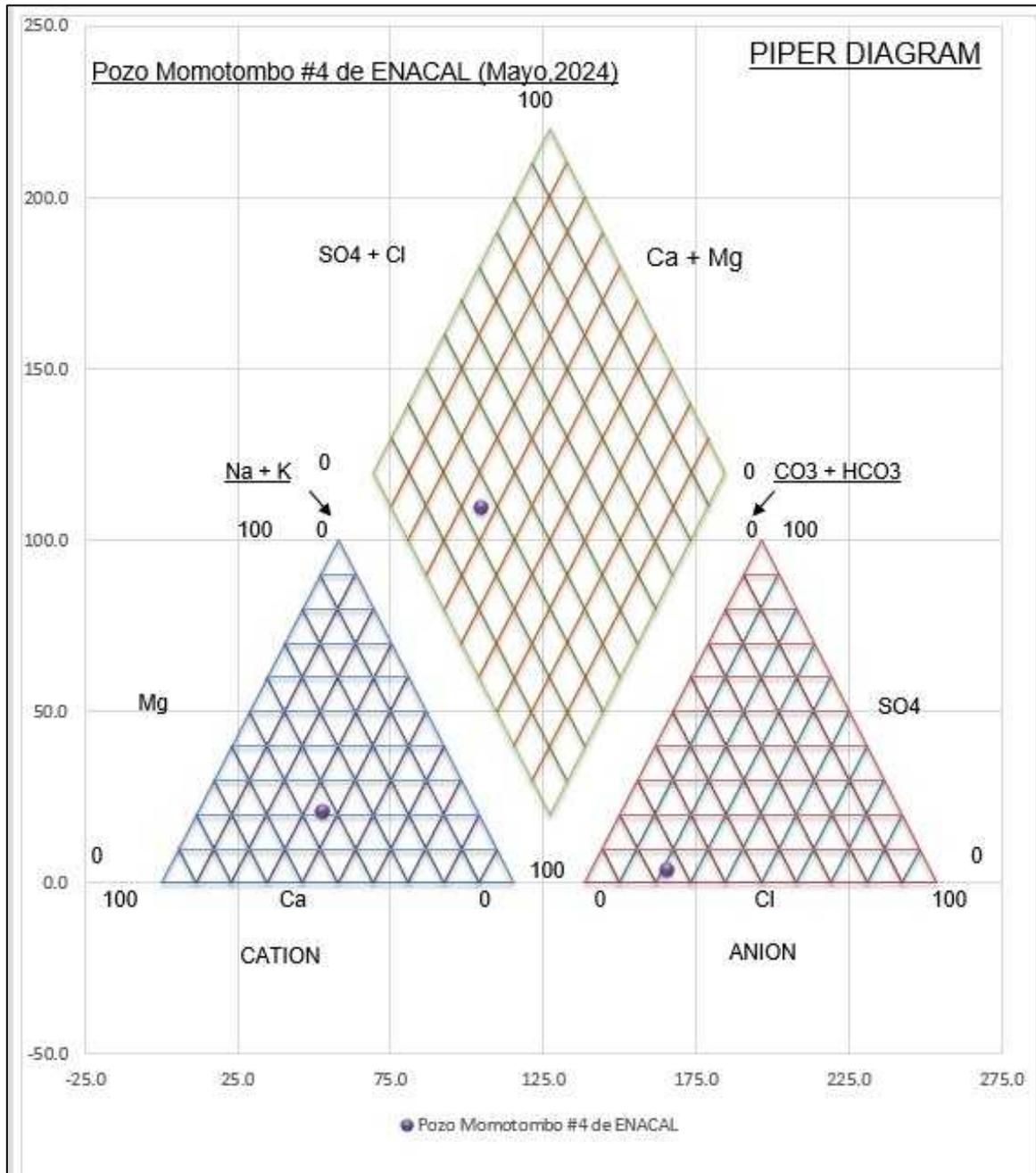
7.3.4. Tipo hidroquímico

Una vez obtenidos los resultados de los análisis físicoquímicos de laboratorio del agua del pozo Momotombo #4 ENACAL, se empleó la herramienta de software EASY QUIM 5.0, la cual permitió graficar y analizar los resultados.

En cuanto a los iones mayoritarios fueron representados en un diagrama de Piper. Respecto a los cationes mayoritarios mostraron los siguientes rangos de concentraciones: Sodio 50.6 mg.l⁻¹, calcio 106.05 mg.l⁻¹, magnesio 29.84 mg.l⁻¹ y potasio 4.53 mg.l⁻¹. Por otra parte, en los aniones mayoritarios los rangos de concentraciones variaron de la siguiente manera: Bicarbonato 400 mg.l⁻¹, cloruro 69.80 mg.l⁻¹, sulfato 27.55 mg.l⁻¹ y nitrato 10.58 mg.l⁻¹; siendo los iones predominantes el calcio y el bicarbonato.

El agua presente en el pozo corresponde a agua de tipo química bicarbonatada Cálcica y/o Magnésica (HCO₃-Ca/ HCO₃-Mg), es decir, son aguas procedentes de zonas de descarga, las cuales se asocian a acuíferos de recarga rápida. La presencia de estos elementos se debe a la geología del área en estudio, ya que presentan formaciones basálticas, dichas rocas son ricas en calcio y magnesio. Estas aguas se caracterizan por ser aguas con menor tiempo de residencia en el subsuelo (Sánchez, 2023).

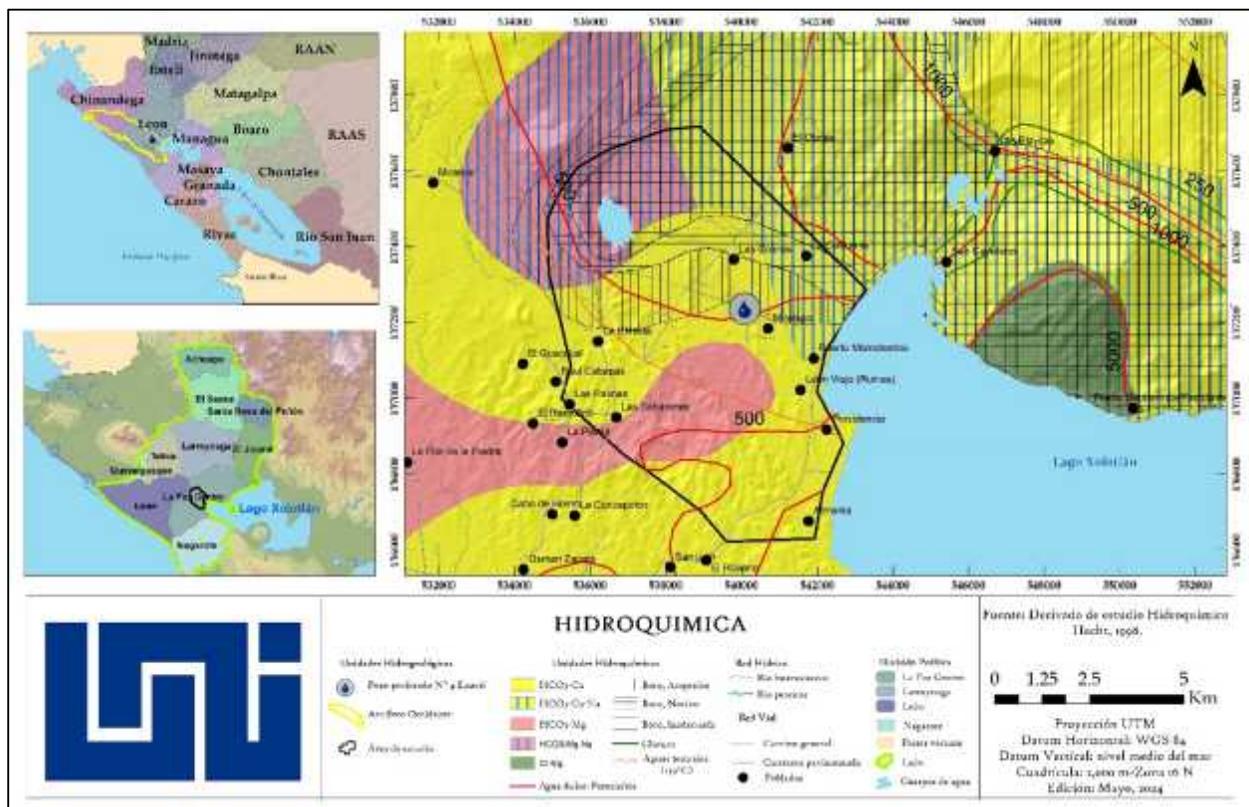
Figura 24. Diagrama de Piper



Fuente: Elaboración propia.

Si se comparan los resultados obtenidos mediante el diagrama de Piper con el mapa hidroquímico de Hetch (Figura 25), se tiene un tipo de agua bicarbonatada cálcica, esta variabilidad puede verse afectada por el tiempo en que se realizaron los análisis de agua, lo que evidencia un intercambio catiónico en el tiempo de recurrencia del agua subterránea. Además, el mapa hidroquímico, muestra las diferentes concentraciones de boro en el área de estudio, presentando condiciones aceptables para el consumo, de igual forma, se aprecia la presencia de aguas termales debido a su cercanía al volcán y agua dulce debido al lago Xolotlán.

Figura 25. Mapa hidroquímico del área de estudio



Fuente: Elaboración propia, con datos derivados de estudio Hidrogeológico del Pacífico de Nicaragua.

VIII. CONCLUSIÓN

- En el área de estudio se encontró una variedad edafológica, con predominio de suelos Andisoles (50.24%) y un uso y cobertura del suelo mayoritariamente destinado a cultivos (40.35%). Desde el punto de vista geológico, la zona se caracteriza por la presencia predominante de sedimentos volcánicos (70.52%), compuestos por materiales piroclásticos, cenizas y pumita. Además, la hidrodinámica del área revela que los niveles freáticos oscilan entre 65 y 46 m.s.n.m., con un flujo subterráneo que se mueve en dirección noroeste a sureste, donde su punto de descarga es el lago Xolotlán.
- De acuerdo a las características hidráulicas medidas el pozo en estudio presenta una transmisividad clasificada como clase I siendo considerado como un rango muy alto, así mismo, el pozo presenta una capacidad específica de 28.06 m³/h/m, debido a la litología del área, ya que contiene material volcánico y aluviales recientes indicando que es un pozo altamente productivo. por otra parte, el bombeo del pozo podría incidir en los niveles estáticos de los pozos aledaños, El Columpio (PE), Alexa (PE), Juan (PE), Concepción (PE) y Estela (PE).
- Según los resultados de laboratorio, las variables fisicoquímicas se encuentran dentro del rango permisible de las normas CAPRE Y NTON 05-007-98, con excepción del sodio y el sulfato que sobrepasan los límites permitidos de la norma CAPRE. Los análisis de calidad de agua reflejan la presencia de agentes bacteriológica en el área de estudio durante el periodo seco, por lo que, se debería realizar un proceso de tratamiento primario (Cloración). De igual manera se analizaron las concentraciones de arsénico, cromo total y plomo en las aguas del pozo, las cuales se encontraron por debajo de los valores permisibles para agua de consumo.

- El análisis hidroquímico por medio del diagrama de Piper, caracterizó las aguas como un tipo bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$ y/o $\text{HCO}_3\text{-Mg}$), lo que indica que, el agua del área de estudio son aguas transitorias de punto de descarga. La presencia de estos elementos se debe a la geología del área en estudio, ya que presentan formaciones basálticas, dichas rocas son ricas en calcio y magnesio.

IX. RECOMENDACIONES

- Ñ Se recomienda la instalación de caudalímetro, esto con el fin de medir el volumen extraído por el pozo.
- Ñ Monitoreo continuo de los niveles estáticos y dinámicos, tanto en la temporada seca como en la lluviosa.
- Ñ Realizar el proceso de llenado del registro de bitácora, de esta manera se sustenta que no exceda el consumo de diseño.
- Ñ En un estudio futuro realizar el monitoreo de los pozos cercanos, para determinar la incidencia que pueden tener el pozo Momotombo #4 ENACAL.
- Ñ Se sugiere realizar análisis de agua fisicoquímicos, bacteriológicos y metales pesados periódicamente entre 6 meses a un año, con el fin de mantener un monitoreo constante y asegurar la calidad del agua a lo largo del tiempo.
- Ñ Se recomienda inspeccionar el sistema de disposición de aguas residuales (letrinas, tanques sépticos, etc.) de las viviendas más cercanas al pozo, para tener un control de las variables bacteriológicas.
- Ñ Realizar prueba de bombeo de uno a dos años a caudal variable y constante, con el fin de tener registros de las condiciones hidráulicas del pozo y la bomba.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acosta Green, J. A. (2019). Evaluación del medio hidrogeológico y potencial hídrico, en un área delimitada en la parte alta del acuífero de occidente, para uso agrícola y ganadero en el Departamento de Chinandega.
- Agencia Iberoamérica para la difusión de la ciencia y la tecnología. (2009, noviembre 1). Investigan acuíferos en la llanura de Chinandega y León con métodos electromagnéticos y eléctricos. <https://www.dicyt.com/noticias/investigacion-acuiferos-en-la-llanura-de-chinandega-y-leon-con-metodos-electromagneticos-y-electricos>
- Altamirano, M., & Delgado, V. (2019). Contaminación natural por arsénico en las aguas subterráneas de la comunidad rural “La Fuente”, para sugerir y promover el uso de fuentes alternativas de agua segura municipio La Paz Centro, León, Nicaragua. *Revista Torreón Universitario*, 8(23), Article 23. <https://doi.org/10.5377/torreon.v8i23.9533>
- Amarilla Espínola, J. A. (2018). Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de agua de consumo.
- ANLA. (2019). Capítulo 5.1.2 Geomorfología_Vo.pdf. https://www.anla.gov.co/documentos/ciudadania/03_partic_ciudadana/aud-pub/EIA/cor15/Capitulo-5/5.1.1%20Medio%20Abiotico/5.1.2%20Geomorfologia/Capitulo%205.1.2%20Geomorfologia_Vo.pdf
- Asamblea Nacional de la República de Nicaragua. (2000, enero 11). *NORMA PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS*. <http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/b92aaea87dac762406257265005d21f7/1a3a99b77290b980062573df00594022>

- AYA. (2014, octubre 2). C-0105 FPB6 120612 SENARA, MINAE, AYA. Hydrogeology Methodologies to Analyze the Water Resource. Official Gazette n. 243 Sp.pdf. https://icsid.worldbank.org/sites/default/files/parties_publications/C3164/Claimants%27%20Exhibits/C105%20FPB6%20120612%20SENARA%2C%20MINAE%2C%20AYA.%20Hydrogeology%20Methodologies%20to%20Analyze%20the%20Water%20Resource.%20Official%20Gazette%20n.%20243%20Sp.pdf
- Betancourt Medina, L. A., & Calderón Turcio, M. B. (2013). Evaluación del estado actual de los suelos en los municipios de Villanueva y Chinandega, en base a sus características físicas y químicas. En el periodo comprendido entre junio del 2012 – Julio del 2013. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/3260/1/225901.pdf>
- Calderón Palma, H. (2004). MODELACIÓN NUMÉRICA DEL FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN UNA SUB-CUENCA DE EL ACUÍFERO LEÓN-CHINANDEGA.
- Chávez Vallarino, C. (2011). DETECCIÓN DE METALES PESADOS EN AGUA.
- Conforti, F. (2017). METEOROLOGÍA. Biblioteca Aeronáutica.
- Corrales Pérez, D. (2005). Estudio hidrogeológico del funcionamiento del acuífero de Estelí. <https://repositorio.unan.edu.ni/2356/13/2356.pdf>
- Corriols M, M. (1999, 2005). Estudios-hidrogeologicos-leon-chinandega-nicaragua.pdf. <https://www.monografias.com/trabajos-pdf4/estudios-hidrogeologicos-leon-chinandega-nicaragua/estudios-hidrogeologicos-leon-chinandega-nicaragua.pdf>
- Cruzito. (2020, septiembre 16). Pozo: Definición y tipos. Estudiando. <https://estudiando.com/pozo-definicion-y-tipos/>
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (Eds.). (2001). Hidrología subterránea (2. ed). Omega.
- Delgado, V., Ryan, C., & Bethune, D. (2023). Sistema de Flujo de Agua Subterránea y Calidad del Agua en un Acuífero Costero Plano en el Noroeste de Nicaragua.

- DICYT. (2009, noviembre 6). Investigan acuíferos en la llanura de Chinandega y León con métodos electromagnéticos y eléctricos. <https://www.dicyt.com/noticias/investigacion-acuiferos-en-la-llanura-de-chinandega-y-leon-con-metodos-electromagneticos-y-electricos>
- ENACAL, ANA, & FISE. (2024). Sinimbu. <https://aguaysaneamiento.info.ni/nimbu/>
- Espinoza, F., & Velásquez, G. (2019). CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA.
- Fenzel, N. (1989). FENZEL, NORBERT, 1989 NICARAGUA, GEOGRAFIA, CLIMA, GEOLOGIA Y HIDROGEOLOGIA.pdf.
- Hantush, & Jacob. (1961, a,b). Hantush and Jacob r/B Solution for Leaky Aquifers. <http://www.aqtesolv.com/hantush-jacob.htm>.
- Hernández, E. C., Palma, H. C., Quezada, V. D., & Meza, Y. F. (2006). Situación de los recursos hídricos en Nicaragua.
- Hispagua. (2021). Hidrogeología | Hispagua. <https://hispagua.cedex.es/datos/hidrogeologia>
- Hodgson Valrey, G. (2000). Geología Regional de Nicaragua: Introducción al léxico estratigráfico de Nicaragua / Glen Hodgson V.
- Hodgson Valrey, G. (2002). Geología Histórica e Historia Geológica Estructural, Tectónica simplificada de Nicaragua y América Central, 2da Edición.
- IDEAM. (2021). CLIMA - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-Colombia. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima>
- Idris, G. (2019, noviembre 19). ¿Cómo eliminar las bacterias coliformes del agua? - Ordessa. Grupo Idris. <https://grupoidris.com/como-eliminar-las-bacterias-coliformes-del-agua/>
- Iglesias, A., & Villanueva, M. (1984). POZOS Y ACUÍFEROS. TÉCNICAS DE EVALUACIÓN MEDIANTE ENSAYOS DE BOMBEO. https://www.academia.edu/17530996/POZOS_Y_ACU%C3%8DFEROS_T%C3

%89CNICAS_DE_EVALUACI%C3%93N_MEDIANTE_ENSAYOS_DE_BOMBE
O

Iglesias López, A. (2006, abril). HIDRODINÁMICA SUBTERRÁNEA Y MODELOS EN
HIDROGEOLOGÍA. [https://www.xeologosdelmundu.org/hidrodinamica-
subterranea-y-modelos-en-hidrogeologia-prof-alfredo-iglesias-lopez-abril-de-
2006/](https://www.xeologosdelmundu.org/hidrodinamica-subterranea-y-modelos-en-hidrogeologia-prof-alfredo-iglesias-lopez-abril-de-2006/)

INETER. (2005). INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES
(INETER)—Atlas Climático de Nicaragua.
<https://webserver2.ineter.gob.ni/geofisica/mapas/Nicaragua/clima/atlas/index.htm>
|

INETER. (2023). INETER | Meteorología. <https://www.ineter.gob.ni/met>

INETER-DGOT. (2021). 1erAltasNacionaldeSuelos.pdf.
<https://www.ineter.gob.ni/mapa/pub/atlassuelo/1erAltasNacionaldeSuelos.pdf>

IPCC. (2021, agosto 9). Cambio Climático 2021.
[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press-Release-
Final_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press-Release-Final_es.pdf)

IPSA. (1993, septiembre). Normas CAPRE.pdf.pdf.
[https://www.ipsa.gob.ni/Portals/0/1%20Inocuidad%20Alimentaria/Normativas%20
Generales/ACTUALIZACION%20051217/Secci%C3%B3n%20Inocuidad%20L%
C3%A1cteos/Normas%20CAPRE.pdf.pdf](https://www.ipsa.gob.ni/Portals/0/1%20Inocuidad%20Alimentaria/Normativas%20Generales/ACTUALIZACION%20051217/Secci%C3%B3n%20Inocuidad%20L%C3%A1cteos/Normas%20CAPRE.pdf.pdf)

Kleinfeld Avila, N. (2012, noviembre 7). Radio de Influencia | PDF | Agua subterránea |
Materiales transparentes. Scribd.
<https://es.scribd.com/document/112441984/Radio-de-Influencia>

Krásný, J. (1998). Estudios Hidrogeológicos E Hidroquímicos de la Región Del Pacífico
de Nicaragua. COSUDE.

Kumar, M., Kumari, K., Singh, U. K., & Ramanathan, AL. (2009). Hydrogeochemical
processes in the groundwater environment of Muktsar, Punjab: Conventional

- graphical and multivariate statistical approach. *Environmental Geology*, 57(4), 873-884. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1367-0>
- Lesser y Asociados S.A. (2011, enero 30). Balance hídrico y calidad del agua subterránea en el acuífero del Valle del Mezquital, México central. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742011000300001
- Lira Gómez. (2019, diciembre 11). Suelo aluvial: Características, geología, propiedades, usos. Lifeder. <https://www.lifeder.com/suelo-aluvial/>
- Lizarazo, C., & Restrepo, J. (2015, enero 14). CLASIFICACIÓN DE SUELOS. *Biología de suelos*. <https://biologiadesuelos2014.wordpress.com/clasificacion/>
- López, C. A. (2016, enero 26). Tratamiento de aguas duras [Text]. *iAgua; iAgua*. <https://www.iagua.es/blogs/cristina-asenjo-lopez/tratamiento-aguas-duras>
- MARENA, MAG, UNA, INAFOR, & INETER. (2015). INETER | Mapas Interactivo Usos de Suelo. <https://servidormapas.ineter.gob.ni/AtlasNacionalSuelo/index.html>
- Maser. (2023). Permeámetro de Guelph. Maser. <http://maser.com.co/producto/permeometro-de-guelph/>
- Milán Pérez, J. A. (2012). Apuntes sobre cambio climático en Nicaragua pdf,—2a ed. <https://cambioclimatico.ineter.gob.ni/bibliografia/Educacion%20y%20Cambio%20Clim%C3%A1tico/cambio%20climatico%20vr%202.pdf>
- Millar, A. (2000). Manejo De Agua Y Producción Agrícola. IICA Biblioteca Venezuela.
- Morocho, E. E. C. (2008). Universidad Estatal De Bolivar. INIAP Archivo Histórico.
- Navarro Hudiel, S. (2012, mayo). Suelos.doc.
- Olave, L. (2013, septiembre 12). Cationes y Aniones en Parámetros de Calidad de Agua. *prezi.com*. <https://prezi.com/tj9iampvh3ys/cationes-y-aniones-en-parametros-de-calidad-de-agua/>

- OMS. (2018). Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda (4a ed + 1a adenda). Organización Mundial de la Salud. <https://iris.who.int/handle/10665/272403>
- Oskata, J. L. (2019, mayo 20). Tubería de Pozos | PDF | Acero | Corrosión. Scribd. <https://es.scribd.com/document/410779136/Tuberia-de-Pozos>
- Ponce, V. M. (2020, enero). Groundwater utilization and sustainability, sustainability of groundwater, sustainable yield of groundwater, sustainable groundwater development. https://ponce.sdsu.edu/uso_y_sostenibilidad_del_agua_subterranea.html
- Ponce, V. M., Cobos Aguilar, R., & Oñate Valdivieso, F. (2020, enero 27). El mito de la evaluación del agua subterránea, hidrogeología, geohidrología, San Diego State University, California. https://ponce.sdsu.edu/el_mito_de_la_evaluacion_del_agua_subterranea.html
- Ramsar. (2023). Factsheet 2. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/services_02_s.pdf
- Rodríguez, S. A. (2010, octubre 11). Dureza_agua.pdf. https://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/dureza_agua.pdf
- Roldán, G., Tundisi, J., Jiménez, B., Vammen, K., Vaux, H., González, E., & Doria, M. (2019). Calidad_de_Agua_Nicaragua.pdf. https://caps-nicaragua.org/media/adjuntos/Calidad_de_Agua_Nicaragua.pdf
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007, diciembre 3). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. <https://www.redalyc.org/pdf/643/64327320.pdf>
- Sánchez, F. J. (2010). Evapotransp.pdf. <https://hidrologia.usal.es/temas/Evapotransp.pdf>
- Sánchez, F. J. (2023). Hidroquímica_Básica.pdf. https://hidrologia.usal.es/temas/Hidroquímica_Básica.pdf

- Schosinsky N., G. (2006). Cálculo de La Recarga Potencial de Acuíferos Mediante Unbalance Hídrico de Suelos PDF | PDF | Evapotranspiración | Agua subterránea. Scribd. <https://es.scribd.com/document/483037825/CALCULO-DE-LA-RECARGA-POTENCIAL-DE-ACUIFEROS-MEDIANTE-UNBALANCE-HIDRICO-DE-SUELOS-pdf>
- Soil Survey Staff. (2001, marzo). Soil Survey Staff 1999nagement—Wiley Online Library. <https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1475-2743.2001.tb00008.x>
- Tábora, F., Basterrechea, M., Candanedo, H., Wallace, M., Kawas, N., Ariaga, R., Frutos, R., Solís, M., Sánchez, J. C., Rodríguez, T., Zelaya, L., Ramírez, P., & Paquet, G. (2011, abril). Situación de los recursos hídricos en Centroamérica. SlideShare. <https://es.slideshare.net/slideshow/situacin-de-los-recursos-hdricos-en-centroamrica/35013758>
- Uliana, M. M. (2012). HydrogeologyLectureNotes v2.3 LR | PDF | Hydrogeology | Acuífer. Scribd. <https://www.scribd.com/document/215165968/HydrogeologyLectureNotes-v2-3-LR>
- UNESCO. (2008). El Agua responsabilidad Compartida, 2do Informe de las Naciones Unidas Sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. En UNESCO Digital Library (2do ed.). Sociedad Estatal Expo Agua Zaragoza. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000149519?posInSet=1&queryId=c53ef51d-3270-4dac-bee0-4f683bd5d609>
- Valdivielso, A. (2020, septiembre 14). ¿Qué es un acuífero? [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-acuifero>
- Vammen, K., & Hurtado García, I. (2012). LOS RECURSOS HÍDRICOS DE NICARAGUA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO.
- Zekâi, . (2015). Practical and Applied Hydrogeology ScienceDirect Topics. <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/transmissivity>

XI. ANEXOS

Anexo 1. Variables climáticas estación León - La Paz Centro

Anexo 1. 2. Datos de precipitación de Data Access Viewer 2000 - 2022

NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Monthly and Annual													
Dates (month/day/year): 01/01/2000 through 12/31/2022													
Location:			Latitude: 12. 43				Longitude: -86.91						
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 102.51 meters							Estación:			León			
Parameter(s):			Precipitation Corrected Sum (mm)					Tipo:		HMP			
YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
2000	0.00	0.00	0.00	5.27	195.12	79.10	68.55	94.92	363.87	116.02	5.27	0.00	928.12
2001	5.27	0.00	5.27	0.00	100.20	42.19	63.28	26.37	232.03	73.83	5.27	0.00	553.71
2002	0.00	5.27	0.00	5.27	279.49	89.65	89.65	126.56	237.30	179.30	31.64	0.00	1044.14
2003	0.00	0.00	31.64	31.64	137.11	195.12	36.91	52.73	73.83	121.29	31.64	0.00	711.91
2004	0.00	0.00	5.27	10.55	205.66	121.29	94.92	126.56	311.13	105.47	26.37	0.00	1007.23
2005	0.00	0.00	52.73	10.55	152.93	305.86	84.38	142.38	353.32	258.40	10.55	0.00	1371.09
2006	0.00	0.00	0.00	10.55	100.20	184.57	63.28	42.19	247.85	110.74	21.09	0.00	780.47
2007	0.00	0.00	10.55	42.19	226.76	142.38	73.83	326.95	268.95	553.71	5.27	0.00	1650.59
2008	0.00	0.00	0.00	10.55	195.12	284.77	221.48	311.13	574.80	416.60	15.82	0.00	2030.27
2009	0.00	0.00	0.00	0.00	174.02	427.15	79.10	68.55	147.66	131.84	116.02	31.64	1175.98
2010	0.00	0.00	0.00	147.66	295.31	295.31	374.41	326.95	495.70	137.11	15.82	0.00	2088.28
2011	0.00	15.82	21.09	15.82	263.67	274.22	416.60	268.95	268.95	427.15	10.55	0.00	1982.81
2012	0.00	0.00	0.00	116.02	195.12	174.02	42.19	311.13	210.94	237.30	0.00	5.27	1291.99
2013	0.00	0.00	0.00	21.09	263.67	158.20	79.10	142.38	353.32	226.76	58.01	5.27	1307.81
2014	0.00	0.00	5.27	0.00	142.38	152.93	5.27	158.20	437.70	268.95	63.28	0.00	1233.98
2015	0.00	0.00	10.55	5.27	31.64	152.93	36.91	36.91	242.58	247.85	168.75	26.37	959.77
2016	0.00	0.00	0.00	36.91	221.48	263.67	79.10	205.66	274.22	369.14	84.38	36.91	1571.48
2017	0.00	0.00	0.00	73.83	311.13	548.44	84.38	274.22	353.32	458.79	0.00	0.00	2104.10
2018	0.00	0.00	0.00	26.37	384.96	168.75	26.37	52.73	174.02	543.16	15.82	0.00	1392.19
2019	0.00	0.00	0.00	10.55	311.13	110.74	52.73	147.66	242.58	363.87	15.82	0.00	1255.08
2020	0.00	0.00	0.00	0.00	163.48	353.32	68.55	163.48	458.79	485.16	569.53	63.28	2325.59
2021	5.27	0.00	5.27	82.03	74.01	345.22	182.13	511.10	367.90	211.35	12.38	3.18	1799.85
2022	3.38	1.68	11.78	59.17	319.41	309.73	142.24	261.68	445.54	224.10	111.64	5.73	1896.07
PROMEDIO	0.61	1.0	6.93	31.36	206.26	225.20	107.19	181.71	310.27	272.52	60.65	7.72	1411.41

NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Monthly and Annual													
Dates (month/day/year): 01/01/2000 through 12/31/2022													
Location:			Latitude: 12. 34				Longitude: -86.68						
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 102.51							Estación:			La Paz Centro			
Parameter(s):			Precipitation Corrected Sum (mm)					Tipo:		PV			
YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
2000	0.00	0.00	0.00	5.27	195.12	79.10	68.55	94.92	363.87	116.02	5.27	0.00	928.12
2001	5.27	0.00	5.27	0.00	100.20	42.19	63.28	26.37	232.03	73.83	5.27	0.00	553.71
2002	0.00	5.27	0.00	5.27	279.49	89.65	89.65	126.56	237.30	179.30	31.64	0.00	1044.14
2003	0.00	0.00	31.64	31.64	137.11	195.12	36.91	52.73	73.83	121.29	31.64	0.00	711.91
2004	0.00	0.00	5.27	10.55	205.66	121.29	94.92	126.56	311.13	105.47	26.37	0.00	1007.23
2005	0.00	0.00	52.73	10.55	152.93	305.86	84.38	142.38	353.32	258.40	10.55	0.00	1371.09
2006	0.00	0.00	0.00	10.55	100.20	184.57	63.28	42.19	247.85	110.74	21.09	0.00	780.47
2007	0.00	0.00	10.55	42.19	226.76	142.38	73.83	326.95	268.95	553.71	5.27	0.00	1650.59
2008	0.00	0.00	0.00	10.55	195.12	284.77	221.48	311.13	574.80	416.60	15.82	0.00	2030.27
2009	0.00	0.00	0.00	0.00	174.02	427.15	79.10	68.55	147.66	131.84	116.02	31.64	1175.98
2010	0.00	0.00	0.00	147.66	295.31	295.31	374.41	326.95	495.70	137.11	15.82	0.00	2088.28
2011	0.00	15.82	21.09	15.82	263.67	274.22	416.60	268.95	268.95	427.15	10.55	0.00	1982.81
2012	0.00	0.00	0.00	116.02	195.12	174.02	42.19	311.13	210.94	237.30	0.00	5.27	1291.99
2013	0.00	0.00	0.00	21.09	263.67	158.20	79.10	142.38	353.32	226.76	58.01	5.27	1307.81
2014	0.00	0.00	5.27	0.00	142.38	152.93	5.27	158.20	437.70	268.95	63.28	0.00	1233.98
2015	0.00	0.00	10.55	5.27	31.64	152.93	36.91	36.91	242.58	247.85	168.75	26.37	959.77
2016	0.00	0.00	0.00	36.91	221.48	263.67	79.10	205.66	274.22	369.14	84.38	36.91	1571.48
2017	0.00	0.00	0.00	73.83	311.13	548.44	84.38	274.22	353.32	458.79	0.00	0.00	2104.10
2018	0.00	0.00	0.00	26.37	384.96	168.75	26.37	52.73	174.02	543.16	15.82	0.00	1392.19
2019	0.00	0.00	0.00	10.55	311.13	110.74	52.73	147.66	242.58	363.87	15.82	0.00	1255.08
2020	0.00	0.00	0.00	0.00	163.48	353.32	68.55	163.48	458.79	485.16	569.53	63.28	2325.59
2021	5.27	0.00	5.27	82.03	74.01	345.22	182.13	511.10	367.90	211.35	12.38	3.18	1799.85
2022	3.38	1.68	11.78	59.17	319.41	309.73	142.24	261.68	445.54	224.10	111.64	5.73	1896.07
PROMEDIO	0.61	1.0	6.93	31.36	206.26	225.20	107.19	181.71	310.27	272.52	60.65	7.72	1411.41

Anexo 1. 3. Datos de temperatura de Data Access Viewer año 2000-2022

NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Monthly and Annual													
Dates (month/day/year): 01/01/2000 through 12/31/2022													
Location:			Latitude: 12. 43					Longitude: -86.91					
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 102.51 meters								Estación:		León			
Parameter(s):		T2M MERR-2 Temperature at 2 Meters (°C)						Tipo:		HMP			
YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
2000	27.05	28.44	29.66	30.99	29.08	28.23	28.84	29.12	26.38	26.43	27.44	28.55	28.35
2001	28.34	28.65	29.55	31.69	30.1	29.18	29.76	30.3	27.7	27.62	27.73	29.42	29.18
2002	29.28	29.57	30.56	31.58	30.16	27.44	27.88	28.8	27.69	27.05	26.95	28.4	28.78
2003	28.9	29.73	29.81	30.83	30.04	27.13	28.48	29.32	28.48	27.73	28.22	28.72	28.94
2004	28.83	29.76	30.81	30.87	29.76	27.97	28.31	29.02	27.15	27.04	27.29	28.42	28.77
2005	28.43	28.69	30.12	31.3	29.08	27.37	27.3	27.89	27.44	25.63	26.01	27.44	28.05
2006	28.45	28.83	30.02	30.87	29.81	27.77	28.7	29.59	28.2	27.84	27.66	29.21	28.92
2007	28.97	29.45	30.85	30.04	28.92	27.6	28.38	27.46	26.8	25.89	25.69	26.23	28.01
2008	27.52	28.76	29.93	30.69	28.96	27.18	26.57	26.73	26.58	25.97	25.54	26.02	27.53
2009	27.42	28.37	29.2	30.78	28.98	27.48	27.32	28.2	28.55	28.15	26.95	27.53	28.24
2010	28.06	29.98	30.73	30.56	28.94	27.26	26.77	26.88	26.32	26.51	25.48	25.33	27.72
2011	27.87	29.23	29.14	30.23	29.06	27.24	27.05	27.33	26.88	25.76	26.05	26.32	27.66
2012	27.42	28.67	29.39	29.19	28.4	27.55	27.94	27.91	27.15	26.64	26.31	27.76	27.86
2013	28.78	29.27	29.87	31.27	28.87	27.62	27.57	28.21	26.83	26.99	26.66	26.76	28.22
2014	27.96	29	30.33	31.15	29.77	28.57	30.08	29.3	27.37	26.61	26.25	26.22	28.55
2015	27.83	29.01	30.05	31.42	30.93	28.89	29.59	31.09	29.01	27.75	27.12	28.07	29.23
2016	28.84	29.72	31.17	31.18	29.94	27.47	28.11	28.33	27.31	26.85	26.62	26.46	28.5
2017	27.23	28.69	30.3	30.64	27.92	27.47	27.62	27.73	27.13	26.62	26.72	26.64	27.88
2018	27.76	28.44	30.21	30.52	28.24	27.23	27.85	28.9	28.31	26.47	27.14	27.12	28.18
2019	28.29	29.58	30.37	31.19	28.72	28.46	29.19	29.2	28.4	26.77	27.16	28.12	28.78
2020	29.15	30.15	31.24	31.84	29.97	27.6	28.26	28.17	27.5	26.58	26.16	25.41	28.5
2021	26.38	28.58	29.97	30.21	30.08	28.8	27.98	27.53	27.1	27.65	27.15	27.86	28.27
2022	28.55	29.62	30.87	30.51	28.15	26.41	27.51	27.68	26.89	27.05	26.62	26.46	28.02
PROMEDIO	28.14	29.14	30.18	30.85	29.30	27.74	28.13	28.46	27.44	26.85	26.74	27.32	28.35

NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Monthly and Annual													
Dates (month/day/year): 01/01/2000 through 12/31/2022													
Location:			Latitude: 12.34					Longitude: -86.68					
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 102.51 meters								Estación:		La Paz Centro			
Parameter(s):		T2M MERR-2 Temperature at 2 Meters (°C)						Tipo:		PV			
YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
2000	27.05	28.44	29.66	30.99	29.08	28.23	28.84	29.12	26.38	26.43	27.44	28.55	28.35
2001	28.34	28.65	29.55	31.69	30.1	29.18	29.76	30.3	27.7	27.62	27.73	29.42	29.18
2002	29.28	29.57	30.56	31.58	30.16	27.44	27.88	28.8	27.69	27.05	26.95	28.4	28.78
2003	28.9	29.73	29.81	30.83	30.04	27.13	28.48	29.32	28.48	27.73	28.22	28.72	28.94
2004	28.83	29.76	30.81	30.87	29.76	27.97	28.31	29.02	27.15	27.04	27.29	28.42	28.77
2005	28.43	28.69	30.12	31.3	29.08	27.37	27.3	27.89	27.44	25.63	26.01	27.44	28.05
2006	28.45	28.83	30.02	30.87	29.81	27.77	28.7	29.59	28.2	27.84	27.66	29.21	28.92
2007	28.97	29.45	30.85	30.04	28.92	27.6	28.38	27.46	26.8	25.89	25.69	26.23	28.01
2008	27.52	28.76	29.93	30.69	28.96	27.18	26.57	26.73	26.58	25.97	25.54	26.02	27.53
2009	27.42	28.37	29.2	30.78	28.98	27.48	27.32	28.2	28.55	28.15	26.95	27.53	28.24
2010	28.06	29.98	30.73	30.56	28.94	27.26	26.77	26.88	26.32	26.51	25.48	25.33	27.72
2011	27.87	29.23	29.14	30.23	29.06	27.24	27.05	27.33	26.88	25.76	26.05	26.32	27.66
2012	27.42	28.67	29.39	29.19	28.4	27.55	27.94	27.91	27.15	26.64	26.31	27.76	27.86
2013	28.78	29.27	29.87	31.27	28.87	27.62	27.57	28.21	26.83	26.99	26.66	26.76	28.22
2014	27.96	29	30.33	31.15	29.77	28.57	30.08	29.3	27.37	26.61	26.25	26.22	28.55
2015	27.83	29.01	30.05	31.42	30.93	28.89	29.59	31.09	29.01	27.75	27.12	28.07	29.23
2016	28.84	29.72	31.17	31.18	29.94	27.47	28.11	28.33	27.31	26.85	26.62	26.46	28.5
2017	27.23	28.69	30.3	30.64	27.92	27.47	27.62	27.73	27.13	26.62	26.72	26.64	27.88
2018	27.76	28.44	30.21	30.52	28.24	27.23	27.85	28.9	28.31	26.47	27.14	27.12	28.18
2019	28.29	29.58	30.37	31.19	28.72	28.46	29.19	29.2	28.4	26.77	27.16	28.12	28.78
2020	29.15	30.15	31.24	31.84	29.97	27.6	28.26	28.17	27.5	26.58	26.16	25.41	28.5
2021	26.38	28.58	29.97	30.21	30.08	28.8	27.98	27.53	27.1	27.65	27.15	27.86	28.27
2022	28.55	29.62	30.87	30.51	28.15	26.41	27.51	27.68	26.89	27.05	26.62	26.46	28.02
PROMEDIO	28.14	29.14	30.18	30.85	29.30	27.74	28.13	28.46	27.44	26.85	26.74	27.32	28.35

Anexo 1. 4. Datos de precipitación INETER 2000–2022

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES													
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA													
RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL													
Estación:	LEON (AEROP.GODOY) /						Código:	64043					
Departamento:	LEON						Municipio:	LEON					
Latitud:	12°25'36"						Longitud:	86°54'48"					
Años:	2000 - 2023						Elevación:	60 msnm					
Parámetro	Precipitación (mm)						Tipo:	HMP					
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Suma
2000	0.3	0.0	0.0	0.0	93.4	112.0	64.2	116.9	703.6	279.2	109.4	0.1	1,479.1
2001	0.0	0.0	3.5	0.0	343.2	25.0	56.5	99.3	337.6	193.7	93.7	0.9	1,153.4
2002	0.0	0.0	0.0	0.6	454.3	253.8	18.3	104.6	359.5	130.9	52.8	0.0	1,374.8
2003	0.0	0.0	20.1	0.1	135.8	260.9	92.6	170.1	294.2	389.7	132.6	0.2	1,496.3
2004	0.0	4.6	0.0	3.1	105.5	69.3	139.9	167.3	291.3	178.6	39.5	0.0	999.1
2005	0.0	0.0	80.0	41.3	120.1	196.9	123.4	196.6	535.6	796.9	81.2	0.0	2,172.0
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	135.7	401.2	142.5	128.5	188.8	434.7	82.8	12.5	1,526.7
2007	0.0	2.7	3.0	6.9	463.6	185.7	154.9	453.6	357.2	697.9	108.4	11.5	2,445.4
2008	4.6	1.4	0.1	24.4	305.2	189.2	94.1	333.6	550.1	640.9	18.4	0.0	2,162.0
2009	0.1	0.0	1.2	0.0	145.0	201.1	76.7	99.3	241.1	241.5	166.5	59.3	1,231.8
2010	0.0	11.5	0.1	191.7	660.2	224.4	559.4	339.8	630.8	117.1	136.5	0.0	2,871.5
2011	0.0	0.0	0.0	12.0	142.8	250.9	162.4	193.0	320.1	544.2	15.3	0.4	1,641.1
2012	0.0	0.0	0.0	174.2	100.8	251.8	12.0	310.5	102.5	161.9	19.3	0.2	1,133.2
2013	0.3	0.0	0.0	1.6	123.8	132.6	116.0	226.9	449.7	250.6	120.1	0.4	1,422.0
2014	1.6	0.8	0.0	0.0	142.2	88.5	10.3	211.6	431.5	417.7	46.5	0.0	1,350.7
2015	0.6	0.0	0.0	0.3	17.0	238.9	39.8	61.6	100.7	260.2	157.0	0.0	876.1
2016	0.0	0.6	0.0	34.2	218.3	125.5	75.8	187.6	164.2	358.5	119.6	4.6	1,288.9
2017	8.7	0.0	0.0	23.7	220.5	287.6	106.5	158.8	225.3	548.8	51.2	2.5	1,633.6
2018	0.0	0.0	0.0	3.2	329.7	137.1	30.6	27.3	277.7	633.3	58.8	0.2	1,497.9
2019	0.0	0.0	0.0	2.3	347.9	103.8	18.0	27.3	294.2	416.3	66.1	0.3	1,276.2
2020	0.4	3.2	0.0	0.0	367.3	183.4	83.3	372.8	248.4	297.5	282.6	1.3	1,840.2
2021	0.0	0.1	0.0	25.2	17.4	183.3	120.5	372.4	342.8	132.5	82.6	2.5	1,279.3
2022	0.0	0.0	0.0	9.7	453.8	586.7	101.4	175.6	451.4	406.5	140.1	16.6	2,341.8
Media	0.7	1.1	4.7	24.1	236.7	203.9	104.3	197.2	343.4	370.8	94.8	4.9	1586.7

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES

DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA

RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL

Estación:	LA PAZ CENTRO				Código:	69123							
Departamento:	LEON				Municipio:	LA PAZ CENTRO							
Latitud:	12° 20' 23"				Longitud:	86° 40' 52"							
Años:	1984-2015				Elevación:	80 msnm							
Parámetro:	Precipitación (mm)				Tipo:	EP							
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Suma
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	116.7	120.9	26.8	144.8	778.3	282.1	0.0	0.0	1469.6
2001	0.0	0.0	0.0	0.0	214.7	53.2	29.2	53.6	387.6	194.5	73.1	5.2	1011.1
2002	0.0	0.0	0.0	0.0	459.0	154.2	60.0	8.8	353.5	146.9	32.7	0.0	1215.1
2003	0.0	0.0	10.6	0.0	131.5	308.5	57.5	143.4	433.5	493.5	127.3	0.0	1705.8
2004	0.5	0.0	0.0	0.0	170.6	25.8	96.1	36.7	173.3	273.2	83.4	0.0	859.6
2005	0.0	0.0	16.0	36.3	198.4	413.5	108.7	110.8	169.2	754.6	59.0	0.0	1866.5
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	98.2	207.0	163.0	162.7	184.3	346.7	19.6	0.0	1181.5
2007	0.0	0.0	42.4	22.4	453.7	250.1	70.2	433.5	362.0	757.6	62.5	0.0	2454.4
2008	0.0	0.0	0.0	40.0	369.4	127.8	211.2	299.9	384.6	584.4	36.6	0.0	2053.9
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	173.7	279.1	69.5	53.5	122.2	318.6	133.6	44.4	1194.6
2010	0.0	0.0	0.0	45.3	405.7	270.6	295.8	334.1	687.0	174.6	48.6	0.0	2261.7
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	310.0	275.8	257.5	287.4	480.5	493.0	68.8	0.0	2173.0
2012	0.0	0.0	0.0	45.3	172.8	319.5	0.0	248.6	155.7	123.2	0.0	0.0	1065.1
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	138.4	55.9	104.7	194.4	456.9	277.0	143.9	0.0	1371.2
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	24.1	83.8	34.2	101.2	396.6	571.8	0.0	0.0	1211.7
2015	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	362.7	13.0	-	-	-	-	-	375.7
Suma	0.5	0.0	69.0	189.3	3436.9	3308.4	1597.4	2613.4	5525.2	5791.7	889.1	49.6	23470.5

Anexo 1. 5. Datos de temperatura INETER 2000-2022

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES														
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA														
RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL														
Estación:	LEON (AEROP.GODOY) /								Código:	64043				
Departamento:	LEON								Municipio:	LEON				
Latitud:	12°25'36"								Longitud:	86°54'48"				
Años:	2000 - 2023								Elevación:	60 msnm				
Parámetro:	Temperatura Media (°C)								Tipo:	HMP				
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media	
2000	26.0	27.4	28.2	29.6	28.4	27.4	27.9	28.2	25.9	26.4	26.6	26.4	27.4	
2001	26.5	28.0	27.8	30.2	28.1	27.8	27.6	28.0	26.2	26.5	25.9	26.7	27.4	
2002	27.6	28.4	29.4	30.2	29.2	27.2	27.6	28.6	26.8	26.7	26.6	27.2	28.0	
2003	27.7	28.6	28.8	29.2	29.2	26.8	27.4	27.6	27.2	26.6	26.5	26.4	27.7	
2004	27.0	28.0	29.8	29.2	28.9	28.4	27.5	27.3	26.6	26.7	26.2	26.8	27.7	
2005	27.4	28.0	28.7	29.1	28.3	27.3	27.5	27.7	26.5	25.5	26.4	26.6	27.4	
2006	27.0	27.7	28.7	29.0	28.5	26.9	27.9	27.5	26.9	26.8	25.9	26.9	27.5	
2007	27.8	27.9	29.4	29.0	27.8	27.2	27.2	26.1	26.2	25.5	26.2	25.9	27.2	
2008	26.5	27.2	28.3	28.8	27.6	27.3	27.0	26.8	26.3	25.5	25.7	26.3	26.9	
2009	26.9	27.6	27.8	29.3	28.4	26.9	27.7	28.0	27.7	26.9	26.6	27.2	27.6	
2010	27.2	28.4	28.7	29.6	28.2	26.9	26.5	26.6	26.0	26.6	25.3	24.8	27.1	
2011	26.8	28.2	27.9	28.5	28.4	26.8	26.5	27.1	26.4	25.4	26.1	26.2	27.0	
2012	27.1	27.9	28.9	27.8	27.3	27.2	28.0	27.3	26.9	26.2	26.6	27.1	27.4	
2013	28.1	28.6	29.1	30.0	28.6	27.7	27.7	27.4	26.3	26.7	26.5	26.6	27.8	
2014	27.0	28.1	29.4	30.4	29.5	28.6	30.1	28.3	26.8	26.4	26.6	26.6	28.2	
2015	27.7	28.0	29.4	30.5	30.6	28.9	29.0	29.8	28.2	27.4	27.2	28.3	28.8	
2016	28.0	29.4	30.0	30.0	28.7	27.4	28.3	28.4	27.2	26.6	26.2	26.3	28.0	
2017	26.7	27.5	29.0	29.6	28.0	27.3	27.7	27.3	27.1	26.5	26.5	26.6	27.5	
2018	27.1	27.9	29.0	29.4	27.8	27.4	28.6	28.5	27.2	26.0	27.2	27.0	27.7	
2019	27.7	28.4	29.4	29.7	28.0	28.5	28.5	28.6	27.7	26.2	26.8	27.1	28.0	
2020	27.6	28.8	29.6	30.2	28.9	27.4	27.6	26.7	26.7	26.2	25.9	26.0	27.6	
2021	26.8	27.5	28.7	28.7	29.2	27.8	27.9	27.2	26.8	26.8	26.5	26.9	27.5	
2022	26.9	27.8	29.0	28.8	27.3	26.0	27.3	26.4	26.3	26.3	26.1	26.3	27.0	
2023	26.6	28.2	28.3	29.3	29.8	28.4	28.3	28.5	28.3	27.0	27.3	28.3	28.2	
Media	27.1	28.1	28.9	29.4	28.5	27.5	27.8	27.7	26.8	26.4	26.4	26.7	27.6	

Anexo 1. 6. Cálculo de evapotranspiración potencial

Cálculo de ETP por fórmula de Hargreaves Simplificada					Estación León				
Mes	Promedios Mensuales Temperatura				Radiación Extraterr.		Evapotransp. Potencial		
	Temp Mx. °C	Temp Med °C	Temp Min °C	$(T_{Mx}-T_{Min})^{0.5}$	RO MJ m-2 d-1	RO mm/d	ETO diario mm/d	Días mes	ETO mens. mm/mes
Ene	35.8	28.1	20.6	3.90	30.9	12.61	5.2	31	160.8
Feb	36.9	29.1	21.5	3.93	33.8	13.79	5.8	28	163.6
Mar	38.1	30.2	22.3	3.97	36.5	14.89	6.5	31	202.4
Abr	38.8	30.9	24.2	3.82	38	15.50	6.6	30	198.6
May	37.5	29.3	24.2	3.65	38	15.50	6.1	31	190.0
Jun	33.7	27.7	23.3	3.22	37.6	15.34	5.2	30	155.3
Jul	34.6	28.1	22.9	3.42	37.6	15.34	5.5	31	171.8
Ago	35.5	28.5	23.4	3.47	37.8	15.42	5.7	31	176.3
Set	33.5	27.4	23.5	3.17	36.9	15.06	5.0	30	148.9
Oct	32.1	26.9	22.7	3.07	34.5	14.08	4.4	31	137.5
Nov	32.8	26.7	20.5	3.49	31.5	12.85	4.6	30	138.0
Dic	34.6	27.3	20.5	3.76	30	12.24	4.8	31	147.9
							TOTAL		1990.9

Anexo 2. Hidrodinámica

Anexo 2. 2. Niveles estáticos y dinámicos del pozo Momotombo #4 ENACAL

NIVELES ESTATICO Y DINACIMO DE 15 DE SEPTIEMBRE 2015- 30 DE JULIO 2019		
Fecha	NEA (m)	NDA (m)
15-sep-15	20.26	21.79
30-sep-15	20.13	21.50
15-oct-15	20.00	21.30
31-oct-15	20.11	22.00
15-nov-15	20.12	22.01
30-nov-15	19.88	parado
15-dic-15	20.16	21.95
31-dic-15	20.24	22.00
15-ene-16	20.29	22.14
30-ene-16	20.34	22.26
15-feb-16	20.39	23.32
29-feb-16	20.4	22.35
15-mar-16	20.36	apagado
30-mar-16	20.61	22.6
15-abr-16	20.67	22.72
30-abr-16	20.7	22.78
15-may-16	20.54	22.86
31-may-16	20.53	22.86
15-jun-16	20.83	sin energía
30-jun-16	20.78	22.81
15-jul-16	20.83	22.87
30-jul-16	20.84	22.8
15-ago-16	20.83	22.89
30-ago-16	20.89	22.87

15-sep-16	20.7	sin energía
30-sep-16	20.7	22.44
15-oct-16	20.69	22.34
30-oct-16	20.61	22.3
15-nov-16	20.55	22.19
30-nov-16	20.5	22.19
15-dic-16	20.62	22.24
31-dic-16	20.7	22.33
15-ene-17	21.02	22.55
30-ene-17	21.02	22.78
15-feb-17	21.14	22.98
28-feb-17	21.25	23.14
20-mar-17	21.26	23.15
31-mar-17	21.27	23.17
15-abr-17	21.53	23.74
30-abr-17	21.55	23.71
15-may-17	21.5	23.69
31-may-17	21.27	23.47
15-jun-17	21.2	23.42
30-jun-17	21.21	22.42
15-jul-17	21.25	23.45
30-jul-17	21.2	23.44
15-ago-17	21.33	23.43
30-ago-17	21.42	23.55
15-sep-17	21.45	23.63
30-sep-17	21.32	23.34
15-oct-17	21.35	23.37
30-oct-17	21.3	23.04
30-sep-18	21.07	23.27
30-oct-18	20.82	SN

15-nov-18	SN	23.13
30-nov-18	21.83	SN
15-dic-18	SN	23.16
30-dic-18	21.09	SN
13-ene-19	SN	23.78
30-ene-19	21	SN
15-feb-19	SN	23.35
28-feb-19	21.71	SN
15-mar-19	SN	23.44
30-mar-19	21.6	SN
15-abr-19	SN	23.42
30-abr-19	21.52	SN
15-may-19	SN	23.65
15-jun-19	SN	23.42
30-jul-19	21.56	SN

SN: Sin datos

Anexo 2. 3. Inventario de fuentes subterráneas

Nombre	x	y	Elev (m)	Tipo	NEA (m)	BR (m)	NF (m)
Pozo #3 Momotombo	540084	1372363	88.66	PP	SD	0.6	SN
El Columpio	539880.86	1372426.5	96.81	PE	29.72	0.75	66.34
Alexa	540015.31	1371999.6	89.22	PE	26	0.6	62.62
Juan	540351.58	1372265.21	78	PE	25.35	0.7	51.95
Concepción	540499.77	1372181.95	76	PE	20.52	0.58	54.9
Estela	540553.89	1372346.51	67	PE	20.55	0.6	45.85
Maria	540902.46	1372046.67	68.55	PE	17.42	0.6	50.53

SD: Sin datos, **PP:** Pozo perforado, **PE:** Pozo excavado, **NEA:** Nivel estático del agua,
BR: Brocal **NF:** Nivel freático

Anexo 3. Análisis de características hidráulicas

Anexo 3. 1. Resultados de la prueba de bombeo

Prueba de Bombeo

Lugar: POZO #4 ENACAL
Fecha: 10/4/2024
Coordenadas: 540084E 1372363N **Elevación (msnm):**
NEA (m): 21.41 **Brocal(m):** 0.30
Q (m³/d): 1,362.60 **Q(m³/h):** 56.775
Hora 07:20:00 **Hora** 03:20:00
Inicio: p. m. **Finaliza:** p. m.

Date/time	Nivel del agua (m)	Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Abatimiento (m)	s(m)	s (m)	Caudal (GPM)	Caudal (m ³ /d)
07:20:00 p. m.	21.41	0	0	0.00	0	0		
07:21:00 p. m.	23.84	1	1	2.43	2.43	2.43		
07:22:00 p. m.	23.87	1	2	2.46	0.03	-2.40		
07:23:00 p. m.	23.90	1	3	2.49	0.03	0.00	325	1,771.38
07:24:00 p. m.	23.90	1	4	2.49	0.00	-0.03		
07:25:00 p. m.	23.90	1	5	2.49	0.00	0.00		
07:26:00 p. m.	23.91	1	6	2.50	0.01	0.01		
07:27:00 p. m.	23.92	1	7	2.51	0.01	0.00		
07:28:00 p. m.	23.92	1	8	2.51	0.00	-0.01		
07:29:00 p. m.	23.92	1	9	2.51	0.00	0.00		
07:30:00 p. m.	23.92	1	10	2.51	0.00	0.00		
07:31:00 p. m.	23.93	1	11	2.52	0.01	0.01		
07:32:00 p. m.	23.93	1	12	2.52	0.00	-0.01		
07:33:00 p. m.	23.93	1	13	2.52	0.00	0.00		
07:34:00 p. m.	23.93	1	14	2.52	0.00	0.00		
07:35:00 p. m.	23.93	1	15	2.52	0.00	0.00		
07:37:00 p. m.	23.94	2	17	2.53	0.01	0.01		
07:39:00 p. m.	23.94	2	19	2.53	0.00	-0.01		
07:41:00 p. m.	23.96	2	21	2.55	0.02	0.02		
07:43:00 p. m.	23.98	2	23	2.57	0.02	0.00		
07:45:00 p. m.	23.98	2	25	2.57	0.00	-0.02		
07:47:00 p. m.	23.99	2	27	2.58	0.01	0.01		
07:49:00 p. m.	23.99	2	29	2.58	0.00	-0.01		
07:51:00 p. m.	24.00	2	31	2.59	0.01	0.01		
07:54:00 p. m.	24.01	3	34	2.60	0.01	0.00		
07:57:00 p. m.	24.02	3	37	2.61	0.01	0.00		
08:00:00 p. m.	24.02	3	40	2.61	0.00	-0.01		

08:03:00 p. m.	24.02	3	43	2.61	0.00	0.00		
08:06:00 p. m.	24.02	3	46	2.61	0.00	0.00		
08:09:00 p. m.	24.02	3	49	2.61	0.00	0.00		
08:12:00 p. m.	24.02	3	52	2.61	0.00	0.00		
08:15:00 p. m.	24.03	3	55	2.62	0.01	0.01		
08:18:00 p. m.	24.04	3	58	2.63	0.01	0.00		
08:21:00 p. m.	24.04	3	61	2.63	0.00	-0.01		
08:26:00 p. m.	24.04	5	66	2.63	0.00	0.00		
08:31:00 p. m.	24.04	5	71	2.63	0.00	0.00		
08:36:00 p. m.	24.04	5	76	2.63	0.00	0.00		
08:41:00 p. m.	24.04	5	81	2.63	0.00	0.00		
08:46:00 p. m.	24.04	5	86	2.63	0.00	0.00		
08:51:00 p. m.	24.04	5	91	2.63	0.00	0.00		
08:56:00 p. m.	24.04	5	96	2.63	0.00	0.00		
09:01:00 p. m.	24.04	5	101	2.63	0.00	0.00		
09:06:00 p. m.	24.04	5	106	2.63	0.00	0.00		
09:11:00 p. m.	24.04	5	111	2.63	0.00	0.00		
09:16:00 p. m.	24.04	5	116	2.63	0.00	0.00		
09:21:00 p. m.	24.04	5	121	2.63	0.00	0.00		
09:26:00 p. m.	24.04	5	126	2.63	0.00	0.00		
09:31:00 p. m.	24.04	5	131	2.63	0.00	0.00		
09:36:00 p. m.	24.02	5	136	2.61	-0.02	-0.02		
09:41:00 p. m.	24.02	5	141	2.61	0.00	0.02		
09:46:00 p. m.	24.02	5	146	2.61	0.00	0.00		
09:51:00 p. m.	24.02	5	151	2.61	0.00	0.00		
09:56:00 p. m.	24.02	5	156	2.61	0.00	0.00		
10:01:00 p. m.	24.00	5	161	2.59	-0.02	-0.02		
10:06:00 p. m.	24.00	5	166	2.59	0.00	0.02		
10:11:00 p. m.	24.00	5	171	2.59	0.00	0.00		
10:16:00 p. m.	24.00	5	176	2.59	0.00	0.00		
10:21:00 p. m.	24.00	5	181	2.59	0.00	0.00		
10:31:00 p. m.	24.00	10	191	2.59	0.00	0.00		
10:41:00 p. m.	24.00	10	201	2.59	0.00	0.00		
10:51:00 p. m.	24.00	10	211	2.59	0.00	0.00		
11:01:00 p. m.	24.00	10	221	2.59	0.00	0.00		
11:11:00 p. m.	24.00	10	231	2.59	0.00	0.00		
11:21:00 p. m.	24.00	10	241	2.59	0.00	0.00		
11:31:00 p. m.	24.00	10	251	2.59	0.00	0.00		
11:41:00 p. m.	24.00	10	261	2.59	0.00	0.00		
11:51:00 p. m.	24.00	10	271	2.59	0.00	0.00		
12:01:00 a. m.	24.00	10	281	2.59	0.00	0.00		
12:11:00 a. m.	24.00	10	291	2.59	0.00	0.00		
12:21:00 a. m.	24.00	10	301	2.59	0.00	0.00		

12:31:00 a. m.	24.00	10	311	2.59	0.00	0.00		
12:41:00 a. m.	24.00	10	321	2.59	0.00	0.00		
12:51:00 a. m.	24.00	10	331	2.59	0.00	0.00		
01:01:00 a. m.	24.00	10	341	2.59	0.00	0.00		
01:11:00 a. m.	24.00	10	351	2.59	0.00	0.00		
01:21:00 a. m.	24.00	10	361	2.59	0.00	0.00		
01:31:00 a. m.	24.00	10	371	2.59	0.00	0.00		
01:41:00 a. m.	24.00	10	381	2.59	0.00	0.00		
01:51:00 a. m.	24.00	10	391	2.59	0.00	0.00		
02:01:00 a. m.	24.00	10	401	2.59	0.00	0.00		
02:11:00 a. m.	24.00	10	411	2.59	0.00	0.00		
02:21:00 a. m.	24.00	10	421	2.59	0.00	0.00		
02:31:00 a. m.	24.00	10	431	2.59	0.00	0.00		
02:41:00 a. m.	24.00	10	441	2.59	0.00	0.00		
02:51:00 a. m.	23.99	10	451	2.58	-0.01	-0.01		
03:01:00 a. m.	23.99	10	461	2.58	0.00	0.01		
03:21:00 a. m.	23.99	20	481	2.58	0.00	0.00		
03:41:00 a. m.	23.99	20	501	2.58	0.00	0.00		
04:01:00 a. m.	23.99	20	521	2.58	0.00	0.00		
04:21:00 a. m.	23.99	20	541	2.58	0.00	0.00		
04:41:00 a. m.	23.99	20	561	2.58	0.00	0.00		
05:01:00 a. m.	23.99	20	581	2.58	0.00	0.00		
05:21:00 a. m.	23.99	20	601	2.58	0.00	0.00		
05:41:00 a. m.	24.00	20	621	2.59	0.01	0.01		
06:01:00 a. m.	24.00	20	641	2.59	0.00	-0.01		
06:21:00 a. m.	24.01	20	661	2.60	0.01	0.01		
06:51:00 a. m.	24.01	30	691	2.60	0.00	-0.01		
07:21:00 a. m.	24.01	30	721	2.60	0.00	0.00		
07:51:00 a. m.	24.01	30	751	2.60	0.00	0.00		
08:21:00 a. m.	24.01	30	781	2.60	0.00	0.00		
09:21:00 a. m.	24.01	60	841	2.60	0.00	0.00		
10:21:00 a. m.	24.01	60	901	2.60	0.00	0.00		
11:21:00 a. m.	24.01	60	961	2.60	0.00	0.00		
12:21:00 p. m.	24.01	60	1021	2.60	0.00	0.00		
01:21:00 p. m.	24.01	60	1081	2.60	0.00	0.00		
02:21:00 p. m.	24.03	60	1141	2.62	0.02	0.02		
03:21:00 p. m.	24.03	60	1201	2.62	0.00	-0.02		
								FIN DE LA PRUEBA

Anexo 3. 2. Recuperación del pozo

Prueba de Bombeo				
Lugar:	POZO N° 4 ENACAL			
Fecha:	10/4/2024			
	540084E			
Coordenadas:	1372363N		Elevación (msnm):	
NEA (m):	21.41		Brocal(m):	
			Tiempo de bombeo (min):	
Q (m3/d):			04:10:00	
Hora Inicio:	03:20:00 p. m.	Hora Finaliza:	p. m.	

Hora	Intervalo de tiempo (min)	Tiempo (min)	ND (m)	Ascenso (m)
03:20:00 p. m.	0	0	24.03	0
03:21:00 p. m.	1	1	21.70	2.33
03:22:00 p. m.	1	2	21.60	2.43
03:23:00 p. m.	1	3	21.58	2.45
03:24:00 p. m.	1	4	21.56	2.47
03:25:00 p. m.	1	5	21.56	2.47
03:26:00 p. m.	1	6	21.56	2.47
03:27:00 p. m.	1	7	21.54	2.49
03:28:00 p. m.	1	8	21.53	2.5
03:29:00 p. m.	1	9	21.53	2.5
03:30:00 p. m.	1	10	21.53	2.5
03:32:00 p. m.	2	12	21.52	2.51
03:34:00 p. m.	2	14	21.50	2.53
03:36:00 p. m.	2	16	21.50	2.53
03:38:00 p. m.	2	18	21.50	2.53
03:40:00 p. m.	2	20	21.49	2.54
03:42:00 p. m.	2	22	21.49	2.54
03:44:00 p. m.	2	24	21.48	2.55
03:46:00 p. m.	2	26	21.48	2.55
03:48:00 p. m.	2	28	21.48	2.55
03:50:00 p. m.	2	30	21.46	2.57
03:55:00 p. m.	5	35	21.46	2.57
04:00:00 p. m.	5	40	21.46	2.57
04:05:00 p. m.	5	45	21.44	2.59

04:10:00 p. m.	5	50	21.44	2.59
				98.85
			% de recuperación	

Anexo 4. Recarga del acuífero

Anexo 4. 1. Resultado de las pruebas de infiltración

Fecha:	5/3/2024	Observación:	
Lugar:	Finca Fátima		
Uso de suelo:	Ganadería- cultivo (maní)		
Coordenadas			
X:	537681.88 E	Y:	1373346.08 N
Elevación (m.s.n.m):			
Hora de inicio:	12:00pm	Hora de finalización:	2:09 pm
Diámetro del agujero de infiltración (cm):	9	Profundidad del agujero de infiltración (cm):	30
Carga (cm):	10		
Levantamiento:			

Hora	Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	lectura h (cm)	Dh (cm)	Infiltración acumulada (cm)	Velocidad de infiltración (cm/min)
12:00:00	0	0	32	0.00	0.00	0.00
12:01:00	1	1	36.5	4.50	4.50	4.50
12:02:00	1	2	41	4.50	9.00	4.50
12:03:00	1	3	44.5	3.50	12.50	3.50
12:04:00	1	4	48	3.50	16.00	3.50
12:05:00	1	5	51.8	3.80	19.80	3.80
12:06:00	1	6	55.4	3.60	23.40	3.60
12:07:00	1	7	58.7	3.30	26.70	3.30
12:08:00	1	8	62.3	3.60	30.30	3.60
12:09:00	1	9	65.4	3.10	33.40	3.10
12:10:00	1	10	68.7	3.30	36.70	3.30
12:11:00	1	11	72.2	3.50	40.20	3.50
12:12:00	1	12	75	2.80	43.00	2.80
12:12:00	0	12	23.5	0.00	0.00	0.00

12:13:00	1	13	26.8	3.30	46.30	3.30
12:14:00	1	14	29.5	2.70	49.00	2.70
12:15:00	1	15	32.3	2.80	49.10	2.80
12:16:00	1	16	35	2.70	51.80	2.70
12:17:00	1	17	37.4	2.40	51.50	2.40
12:18:00	1	18	40.3	2.90	54.40	2.90
12:19:00	1	19	42.8	2.50	54.00	2.50
12:20:00	1	20	45.3	2.50	56.50	2.50
12:21:00	1	21	47.7	2.40	56.40	2.40
12:22:00	1	22	50.5	2.80	59.20	2.80
12:23:00	1	23	52.9	2.40	58.80	2.40
12:24:00	1	24	55.3	2.40	61.20	2.40
12:25:00	1	25	58.3	3.00	61.80	3.00
12:26:00	1	26	60.6	2.30	64.10	2.30
12:27:00	1	27	63.4	2.80	64.60	2.80
12:28:00	1	28	65.7	2.30	66.90	2.30
12:29:00	1	29	68.4	2.70	67.30	2.70
12:32:00	3	32	75.7	7.30	74.60	2.43
12:32:00	0	32	21.6	0.00	0.00	0.00
12:35:00	3	35	29	7.40	82.00	2.47
12:38:00	3	38	36.5	7.50	89.50	2.50
12:41:00	3	41	44.6	8.10	97.60	2.70
12:44:00	3	44	50.9	6.30	103.90	2.10
12:47:00	3	47	57.9	7.00	110.90	2.33
12:50:00	3	50	65.3	7.40	118.30	2.47
12:53:00	3	53	72.4	7.10	125.40	2.37
12:53:00	0	53	21.8	0.00	0.00	0.00
12:56:00	3	56	28.6	6.80	132.20	2.27
12:59:00	3	59	35.2	6.60	138.80	2.20
13:02:00	3	62	42	6.80	145.60	2.27
13:05:00	3	65	49.3	7.30	152.90	2.43
13:08:00	3	68	55.5	6.20	159.10	2.07
13:11:00	3	71	62	6.50	165.60	2.17
13:14:00	3	74	68.2	6.20	171.80	2.07
13:17:00	3	77	74.6	6.40	178.20	2.13
13:17:00	0	77	20	0.00	0.00	0.00
13.:20:00	3	80	26.4	6.40	184.60	2.13
13:23:00	3	83	32.9	6.50	191.10	2.17
13:26:00	3	86	39	6.10	197.20	2.03
13:29:00	3	89	45.3	6.30	203.50	2.10
13:34:00	5	94	55.8	10.50	214.00	2.10

13:39:00	5	99	66.4	10.60	224.60	2.12
13:44:00	5	104	76.2	9.80	234.40	1.96
13:44:00	0	104	22.5	0.00	0.00	0.00
13:49:00	5	109	32.4	9.90	244.30	1.98
13:54:00	5	114	42.2	9.80	254.10	1.96
13:59:00	5	119	52.2	10.00	264.10	2.00
14:04:00	5	124	62.5	10.30	274.40	2.06
14:09:00	5	129	72	9.50	283.90	1.90

Fecha:	5/3/2024		Observación:
Lugar:	Finca Los Pérez		
Uso de suelo:	Agricultura (Pipian, ayote, mani, maíz)		
Coordenadas			
X:	537348.46 E	Y:	1371089.83N
Elevación (m.s.n.m):			
Hora de inicio:	15:40 pm	Hora de finalización:	16:34 pm
Diámetro del agujero de infiltración (cm):	9	Profundidad del agujero de infiltración (cm):	30
Carga (cm):	12		
Levantamiento:			

Hora	Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	lectura h (cm)	Dh (cm)	Infiltracion acumulada (cm)	Velocidad de infiltración (cm/min)
15:40:00	0	0	33.3	0.00	0.00	0.00
15:41:00	1	1	38.7	5.40	5.40	5.40
15:42:00	1	2	43.7	5.00	10.40	5.00
15:43:00	1	3	48.3	4.60	15.00	4.60
15:44:00	1	4	52.7	4.40	19.40	4.40
15:45:00	1	5	57.3	4.60	24.00	4.60
15:46:00	1	6	61.6	4.30	28.30	4.30
15:47:00	1	7	65.6	4.00	32.30	4.00
15:48:00	1	8	69.7	4.10	36.40	4.10
15:49:00	1	9	73.4	3.70	40.10	3.70

15:49:00	0	9	22	0.00	0.00	0.00
15:50:00	1	10	24.5	2.50	2.50	2.50
15:51:00	1	11	27.2	2.70	5.20	2.70
15:52:00	1	12	29.8	2.60	7.80	2.60
15:53:00	1	13	32.3	2.50	10.30	2.50
15:54:00	1	14	34.6	2.30	12.60	2.30
15:55:00	1	15	37.3	2.70	15.30	2.70
15:56:00	1	16	39.7	2.40	17.70	2.40
15:57:00	1	17	41.9	2.20	19.90	2.20
15:58:00	1	18	44.5	2.60	22.50	2.60
15:59:00	1	19	47	2.50	25.00	2.50
16:00:00	1	20	49.4	2.40	27.40	2.40
16:01:00	1	21	51.8	2.40	29.80	2.40
16:02:00	1	22	54.3	2.50	32.30	2.50
16:03:00	1	23	56.7	2.40	34.70	2.40
16:04:00	1	24	58.9	2.20	36.90	2.20
16:05:00	1	25	61.4	2.50	39.40	2.50
16:06:00	1	26	63.7	2.30	41.70	2.30
16:07:00	1	27	66.3	2.60	44.30	2.60
16:08:00	1	28	68.5	2.20	46.50	2.20
16:09:00	1	29	71.1	2.60	49.10	2.60
16:10:00	1	30	73.4	2.30	51.40	2.30
16:13:00	3	33	76.6	3.20	54.60	1.07
16:13:00	0	33	20.7	0.00	0.00	0.00
16:16:00	3	36	27.8	7.10	7.10	2.37
16:19:00	3	39	35	7.20	14.30	2.40
16:22:00	3	42	42.1	7.10	21.40	2.37
16:25:00	3	45	49.3	7.20	28.60	2.40
16:28:00	3	48	56.2	6.90	35.50	2.30
16:31:00	3	51	63.4	7.20	42.70	2.40
16:34:00	3	54	70.7	7.30	50.00	2.43

Anexo 4. 2. Balance hídrico de suelos Gunter Schosinsky

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	%
P (mm)	0.6	1.0	6.9	31.4	206.3	225.2	107.2	181.7	310.3	272.5	60.6	7.7	1411.41	100.00
Ret [mm]	0.61	0.99	5.00	5.00	24.75	27.02	12.86	21.81	37.23	32.70	7.28	5.00	180.25	
Pi (mm)	0.00	0.00	1.49	20.34	140.06	152.92	72.79	123.39	210.69	185.05	41.18	2.10	950.00	67.31
ESC (mm)	0.00	0.00	0.44	6.02	41.45	45.26	21.54	36.52	62.35	54.77	12.19	0.62	281.16	
ETP (mm)	160.8	163.6	202.4	198.6	190.0	155.3	171.8	176.3	148.9	137.5	138.0	147.9	1990.93	141.06
HSi (mm)	27.90	27.90	27.90	27.90	27.90	46.50	46.50	33.40	46.50	46.50	46.50	27.90		
C1	0.00	0.00	0.08	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.11		
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.87	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00		
HD (mm)	0.00	0.00	1.49	20.34	140.06	171.52	91.39	128.89	229.29	203.65	59.78	2.10		
ETR (mm)	0.00	0.00	1.49	20.34	95.00	145.31	85.88	88.16	148.89	137.52	59.78	2.10	784.47	55.58
HSf (mm)	27.90	27.90	27.90	27.90	46.50	46.50	33.40	46.50	46.50	46.50	27.90	27.90		
DCC (mm)	18.60	18.60	18.60	18.60	0.00	0.00	13.10	0.00	0.00	0.00	18.60	18.60		
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	26.46	7.61	0.00	22.13	61.80	47.53	0.00	0.00	165.53	11.73
NR (mm)	179.40	182.16	219.47	196.84	95.00	10.01	98.98	88.16	0.00	0.00	96.77	164.36	1331.16	

Anexo 5. Balance hidrogeológico

Anexo 5. 4. Balance hídrico subterráneo

Sitio	Recarga Directa (m³/mes)	Escurrimiento Subterráneo (m³/mes)	Disponibilidad Potencial (m³/mes)	Disponibilidad Mm³/mensual
Enero	0.000000	922272.83	922272.83	0.92
Febrero	0.000000	833020.62	833020.62	0.83
Marzo	0.000000	922272.83	922272.83	0.92
Abril	0.000000	892522.09	892522.09	0.89
Mayo	1663804.800000	922272.83	2586077.63	2.59
Junio	478516.800000	892522.09	1371038.89	1.37
Julio	0.000000	922272.83	922272.83	0.92
Agosto	1391534.400000	922272.83	2313807.23	2.31
Septiembre	3885984.000000	892522.09	4778506.09	4.78
Octubre	2988686.400000	922272.83	3910959.23	3.91
Noviembre	0.000000	892522.09	892522.09	0.89
Diciembre	0.000000	922272.83	922272.83	0.92
TOTAL	10,408,526.400000	10,859,018.79	21,267,545.19	21.27

Anexo 5. 5. Cálculo de la demanda

Días	Mes	Demanda (m ³ /mensual)	Demanda (Mm ³ /mensual)
31	Enero	27078.624	0.027079
28	Febrero	24458.112	0.024458
31	Marzo	27078.624	0.027079
30	Abril	26205.12	0.026205
31	Mayo	27078.624	0.027079
30	Junio	26205.12	0.026205
31	Julio	27078.624	0.027079
31	Agosto	27078.624	0.027079
30	Septiembre	26205.12	0.026205
31	Octubre	27078.624	0.027079
30	Noviembre	26205.12	0.026205
31	Diciembre	27078.624	0.027079
TOTAL/ANUAL		318828.96	0.31882896

Anexo 5. 6. Balance hidrogeológico total

Sitio	Disponibilidad Potencial (m ³ /mes)	Disponibilidad Mm ³ /mensual	Demanda Mm ³ /mensual	Volumen no utilizado Mm ³ /mensual
Enero	922272.83	0.92	0.0271	0.90
Febrero	833020.62	0.83	0.0245	0.81
Marzo	922272.83	0.92	0.0271	0.90
Abril	892522.09	0.89	0.0262	0.87
Mayo	2586077.63	2.59	0.0271	2.56
Junio	1371038.89	1.37	0.0262	1.34
Julio	922272.83	0.92	0.0271	0.90
Agosto	2313807.23	2.31	0.0271	2.29
Septiembre	4778506.09	4.78	0.0262	4.75
Octubre	3910959.23	3.91	0.0271	3.88
Noviembre	892522.09	0.89	0.0262	0.87
Diciembre	922272.83	0.92	0.0271	0.90
TOTAL	21,267,545.19	21.27	0.3188	20.95

Anexo 6. Análisis de agua

Anexo 6. 1. Análisis fisicoquímico



Programa de Investigación,
Estudios Nacionales y
Servicios del Ambiente

FORMULARIO ENSAYO FISICO QUIMICOS DE AGUAS NATURALES

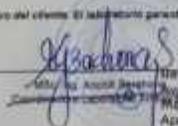
FQAN-2405-0123.01
(L. 17/03/2017)

NOMBRE DEL CLIENTE		DIRECCION DEL CLIENTE		TELEFONO
Isabel Ramirez-Cristofer Rojas		Comunidad Morolombo- Pozo 4-Enacal		NI
ATENCIÓN		CARGO	EMAIL	CELULAR
Isabel Ramirez-Cristofer Rojas		Estudiante In-Agriote	isabelramiroz06@gmail.com	5735-9608
DATOS DE LA MUESTRA			CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA	
Fecha y Hora de recolección	09/05/2024, 10:00 am	Fecha de	Ingreso de muestra	06/05/2024
Fuente	Pozo 4- Enacal		Inicio de análisis	06/05/2024
Tipo de muestra (preservación) / Estado de agua	Agua Subterránea/ Terrenal/ Acipitales		Finalización de análisis	10/05/2024
Ubicación de la fuente	Comunidad Morolombo- Municipio La Paz Centro- Laa		Emisión del informe de resultados	13/05/2024
Coordenadas	18° 54'38.4, 137°23'03		Nº. Cadena de custodia	6436
Recolectada por	Isabel Ramirez- Cristofer Rojas	Código de muestra	LA-2405-0544	Rango o valor máximo permisible o recomendado
Supervisor en campo	Isabel Ramirez- Cristofer Rojas	Muestra No.	Uno (01)	
METODO SM / EPAMH	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Norma CAPRE*
2110	Apariencia	Adm	Clara	NI
4500-B	Potencial de Hidrogeno	pH	6.95	6.5 - 8.5**
2550-B	Temperatura	°C	26.10	18 a 30**
2512-B	Conductividad Eléctrica	µS/cm	754.95	400**
2100-B	Turbiedad	UNT	0.054	5
2120-C	Color Ventallam	mg/L (Pt-Co)	<1.00	15
2320-B	Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	400.00	NI
2320-B	Carbonatos	mg/L CaCO ₃	<5.40	NI
2320-B	Bicarbonatos	mg/L CaCO ₃	400.00	NI
4500-B	Nitrato	mg NO ₃ -N/L	16.88	50
4500-B	Nitrito	mg NO ₂ -N/L	<0.005	0.1
4500-D	Cloruro	mg Cl/L	65.80	200
3000-B	Hierro Total	mg Fe/L	<0.006	0.3
4000-D	Sulfato	mg SO ₄ ⁻² /L	27.66	250
2540-C	Dureza Total	mg/L CaCO ₃	387.36	400**
2540-C	Dureza Calcio	mg/L CaCO ₃	384.80	NI
3000-B	Calcio	mg Ca/L	106.06	100**
3000-B	Magnesio	mg Mg/L	29.84	50
8140	Manganeso	mg/L Mn	<0.006	0.3
8155	Amonio	mg/L NH ₃ -N	<0.01	0.5
2540-C	Sólidos Disueltos Totales	mg TDS/L	688.37	1 000
3500-X	Sodio	mg Na/L	56.60	200
3500-C	Potasio	mg K/L	4.93	10
4500-C	Fluor	mg F/L	0.308	0.7

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetros de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. Abreviaturas y símbolos: < menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro; ND= No especificado en la Norma; NR= No Reporte; Adm= Adicional; Métodos, Normas y/o Decretos aplicables; SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017; MIV= Metodología Miv; EPA = Environmental Protection Agency; Normas de Calidad del Agua Para Consumo Humano; Norma Regional CAPRE; **Valor recomendado.

Observaciones: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente a la Oficina de Atención al Cliente, el cual proporcionó los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realización de los ensayos especificados en los instrumentos de los laboratorios a miembros PIENSA-UNED (Laboratorio) se le hace responsable de la información suministrada por el cliente que puede afectar la validez de los resultados, una vez recibidos los informes de ensayo, la validez de los mismos es de 28 días calendario.

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confiabilidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se refieren únicamente con los datos de ensayo.



M. Sc. Anaquel Beatriz
Asesora Universitaria
Managua, Nicaragua
Apto. 5595

fol. 240730

PIENSA-UNED
Instituto Universitario
Managua, Nicaragua
Apto. 5595

atencion.cliente@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Teléfono: (505) 2270 5613

Fin del mg@

Pág. 1/1

Anexo 6. 2. Análisis bacteriológicos



Programa de Investigación,
Estudios Nacionales y
Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYO MICROBIOLÓGICOS

MB-2404-132.01
LA-7461711

NOMBRE DEL CLIENTE		DIRECCIÓN DEL CLIENTE		TELÉFONO		
Isabel Ramírez -Cristofer Rojas		Comunidad Momotambo- Pozo 4 Enacal		NR		
ATENCIÓN		CARGO	EMAIL	CELULAR		
Isabel Ramírez -Cristofer Rojas		Estudiante In Agrícola	isabelramirezcm09@gmail.com	5755-8608		
DATOS DE LA MUESTRA			CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	06/05/2024, 10:00 am		Fecha de	Ingreso de muestra	06/05/2024	Rango o valor máximo permisible o recomendado
Fuente	Pozo 4- Enacal			Inicio de análisis	06/05/2024	
Tipo de muestra/preservación/ Estado envase	Agua Subterránea/ Térmica/ Aceptable			Finalización de análisis	10/05/2024	
Ubicación de la fuente	Comunidad Momotambo- Municipio La Paz Centro- León			Emisión del informe de resultados	16/05/2024	
Coordenadas	16P 540084, 1372363			No. Cadena de custodia	8438	
Recolectada por	Isabel Ramirez- Cristofer Rojas		Código de muestra	LA-2405-0544		
Supervisor en campo	Isabel Ramirez- Cristofer Rojas		Muestra No.	Uno (01)		
METODO: SM /EPA/MH	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS		Norma CAPRE ¹	
8221-B	Coliforme Total	NMP/100mL	48.0		Negativo	
8221-E	Coliforme Fecal	NMP/100mL	4.5		Negativo	
8221-F	E Coli	NMP/100mL	Negativo		NE	

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
Abreviaturas y símbolos: <= menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta, Adim= Adimensional
Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, MH= Metodología Hitch
 EPA = Environmental Protection Agency, Normas de Calidad del Agua Para Consumo Humano: Norma Regional CAPRE, **Valor recomendado.
 1: Ensayos subcontratados en el laboratorio.

Observaciones: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente a la oficina de atención a cliente, el cual proporciona los datos de la muestra reportada en el presente informe, para la realización de los ensayos e ser ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar a la validez de los resultados.

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe. Los resultados emitidos se relacionan únicamente con los ítems de ensayo.



..... Fin del informe.....

fol. 240731

Pág. 1/1

☎ Teléfono: (505) 2270 5613

📍 Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria,
Managua, Nicaragua.
Apto. 5595

✉ atención_cliente@piensa.unledu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

Anexo 6. 3. Análisis de metales pesado



Programa de Investigación,
Estudios Nacionales y
Servicios del Ambiente

INFORME DE ENSAYO DE MICROPOLUYENTES

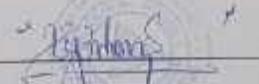
MP 2405-0116-01
Luzmila

NOMBRE DEL CLIENTE		DIRECCIÓN DEL CLIENTE		TELÉFONO
Isabel Ramírez-Cristóbal Rojas		Comunidad Momatambo- Pozo 4- Enabal		NR
ATENCIÓN		CARGO	EMAIL	CELULAR
Isabel Ramírez-Cristóbal Rojas		Facultada y Agrícola	isabelramirez@pnea.uned.edu.ni	9759-9966
DATOS DE LA MUESTRA			CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA	
Fecha y Hora de recepción	08/05/2024 - 10:00 am		Ingreso de muestra	05/05/2024
Fuente	Pozo 4- Enabal		Inicio de análisis	07/05/2024
Tipo de muestra/preservación/ Estado envase	Agua El Estomago/ Térmica Aceptable		Finalización de análisis	15/05/2024
Ubicación de la fuente	Comunidad Momatambo- Municipio La Paz Centro- León		Emitido del informe de resultados	16/05/2024
Coordenadas	10F 540084 - 372385		Nº Cadena de custodia	6439
Recopilada por	Isabel Ramírez-Cristóbal Rojas		Código de muestra	L7-2405-0514
Supervisor en campo	Isabel Ramírez-Cristóbal Rojas		Muestra No.	Uno(1)
METODO SM o EPA/MS	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Norma CAPRT
G-1	A/30000	mg/L	49.002	0.01
3300-B	Cromo Total	mg/L	0.008	0.02
3500-B	Piombo	mg/L	0.001	0.01

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por cada litro de agua o de Unidad que se pide en la columna y hora respectiva. Abreviaturas y símbolos: \pm error a igual al Límite de Detección que se reporta por separado; NR= No asociado en la Norma; NRP= No Reporta; Filler= Faltaron los Métodos, Normas y/o Datos a reportar; SM= Standard Método de los Laboratorios de Agua y Residuos 2010-2017; MHA= Metodología de los EPA= Environmental Protection Agency; Norma de Calidad del Agua Para Consumo Humano No es Regulado (CAPRT)= Muestra no regulada; MHA y/o subcompartimentada en el laboratorio.

Desviaciones: La muestra fue recolectada, conservada e ingresada al laboratorio del Laboratorio de Agua y Residuos de la Oficina de Atención al Cliente, el cual garantiza los datos de la muestra reportada en el presente informe, bajo la responsabilidad de los resultados de los análisis de los laboratorios acreditados (EPA-USA) y el Laboratorio en el caso de reportar de la información suministrada por el cliente, que puede afectar los valores de los resultados.

Declaramos que este informe de resultados será de carácter confidencial y reservado para el cliente. El laboratorio garantiza la confidencialidad e integridad del informe. Los resultados emitidos se refieren únicamente con los datos de ensayo, una vez finalizado los procesos de ensayo, si hubiera un reclamo se da de 30 días hábiles.



MSc. Luzmila Rodríguez
Coordinadora Laboratorio Ambiental

fol. 240837

Pag. 1/1

Fin del informe.....

☎ Teléfono: (505) 2270-9613

📍 Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universidad
Managua, Nicaragua.
Apdo. 5090

✉ atencioncliente@pnea.uned.edu.ni
www.pnea.uned.edu.ni

Anexo 6. Fotos etapa de campo

Anexo 7. 1. Pruebas de infiltración



Nota: a: Determinación de la textura (prueba del tacto), b: Prueba de infiltración #1 Finca Fátima, c: Determinación de la textura (prueba del tacto), d: Prueba de infiltración #2 Finca Los Pérez.

Anexo 7. 2. Inventario de pozos



Nota: a: Medición de nivel dinámico Pozo Momotombo #3 ENACAL, b: Medición de nivel estático Pozo Juan, c: Medición de nivel estático Pozo Juan, d: Pozo Concepción.

Anexo 7. 3. Prueba de bombeo



Nota: a: Realización de monitoreo de niveles dinámicos, b: Pozo de estudio Momotombo #4 ENACAL.

Anexo 7. 4. Aforo del pozo



Nota: a: Bombeo del pozo, b: Medición de caudal método volumétrico, c: Medición de caudal método volumétrico, d: Medición de caudal método de la escuadra.

Anexo 7. 5. Recolección de las muestras de agua



Nota: a: Recolección de muestra bacteriológica, b: Medición de parámetros de campo, c: Recolección de muestras fisicoquímico y metales pesados, d: Preservación en frío.