Universidad Nacional de Ingeniería

Dirección de Área del Conocimiento de Agricultura

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ANTE EL RIESGO DE CONTAMINACIÓN MEDIANTE EL USO DEL MÉTODO DRASTIC EN 15 POZOS DE LA COMARCA LAS MOJARRAS, MUNICIPIO EL JICARAL, DEPARTAMENTO DE LEÓN, 2025

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Agrícola

Elaborado por:

Br. Katya Mirbania Leiva Torrez
2017-0845U

Br. Wendy Pamela Urbina Carrasco
2021-0431U

Tutor:

MSc. Ing. Josué Ariel Acosta Green

4 septiembre de 2026
Managua, Nicaragua

25 de Junio de 2026

MGDP. Ing. Silvano Enrique Cruz Sánchez

Director de Área de Conocimiento DACA

Su despacho.

Estimado Maestro Silvano:

He revisado el documento de monografía titulado **"EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ANTE EL RIESGO DE CONTAMINACIÓN MEDIANTE EL USO DEL MÉTODO DRASTIC EN 15 POZOS DE LA COMARCA LAS MOJARRAS, MUNICIPIO EL JICARAL, DEPARTAMENTO DE LEÓN, 2025",** realizado por las bachilleres *Katya Mirbania Leiva Torrez y Wendy Pamela Urbina Carrasco,* por lo que doy mi visto bueno para que dicha monografía sea defendida según lo establecido en la Normativa de Culminación de Estudios de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Sin más a que hacer referencia, lo saludo.

Atentamente,

_____

MSc. Ing. Josué Ariel Acosta Green

Tutor

CC/Archivo

Universidad Nacional de Ingeniería
Área de Conocimiento de Agricultura
Formas de Culminación de Estudios

REF.DACA.FCE.444.2025
Managua, 10 de diciembre del 2025

Bachilleres

KATYA MIRBANIA LEIVA TORREZ / 2017-0845U
WENDY PAMELA URBINA CARRASCO / 2021-0431U

Estimados Bachilleres:

Es de mi agrado informarle que el PROTOCOLO de su Tema **MONOGRÁFICO**, titulado: **"EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ANTE EL RIESGO DE CONTAMINACIÓN MEDIANTE EL USO DEL MÉTODO DRASTIC EN 15 POZOS DE LA COMARCA LAS MOJARRAS, MUNICIPIO EL JICARAL, DEPARTAMENTO DE LEÓN, 2025".** Ha sido aprobado por el Director de Área de Conocimiento de Agricultura.

Asimismo, le comunico estar totalmente de acuerdo, que el **MSc. Josué Ariel Acosta Green** sea el tutor de su trabajo final.

La fecha límite, para que presente concluido su documento final, debidamente revisado por el tutor guía será el **10 de junio del 2026.**

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesis, me despido.

Atentamente,

MSc. José Mamerto Méndez Ubeda
Director de Área de Conocimiento de Agricultura
DACA

Katya Leiva Torrez
09/01/2026 4:50 Pm

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
SECRETARIA ACADÉMICA - DACA
RECIBIDO
Nombre: Mayra
Fecha: 12/12/2024
Hora 8:32 pm

MSc. Josué Ariel Acosta Green / Tutor
MSc. Helia Vanessa Taleno Oporta / Secretaria Académica DACA

C/c: Archivo

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecer a Dios por nunca abandonarme en el trayecto de mi carrera universitaria.

A mi papi, mi mami, que siempre creyeron en mí, así como a mis hermanas que han estado conmigo.

Agradezco a mi tutor Msc. Ing. Josué Green por aceptar trabajar este lindo proyecto con nosotras y de todo corazón a mi compañera Wendy Urbina ya que su iniciativa y dedicación fueron determinantes para la culminación de esta tesis.

A Bokanada Bar, por brindarme su confianza y la oportunidad de trabajar mientras continuaba con mis estudios. Gracias por creer en mí y por brindarme siempre su apoyo y comprensión durante este camino.

Finalmente, y no menos importante un profundo agradecimiento a mi tío Maximino y mi tío Andrés por su apoyo incondicional que siempre nos brindaron en el desarrollo de las giras de campo.

Katya Leiva

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la fortaleza, sabiduría y la perseverancia necesaria para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

A mis padres, quienes han sido mi pilar y mi principal apoyo a lo largo de este proceso.

Agradezco a nuestro tutor, MSc. Ing. Josué Ariel Acosta Green, por su tiempo, paciencia y enseñanza durante todo el desarrollo de esta investigación.

Quiero agradecer especialmente a mi colega y amiga, Katya Leiva, cuya dedicación, apoyo y optimismo fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

Asimismo, extiendo mi gratitud a mi alma máter y a los docentes de la Dirección de Área de Conocimiento de Agricultura (DACA), por los años invertidos en mi formación profesional.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que contribuyeron al desarrollo de esta investigación.

Wendy Urbina

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía y por todas sus bendiciones.

A mi papi Marcos Leiva, mi mami Gisella Tórrez, Natalia, Diana, Sarita, Liam y Jovan quienes han sido el núcleo más importante en mi vida y sin su motivación y ayuda constantes este logro no hubiese sido posible.

A toda la familia Leiva que siempre han orado por mi bienestar y han confiado en mí. A mi mita Pastora que estuvo conmigo cuando más lo necesité.

A todos mis compañeros y amigos que Dios me permitió conocer a lo largo de mi carrera, especialmente, Dina, Andrés, Priscila, Scarleth, Ana, Alba, Roger, Abraham y a mi querida compañera Wendy Urbina a quien admiro muchísimo.

Katya Leiva

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente, a Dios, por ser la fuente de mis capacidades y oportunidades.

A mis padres, Lucía y Marvin, y a mis hermanitos, Josué y Jazmín, quienes han sido mi principal motivación para alcanzar este logro.

A mi mita, María del Socorro, por el amor y apoyo en mis años de estudios.

A mi grupo de amigos, Ana, Joaquín, Amed, Stalin y Eliezer, y a mi colega, Katya, porque juntos recorrimos este camino entre esfuerzos, desafíos, aprendizajes y momentos inolvidables. Gracias por acompañarme y hacer de mi estancia en la universidad una experiencia tan especial.

A Edgard Guillén por su apoyo, cariño, por creer en mí y acompañarme en este proceso.

Finalmente, a mi prima Abby González, a quien quiero muchísimo y ha sido como una hermana para mí.

Wendy Urbina

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la comunidad Las Mojarras, municipio El Jicaral, departamento de León, con el objetivo de evaluar la vulnerabilidad del agua subterránea ante el riesgo de contaminación contemplando los parámetros de la metodología DRASTIC que considera la profundidad al nivel freático, recarga neta, medio acuífero, tipo de suelo, topografía, impacto de la zona vadosa y conductividad hidráulica.

Debido a las diferencias hidrogeológicas de la zona, el estudio se dividió en dos áreas: una correspondiente a depósitos aluviales cuaternarios y otra asociada a materiales volcánicos del Grupo Coyol Superior. Los resultados mostraron una precipitación media anual de 1,070 mm y una recarga estimada de 214 mm/año. Predominan suelos del orden Entisol con texturas franco arcillo-arenosa y franco arcilloso.

El nivel estático del agua presentó profundidades entre 6.03 y 16.22 m. Las transmisividades promedio fueron de 16.74 m²/d en el Área 1 y 3.73 m²/d en el Área 2, mientras que la conductividad hidráulica promedio fue de 6.19 m/d y 0.91 m/d, respectivamente, evidenciando mejores condiciones de flujo en el Área 1.

Las aguas presentaron facies hidroquímicas bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas cálcico-sódicas. Aunque los parámetros fisicoquímicos cumplieron mayoritariamente con las normativas, se detectaron coliformes totales y *Escherichia coli* en todas las muestras, por lo que el agua no es apta para consumo humano sin tratamiento. Las concentraciones de arsénico se mantuvieron dentro de los límites permisibles.

La aplicación del método DRASTIC permitió obtener índices de vulnerabilidad de 116 para el Área 1 y 131 para el Área 2, clasificándolas como zonas de vulnerabilidad moderada y alta, respectivamente. El mapa de vulnerabilidad mostró que el 88.2% del área evaluada presenta vulnerabilidad moderada y el 11.8% vulnerabilidad alta, asociada principalmente a sectores con materiales volcánicos fracturados.

Palabras clave: litología, geología, hidroquímica, calidad del agua, contaminación bacteriológica

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. Introducción 1
II. Antecedentes 2
III. Justificación 3
IV. Objetivos 4
4.1. Objetivo general 4
4.2. Objetivos específicos 4
V. Marco Teórico 5
5.1. Caracterización del medio físico 5
5.1.1. Variables meteorológicas 7
5.1.2. Medio hidrogeológico 7
5.1.3. Agua subterránea 8
5.1.4. Acuífero 8
5.2. Propiedades hidráulicas 9
5.2.1. Transmisividad 9
5.2.2. Conductividad hidráulica 9
5.2.3. Capacidad específica 9
5.2.4. Coeficiente de almacenamiento 10
5.2.5. Radio de influencia 10
5.2.6. Permeabilidad 10
5.2.7. Potencial hídrico 10
5.3. Fuentes de contaminación 11
5.4. Vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero 11
5.5. Métodos para conocer la vulnerabilidad de un acuífero 12
5.5.1. DRASTIC 12
5.6. Calidad del agua 13
VI. Diseño Metodológico 15
6.1. Tipo de investigación 15
6.2. Según su alcance 15
6.3. Según su tiempo de ocurrencia 15
6.4. Ubicación del área de estudio 15
6.5. Metodología 17
6.5.1. Caracterización del medio físico 17
6.5.2. Determinación de las propiedades hidráulicas y potencial hidráulico de las fuentes subterráneas 21

6.5.3. Establecimiento del índice de vulnerabilidad mediante el método DRASTIC 24
VII. Análisis y discusión de resultados 25
7.1. Caracterización del medio físico de la zona de estudio 25
7.1.1. Variables climáticas 27
7.1.2. Suelo 34
7.1.3. Geología 46
7.2. Caracterización hidrogeológica de la zona de estudio 49
7.2.1. Hidrogeología 49
7.3. Propiedades hidráulicas del acuífero 53
7.3.1. Profundidad del agua subterránea 53
7.3.2. Hidráulica de pozos 54
7.4. Calidad de agua subterránea 62
7.4.1. Uso y consumo 62
7.4.2. Hidroquímica 63
7.4.3. Análisis de pruebas de laboratorio 66
7.4.4. Parámetros organolépticos 66
7.4.5. Parámetros físico-químicos 67
7.4.6. Análisis bacteriológico 75
7.4.7. Análisis metales pesados 76
7.5. Índice de vulnerabilidad del método DRASTIC 77
7.5.1. Parámetro D (profundidad del nivel piezométrico) 77
7.5.2. Parámetro R (recarga) 78
7.5.3. Parámetro A (litología o medio del acuífero) 80
7.5.4. Parámetro S (naturaleza del suelo) 81
7.5.5. Parámetro T (topografía, % de pendiente máxima) 81
7.5.6. Parámetro I (zona no saturada) 82
7.5.7. Parámetro C (permeabilidad) 83
7.6. Vulnerabilidad hidrogeológica 83
VIII. Conclusiones 87
IX. Recomendaciones 88
X. Referencias bibliográficas 89
ANEXOS 92

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización del área de estudio 16
Figura 2. Mapa de ubicación de los pozos de estudio 26
Figura 3. Validación de datos de precipitación (INETER vs. DAV) 27
Figura 4. Mapa de precipitación del departamento de León 29
Figura 5. Mapa de temperatura promedio anual del departamento de León 31
Figura 6. Balance hídrico climático de la comunidad Las Mojarras 33
Figura 7. Mapa de curvas de nivel de las áreas de estudio 35
Figura 8. Mapa de pendientes de las áreas de estudio 37
Figura 9. Mapa de orden de suelos de las áreas de estudio 39
Figura 10. Porcentaje de cobertura de uso de suelos del Área 1 40
Figura 11. Porcentaje de coberturas de uso de suelos del Área 2 41
Figura 12. Mapa de uso de suelo 42
Figura 13. Mapa de puntos de muestreo de suelo y velocidad de infiltración 43
Figura 14. Triángulo textural USDA 45
Figura 15. Mapa geológico de las áreas de estudio 48
Figura 16. Tratamiento estadístico de la clasificación de Krásny 50
Figura 17. Mapa hidrogeológico de las áreas de estudio 52
Figura 18. Procesamiento de las pruebas de bombeo en AQTESOLVE 56
Figura 19. Recuperación de los pozos evaluados 60
Figura 20. Radio de influencia 61
Figura 21. Mapa hidroquímico de la región de León 64
Figura 22. Clasificación de aguas para riego 65
Figura 23. Diagrama de Piper para el Área 1 en época lluviosa 73
Figura 24. Diagrama de Piper para el Área 2 en época lluviosa 74
Figura 25. Mapa de vulnerabilidad de las áreas de estudio 86

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Definiciones de las propiedades físicas de los suelos 6
Tabla 2. Tipos de acuíferos 8
Tabla 3. Transporte de contaminantes 11
Tabla 4. Tipos de parámetros para un estudio de calidad de agua 13
Tabla 5. Coeficiente de recarga según tipo de suelo 18
Tabla 6. Métodos realizados en laboratorio de Edafología 18
Tabla 7. Pozos de las áreas de estudio 25
Tabla 8. Precipitación promedio mensual (mm/día) periodo 1985-2025 28
Tabla 9. Promedio de temperaturas mensuales (°C) para el período 1985–2025 30
Tabla 10. Evapotranspiración potencial periodo 1985 - 2025 32
Tabla 11. Clasificación de pendientes 36
Tabla 12. Ubicación de los puntos de muestreo 44
Tabla 13. Resultados de laboratorio de las propiedades físicas del suelo 44
Tabla 14. Clasificación de transmisividades 49
Tabla 15. Resumen de caracterización hidrogeológica del área de estudio 50
Tabla 16. Características físicas de los pozos de las áreas de estudio 53
Tabla 17. Caudales por el método volumétrico 54
Tabla 18. Datos técnicos de los pozos seleccionados para pruebas de bombeo 54
Tabla 19. Clasificación de la transmisividad para los pozos seleccionados 57
Tabla 20. Tipo de acuífero según transmisividad 58
Tabla 21. Valores de la conductividad hidráulica 58
Tabla 22. Parámetros hidráulicos de los pozos evaluados 59
Tabla 23. Tipos de acuíferos según su coeficiente de almacenamiento 60
Tabla 24. Radio de influencia 61
Tabla 25. Uso del recurso hídrico y funcionamiento de los pozos del Área 1 62
Tabla 26. Uso del recurso hídrico y funcionamiento de los pozos del Área 2 63
Tabla 27. Ubicación de los muestreos para calidad de agua 66
Tabla 28. Parámetros organolépticos 67
Tabla 29. Parámetros físico-químicos 69
Tabla 30. Concentración de cationes mayoritarios en época lluviosa 70
Tabla 31. Concentración de aniones mayoritarios en época lluviosa 71
Tabla 32. Resultados de parámetros bacteriológicos 75
Tabla 33. Resultados de análisis de metales pesados 76
Tabla 34. Valores del parámetro D en la metodología DRASTIC 77
Tabla 35. Valores del parámetro R en la metodología DRASTIC 78
Tabla 36. Recarga anual 79
Tabla 37. Recarga potencial 79
Tabla 38. Valores del parámetro A en la metodología DRASTIC 80
Tabla 39. Valores del parámetro S en la metodología DRASTIC 81
Tabla 40. Valores del parámetro T en la metodología DRASTIC 82
Tabla 41. Valores del parámetro I en la metodología DRASTIC 83
Tabla 42. Valores del parámetro C en la metodología DRASTIC 83
Tabla 43. Grado de vulnerabilidad 84
Tabla 44. Resultados de la vulnerabilidad intrínseca de las áreas de estudio 85

I. Introducción

El agua subterránea constituye uno de los recursos más importantes para el desarrollo sostenible de Nicaragua, al ser la principal fuente de abastecimiento para el consumo humano, agrícola y pecuario (Hernández et al., 2006), es un recurso vital que constituye la mayor reserva de agua dulce accesible, por lo que garantizar su disponibilidad es una acción prioritaria para el bienestar de las comunidades (Espinoza & López, 2024), es un recurso fundamental para la resiliencia de la población antes la variabilidad climática.

La calidad del agua subterránea depende de factores naturales, como la litología, la permeabilidad del suelo, la profundidad del nivel freático y la recarga del acuífero, así como de factores antrópicos relacionados con el uso del suelo (Custodio y Llamas, 1983). En áreas agrícolas y ganaderas, los principales contaminantes son nitratos, fosfatos y residuos orgánicos procedentes de fertilizantes y estiércol (FAO, 2019), los cuales pueden infiltrarse hasta el nivel freático y alterar las propiedades físico-químicas del agua. Por ello, evaluar la vulnerabilidad a la contaminación es fundamental para identificar zonas prioritarias y promover una gestión sostenible del recurso hídrico.

El método DRASTIC, propuesto por Aller, et al. (1987) es una herramienta utilizada para estimar la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos frente a contaminantes. Cada parámetro es ponderado y clasificado según su influencia en la susceptibilidad del acuífero, generando un índice numérico que, mediante técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se traduce en mapas de vulnerabilidad (Piscopo, 2001; Rahman, 2008).

La presente investigación determinará el grado de vulnerabilidad del acuífero en la zona de estudio a partir del análisis de 15 pozos (14 excavados y 1 perforado) con el propósito de elaborar un mapa de vulnerabilidad de la metodología DRASTIC. Los resultados obtenidos constituirán una herramienta técnica para orientar estrategias de gestión sostenible del recurso hídrico subterráneo, contribuyendo a la protección del agua utilizada por las familias y el sector ganadero del municipio.

II. Antecedentes

A nivel internacional, Lambis Orobajo (2020), en su trabajo de grado “Evaluación de la vulnerabilidad del sistema acuífero de Sabanalarga-Atlántico a partir de la aplicación de la metodología DRASTIC” determinó que el método DRASTIC es el más aplicado a nivel mundial. Los resultados de su estudio indican vulnerabilidad moderada, con mayor susceptibilidad en zonas donde hay descarga o lixiviación continua de contaminantes.

A nivel nacional, Izaguirre (2018) en su artículo “Evaluación de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero del valle de Sébaco, Nicaragua ante la contaminación mediante el uso del método DRASTIC” indicó que en la zona predomina una vulnerabilidad moderada, abarcando aproximadamente 138 km^2 del acuífero, lo que representa el 52% de su superficie, concentrándose principalmente en el área central del valle, con valores de vulnerabilidad de 99 a 120.

Estudios a nivel local como el de Cruz Martínez (2019) en su trabajo monográfico “Caracterización de la vulnerabilidad global a contaminación del acuífero de la microcuenca del municipio de Nagarote, departamento de León. 2017-2019” con los resultados del método GOD estableció un área con vulnerabilidad extrema y abarca un área de 60.78%, respecto al total, seguido del No Confinado Cubierto, con vulnerabilidad moderada y abarca un área 38.53% del área y la formación Tamarindo medio que no constituye acuíferos por su litología y posición geológica.

Por otra parte, Valle (2021) en su investigación “Caracterización de la vulnerabilidad hidrogeológica en el acuífero del valle de Achuapa, Nicaragua, mediante el uso del método DRASTIC” por parte de ENACAL, determinó que el índice de mayor y menor valor numérico fue 78 y 191, respectivamente. Concluyó que las categorías moderada, alta y muy alta vulnerabilidad cubren el 65% del área total del acuífero del valle de Achuapa, y recomienda establecer medidas de protección del recurso hídrico, ya que esta condición representa un riesgo significativo para la preservación de la calidad natural del agua subterránea.

III. Justificación

El agua subterránea es un recurso vital que constituye la mayor reserva de agua dulce accesible, por lo que garantizar su disponibilidad es una acción prioritaria para el bienestar de las comunidades rurales (Espinoza Acuña y López Barrientos, 2024). Sin embargo, no basta con que este recurso esté presente en cantidad suficiente, es igualmente crucial que su calidad sea adecuada para los usos destinados, como el consumo humano, agrícola o industrial.

La presencia de contaminantes naturales o antropogénicos que incluyen factores como el crecimiento poblacional, la producción en masa, falta o deficiencia en los sistemas de drenaje sanitario, actividades agrícolas y/o ganaderas, pueden comprometer la potabilidad y utilidad del recurso hídrico, afectando directamente la salud pública, la seguridad alimentaria y el desarrollo económico local. Por ello, el estudio de la vulnerabilidad del agua subterránea se convierte en una herramienta esencial para identificar zonas susceptibles a la contaminación y establecer medidas de protección y gestión sostenible con el fin de mitigar el impacto ambiental.

En la zona de estudio no se ha realizado ningún estudio de esta índole ni se dispone de una caracterización hidrogeológica detallada que permita comprender el comportamiento y la susceptibilidad del acuífero frente a procesos de contaminación. En este contexto, la presente investigación proporciona información técnica y científica que servirá como base para la formulación de estrategias de manejo ambiental, protección de los recursos hídricos y ordenamiento del uso del suelo.

Asimismo, sus resultados pueden contribuir a la toma de decisiones por parte de las instituciones competentes en materia de gestión ambiental, abastecimiento de agua y desarrollo territorial, en concordancia con las estrategias del plan nacional de lucha contra la pobreza.

IV. Objetivos

4.1. Objetivo general

- Evaluar la vulnerabilidad ante el riesgo de contaminación mediante el uso del método DRASTIC en 15 pozos del municipio El Jicaral, departamento de León, Nicaragua, 2025.

4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los componentes físicos e hidro climáticos del área de estudio mediante datos meteorológicos.

- Determinar las propiedades hidráulicas y potencial hidráulico de las fuentes subterráneas a través de la ejecución de pruebas de bombeo en 15 pozos.

- Establecer el índice de vulnerabilidad del agua subterránea en el área de estudio a través del método DRASTIC complementado con el análisis de laboratorio de calidad del agua.

V. Marco Teórico

5.1. Caracterización del medio físico

La caracterización del medio físico constituye un componente esencial en el análisis hidrogeológico e incluye aspectos como el clima, la geología y los suelos (Martínez Santos, 2018). Es un análisis integral del entorno natural que busca comprender cómo las condiciones físicas del territorio influyen en los recursos naturales y en las actividades humanas.

- **Clima**

El clima es el estudio estadístico de las condiciones atmosféricas en un momento y lugar determinado (Zúñiga López & Crespo del Arco, 2021), de manera general, para su análisis se consideran principalmente las variables de temperatura, precipitación, humedad relativa, viento, radiación solar y evapotranspiración.

- **Suelo**

El suelo es la parte superficial de la corteza terrestre, más o menos diferenciada del subsuelo por efectos de la meteorización complementada por los efectos de la acción biológica (Spikerman, 2010).

- **Taxonomía de suelos**

La clasificación taxonómica de suelos es una agrupación jerárquica basada en sus propiedades físicas, químicas y morfológicas, permitiendo definir espacios de la superficie terrestre con características similares. Dentro de esta clasificación se reconocen 12 órdenes principales: alfisol, andisol, aridisol, entisol, espodosol, gelisol, histosol, inceptisol, molisol, oxisol, ultisol y vertisol (Salazar & Khalajabadi, 2021).

- **Propiedades físicas de los suelos**

Las propiedades físicas de los suelos son aquellas que pueden evaluarse por inspección visual o por el tacto. Pueden medirse con algún tipo de escala tamaño, consistencia e intensidad (L. Thompson, 1982).

Tabla 1. Definiciones de las propiedades físicas de los suelos

Propiedad	Definición
Porosidad	Es el porcentaje de espacios vacíos presentes entre las partículas del suelo.
Densidad aparente	Es la relación entre la masa seca del suelo y su volumen total, incluyendo los poros. Valores altos indican mayor compactación, lo que reduce la infiltración y limita el paso del agua hacia zonas más profundas.
Densidad real	Es la relación entre la masa de las partículas sólidas y su volumen, sin considerar los espacios porosos.
Textura del suelo	Es la proporción de arena, limo y arcilla presente en el suelo. Esta propiedad controla la capacidad de infiltración, retención de humedad.
Estructura del suelo	Es la forma en que las partículas de arena, limo y arcilla se agrupan para formar agregados o peds.
Permeabilidad	Capacidad del suelo para permitir el paso del agua a través de sus poros.
Infiltración	Es el proceso mediante el cual el agua ingresa desde la superficie hacia el perfil del suelo. Su intensidad depende de la textura, estructura, porosidad y compactación del suelo.

Nota: FAO (2019)

- **Topografía**

La topografía es la ciencia por medio de la cual se establecen las posiciones de puntos situados sobre la superficie terrestre, encima y debajo de ella; para lo cual se realizan mediciones de distancias, ángulos y elevaciones (Rincón, et al., 2017).

- **Geología**

La geología estudia los materiales que componen la tierra y busca comprender los diferentes procesos que actúan debajo y encima de la superficie (Tarbuck & Lutgens, 2005), este parámetro determina la permeabilidad y porosidad del terreno, lo que influye directamente en la infiltración y almacenamiento de agua subterránea.

- **Litología**

La litología es la rama de la geología que describe y clasifica las rocas o materiales geológicos según sus características físicas y composición lo cual Incluye aspectos como el tipo de roca, color, textura, tamaño de grano, dureza, compactación y presencia de fracturas o capas (Spikerman, 2010).

5.1.1. Variables meteorológicas

El análisis de estas variables permite comprender cómo las condiciones atmosféricas afectan la cantidad de agua que llega al subsuelo, así como su permanencia y movilidad dentro del sistema hidrogeológico (Martínez Pedro, 2006).

- **Precipitación**

Es la caída del agua en estado líquido (lluvia) o sólido (nieve y granizo) hacia la superficie terrestre. Es un fenómeno que sucede como producto de la condensación del vapor de agua (Gamez Morales, 2010).

- **Temperatura**

Se define como la medida de la energía cinética promedio de los átomos y moléculas individuales de una sustancia y se expresa en grados centígrados (Celcius, ºC), grados Fahrenheit (ºF) y grados Kelvin (K) (Roldán Rojas, 2015).

- **Evapotranspiración**

Es el paso del agua del estado líquido al estado de vapor, si este proceso se realiza en forma directa desde una superficie húmeda. Es un fenómeno por el cual el agua que se encuentra sobre la superficie terrestre o muy cercana a ella se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento. El valor aumenta con la intensidad de la radiación y la temperatura del aire (Gamez Morales, 2010).

5.1.2. Medio hidrogeológico

El medio hidrogeológico estudia la componente subterránea del ciclo hidrológico, incluyendo todo lo relacionado con las aguas que la integran: su acumulación en rocas

permeables denominados acuíferos, su circulación, interacción con factores geológicos y biológicos, su calidad química, captación y su valor ambiental (Martínez, Delgado, & Fabregat, 1998).

5.1.3. Agua subterránea

Es aquella parte del agua existente bajo la superficie terrestre que puede ser colectada mediante perforaciones, túneles o galerías de drenaje o la que fluye naturalmente hacia la superficie a través de manantiales o filtraciones a los cursos fluviales (Ordoñez Galvez, 2011).

5.1.4. Acuífero

Un manto acuífero es una formación geológica saturada de agua, y con propiedades tales que permita el suministro de agua a pozos en cantidades suficientes para uso práctico (Gamez Morales, 2010).

- **Tipos de acuíferos**

Ordoñez Galvez (2011) brinda los siguientes conceptos sobre la clasificación de los acuíferos según sus condiciones de confinamiento, lo cual influye en su capacidad de almacenamiento, presión y respuesta ante la extracción de agua.

Tabla 2. Tipos de acuíferos

Tipo de acuífero	Definición
Acuíferos libres	Son aquellos en los que el nivel de agua se encuentra por debajo del techo de la formación permeable. Liberan agua por desaturación, es decir, el agua que ceden es la procedente del drenaje de sus poros.
Acuíferos confinados	Son aquellos cubiertos por una capa impermeable confinante. El nivel de agua en los acuíferos cautivos está por encima del techo de la formación acuífera. El agua que ceden procede de la expansión del agua y de la descompresión de la estructura permeable vertical, cuando se produce la

Tipo de acuífero	Definición
	depresión en el acuífero. También se les denomina acuíferos cautivos.
Acuíferos semiconfinados	Se pueden considerar un caso particular de los acuíferos cautivos, en los que muro, techo o ambos no son totalmente impermeables, sino que permiten una circulación vertical del agua

Nota: Ordoñez Gálvez (2011).

5.2. Propiedades hidráulicas

Los parámetros hidráulicos más relevantes para determinar las características de los acuíferos son transmisividad, conductividad hidráulica y capacidad especifica (Guerrero et al., 2021).

5.2.1. Transmisividad

La transmisividad es 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. Sus dimensiones son las de una velocidad por una longitud (Custodio & Llamas, 1983).

5.2.2. Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica saturada es una de las propiedades edáficas más importantes, ya que determina la capacidad del suelo para transmitir agua cuando sus poros se encuentran completamente saturados. Además, influye en la interacción suelo-planta-agua, así como en el movimiento del agua y el transporte de solutos hacia capas más profundas del perfil del suelo (Castiglion, et al., 2018).

5.2.3. Capacidad específica

La capacidad específica es la relación entre el caudal extraído de un pozo y el abatimiento generado durante el bombeo, permite evaluar la eficiencia del pozo, ya que

un menor valor indica menor rendimiento dentro de una misma formación acuífera (Cisneros, et al.,, 2019).

5.2.4. Coeficiente de almacenamiento

El coeficiente de almacenamiento (S) es un parámetro adimensional que expresa el volumen de agua que un acuífero libera o almacena por unidad de superficie ante un descenso unitario del nivel hidráulico. En acuíferos libres, este valor está asociado al drenaje gravitacional de los poros, mientras que en acuíferos confinados depende de la expansión del agua y de la compresión del medio acuífero debido a los cambios de presión (Guarracino & Tocho, 2020).

5.2.5. Radio de influencia

El radio de influencia de un pozo es la distancia desde el pozo hasta el punto donde el bombeo deja de producir un descenso significativo del nivel del agua subterránea. Este parámetro permite conocer el área del acuífero afectada por la extracción y está relacionado con el caudal de bombeo, el tiempo de operación, la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento del acuífero (Segura, 2016).

5.2.6. Permeabilidad

La permeabilidad es la capacidad que tiene un medio poroso, como el suelo o una formación geológica, para permitir el movimiento del agua a través de sus poros. Esta propiedad depende principalmente de la porosidad efectiva, es decir, de que los espacios vacíos estén conectados entre sí. Por ello, materiales con baja porosidad o poros poco conectados presentan menor permeabilidad y limitan el flujo del agua subterránea (Villasana, 2013).

5.2.7. Potencial hídrico

El potencial hidráulico es la energía libre que poseen las moléculas de agua para realizar trabajo, esta magnitud cuantifica la tendencia del agua de fluir desde un área hacia otra debido a fenómenos como la osmosis, la inercia por velocidad, gravedad o presión mecánica (Martínez Santos, 2018).

5.3. Fuentes de contaminación

Las principales fuentes de contaminación del agua subterránea incluyen la contaminación superficial por actividades agrícolas e industriales, la contaminación del subsuelo por fugas de sistemas sépticos o tanques, los vertederos y residuos mal gestionados que filtran químicos al suelo, la contaminación atmosférica como la lluvia ácida y las fuentes naturales con minerales como arsénico o fluoruros (González Herrera, 2018).

- **Transporte de contaminantes**

Sánchez (2016) define que entre los principales procesos se encuentran la advección, la dispersión hidrodinámica y la difusión, los cuales influyen en la velocidad y extensión del movimiento de los contaminantes.

Tabla 3. Transporte de contaminantes

Tipo de transporte	Definición
Advección	La advección es el arrastre de la sustancia contaminante por el agua. Si solo existiera este proceso, el contaminante viajaría a la misma velocidad que el agua y la extensión ocupada por el contaminante sería constante.
Dispersión	La dispersión hidrodinámica es la acción conjunta de la difusión y la dispersión mecánica.
Difusión	La difusión es un proceso donde las sustancias disueltas se mueven por un gradiente de concentraciones.

Nota: Sánchez (2016).

5.4. Vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero

Este concepto intenta representar la sensibilidad de un acuífero a los efectos adversos de la presión (o carga) de contaminantes impuesta desde la superficie terrestre. La vulnerabilidad de un acuífero debe relacionarse únicamente con el transporte vertical y la atenuación de contaminantes (Foster & Chilton, 2021).

5.5. Métodos para conocer la vulnerabilidad de un acuífero

Existen múltiples enfoques para evaluar la vulnerabilidad de un acuífero frente a la contaminación. Entre los métodos reconocidos internacionalmente se encuentra DRASTIC, GOD, SINTACS, EPIK, entre otros (Auge, 2005).

5.5.1. DRASTIC

DRASTIC es una metodología que permite evaluar sistemáticamente el potencial de contaminación de cualquier área. El sistema optimiza el uso de datos existentes y consta de dos partes principales: la designación de unidades cartografiables, denominadas entornos hidrogeológicos, y la superposición de un sistema de clasificación relativa que forman el acrónimo DRASTIC e incluyen: profundidad al nivel freático, recarga neta, medio del acuífero, medio del suelo, topografía, impacto de la zona vadosa y conductividad hidráulica del acuífero (Aller et al., 1987).

- **Factor D (profundidad)**

Según Nicoletti & Spandre (1996) la profundidad representa el espesor de los depósitos o la distancia vertical entre el terreno y el nivel freático, que el flujo contaminante tiene que atravesar antes de alcanzar el acuífero.

- **Factor R (Recarga neta)**

Corresponde a la cantidad de agua proveniente de la lluvia que logra infiltrarse en el suelo, excluyendo las pérdidas ocasionadas por la escorrentía superficial y la evapotranspiración.

- **Factor A (medio del acuífero)**

Representa las características del acuífero, en particular la capacidad del medio poroso y/o fracturado para transmitir los contaminantes (Nicoletti & Spandre, 1996).

- **Factor S (medio del suelo)**

El suelo es la capa superficial de la zona no saturada que se caracteriza por las actividades biológicas dadas en la misma (Ckakraborty et al. 2007).

- **Factor T (Topografía)**

Corresponde al ángulo de inclinación (pendiente) que presenta la superficie del terreno. Según sea la pendiente del terreno así fue la probabilidad de que un contaminante permanezca en el sitio donde ha sido depositado o se aleje del lugar por efecto de la escorrentía superficial (Torres Aburto et al., 2017).

- **Factor I (Zona vadosa)**

La zona vadosa es aquella que se encuentra por encima de la superficie del agua subterránea y por debajo del nivel del suelo (Torres Aburto et al., 2017). Por otro lado, Nicoletti & Spandre (1996) opinan que representa la capacidad del suelo para obstaculizar el transporte vertical, es decir, esta zona actúa como un filtro natural para los contaminantes que se infiltran desde la superficie.

- **Factor C (Conductividad)**

Este factor hace referencia a la tasa a la cual el agua se moviliza a través del perfil de suelo, y se ve influenciada por la cantidad de espacios porosos de las texturas que componen el suelo (Aller et al. 1987).

5.6. Calidad del agua

El concepto de la calidad del agua tiene diversos enfoques o perspectivas, funcionalmente, se refiere a la capacidad del recurso para satisfacer los diversos usos que se le pueden asignar. Báez Gómez (2016) explica que dicha medición puede obtenerse comparando las características físicas, químicas y microbiológicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares.

Tabla 4. Tipos de parámetros para un estudio de calidad de agua

Tipo de parámetro	Definición
Parámetros físicos	Son características observables del agua, como color, olor, turbidez, temperatura y sólidos presentes. Permiten identificar cambios visibles que pueden afectar su uso o aceptación.

Tipo de parámetro	Definición
Parámetros químicos	Evalúan la composición química del agua, incluyendo pH, alcalinidad, dureza, conductividad, cloruros, sulfatos, nitratos, bicarbonatos y otros compuestos disueltos. Ayudan a determinar su aptitud para consumo, riego u otros usos.
Parámetros bacteriológicos	Indican la presencia de microorganismos asociados a contaminación fecal, como coliformes totales, coliformes fecales y E. coli. Son importantes para valorar el riesgo sanitario del agua.
Metales pesados	Corresponden a elementos como hierro, manganeso, arsénico, calcio, magnesio, sodio y potasio. Su concentración permite evaluar el origen geológico del agua y posibles riesgos para la salud o limitaciones de uso.

Nota: Barrera & Aguirre (2011).

VI. Diseño Metodológico

6.1. Tipo de investigación

La investigación adopta un enfoque mixto, integrando métodos cualitativos y cuantitativos. El componente cualitativo se fundamenta en la interpretación de percepciones obtenidas mediante encuestas y entrevistas con preguntas abiertas. Por otro lado, el componente cuantitativo se basa en el análisis de variables numéricas de los resultados obtenidos de las encuestas y entrevistas, junto con la interpretación de propiedades hidráulicas y datos técnicos del medio hidrogeológico.

6.2. Según su alcance

La investigación es de carácter descriptivo - correlacional. Desde el enfoque descriptivo, se analizan y procesan los datos hidrogeológicos e hidroquímicos con el propósito de caracterizar los componentes físicos y determinar los niveles de vulnerabilidad del medio. En el enfoque correlacional, se establecen relaciones entre los parámetros hidrogeológicos, las condiciones climáticas y las propiedades hidráulicas de los pozos, considerando los resultados obtenidos mediante el índice DRASTIC.

6.3. Según su tiempo de ocurrencia

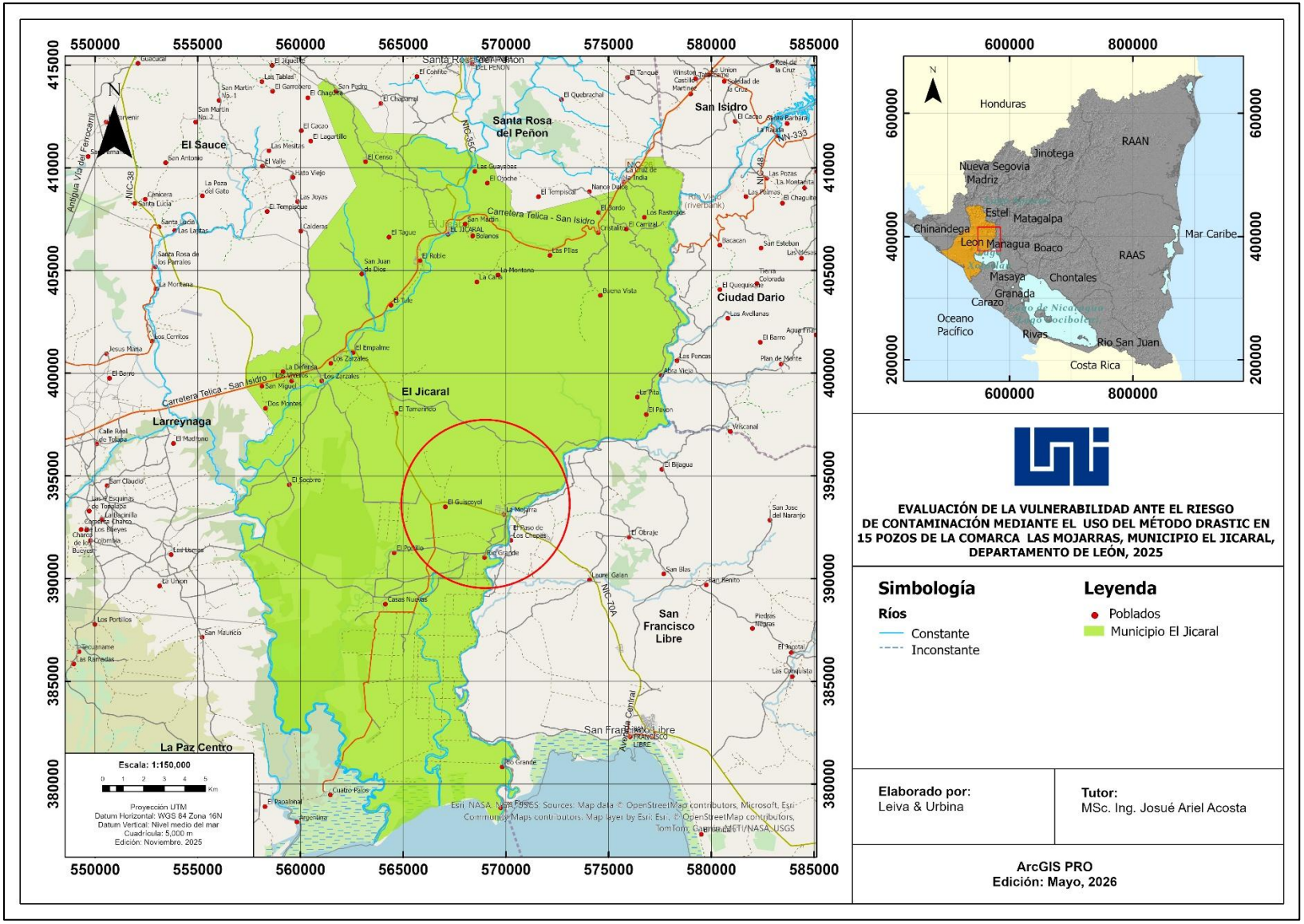
La investigación es prospectiva ya que los datos se recolectaron y analizaron durante un período determinado, correspondiente al período 2025-2026.

6.4. Ubicación del área de estudio

Los pozos de estudio se localizan en la comunidad Las Mojarras, perteneciente al municipio de El Jicaral, en el departamento de León. El área se encuentra comprendida entre las coordenadas 12°36’51” de latitud norte y 86°21’5” de longitud oeste, con una extensión territorial aproximada de 431.48 km^2 y una altitud promedio de 70 metros sobre el nivel del mar (msnm).

La comarca Las Mojarras limita al norte con zonas de producción agrícola administradas por los habitantes de la comunidad, al este con la comunidad La Quebrada, al oeste con el río Viejo, y al sur con terrenos productivos pertenecientes a la empresa Mangos S.A. (ver Figura 1).

Figura 1. Mapa de localización del área de estudio



6.5. Metodología

6.5.1. Caracterización del medio físico

Para la delimitación de la zona de estudio se realizó una visita de campo con el propósito de reconocer las fuentes subterráneas existentes, las coordenadas geográficas de cada punto observado se registraron mediante la aplicación móvil GAIA GPS. Los datos meteorológicos (precipitación, temperatura, etc) que hacen referencia al entorno hidro climático se obtuvieron a través del portal Data Access Viewer (DAV) del sistema NOAA-NCEI (National Centers for Environmental Information) considerando una serie temporal mínima de los últimos 20 años.

La evapotranspiración se obtuvo por medio de la ecuación de Hargreaves Simplificada donde la radiación solar extraterrestre (RO) fue seleccionada en función de la latitud del área de estudio (12° N), de acuerdo con los valores propuestos por Allen et al. (1998), ver Anexo B4, pág. viii.

$$ETO = 0.0023(t_{med} + 17.78)RO * (t_{máx} - t_{min})^{0.5} \quad \textbf{(Ecuación 1)}$$

Donde:

t_{med} *= Temperatura media*

$t_{máx}$ *= Temperatura máxima*

t_{min} *= Temperatura mínima*

RO = Radiación extraterrestre

La recarga se estimó mediante la Ecuación 2 y la Tabla 5 utilizando los resultados de las propiedades físicas del suelo y los valores de precipitación.

$$R = f * I \quad \textbf{(Ecuación 2)}$$

Donde:

R = Recarga (mm/año)

I = Infiltración (mm/año)

f = Coeficiente de recarga (adimensional)

Tabla 5. Coeficiente de recarga según tipo de suelo

Tipo de suelo	Coeficiente de recarga (%)
Arcilloso	5 – 10 %
Franco arcilloso	10 – 15 %
Franco	15 – 25 %
Franco arenoso	20 – 35 %
Arenoso	25 – 50 %
Gravas y depósitos aluviales gruesos	35 – 60 %

Nota: Imram y Mensenbet (2021).

Se realizaron muestreos de suelo con el propósito de determinar las propiedades físico-químicas en laboratorio. Para cada punto de muestreo se recolectó una muestra alterada mediante el método en zigzag, la cual posteriormente se homogenizó para obtener una muestra compuesta representativa.

Las muestras inalteradas se extrajeron mediante una excavación a cielo abierto (calicata) con una profundidad aproximada de 40 cm. El muestreo se realizó empleando un cilindro metálico de volumen conocido, introducido cuidadosamente en una de las paredes de la excavación para minimizar la alteración de su estructura natural. Posteriormente, el cilindro fue extraído y se retiró el material excedente en ambos extremos, se aseguró el sellado adecuado y fue rotulado para su transporte al laboratorio. En la Tabla 6 se muestran los métodos realizados en laboratorio para la obtención de textura, densidad aparente ($\rho_{ap}\ o\ Da$) y densidad real ($\rho_{real}\ o\ Dr$).

Tabla 6. Métodos realizados en laboratorio de Edafología

Propiedades	Métodos en laboratorio
Textura	Hidrómetro de Bouyoucos
Densidad aparente (Da)	Cilindro de densidad aparente de 100 cm³
Densidad real (Dr)	Picnómetro

Nota: Elaboración propia a partir de guía técnica de laboratorio de Edafología – UNI.

A continuación, se presenta las ecuaciones utilizadas para el cálculo de los porcentajes de composición de textura del suelo por el método de Bouyoucos.

1. Las lecturas del hidrómetro deben de ser corregidas en base a la temperatura; si la temperatura es superior a 20 °C, los grados que excedan a este valor se multiplicarán por 0.300 y se agregan a la lectura inicial. Si la temperatura es inferior a la recomendada, se multiplican los grados que faltan y se restan a la lectura inicial o final del hidrómetro.

2. Lectura a los 40 segundos, para obtener el porcentaje de limo más arcilla (%Limo + %Arcilla):

$$LC_{40S} = Li \pm FC \quad \textbf{(Ecuación 3)}$$

A su vez;

$$\%Limo + \%Arcilla = \frac{LC_{40S} - Lb}{Peso\ suelo} * 100$$

Donde:

LC_{40S} *= Lectura corregida a los 40 segundos*

Li = Lectura inicial en el hidrómetro a los 40 segundos

FC = Factor de corrección

Lb = Lectura en blanco

3. Lectura a las 2 ó 5 horas, para obtener el porcentaje de arcilla (%Arcilla):

$$LC_{2h} = L \pm FC \quad \textbf{(Ecuación 4)}$$

$$\%Arcilla = \frac{LC_{2h} - Lb}{Peso\ suelo} * 100$$

Donde:

LC_{2h} *= Lectura corregida a las 2 horas*

L = Lectura del hidrómetro a las dos horas

FC = Factor de corrección

Lb = Lectura en blanco

4. Se calculó el porcentaje de arena a través de la siguiente ecuación:

$$\%Arena = 100 - (\%Limo + \%Arcilla) \quad \textbf{(Ecuación 5)}$$

5. Finalmente, se calculó el porcentaje de limo aplicando la siguiente ecuación:

$$\%Limo = (\%Limo + \%Arcilla) - (\%Arcilla) \quad \textbf{(Ecuación 6)}$$

Para el cálculo de la densidad aparente fue necesario trabajar con una muestra inalterada, ya que esta propiedad depende del volumen total del suelo en su estado natural. Por ello, se determinó el volumen del cilindro utilizado para la recolección de la muestra mediante la siguiente ecuación:

$$V_c = \frac{\pi * (d)^2 * h}{4} \quad \textbf{(Ecuación 7)}$$

Donde:

D = Diámetro del cilindro (cm)

H = Altura del cilindro (cm)

Posteriormente, se calculó la densidad aparente y la densidad real aplicando las siguientes ecuaciones:

$$\rho_{ap} = \frac{m}{v} \quad \textbf{(Ecuación 8)}$$

$$\rho_{real} = \frac{m}{v_{real}} \quad \textbf{(Ecuación 9)}$$

Donde:

m = masa

v = volumen

Para la capacidad de campo también se necesita de la muestra inalterada, ya que depende de la estructura y porosidad en estado natural, esta se obtuvo por medio de la ecuación siguiente:

$$CC = \frac{P_{húmedo} - P_{seco}}{P_{seco}} * 100 \quad \textbf{(Ecuación 10)}$$

Donde:

$P_{húmedo}$ *= Peso húmedo*

P_{seco} *= Peso seco*

Respecto a la porosidad, se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$n = \left(1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{real}}\right) * 100$$ **(Ecuación 11)**

Donde:

ρ_{ap} *= Densidad aparente*

ρ_{real} *= Densidad real*

Para la identificación del uso del suelo y su taxonomía (orden), se utilizaron datos de cobertura terrestre procesados mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), con apoyo del software ArcGIS y de las capas temáticas suministradas por el INETER.

6.5.2. Determinación de las propiedades hidráulicas y potencial hidráulico de las fuentes subterráneas

Se aplicó una encuesta dirigida a los propietarios de los pozos con el propósito de recopilar información complementaria sobre el uso, profundidad y estado de las fuentes subterráneas (ver en Anexo A, pág. i).

Una vez conocida la profundidad de las fuentes hidrogeológicas, se aplicó la siguiente ecuación para conocer el nivel freático.

$$Nf = Elev - NEA - Br$$ **(Ecuación 12)**

Donde:

Elev = Elevación del pozo (msnm)

NEA = Nivel Estático del Agua (m)

Br = Brocal (m)

Se llevaron a cabo pruebas de bombeo en pozos seleccionados de ambas áreas de estudio, de acuerdo con las características del pozo y la ubicación del sitio de aprovechamiento. A partir de dichas pruebas se registraron los niveles de agua subterránea, la columna de agua, el abatimiento y la capacidad específica.

La medición se realizó con una sonda de nivel midiendo el descenso cada minuto los primeros 10 minutos, cada 2 minutos los siguientes 20 minutos, finalmente, cada

5 minutos hasta completar el tiempo de 2 horas. Luego se midió la recuperación cada minuto por un lapso mínimo de 20 minutos.

Posteriormente, con el procesamiento de los datos se obtuvo la transmisividad mediante el software AQTESOLV, donde la selección del modelo de análisis estuvo condicionada por el tipo de acuífero. Con dicho valor se obtuvo la conductividad hidráulica (K) dada por la siguiente ecuación:

$$K = \frac{T}{b} \quad \textbf{(Ecuación 13)}$$

Donde:

K = Conductividad hidráulica ($m^3/d/m$)

T = Transmisividad (m^2/d)

b = Columna de agua (m)

$$b = profundidad - NEA \quad \textbf{(Ecuación 14)}$$

Donde:

NEA = Nivel Estático del Agua (m)

La capacidad específica se calculó con base en la siguiente expresión:

$$CE = \frac{Q}{s} \quad \textbf{(Ecuación 15)}$$

Donde:

Q = Rendimiento del pozo o caudal del bombeo (m^3/d)

s = Abatimiento (m)

La estimación del radio de influencia se obtendrá a través de la fórmula de Jacob:

$$s = 2.3Q/(4\pi T) * log\ (2.25 * T * t/r2 * S) \quad \textbf{(Ecuación 16)}$$

Donde:

Q = Caudal de bombeo (m3/d)

T = Transmisividad (m2/d)

t = Tiempo de bombeo (día)

r = Distancia del sitio con respecto al pozo (m)

S = Abatimiento (m)

- **Calidad del agua**

Al igual que en las pruebas de bombeo, se realizaron campañas de muestreo en pozos seleccionados de acuerdo a criterios técnicos como la ubicación estratégica dentro de las dos áreas de estudio, la representatividad de las condiciones hidrogeológicas, la proximidad a posibles focos de contaminación. Asimismo, se tomaron en cuenta características organolépticas observadas en las fuentes.

Las campañas de muestreo se ejecutaron conforme al protocolo para fuentes subterráneas propuesto por el Laboratorio PIENSA, siguiendo una secuencia sistemática que incluyó: reconocimiento de la fuente, georreferenciación con GAIA GPS, instalación del equipo de muestreo (guantes y material para el flameado), etiquetado del recipiente, purga o bombeo de la fuente por un tiempo mínimo de tres minutos, endulzamiento del envase, flameado o esterilización superficial de la tubería previo al muestreo, toma de la muestra, medición del pH y temperatura in situ, sellado del envase con papel aluminio, preservación mediante refrigeración y transporte al laboratorio en un tiempo inferior a 24 horas.

Las muestras fueron analizadas por el laboratorio PIENSA donde se realizaron los ensayos pertinentes para conocer los parámetros físico-químicos, metales pesados y bacteriológico, los resultados se analizaron bajo los criterios establecidos en la **NTON 03004 Calidad del agua - Agua potable - Valores máximos admisibles**, **NTON 05-007-98 (Categoría 2-B Aguas destinadas para riego de cualquier otro tipo de cultivo y uso pecuario),** así como con las disposiciones del Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana Norma Regional (**CAPRE 1994**).

Para la interpretación hidroquímica de los datos, se utilizó la herramienta EasyQuim, la cual permitió el procesamiento y visualización de la información, también se generó el diagrama de Piper para la clasificación de las facies hidroquímicas del agua en los pozos seleccionados.

6.5.3. Establecimiento del índice de vulnerabilidad mediante el método DRASTIC

Se aplicó el método DRASTIC, el cual considera siete parámetros hidrogeológicos: profundidad del agua, recarga neta, tipo de acuífero, tipo de suelo, topografía, impacto de la zona vadosa y conductividad hidráulica.

La profundidad del nivel freático del agua se obtuvo por medición directa en campo con ayuda de una sonda. La recarga neta se estimó a partir de la precipitación media anual y el coeficiente de infiltración. Adicionalmente, se realizaron pruebas de infiltración en los puntos donde se realizó el muestreo de suelos, la ubicación de dichas pruebas estuvo condicionada en función del grado de la pendiente, la cobertura vegetal y la distribución espacial de las mismas. Los ensayos fueron realizados en un tiempo mínimo de 40 minutos.

El medio del acuífero fue determinado con base en la litología y composición del material permeable. El medio del suelo se determinó a partir del análisis del muestreo de suelos y la información secundaria disponible. Para la caracterización de la topografía, se elaboraron mapas con las curvas de nivel y las pendientes del terreno. El impacto de la zona no saturada se evaluó de acuerdo a la litología de la zona y el mapa geológico del área. Por último, la conductividad hidráulica (C) se determinó a partir de los resultados de transmisividad de las pruebas de bombeo.

Cada parámetro fue ponderado y calificado según el método establecido (ver en Anexo L1, pág. xxxvi) el índice de vulnerabilidad se obtuvo por medio de la Ecuación 17. En contraste, con ayuda de las herramientas SIG se elaboró el mapa temático del índice de vulnerabilidad a la contaminación a través de la generación de capas ráster para cada parámetro y su posterior integración en el algebra de mapas mediante la herramienta de análisis espacial Weighted Sum del software ArcGIS.

$$Indice\ DRASTIC = \sum W_i * R_i \qquad \textbf{(Ecuación 17)}$$

Donde W = factor de ponderación y R = factor de puntuación.

VII. Análisis y discusión de resultados

7.1. Caracterización del medio físico de la zona de estudio

Con el procesamiento de la ubicación de los pozos se modificó el área de estudio debido a las características geológicas e hidrogeológicas de la zona (ver acápite 7.1.3. Geología y 7.2.1. Hidrogeología), consecuentemente se definieron dos unidades de análisis: Área 1 (sección oeste) y Área 2 (sección este). Como se puede observar en la Figura 2, el área 1 contempla una extensión de 5.24 km^2, un perímetro de 9.19 km y abarca 10 pozos en el poblado Güiscoyol, por su parte, el área 2 comprende una superficie de 2.52 km^2 y un perímetro de 7.11 km. En conjunto, ambas áreas suman una superficie total de 7.76 km^2.

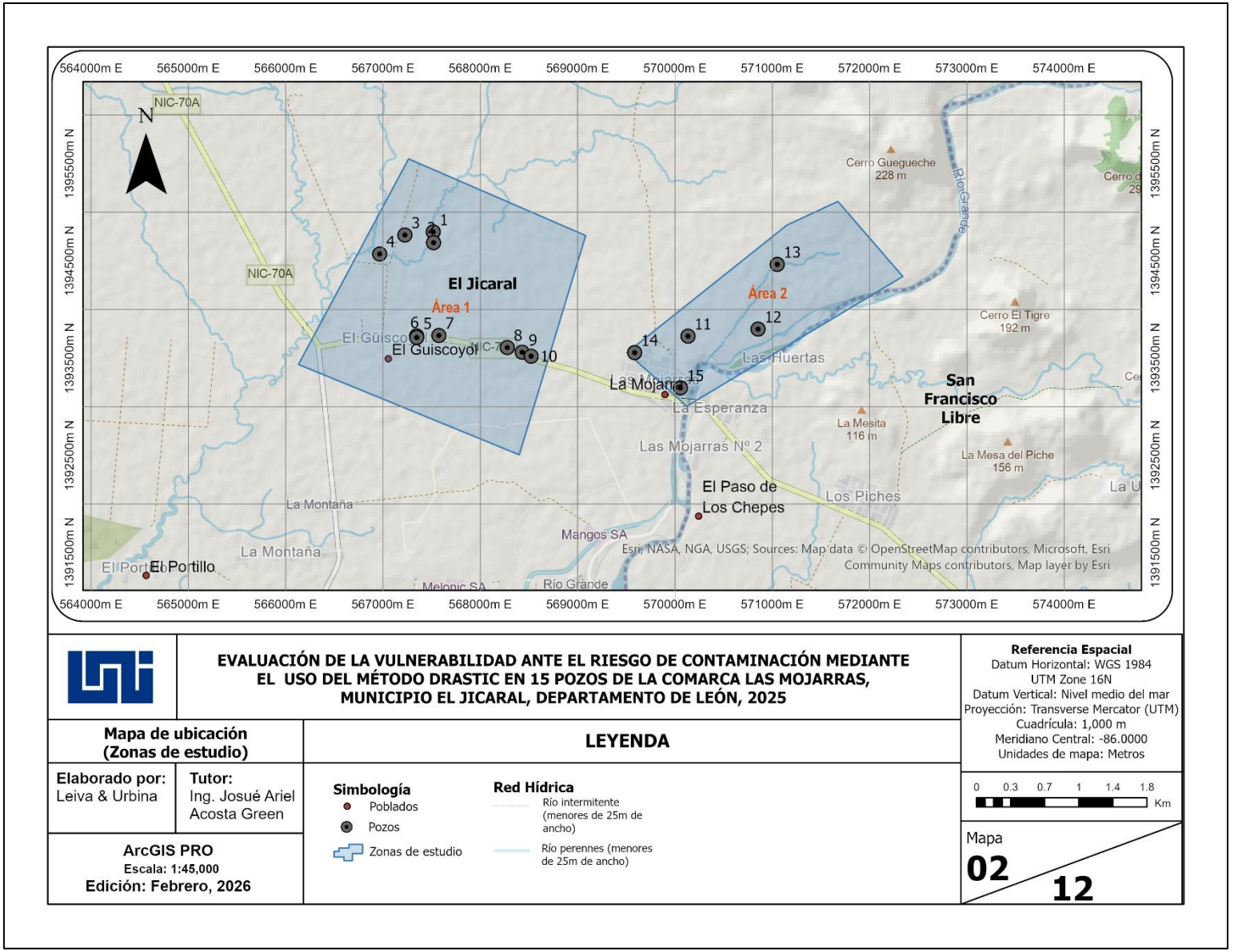
A continuación, en la Tabla 7 se presentan los pozos existentes correspondientes a cada una de estas áreas:

Tabla 7. Pozos de las áreas de estudio

Área	Pozo N°	Nombre	Propietario	Coordenadas UTM	
				Este (X)	Norte (Y)
1	1	La Palizada Leiva	Máximo de Jesús Leiva	567515	1394797
	2	La Palizada Ordoñez	José Ramón Ordóñez	567519	1394686
	3	La Palizada Salgado	Félix Antonio Salgado	567224	1394765
	4	Las Guayabas	Pedro Valdivia	566965	1394570
	5	El diamante	Irvin José Rojas	567345	1393728
	6	El diamante 2	Junior Rojas Flores	567346	1393712
	7	El diamante 3	Marbeli Orozco	567573	1393732
	8	Las Guayabas	Pablo Rizo	568276	1393608
	9	Nuri Díaz	Nuri Díaz	568430	1393560
	10	El Jicarito	Alejo Flores Castillo	568522	1393519
2	1	San Antonio	Margarito Orozco	570133	1393725
	2	La Ceibita	Margarito Orozco	570853	1393798
	3	Finca Pilar	Pilar Díaz	571050	1394463
	4	Rosa María	Rosa María Hernández Cárcamo	569585	1393556
	5	Comunitario	Comunitario	570055	1393193

Nota: Elaboración propia a partir de reconocimiento de campo.

Figura 2. Mapa de ubicación de los pozos de estudio

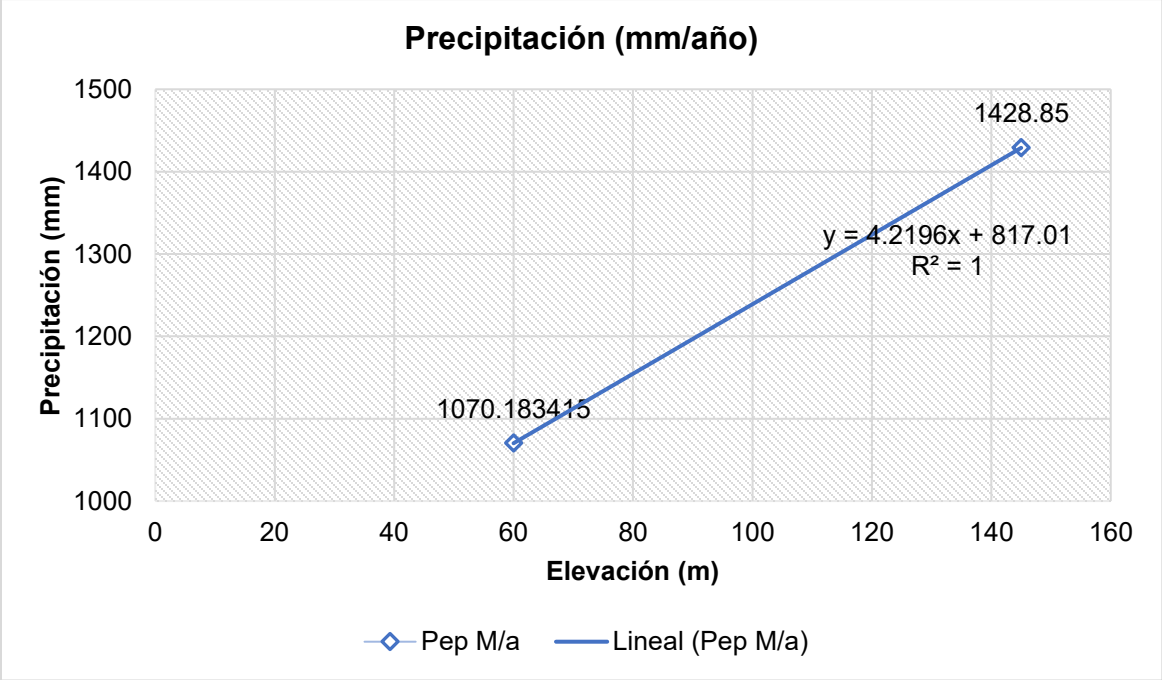


7.1.1. Variables climáticas

La estación meteorológica más cercana al área de estudio se localiza a una distancia aproximada de 2 km. Corresponde a la estación No. 264 (69225), perteneciente a Mangos S.A., ubicada en el municipio de San Francisco Libre, dentro del cuadrante 2953-IV, en las coordenadas UTM 568189 E y 1391668 N.

La información brindada por INETER comprende información de precipitación y temperatura de 7 años (periodo de 2018-2025), ver Anexo B2, pág. v, al realizar la validación cruzada con los datos extraídos de DAV para el mismo periodo (Anexo B1, pág. iv), se obtuvo un coeficiente de determinación (R^2) igual a 1 (Figura 3), lo que indica una alta concordancia entre ambas fuentes. En consecuencia, se considera que la información es confiable, por lo que en el presente estudio se utilizó el régimen de 40 años (1985–2025) de la base de datos de DAV.

Figura 3. Validación de datos de precipitación (INETER vs. DAV)



Nota: Elaboración propia a partir de datos de la estación meteorológica San Francisco Libre periodo 2018-2025.

- **Precipitación**

El análisis de la precipitación promedio mensual correspondiente el período 1985–2025 evidencia un régimen pluviométrico estacional, característico de la región del Pacifico nicaragüense, donde se distingue una época seca bien definida entre diciembre y abril y una estación lluviosa entre mayo y octubre, con una disminución en julio, asociada al fenómeno de la canícula. La Tabla 8 muestra los valores de precipitación promedio mensual y anual expresados en mm/día.

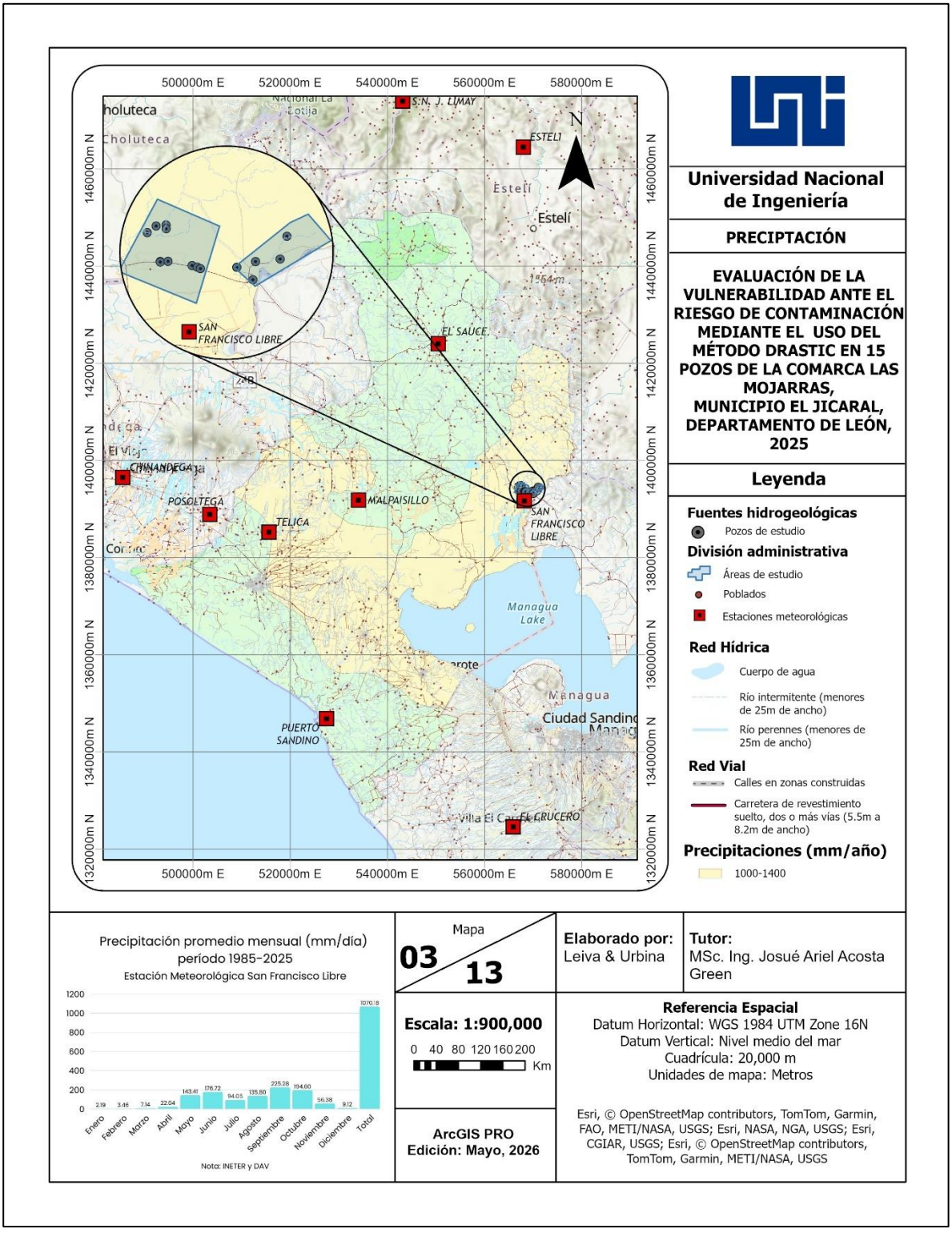
Tabla 8. Precipitación promedio mensual (mm/día) periodo 1985-2025

Precipitación promedio mensual (mm/día) periodo 1985-2025	
Enero	2.19
Febrero	3.46
Marzo	7.14
Abril	22.04
Mayo	143.41
Junio	176.72
Julio	94.05
Agosto	135.80
Septiembre	225.28
Octubre	194.60
Noviembre	56.38
Diciembre	9.12
Total	**1070.18**

Nota: Elaboración propia a partir de datos de INETER y DAV.

Los valores máximos de precipitación se registraron en septiembre y octubre, por lo tanto, es el período de mayor aporte hídrico al sistema acuífero. En la Figura 4 se observa que las áreas de estudio se encuentran entre el rango 1000-1400 mm/año. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), en el III Censo Nacional Agropecuario (2001), la estación de Momotombo ubicada en el departamento de León registró una precipitación media anual de 1,142 mm/año, lo que demuestra que valores en el orden de los 1,070 mm/año se encuentran dentro del rango climático característico de la región.

Figura 4. Mapa de precipitación del departamento de León



- **Temperatura**

Las áreas de estudio se encuentran predominantemente influenciadas por un rango térmico promedio anual entre 24 y 28 °C. Este intervalo es característico de ambientes cálido-tropicales, donde la temperatura se mantiene elevada durante la mayor parte del año. Asimismo, los datos obtenidos de DAV (ver Tabla 9 y Anexo B3, pág. vi) registran una temperatura media anual de 27.31 °C, lo que confirma la correspondencia entre la información espacial y los registros históricos de la región.

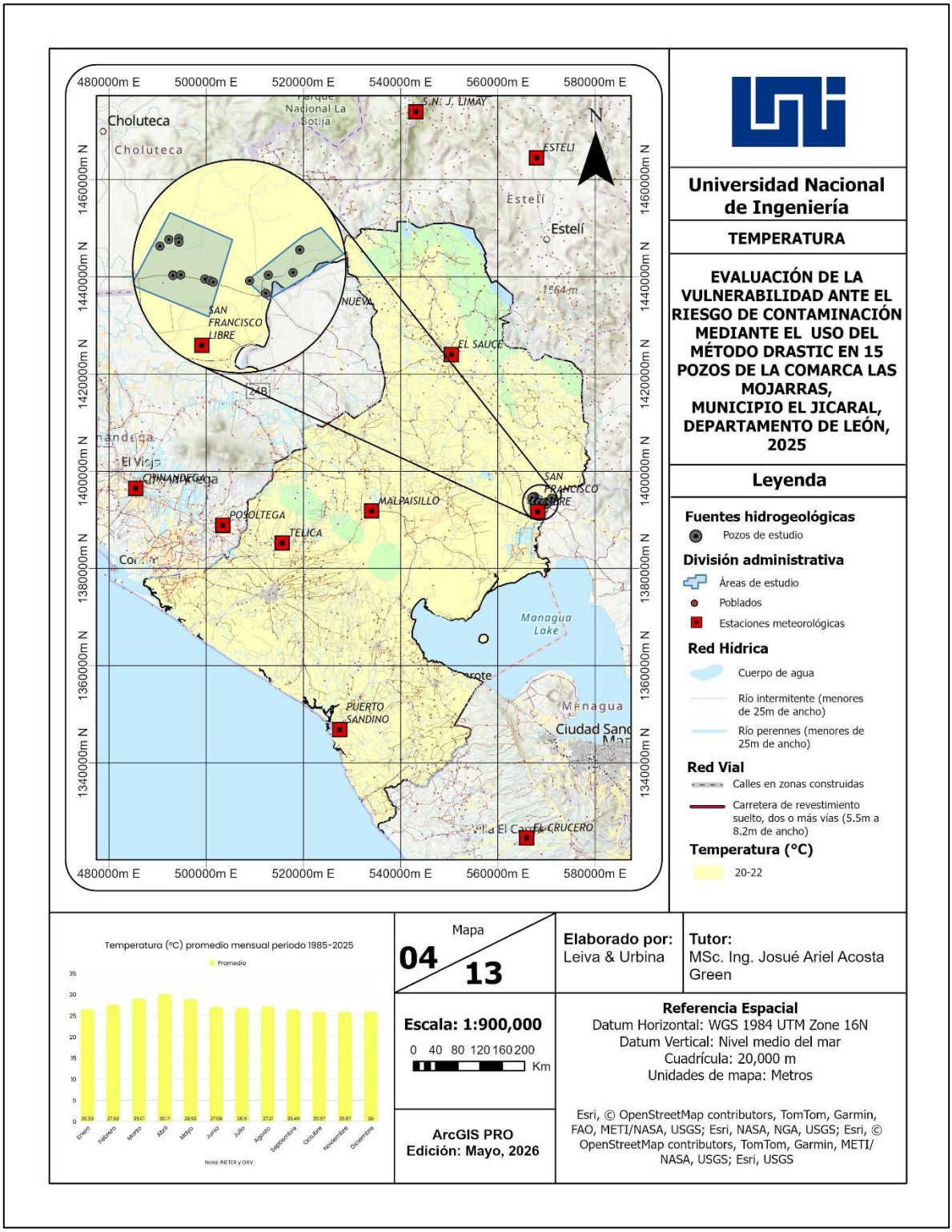
El gráfico climático incorporado en el mapa de temperatura (Figura 5) muestra un marcado comportamiento estacional, con temperaturas máximas elevadas que alcanzan 38–39 °C durante la estación seca (marzo a mayo), y una disminución de las máximas a alrededor de 33 °C durante el período lluvioso (septiembre a diciembre), lo que coincide con el período de mayor precipitación.

Tabla 9. Promedio de temperaturas mensuales (°C) para el período 1985–2025

	Temperatura (°C)		
Meses	**Máximo**	**Mínimo**	**Promedio**
Enero	35.11	18.65	26.53
Febrero	36.80	19.35	27.62
Marzo	38.36	20.00	29.01
Abril	39.07	21.86	30.17
Mayo	38.22	22.61	28.92
Junio	34.45	21.75	27.08
Julio	34.2	21.2	26.90
Agosto	35.0	21.7	27.21
Septiembre	33.8	21.5	26.49
Octubre	32.6	21.0	25.97
Noviembre	32.7	19.5	25.87
Diciembre	33.7	18.8	26.0
Promedio	**39.30**	**17.88**	**27.31**

Nota: Elaboración propia a partir de datos de INETER y DAV.

Figura 5. Mapa de temperatura promedio anual del departamento de León



- **Evapotranspiración**

Los resultados corresponden a una evapotranspiración potencial areal (representativa del área de estudio) y demuestran un comportamiento estacional con valores mensuales que varían entre 140 mm/mes en noviembre y 213 mm/mes en marzo, alcanzando un total anual 2085.1 mm/año (ver Tabla 10 y Anexo B5, pág. viii).

Los valores más elevados se registran durante la época seca, particularmente entre marzo y mayo, como resultado de temperaturas máximas altas y elevada radiación solar, lo que refleja una alta demanda atmosférica de agua; mientras que durante la época lluviosa se observa una disminución relativa de la ETP, asociada a una mayor nubosidad y reducción de la radiación solar.

Tabla 10. Evapotranspiración potencial periodo 1985 - 2025

Evapotranspiración Potencial			
Mes	**ETO diario mm/d**	**Días del mes**	**ETO mensual mm/mes**
Ene	5.2	31	161.6
Feb	6.0	28	168.4
Mar	6.9	31	212.9
Abr	7.1	30	212.8
May	6.6	31	204.0
Jun	5.6	30	169.2
Jul	5.7	31	176.4
Ago	5.8	31	180.4
Set	5.4	30	161.1
Oct	4.8	31	150.0
Nov	4.7	30	140.9
Dic	4.8	31	147.4
	TOTAL		**2085.1**

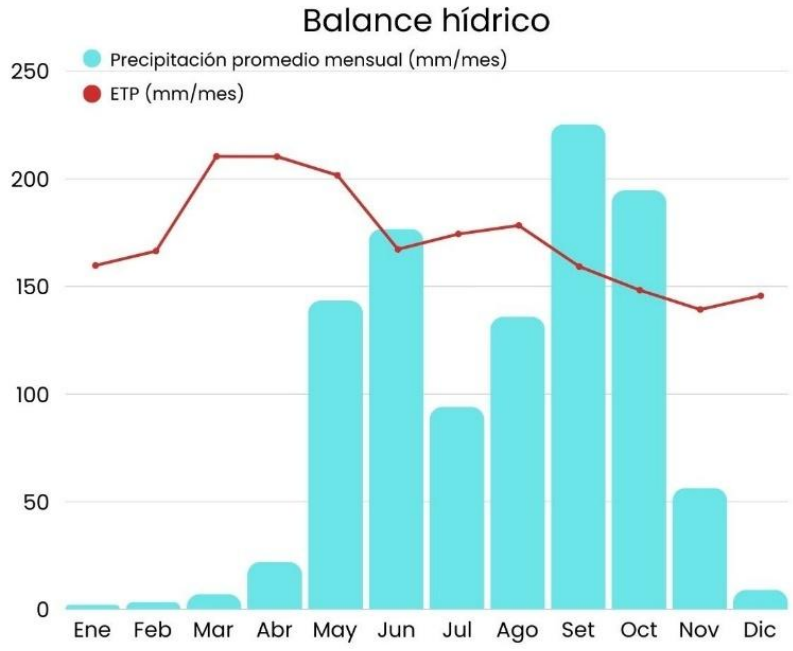
Nota: Elaboración propia a partir de metodología Hargreaves y datos de INETER y DAV.

De acuerdo con el Anuario Estadístico (1979/1980), la evaporación total registrada en Chinandega fue de 1779 mm/año, mientras que en la estación A.C. Sandino alcanzó 2359 mm/año. Estos valores sirven como referencia para contextualizar el resultado obtenido mediante la metodología de Hargreaves, que estima una evapotranspiración potencial anual de 2085.1 mm/año para la estación ubicada en San Francisco Libre. La magnitud de este valor se encuentra dentro del rango esperado para las condiciones climáticas de la región, caracterizada por altas temperaturas, marcada estacionalidad y elevada demanda evaporativa durante la época seca.

- **Balance hídrico climático**

Con base en la Tabla 9 y 10 se puede apreciar la variación entre los parámetros de precipitación y ETP, fundamentales para el cálculo del balance hídrico climático (Figura 6), este comportamiento del balance hídrico sugiere que la recarga del acuífero ocurre principalmente durante la época lluviosa, especialmente entre agosto y octubre.

Figura 6. Balance hídrico climático de la comunidad Las Mojarras



Nota: Elaboración propia a partir de datos climáticos de INETER y DAV.

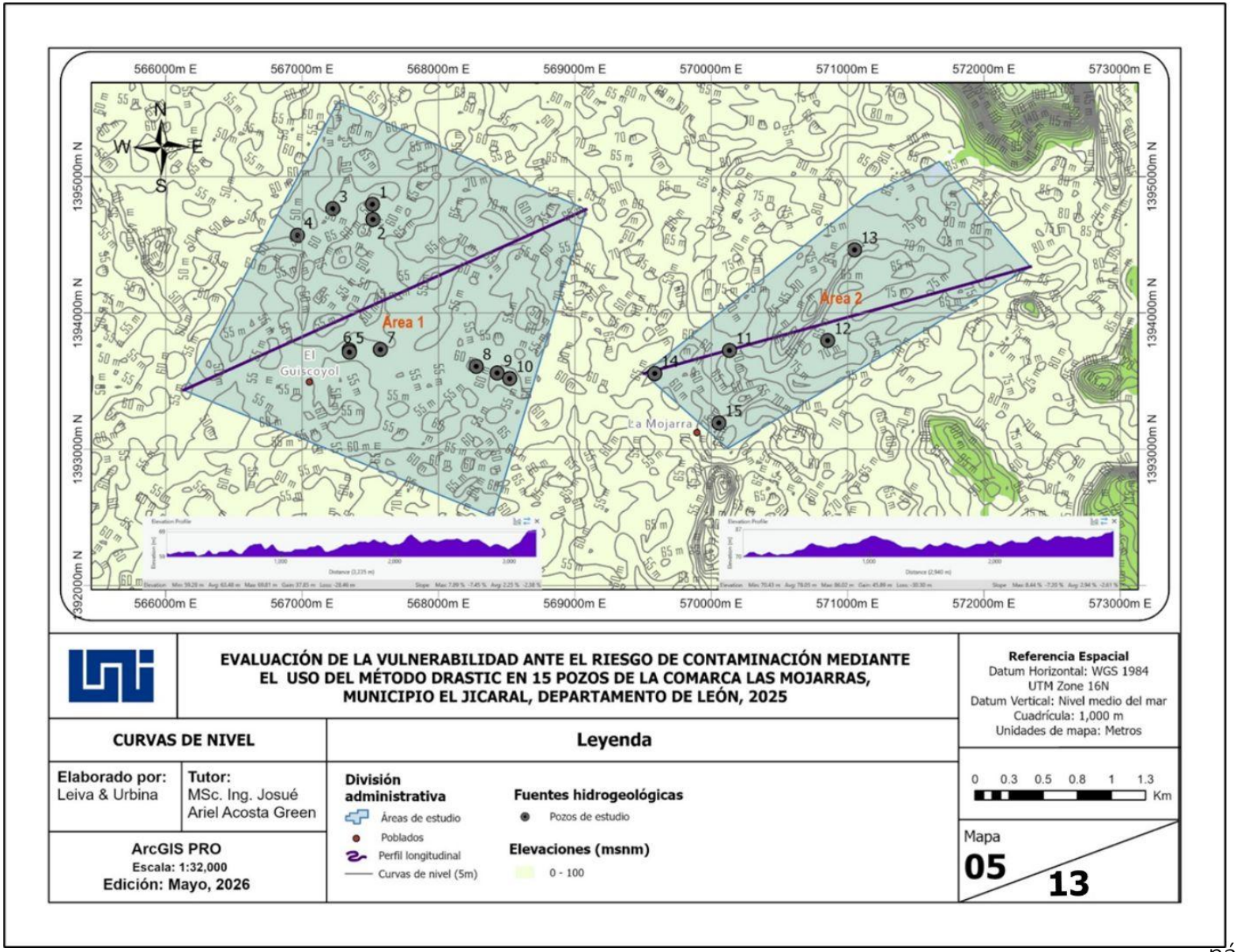
La diferencia entre la precipitación y la ETP permite determinar el estado hídrico mensual del sistema. Valores positivos indican excedentes, los cuales favorecen la recarga del acuífero, mientras que valores negativos reflejan déficits, asociados a la necesidad de almacenamiento o a condiciones de mayor demanda evaporativa. Por lo tanto, la mayor parte del año se presenta un déficit hídrico acumulado de aproximadamente 1,015 mm/año, de manera que la demanda hídrica se satisface únicamente en los meses de septiembre y octubre.

7.1.2. Suelo

- **Topografía**

A partir de los datos planimétricos se realizó el levantamiento topográfico (Figura 7) tomando en cuenta curvas de nivel principales cada 12 metros y secundarias cada 5 metros, el Área 1 posee un rango de elevaciones de 60 a 75 msnm, mientras que el Área 2, de 72 a 96 msnm. El mapa evidencia un relieve suavemente ondulado, el perfil longitudinal de 6.6 km muestra un incremento en el relieve del sector occidental (El Jicaral) hacia el sector oriental (hacia San Francisco Libre) con una elevación mínima de 65 msnm y una elevación máxima de 96 msnm, obteniendo un desnivel total de 30 m.

Figura 7. Mapa de curvas de nivel de las áreas de estudio



- **Pendiente**

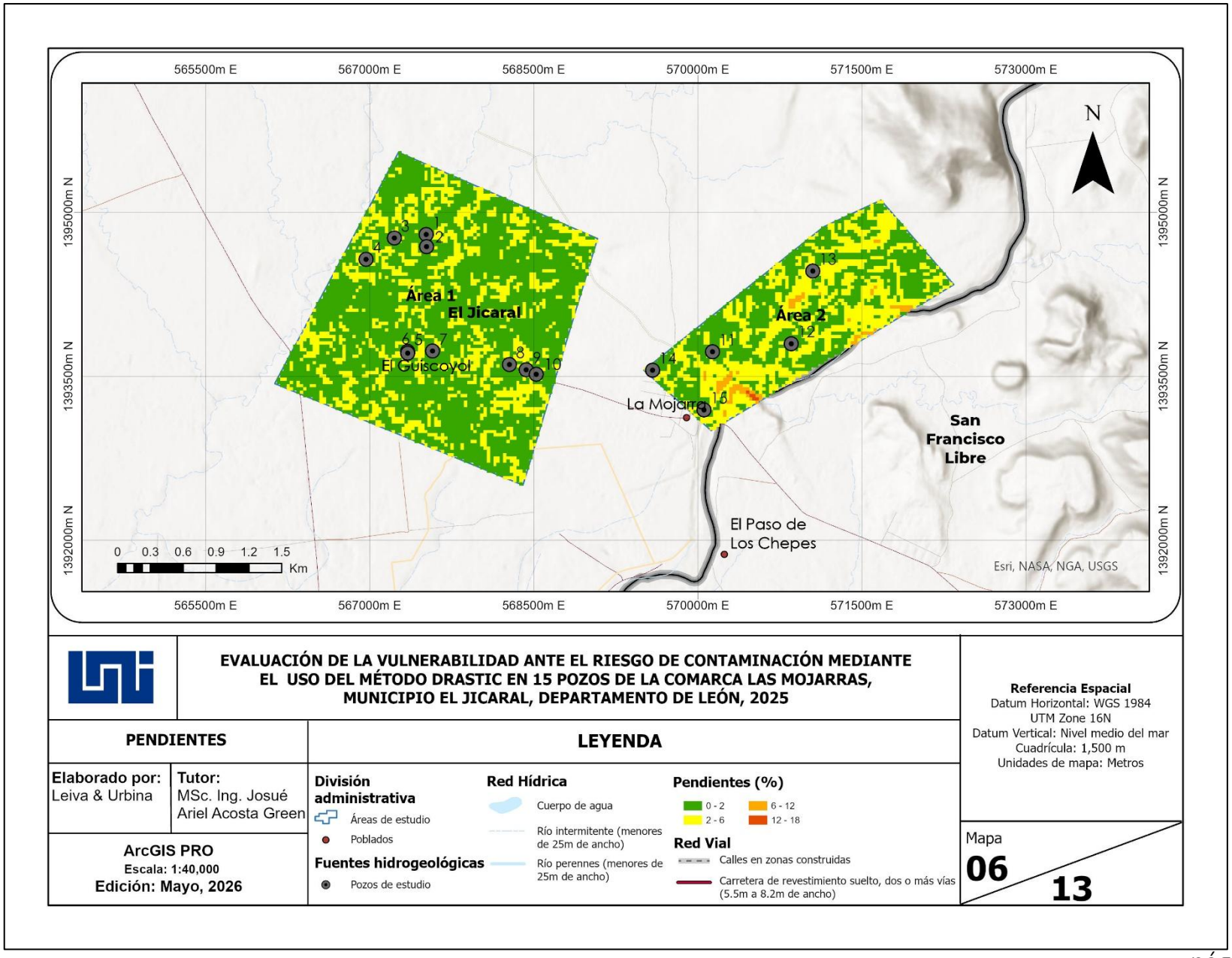
El mapa de pendientes de las áreas de estudio (Figura 8) fue elaborado a partir de los rangos de pendiente de la metodología DRASTIC (Ver Anexo L1, pág. xxxvi) donde la descripción de los porcentajes de pendiente se presenta en la Tabla 11. De manera general, el mapa evidencia un relieve predominantemente plano a inclinado, con valores de pendiente que oscilan entre 0 a 6%, plano a moderadamente inclinado, condición topográfica característica de zonas de planicie aluvial.

Tabla 11. Clasificación de pendientes

Gradiente %	Descripción
0-3	Plano
3-7	Ligeramente inclinado
7-12	Moderadamente inclinado
12-25	Fuertemente inclinado
25-50	Ligeramente escarpado
50-75	Moderadamente escarpado
>75	Fuertemente escarpado

Nota: Adaptado de IGAC (2013)

Figura 8. Mapa de pendientes de las áreas de estudio

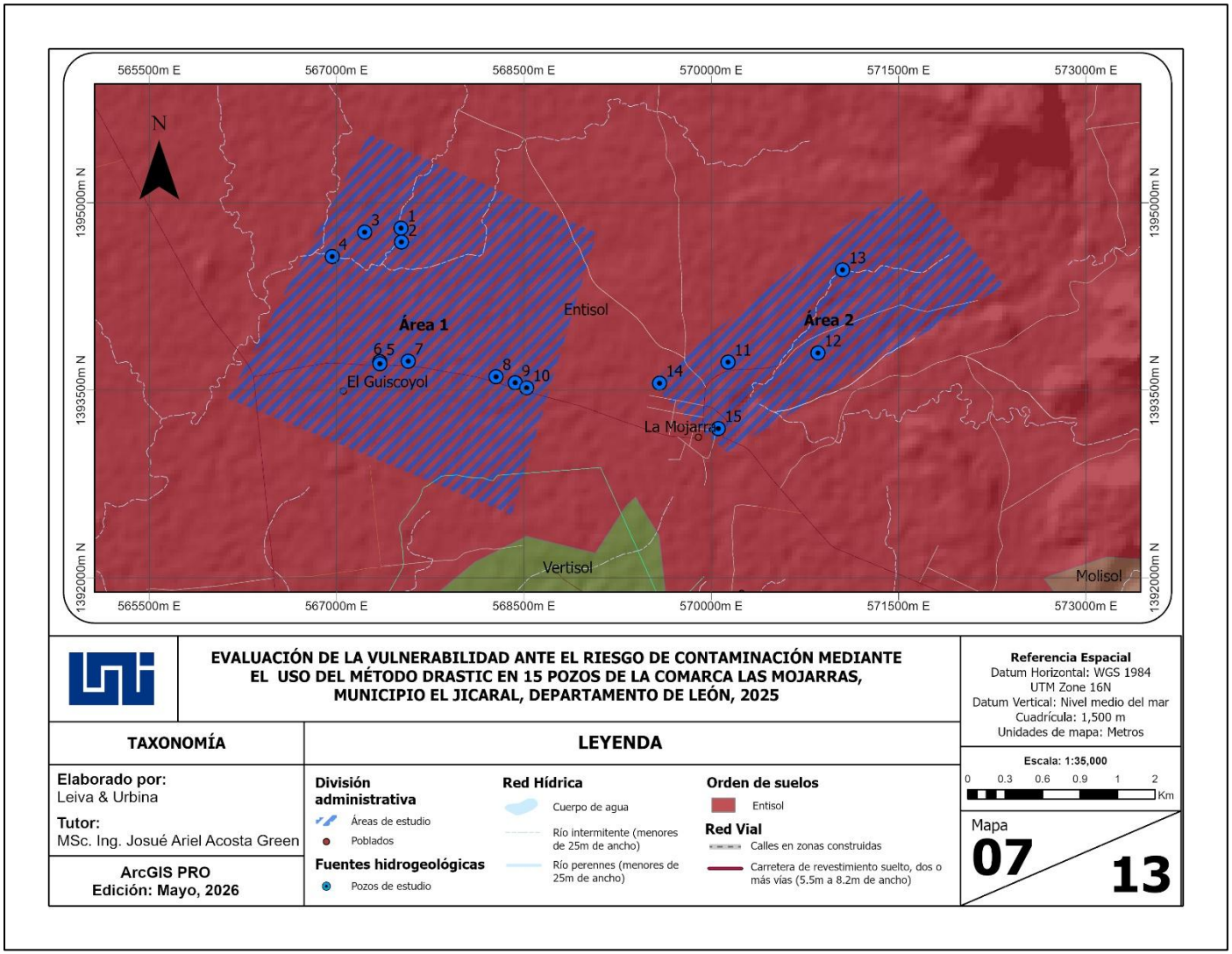


- **Taxonomía**

En el área de estudio se observa un predominio total de suelos del orden Entisoles, específicamente del subgrupo Lithic Ustorthents (LFEB), ver Figura 9. Dentro del sistema Soil Taxonomy (Natural Resources Conservation Service, 2020), los suelos Entisoles representan uno de los 12 órdenes principales comunidad científica internacional y se caracterizan por la ausencia de horizontes subsuperficiales, el grupo Ustorthents se desarrolla bajo regímenes de humedad ústicos, típicos de regiones con estaciones marcadas de sequía y lluvias.

Los suelos descritos en el Atlas Nacional de Suelos de INETER (2021, p. 56), ver mapa en Anexos C7, pág. xiii, se caracterizan por ser unidades jóvenes y poco evolucionadas, con un contacto rocoso a 50 cm de profundidad o menos en las zonas de planicies. En términos generales, los suelos Entisoles presentan variantes con texturas franco-arenosas y suelen ubicarse en tierras erosionadas o de condiciones semiáridas (Ortiz-Solorio & Gutiérrez-Castorena, 2014).

Figura 9. Mapa de orden de suelos de las áreas de estudio

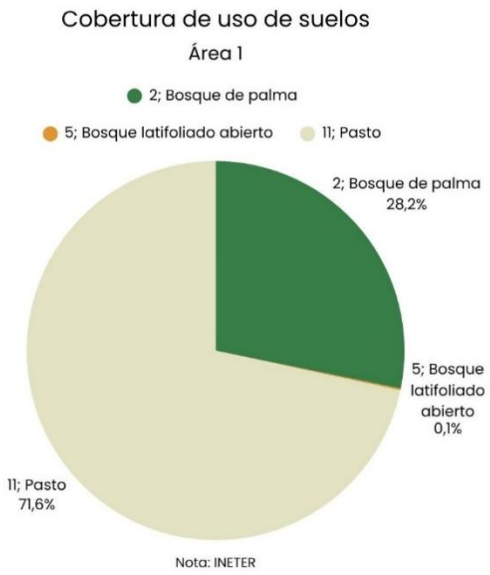


- **Uso de suelos**

El análisis del uso de suelo dentro de las áreas de estudio con base en el mapa temático (Figura 12) muestra diferencias significativas en la distribución espacial de las coberturas. Como se observa en la Figura 10, en el Área 1 predomina ampliamente la cobertura asociada a pasto, que representa aproximadamente 71.6% del área total. El pastizal tropical está definido como zonas tropicales de gramíneas, leguminosas o mezclas de gramíneas y leguminosas sembradas para el pastoreo de ganado o la producción de cultivos de semillas (Urbina, 2024).

La cobertura de bosque de palma comprende un 28.2%, mientras que el bosque latifoliado abierto ocupa una proporción mínima de 0.1%. Esta composición refleja un paisaje con predominio de áreas abiertas utilizadas para actividades agropecuarias, y una presencia reducida de cobertura boscosa.

Figura 10. Porcentaje de cobertura de uso de suelos del Área 1

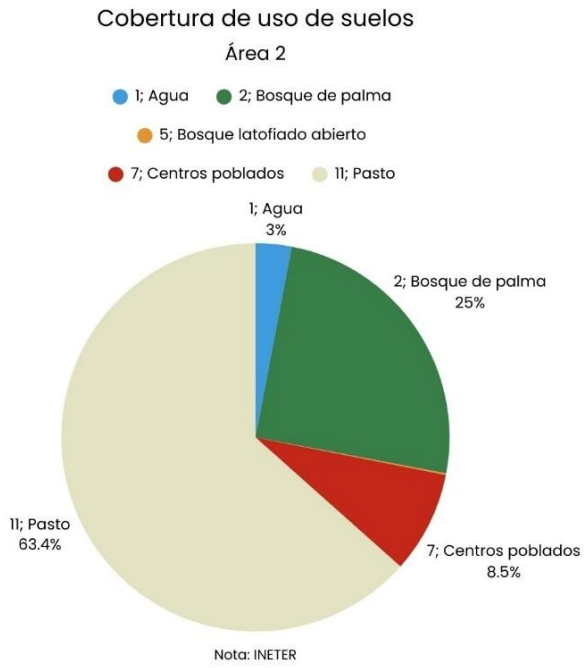


Nota: Elaboración propia a partir del mapa de uso y cobertura de suelos (INETER)

El Área 2 presenta una estructura de uso del suelo más heterogénea y con mayor influencia humana. Como se observa en la Figura 11, la cobertura predominante corresponde al pasto, que abarca aproximadamente 63.4% del área total, luego la

clasificación bosque de palma con un 25%, seguido por los centros poblados, que representan alrededor de 8.5% (lo que coincide con las observaciones en la primera visita de campo). También se identifica una pequeña proporción de cuerpos de agua (aproximadamente 3%) y una presencia mínima de bosque latifoliado abierto.

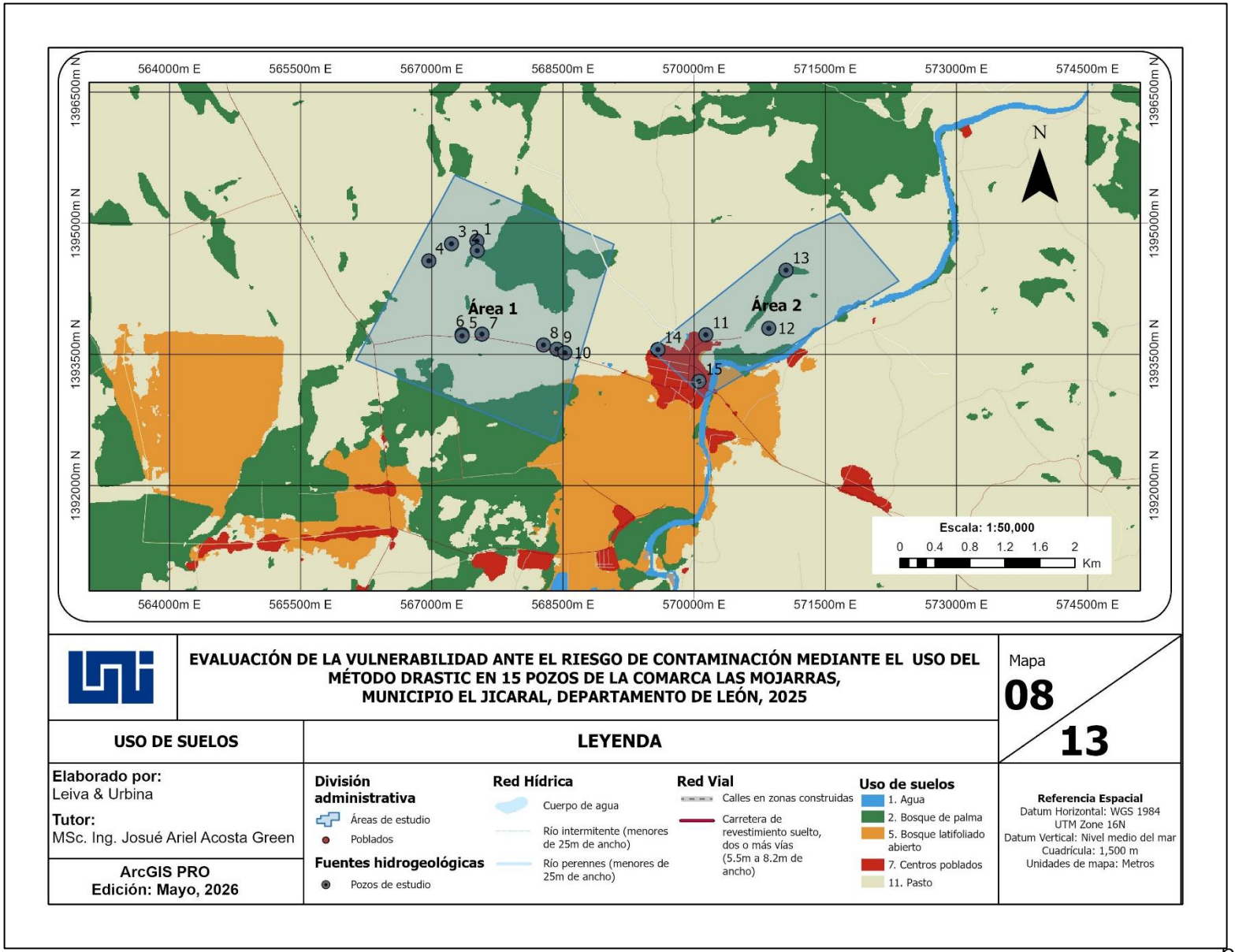
Figura 11. Porcentaje de coberturas de uso de suelos del Área 2



Nota: Elaboración propia a partir del mapa de uso y cobertura de suelos (INETER).

El SINIA-MARENA en su evaluación de la cobertura forestal (MARENA, 2010) desde 1983 describe la categoría de Bosque Latífoliado abierto como un bosque compuesto por especies que no son coníferas o sea que no son pinares, la característica principal es que son especies de hoja ancha y se llama abierto porque ha sido intervenido o sea que la copa de los árboles ocupa entre 40 y 70 % por unidad de área, en cambio, los bosques de palma se refieren a la asociación vegetal compuesta por especies de hoja ancha y palma (FAO, 2010)

Figura 12. Mapa de uso de suelo



- **Propiedades físicas**

En la Figura 13 aparecen los puntos de muestreo ubicados estratégicamente para determinar las propiedades físicas del suelo (ver coordenadas en la Tabla 12)

Figura 13. Mapa de puntos de muestreo de suelo y velocidad de infiltración

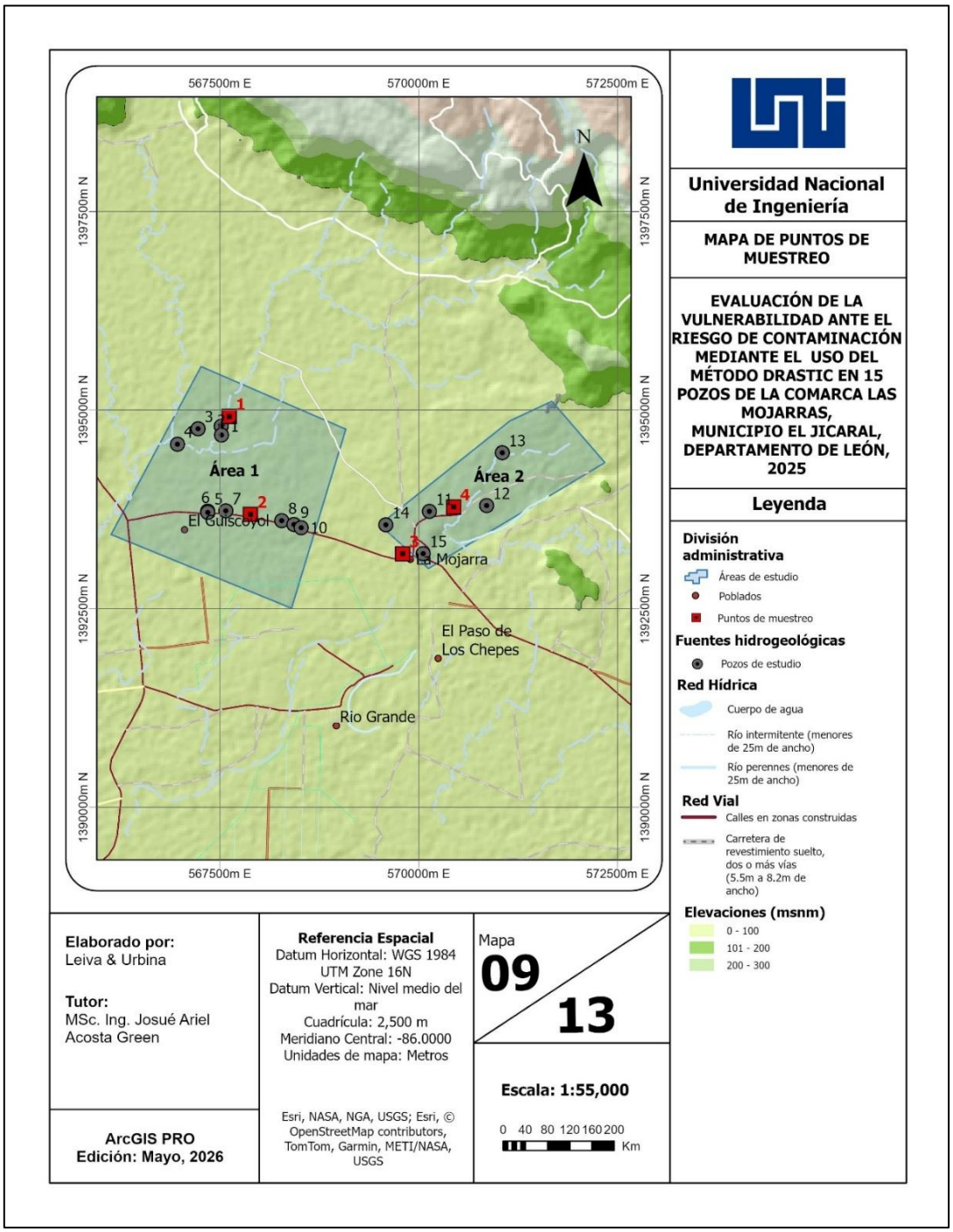


Tabla 12. Ubicación de los puntos de muestreo

Área	Muestreo	Nombre del pozo más cercano	Referente	UTM X	UTM Y
1	1	Máximo de Jesús Leiva	La Palizada Leiva	567616	1394919
	2	Nuri Díaz	Nuri Díaz	567883	1393687
2	3	Comunitario	Mario Ordoñez	570439	1393780
	4	Margarito Orozco	San Antonio	569798	1393191

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 13 se presentan los resultados para las variables evaluadas: densidad real, densidad aparente, capacidad de campo y porosidad derivadas de los cálculos en el documento técnico de laboratorio.

Tabla 13. Resultados de laboratorio de las propiedades físicas del suelo

Área	Pozo	Da (g/cm^3)	Dr (g/cm^3)	Porosidad (%)	CC (%)	Textura
1	La Palizada	1.40	2.62	46.56	32.00	Franco – Arcillo – Arenoso
	Nuri Díaz	1.38	2.60	46.92	29.00	Franco – Arcilloso
2	Don Margarito	1.42	2.64	46.21	36.00	Franco – Arcillo - Arenoso

Nota: Elaboración propia a partir de resultados de laboratorio.

En el Área 1, los valores de densidad aparente oscilan entre 1.38 y 1.40 g/cm^3, mientras que la densidad real varía entre 2.60 y 2.62 g/cm^3. Estos valores generan una porosidad aproximada cercana al 46.5%, lo que indica una adecuada proporción de espacios vacíos en el suelo, favoreciendo la retención y circulación de agua y aire. En cuanto a la capacidad de campo, se registran valores de 32% y 29%, evidenciando una variabilidad moderada en la retención de humedad dentro de esta área.

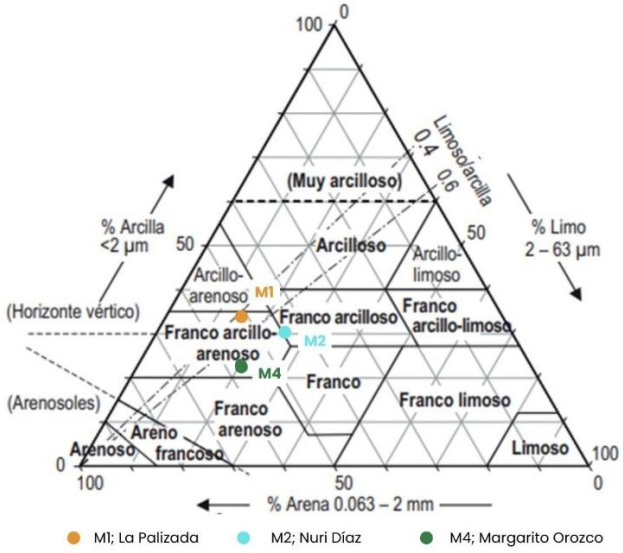
Para el Área 2, en la muestra 3, la densidad aparente es de 1.42 g/cm^3 y la densidad real de 2.64 g/cm^3, con una porosidad estimada de 46.21%, valor similar al

registrado en el Área 1. La capacidad de campo en esta área muestra valores ligeramente superiores (35.5% y 36%), lo que sugiere una mayor capacidad de retención de agua en comparación con el Área 1.

En términos generales, los valores de densidad aparente pertenecen a la clasificación de suelos franco, ver Anexo C4 pág. xi, y la densidad real a la clasificación de suelos arenosos, ver Anexo C5 pág. xii. Los resultados son relativamente homogéneos entre las áreas analizadas, indicando características físicas similares del suelo. Sin embargo, la capacidad de campo presenta una ligera tendencia a ser mayor en el Área 2, lo que podría estar relacionado con diferencias en la textura o el contenido de materia orgánica del suelo.

En la representación gráfica del Triángulo Textural del USDA (Figura 14) se presentan los resultados de la clasificación textural. Las muestras correspondientes al Área 1 presentan texturas franco arcillo-arenosa y franco arcilloso, mientras que en el Área 2 únicamente se identificó la textura franco arcillo-arenosa, de modo que, se determina una baja variabilidad en la textura del suelo entre las áreas estudiadas.

Figura 14. Triángulo textural USDA



Nota: Elaboración propia a partir de resultados de laboratorio de suelos.

7.1.3. Geología

Respecto a la división provincial que efectúa (Hodgson, 2006) con base en la geología y estructuras, el área de estudio se encuentra en la Provincia de la Depresión (II) y Provincia Central (III), la que se caracteriza por presentar una expresión morfológica caracterizadas por una fuerte influencia volcánica y una morfología asociada tanto a rellenos cuaternarios como a estructuras tectónicas activas.

La cartografía geológica se elaboró a partir del Mapa Geológico Minero de Nicaragua (1985), (ver Anexo D1, pág. xv) permitiendo identificar las unidades litológicas, sistemas geológicos y estructuras tectónicas que influyen directamente en el comportamiento hidrogeológico del área. A continuación, se detallan las diferentes formaciones y unidades litológicas y posiciones estratigráficas:

- **Grupo Cuaternario (Qal)**

El mapa geológico (Figura 15) muestra que predominan materiales del Cuaternario Aluvional (QIII–IV) representados por depósitos aluviales antiguos y recientes. Esta unidad cubre en su totalidad el Área 1 y 73% de la superficie en el límite inferior (sur) del Área 2. Estos depósitos están compuestos por arena, grava y arcilla, lo que indica alta porosidad y permeabilidad primaria (Fenzl, 1989). La distribución espacial de esta litología coincide con la presencia de planicies aluviales vinculadas al cauce del río Grande.

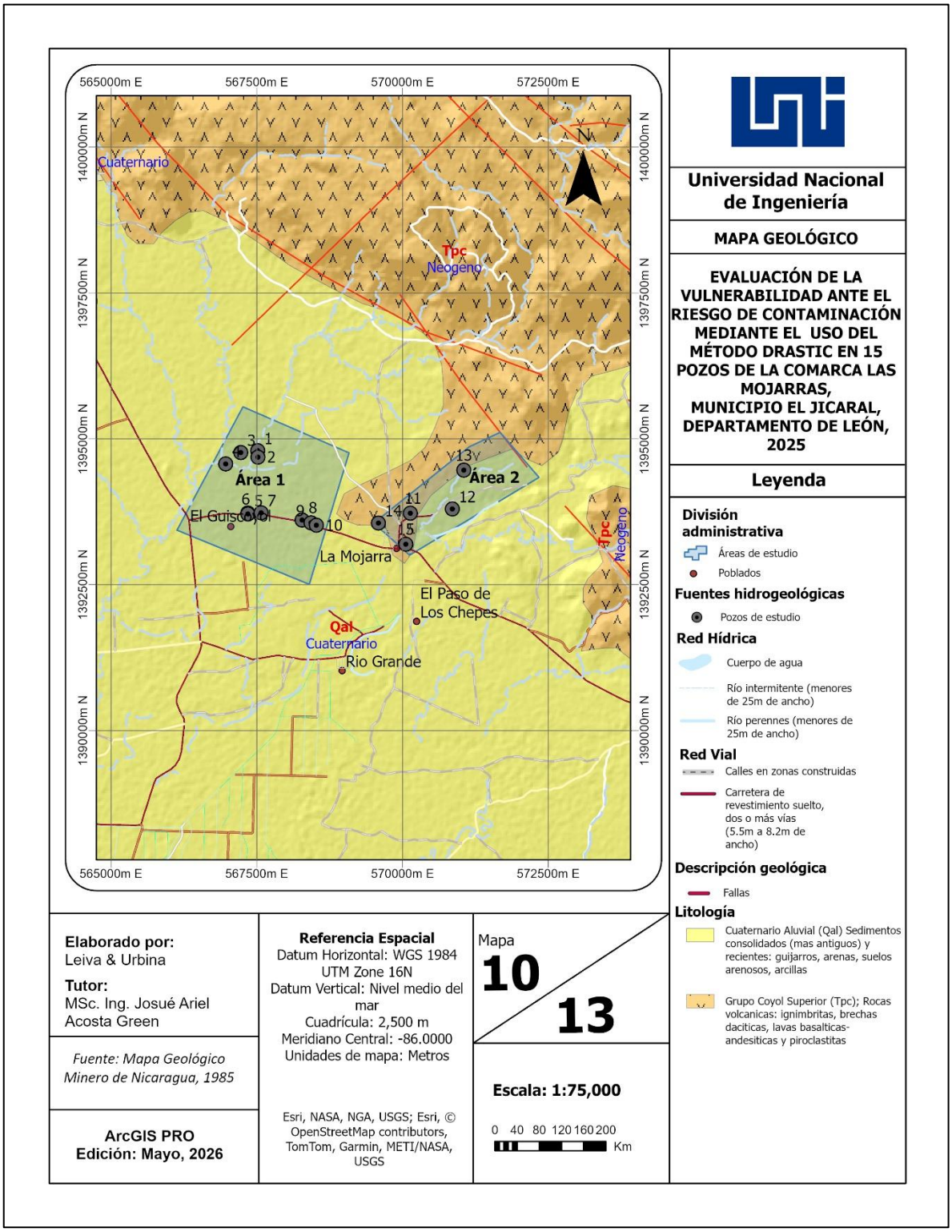
- **Grupo Coyol Superior (Tpcs)**

En contraste, las unidades neógenas N2–C2 del Grupo Coyol Superior se encuentran principalmente al norte y noreste del Área 2, abarcando los pozos 11,13 14 y 15. Fenzl (1989) indica lo siguiente: La formación del grupo Coyol (Mio-Plioceno) posee una espesura de 200 metros hasta 2,300 metros en donde predominan las lavas basálticas, andesíticas y dacíticas, aglomerados, ignimbritas y tobas intermedias y ácidas con una permeabilidad secundaria (ver descripción de la estratigrafía de las provincias geológicas de Nicaragua en Anexo D3, pág. xvii).

- **Geología estructural**

El análisis del mapa geológico muestra que la mayor densidad de fallas se localiza fuera del área de estudio; sin embargo, se incluyó de manera deliberada el sector noroeste de Área 2 para que su límite coincidiera con la traza de una falla regional. Esta decisión respondió al interés de incorporar dentro del análisis hidrogeológico una estructura tectónica relevante, dado que su presencia puede influir de forma directa en la dirección del flujo subterráneo y la conectividad hidráulica entre unidades litológicas.

Figura 15. Mapa geológico de las áreas de estudio



7.2. Caracterización hidrogeológica de la zona de estudio

7.2.1. Hidrogeología

En el Mapa Hidrogeológico de la Hoja Managua, el cual abarca parte del territorio del departamento de León (ver Figura 17) se observa que la delimitación de ambas áreas se realizó tomando como criterio principal los límites naturales de los medios hidrogeológicos identificados en el mapa, asegurando que cada área represente condiciones geológicas y litológicas homogéneas para el análisis.

En la Tabla 14 se muestra la clasificación de transmisividad según Krasny, donde las clases presentes en ambas áreas de estudio es de clase II y III, correspondiente a la categoría Moderada y Alta con un valor entre 10-100 m^2/d y 100 – 1000 m^2/d respectivamente, en el mapa temático se puede visualizar que el Área 2 posee en su totalidad una transmisividad de clase III.

Tabla 14. Clasificación de transmisividades

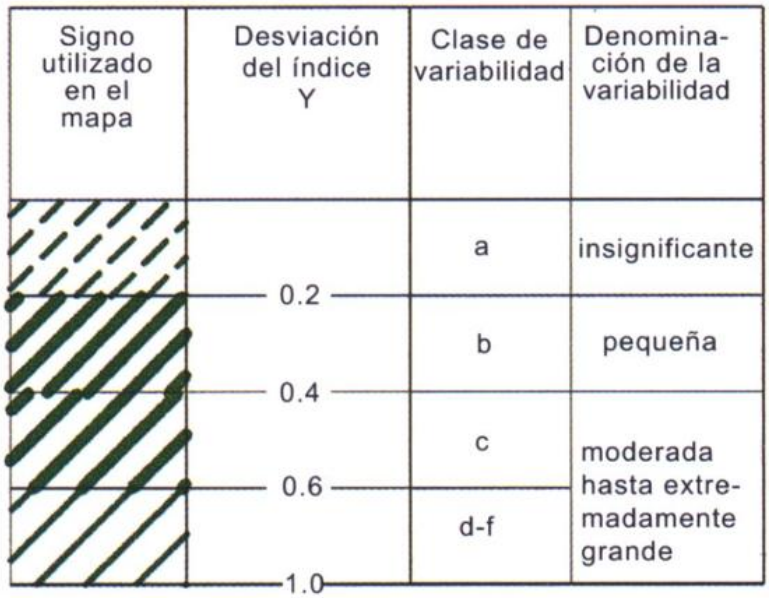
Coeficiente de Transmisividad (m^2/d)	Clase de la Transmisividad	Rango de Transmisividad
>1000	I	Muy alta
100-1000	II	Alta
10-100	III	Moderada
1-10	IV	Baja

Nota: Krásny (1993)

Por su parte, en el Área 1 se encuentra una variabilidad de transmisividades (II-III), encontrándose en el rango de 10 – 1000 m^2/d y su variabilidad es determinada por la desviación estándar de los valores del índice y de la muestra estadística del estudio de Krásny (1993), como se muestra en la Figura 16, donde según el mapa temático es de clase C, equivalente a una variabilidad moderada.

La diferencia en las transmisividades entre las áreas analizadas está directamente relacionada con las características de los medios hidrogeológicos donde se localizan. El Área 1 se sitúa sobre un acuífero estratiforme poroso, conformado por depósitos cuaternarios de origen volcánico y aluvial, lo que favorece una mayor permeabilidad y, por ende, transmisividades más elevadas.

Figura 16. Tratamiento estadístico de la clasificación de Krásny



Nota: Krásny (1993)

Por el contrario, el Área 2 se encuentra en un medio hidrogeológico parcialmente cubierto por depósitos aluviales cuaternarios distribuidos a lo largo de los ríos o de la Costa Pacífica, además de presentar afloramientos del Grupo Las Sierras. Estas unidades geológicas poseen características menos favorables para el flujo subterráneo, lo que explica la menor transmisividad registrada en esta zona. Los resultados concuerdan con el acápite de Geología donde la transmisividad y otras valoraciones hidráulicas según el tipo de formación se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 15. Resumen de caracterización hidrogeológica del área de estudio

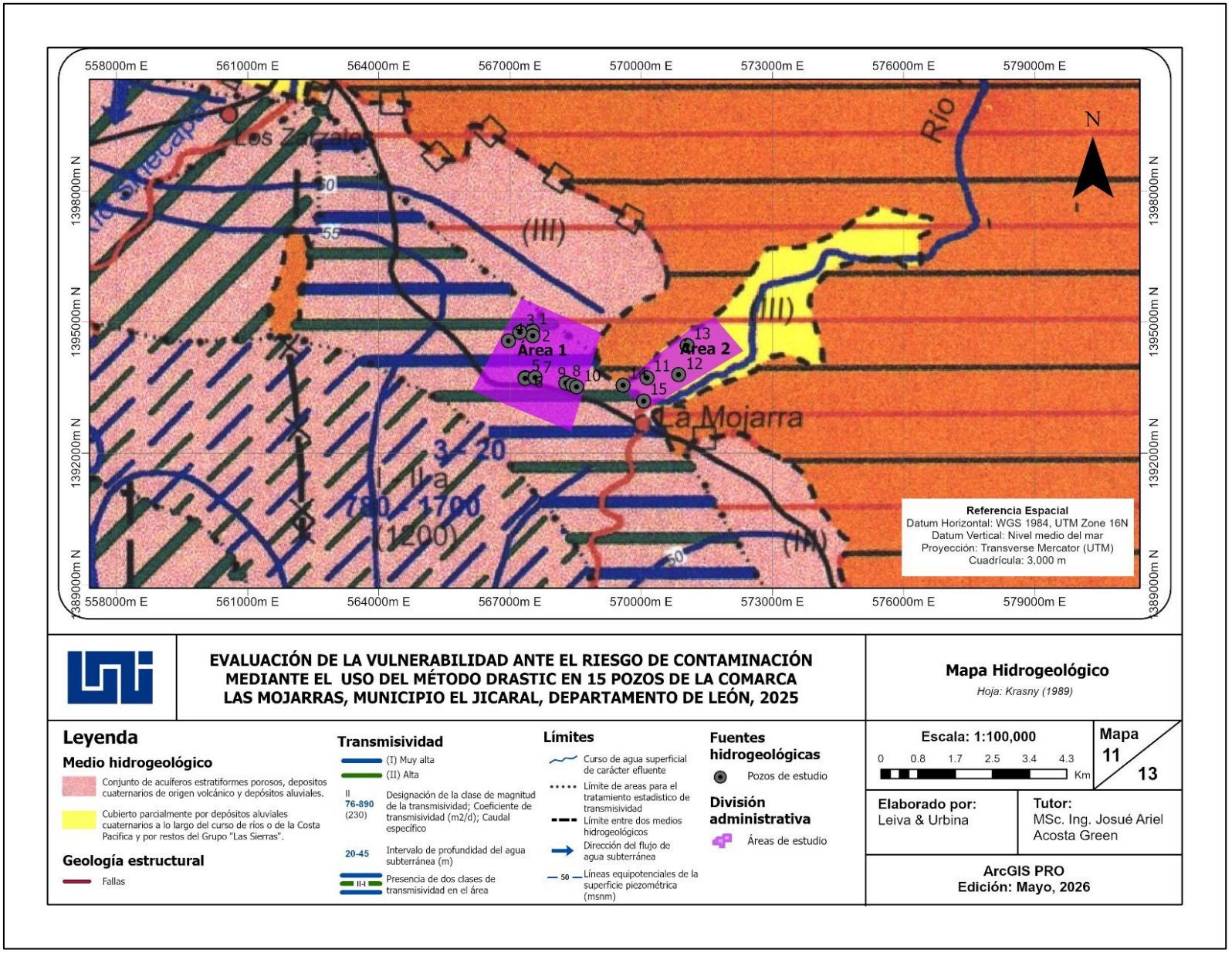
Tipo de Formación/Roca	**Medio Hidrogeológico**	**Transmisividad**	**Permeabilidad**
Cuaternario (Q)	Poroso	Baja/Alta	Excelente
Coyol (Tmc/Tpc)	Fisurado/Poroso	Nula/Alta	Variable

Nota: Castillo H. (2004).

- **Piezometría del acuífero**

Respecto a la valoración de las condiciones del agua subterránea la profundidad del nivel freático reflejada por las curvas piezométricas oscila entre 50 a 55 m, lo que concuerda con los resultados presentados en las Tabla 16, en el apartado 7.3.1. Profundidad del agua subterránea. Asimismo, el gradiente hidráulico indica que la dirección de flujo se dirige hacia el lago Xolotlán, lo cual es coherente con la topografía regional.

Figura 17. Mapa hidrogeológico de las áreas de estudio



7.3. Propiedades hidráulicas del acuífero

7.3.1. Profundidad del agua subterránea

Respecto a la metodología planteada se logró realizar un inventario de 15 fuentes subterráneas, logrando determinar el nivel estático del agua en 12 de ellas. Los datos obtenidos (ver Tabla 16) demuestran que en el Área 1 las profundidades registradas varían entre 6.03 a 8.54 m, con un valor promedio de 7.4 m y en el Área 2 los valores de profundidad registrados fueron más variables con datos de 11.8, 6.19 y 16.22 m para los pozos 11,12 y 14, respectivamente, obteniendo un promedio de 11.4 m.

Tabla 16. Características físicas de los pozos de las áreas de estudio

Área	Pozo No.	Tipo de perforación	Elev (m)	Ø (m)	Profundidad (m)	Brocal (m)	NEA (m)	NF (m)
1	1	Excavado	62	1.18	7.76	0.6	7.16	54.84
	2	Excavado	61	1.8	6.63	0.6	6.03	54.97
	3	Excavado	60	0.85	6.45	0.73	5.72	54.28
	4	Excavado	62	2	ND	0.4	ND	-
	5	Excavado	61	1.06	7.93	0.5	7.43	53.57
	6	Excavado	61	1.25	8.6	0.62	7.98	53.02
	7	Excavado	60	0.91	8.12	0.82	7.3	52.7
	8	Excavado	63	1.6	9	0.55	8.45	54.55
	9	Excavado	67	1.08	8.97	0.72	8.25	58.75
	10	Excavado	64	0.87	8.94	0.4	8.54	55.46
2	11	Perforado	62	4	12.00	0.2	11.8	50.2
	12	Excavado	61	1.58	6.69	0.5	6.19	54.81
	13	Excavado	60	1.5	ND	0.8	ND	ND
	14	Excavado	62	1.3	16.72	0.5	16.22	45.78
	15	Excavado	61	ND	ND	0	ND	ND

Nota: Elaboración propia a partir de observaciones y mediciones obtenidas durante visita de campo. / Elev: Elevación / **Ø**: Diámetro de apertura / ND: No Determinado.

7.3.2. Hidráulica de pozos

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 17, los caudales registrados durante las pruebas de bombeo en los pozos seleccionados oscilaron entre 5.4 y 20 gpm, lo que corresponde a un intervalo de 29.17 m³/d a 114.52 m³/d.

Tabla 17. Caudales por el método volumétrico

Área de estudio	Prueba No.	Pozo No.	Tiempo promedio (seg)	Volumen (gal)	Q (gpm)	Q (m^3/d)
1	1	1	13.52	4.5	20.0	108.85
	2	6	12.85	4.5	21.0	114.52
	3	9	50.45	4.5	5.4	29.17
2	4	12	28.84	4.5	9.4	51.03

Nota: Elaboración propia a partir de medición de descarga in situ.

- **Datos técnicos de los pozos**

En su mayoría, los pozos evaluados disponían con equipo de bombeo TRUPER con motor de 1 a 1 ½ Hp y tuberías de descarga de 1 ½". Otros datos técnicos necesarios para la entrada en el software AQTESOLVE se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 18. Datos técnicos de los pozos seleccionados para pruebas de bombeo

Área	Pozo	Ø[1] de apertura (m)	Prof[2] (m)	Brocal (m)	NEA (m)	REQ[3] (in)	B[4] (m)
1	La Palizada Leiva	1.18	11.43	0.6	8.56	1 1/2"	2.87
	El Diamante 2	1.25	12	0.62	9.33	1 1/2"	2.67
	Nuri Díaz	1.08	11.7	0.72	10.21	1 1/2"	1.49
2	La Ceibita	1.58	12.6	0.5	8.52	1 1/2"	4.08

Nota: Elaboración propia a partir de medición en campo.

[1] *Ø = Diámetro*
[2] *Prof = Profundidad del pozo*
[3] *REQ = Diámetro de tubería de descarga*
[4] *B = Columna de agua*

En la Tabla 18 se observa un descenso aproximado de 2.5 m en el nivel estático del agua durante la época seca, en comparación con las mediciones realizadas en época lluviosa (ver Tabla 16, acápite 7.3.1.). Este comportamiento se debe a la estacionalidad climática, caracterizada por una menor recarga del acuífero debido a la disminución de las precipitaciones y a un incremento en la extracción de agua para diversos usos.

- **Transmisividad (T)**

De acuerdo con las características hidrogeológicas del acuífero, se aplicó el modelo para acuíferos semiconfinados (leaky aquifer) mediante la solución de Hantush-Jacob (1955) (ver Anexo H. Criterios para la selección del método de análisis según el acuífero, pág. xxvii).

$$s = \frac{Q}{4\pi T} w(u, r/B) \quad \textbf{(Ecuación 18)}$$

Donde:

s = abatimiento observado (m)

Q = caudal de bombeo (m³/s)

T = transmisividad del acuífero (m²/s)

W(u,r/B) = función de pozo de Hantush-Jacob

Los parámetros auxiliares de la ecuación están definidos por:

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \text{ , y, } B = \frac{r^2 S}{4Tt}\sqrt{\frac{Tb'}{K'}}$$

Donde:

s = abatimiento (m)

Q = caudal de bombeo (m³/s)

T = transmisividad (m²/s)

r = distancia radial (m)

t = tiempo (s)

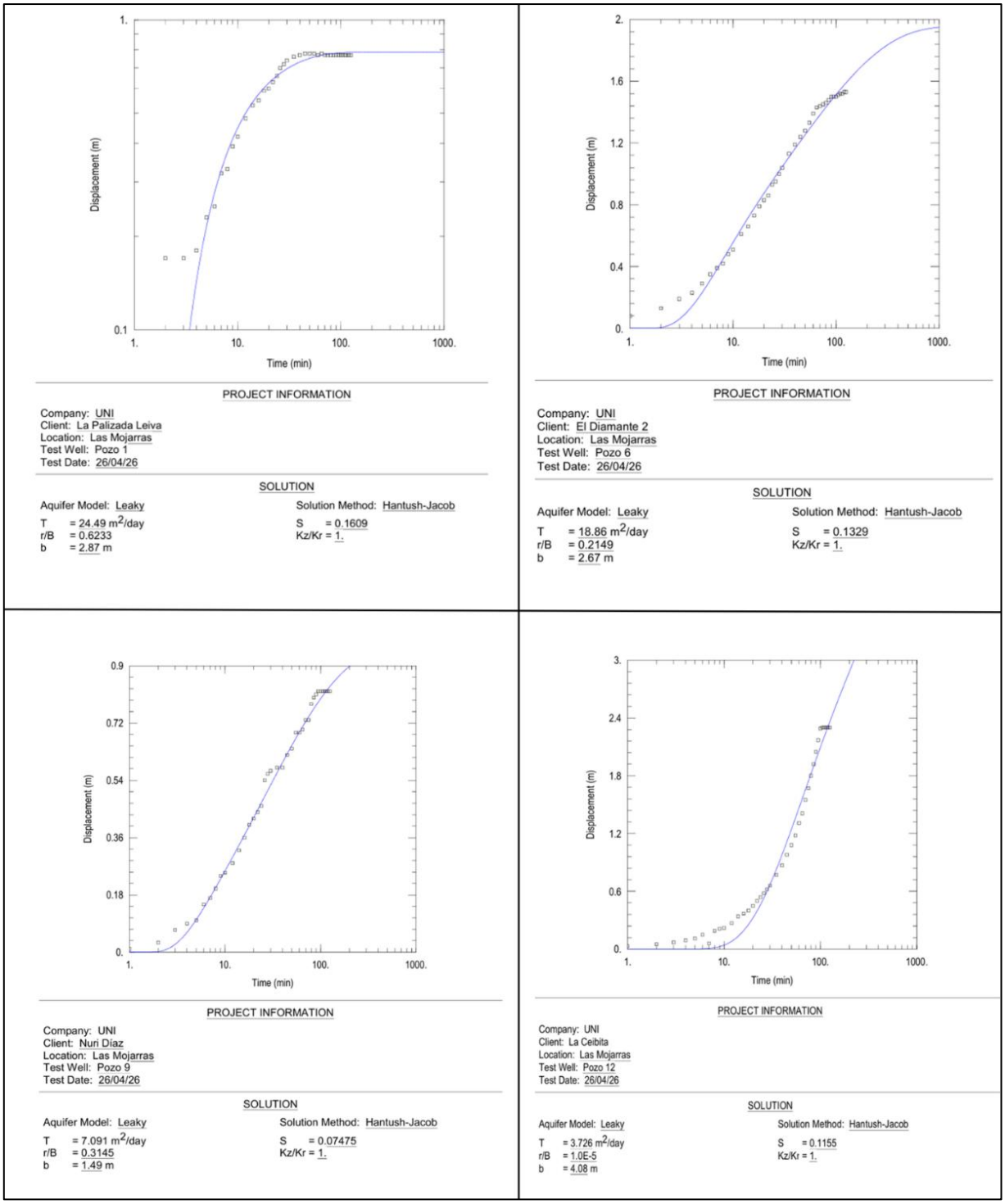
S = coeficiente de almacenamiento (-)

B = factor de fuga (m)

b' = espesor del acuitardo (m)

K' = conductividad hidráulica vertical del acuitardo (m/s)

Figura 18. Procesamiento de las pruebas de bombeo en AQTESOLVE



Nota: Elaboración propia a partir del procesamiento en AQTESOLVE.

A partir de la información presentada en la Tabla 19 y los registros de las pruebas de bombeo, se procesó la información en el software AQTESOLVE dando como resultado las gráficas abatimiento vs tiempo (ver Figura 18), donde se muestra la relación entre el tiempo (expresado en minutos y en escala logarítmica) y el descenso del nivel del agua (m) en los ensayos de bombeo. Los puntos corresponden a los datos medidos, mientras que la línea azul representa el ajuste teórico basado en el modelo hidráulico aplicado.

Como se puede observar en la Tabla 19, para las pruebas de los pozos del Área 1 se obtuvo una transmisividad promedio de 16.74 m²/d, las cuales pertenecen a la clase III, moderada, con valores estimados que varían entre los 10 m²/d a 100 m²/d según la clasificación de Krásny (1999). En el caso del Área 2, se obtuvo una transmisividad de 3.73 m²/d. Los valores de transmisividad para ambas áreas de estudio concuerdan con el rango de transmisividad (3 a 20 m^2/d) expuesto en el mapa hidrogeológico de Krásny (ver Figura 17, pág. 53).

Tabla 19. Clasificación de la transmisividad para los pozos seleccionados

Área	T (m^2/d)	T promedio (m^2/d)	Coeficiente de transmisividad (m^2/d)	Clases de transmisividad	Rango de Transmisividad
1	24.29	16.74	10 - 100	III	Moderada
	18.86		10 - 100	III	Moderada
	7.09		1 – 10	IV	Baja
2	3.73	3.73	1 - 10	IV	Baja

Nota: Krásny (1999)

Estos resultados indican que el Área 1 posee mejor rendimiento (velocidad de fluido y productividad hidráulica). Tal como se indica en la adaptación de HGA (2023) sobre la clasificación de Villanueva e Iglesias (1984) acerca del terreno y tipo de acuífero según su transmisividad (Tabla 20), las áreas de estudio pertenecen a la clasificación poco permeable y algo permeable, descritos como acuíferos muy pobres a pobres, y con tipo de materiales limo arenoso, limo y arcilla limosa, arena fina, limosa, caliza poco fracturada y basaltos.

Tabla 20. Tipo de acuífero según transmisividad

T	Calificación del terreno	Calificación del acuífero	Tipo de materiales
T < 1 m²/d	Impermeables	Sin acuífero	Arcilla compacta; Pizarra; Granito
1 - 10 m²/d	Poco permeable	Acuífero muy pobre	Limo arenoso; Limo; Arcilla limosa
10 - 100 m²/d	Algo permeable	Acuífero pobre	Arena fina; Arena limosa; Caliza poco fracturada; Basaltos
100 - 1000 m²/d	Permeable	Acuífero de regular a bueno	Arena limpia; Grava y arena; Arena fina; Caliza fracturada
> 1000 m²/d	Muy permeable	Acuífero excelente	Grava limpia; Dolomías; Calizas muy fracturadas

Nota: Villanueva e Iglesias (1984) adaptado por HGA (2023).

- **Conductividad hidráulica (K)**

El valor promedio de conductividad hidráulica obtenido en el Área 1, 6.19 m/d (7.17 x 10^{-5} m/s), indica que el acuífero puede tener una capacidad de transmisión de agua de moderada a buena, lo que sugiere un medio compuesto principalmente por arena media, con posible presencia de arena fina o limosa (ver Tabla 21). De manera similar, el Área 2, con un valor de 0.91 m/d (1.05 x 10^{-5} m/s), se ubica dentro del mismo rango, por lo que también corresponde a materiales de permeabilidad moderada.

Tabla 21. Valores de la conductividad hidráulica

Material geológico	K (m/s)	Descripción
Grava limpia	10^{-2} a 10^{-1}	Muy alta, ideal para pozos de gran rendimiento
Arena media	10^{-5} a 10^{-3}	Buena transmisividad
Arena fina o limosa	10^{-6} a 10^{-4}	Baja a moderada
Arcilla compacta	10^{-9} a 10^{-7}	Muy baja, casi impermeable
Caliza kárstica fracturada	10^{-5} a >10^{-1}	Extremadamente variable
Granito fisurado	10^{-7} a 10^{-4}	Depende de las fracturas

Nota: Rodrigo Clavero et al., (2025)

- **Capacidad especifica (CE)**

Con base en los resultados de capacidad específica (Tabla 22), se determinó que el Área 1 presenta un valor promedio de 83.48 m^3/d/m, lo que indica una alta eficiencia hidráulica y una elevada productividad del acuífero. En contraste, para el Área 2 se obtuvo una capacidad específica de 21.8 m^3/d/m, esto sugiere una menor capacidad de transmisión del acuífero, así como una mayor resistencia al flujo subterráneo, lo que se traduce en abatimientos más pronunciados frente a condiciones similares de extracción.

En resumen, los resultados muestran que el Área 1 presenta valores promedio de transmisividad (16.74 m^2/d), capacidad específica (83.48 m^3/d/m) y conductividad hidráulica (6.19 m/d), superiores a los del área 2, donde se obtuvieron valores de 3.73 m^2/d, 21.8 m^3/d/m y 0.91 m/d, respectivamente, evidenciando diferencias en el comportamiento hidráulico entre ambas zonas de estudio.

Tabla 22. Parámetros hidráulicos de los pozos evaluados

Área	Pozo	Transmisividad (m^2/d)	Abatimiento (m)	CE (m^3/d/m)	K (m/d)
1	La Palizada Leiva	24.49	0.78	139.75	8.53
	El Diamante 2	18.86	1.53	74.81	7.06
	Nuri Diaz	7.09	0.82	35.89	2.99
2	La Ceibita	3.73	2.35	21.8	0.91

Nota: Elaboración propia a partir de resultados de prueba de bombeo.

- **Coeficiente de almacenamiento (S)**

El coeficiente de almacenamiento utilizado en este estudio fue adoptado del trabajo hidrogeológico realizado para la región del Pacífico de Nicaragua por Fenzl (1989), en el cual se reporta un valor de 0.001 para acuíferos semiconfinados. También se cuenta con la clasificación de Villanueva e Iglesias (1984) adaptado por HGA (2023) para el valor de S según el tipo de acuífero (ver Tabla 23).

Tabla 23. Tipos de acuíferos según su coeficiente de almacenamiento

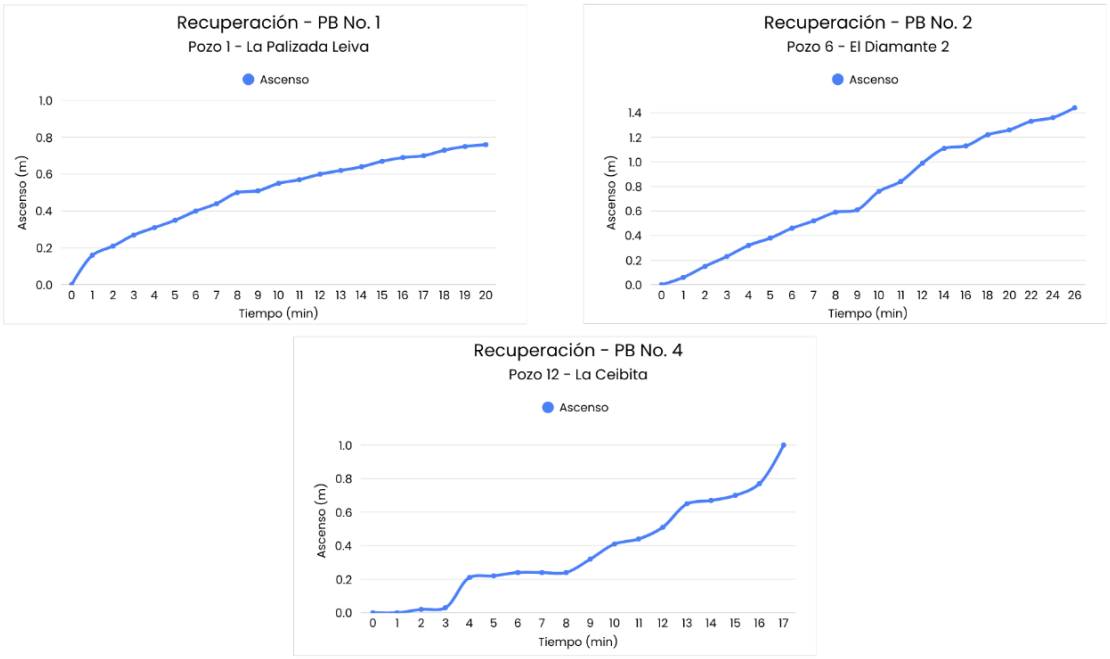
Acuífero	Exponencial
Libre	<10^-3
Semiconfinado	10^-2 - 10^-3
Confinado	>10^-4

Nota: Villanueva e Iglesias (1984) adaptado de HGA (2023)

- **Recuperación**

Los pozos La Palizada y El Diamante 2 del Área 1 presentaron una recuperación del 98% y 94% en tiempos de 20 y 26 minutos, respectivamente (ver Figura 19), lo que sugiere mayor capacidad de recarga y mejores condiciones hidrogeológicas. No fue posible realizar las mediciones del pozo Nuri Díaz debido a limitaciones climáticas. Por otra parte, el pozo 12 del Área 2 mostró una recuperación aproximada del 43%, es importante mencionar que, previo a la prueba de bombeo, el pozo había sido utilizado para extracción de agua, factor que pudo incidir temporalmente en su recuperación.

Figura 19. Recuperación de los pozos evaluados



Nota: Elaboración propia a partir de medición del nivel de agua posterior a las pruebas de bombeo.

- **Radio de influencia**

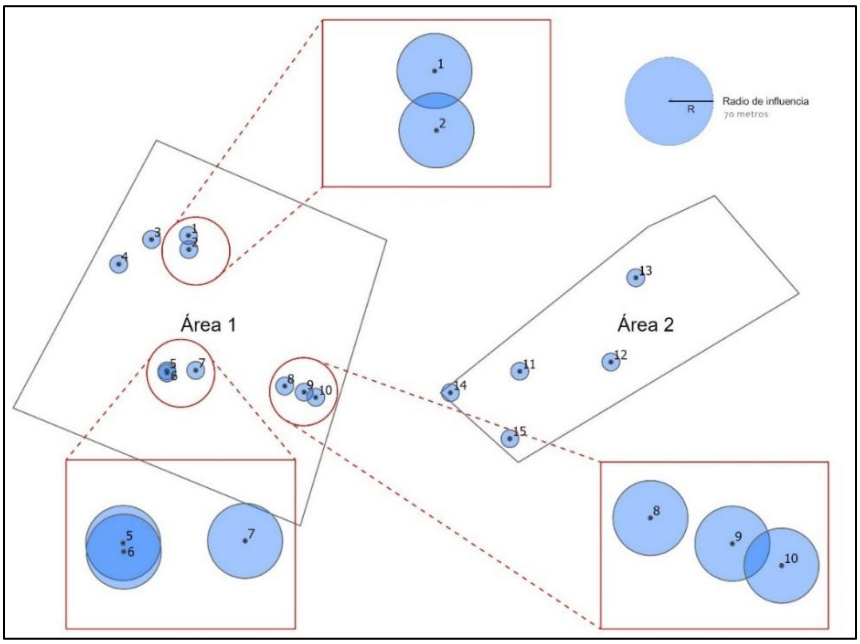
Para la representación gráfica del radio de influencia en las áreas de estudio se utilizó el mayor radio obtenido, correspondiente a 70 m, donde el bombeo de el pozo La Palizada estaría afectando el pozo La Palizada 2, de igual manera otros pozos que se interfieren son El Diamante y El Diamante 2, ya que se encuentran a una distancia aproximada de 16 metros entre sí. El radio de influencia del pozo Nuri Diaz es de 40 metros afectando en sus límites al Pozo El Jicarito (ver Figura 20).

Tabla 24. Radio de influencia

Área de estudio	Nombre	T (m2/d)	Q (m3/d)	t (día)	s	Radio de influencia (m)
1	La Palizada Leiva	24.49	108.85	1	0.001	69.16
	El Diamante 2	18.86	114.52	1	0.001	60.69
	Nuri Diaz	7.09	29.17	1	0.001	37.22
2	La Ceibita	3.73	51.03	1	0.001	26.98

Nota: Elaboración propia a partir de prueba de bombeo.

Figura 20. Radio de influencia



Nota: Elaboración propia a partir de ecuación de Jacob – Cooper.

7.4. Calidad de agua subterránea

7.4.1. Uso y consumo

Con base en la información recopilada del inventario de pozos de estudio se localizaron un total de 14 pozos excavados y 1 pozo perforado. Según los propietarios, estos pozos son utilizados únicamente en época seca para uso doméstico, consumo humano y riego (ver Tabla 25 y 26).

Tabla 25. Uso del recurso hídrico y funcionamiento de los pozos del Área 1

Pozo No.	Área productiva (mz)	Uso del recurso hídrico	Cultivo predominante	Uso previo del suelo	Frecuencia de uso
1	2	Agropecuario	Musáceas	Tierra Virgen	Época Seca
2	18	Ganadería	-	Tierra Virgen	Diario
3	32	Ganadería	Pastizales	Tierra Virgen	Época Seca
4	2	Riego	Guayabas	Potrero	Época Seca
5	9	Agropecuario, Uso Doméstico y Consumo Humano	Cítricos	Potrero	Diario
6	4	Uso doméstico consumo humano	Frutales	Ganadería	Diario
7	3	Agropecuario	Cítricos	Pastizal	Diario
8	3	Riego	Guayabas	Potrero	NO
9	2	Uso doméstico y Agropecuario	Cítricos	Potrero	Diario
10	9	Agropecuario	Maíz y pipián	Potrero	Diario

Nota: Elaboración propia a partir de observaciones durante visita de campo.

Tabla 26. Uso del recurso hídrico y funcionamiento de los pozos del Área 2

Pozo No.	Área productiva (mz)	Uso del recurso hídrico	Cultivo predominante	Uso previo del suelo	Frecuencia de uso
11	2	Riego	-	Tierra Virgen	-
12	12	Agropecuario, Uso Doméstico y Consumo Humano	Plátano y maíz	Cereales (Maíz y Sorgo)	Diario
13	2	Uso Doméstico y Consumo Humano	Frutales	Tierra Virgen	Época Seca
14	1	Uso Doméstico	Frutales	Tierra Virgen	Diario
15	0.4	Uso Doméstico y Consumo Humano	-	-	Diario

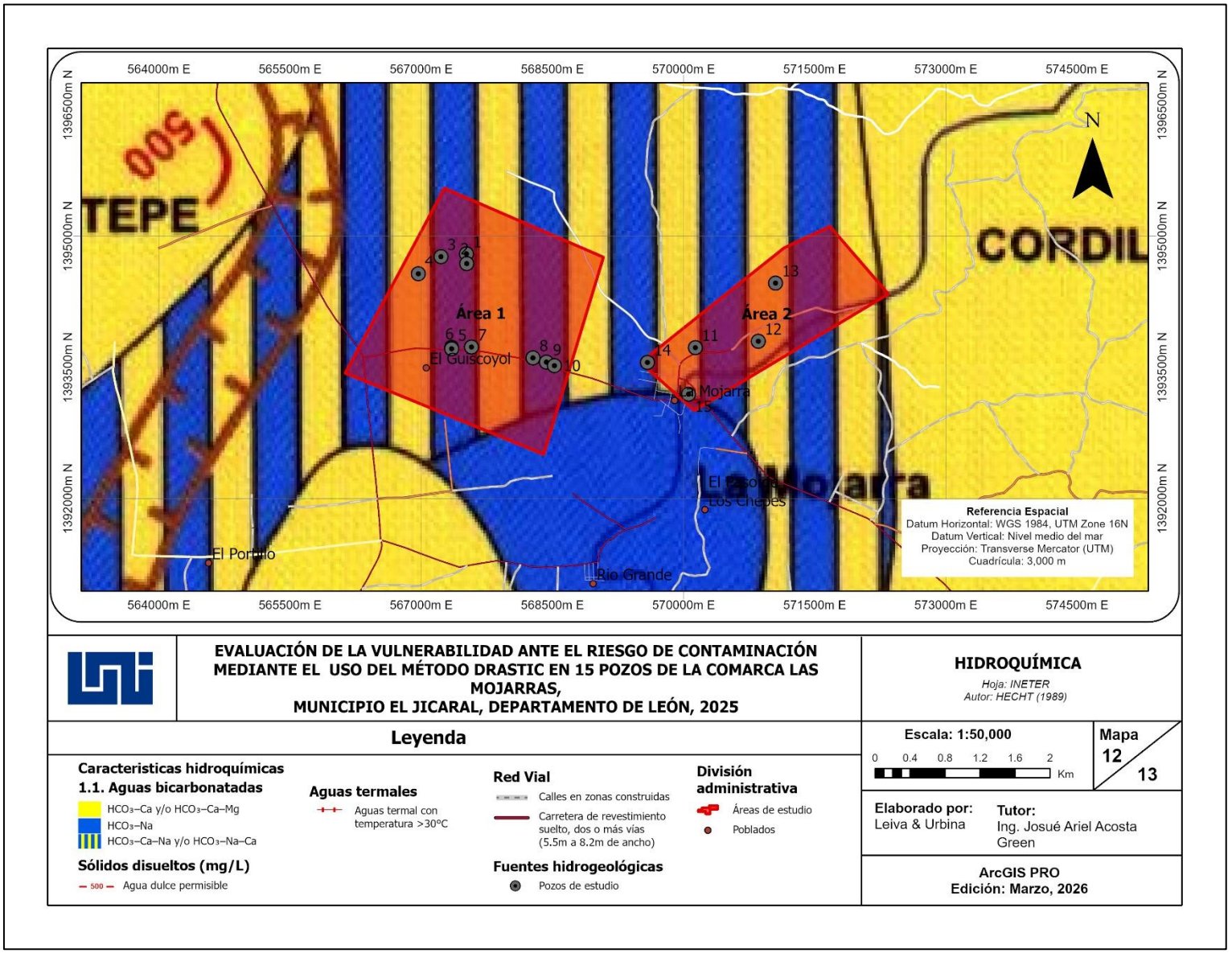
Nota: Elaboración propia a partir de observaciones durante visita de campo.

A partir de la información recopilada durante la gira de reconocimiento, los propietarios infieren en su totalidad que los pozos nunca se han secado y tampoco han notado cambios drásticos en el nivel del agua. Según el Mapa de Uso del Recurso Hídrico del departamento de León (ver Anexo E1 pág. xviii) en las áreas de estudio que comprende las comunidades Las Mojarras y El Guiscoyol poseen alrededor de 43 fuentes subterráneas.

7.4.2. Hidroquímica

Como se puede observar en el mapa hidroquímico (Figura 21), ambas áreas de estudio se caracterizan por la presencia predominante de aguas bicarbonatadas cálcicas (HCO_3–Ca^{2+}) y/o aguas bicarbonatadas mixtas cálcico-sódicas (HCO_3–Ca^{2+}/Na^{+}), donde el flujo del agua según la topografía pasa de agua cálcicas a sódicas. Este tipo de facies hidroquímicas es indicativo de aguas de recarga reciente, asociadas a procesos de disolución de minerales carbonatados y silicatos presentes en el medio geológico.

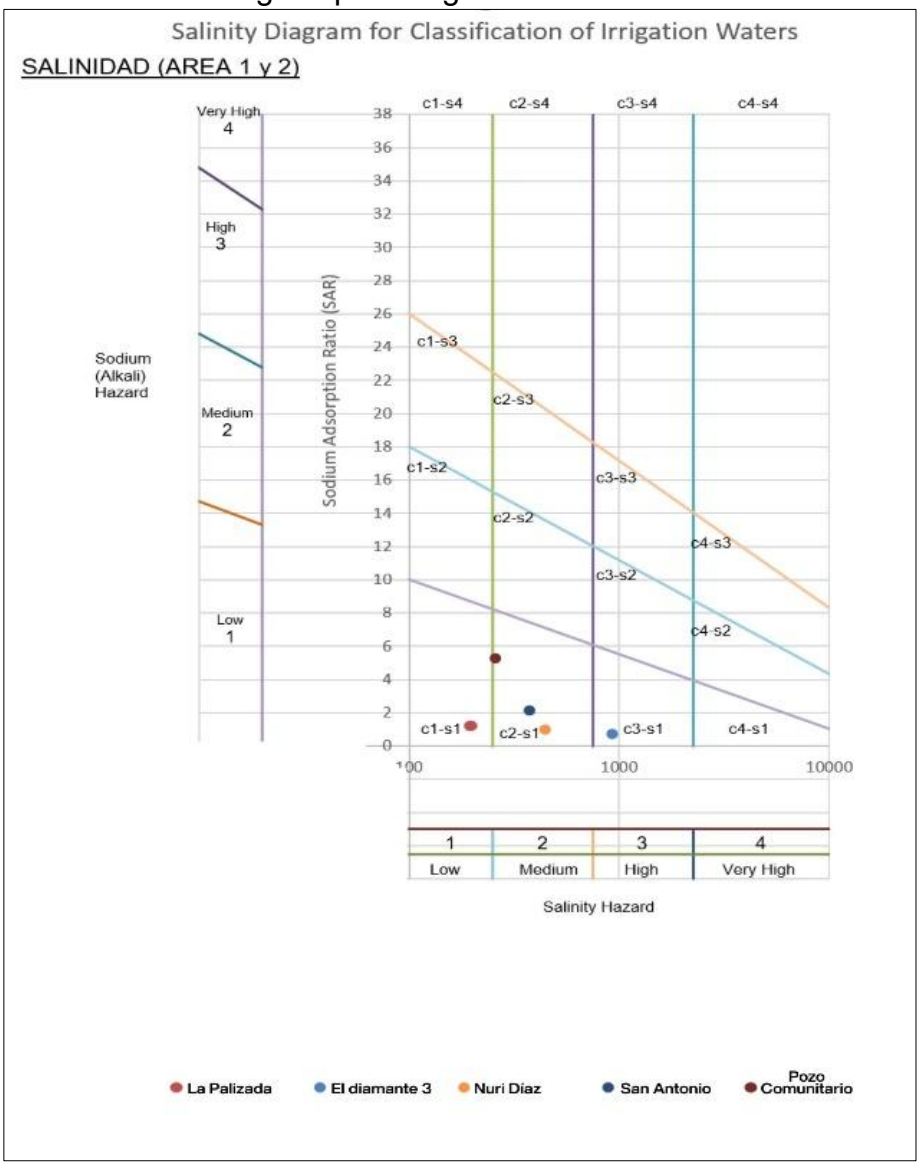
Figura 21. Mapa hidroquímico de la región de León



- **Salinidad**

De acuerdo con la ubicación de las muestras en el diagrama de clasificación de salinidad (Figura 22), los puntos analizados se agrupan en la zona de bajo peligro por sodio, debido a sus valores bajos. Esto indica que el agua presenta una baja proporción relativa de sodio respecto al calcio y magnesio, por lo que el riesgo de dispersión de arcillas, degradación de la estructura del suelo y reducción de la permeabilidad por sodificación es bajo.

Figura 22. Clasificación de aguas para riego



Nota: Elaboración propia utilizando el software EasyQuim.

En el diagrama de salinidad de las Áreas 1 y 2 se observa que todas las muestras se ubican dentro de la categoría S1, lo que indica bajo riesgo de sodificación. La Palizada corresponde a C1-S1, por lo que presenta baja salinidad y bajo riesgo sódico. Nuri Díaz área 1, San Antonio y el Pozo Comunitario del área 2 se ubican principalmente en C2-S1, indicando salinidad media y bajo riesgo por sodio. Por su parte, El Diamante 3 del área 1 se clasifica como C3-S1, reflejando mayor salinidad, aunque sin representar un riesgo sódico significativo.

7.4.3. Análisis de pruebas de laboratorio

Para identificar la composición hidroquímica y la relación entre los diferentes tipos de agua en las fuentes evaluadas, se realizó muestreo por punto durante la época lluviosa del cual se seleccionaron tres pozos representativos del Área 1 y dos pozos del Área 2 (ver Tabla 27).

Tabla 27. Ubicación de los muestreos para calidad de agua

Área	Muestreo	Nombre	Propietario	Este (X)	Norte (Y)
1	1	Palizada Leiva	Máximo de Jesús Leiva	567515	1394797
	2	El diamante 3	Marbeli Orozco	567573	1393732
	3	Nuri Diaz	Nuri Diaz	568430	1393560
2	4	San Antonio	Margarito Orozco	570133	1393725
	5	Comunitario	Comunitario	570055	1393193

Nota: Elaboración propia.

7.4.4. Parámetros organolépticos

- **Turbiedad y color verdadero**

Los resultados demuestran una variación estacional marcada, influenciada por la precipitación y las condiciones locales de cada punto. Mientras que la mayoría de las fuentes cumplen con la normativa, existen casos puntuales de incumplimiento que pueden ser asociados a procesos de escorrentía en época lluviosa.

El pozo San Antonio del área 2 registra valores elevados de 11.8 UNT y 24 mg/L, superando los límites permisibles, lo que indica contaminación o arrastre significativo de

materiales durante las lluvias, excediendo ampliamente la norma, lo que sugiere concentración de partículas por menor dilución. Para garantizar la toma de agua segura se puede aplicar el proceso de: sedimentación, filtración, ebullición y cloración.

Tabla 28. Parámetros organolépticos

Área	Nombre	Turbiedad (UNT)	Color verdadero (mg7l Pt-Co)
		Época lluviosa	
1	Palizada Leiva	2.42	7
	El diamante 3	0.16	ND
	Nuri Diaz	0.13	<1
2	San Antonio	11.8	24
	Comunitario	0.31	<1
Norma CAPRE		VR = 1; VMA = 5	VR = 1; VMA = 15
NTON 03004		5	15

Nota: Elaboración propia a partir de las normativas de calidad de agua / VR = Valor recomendado, VMA = Valor máximo admisible / ND = No Determinado.

7.4.5. Parámetros físico-químicos

- **Temperatura (T)**

Durante la recolección de las muestras de agua, también se midió la temperatura in situ. En el Área 1, la temperatura varia desde 28.3°C en el pozo N°1 y 32.5°C en el pozo N°8. Similarmente, en el Área 2, las mediciones fueron de 30.3°C en el agua del pozo N°12, y 32.5°C en el agua del pozo N°15, esto se debe al clima de la región y la cercanía de aguas termales (como se puede observar en el mapa hidroquímico, Figura 21, pág. 65).

- **Potencial de Hidrógeno (pH)**

En la Tabla 29 aparecen los resultados de los análisis físico-químicos, en el caso del pH, las aguas subterráneas de las áreas de estudio se mantienen entre 7.89 y 8.51, mostrando aguas ligeramente alcalinas. La NTON 03004 establece que el rango permisible es de 6.5 – 8.5, se puede decir que todos los puntos cumplen con este parámetro, a excepción, del pozo Comunitario que se encuentra ligeramente por encima del límite superior.

- **Conductividad eléctrica (CE)**

Según NTON 03004, todas las muestras cumplen porque están por debajo de 1700 µS/cm, y de acuerdo con la norma CAPRE, usando 400 µS/cm como valor recomendado, únicamente los pozos La Palizada y El Diamante 3 (ambos del Área 1) exceden este valor en ambas épocas.

En este caso, tomando en cuenta los valores por encima de 400 µS/cm, según el Anexo J2, pág. xxiv, si el agua posee un rango <2500 es útil para el riego y el consumo de todo tipo de ganado. Sin embargo, se debe tener precaución al regar plantas sensibles a la salinidad, que pueden requerir agua con valores de conductividad más bajos (Lorenzo, 1954). Asimismo, el agua en la mitad inferior de este rango podría ser apta para el consumo humano.

- **Alcalinidad**

Todas las muestras cumplen con NTON 03004, ya que ninguna supera 615 mg/L $CaCO_3$. La alcalinidad para todos los casos fue mayor en época lluviosa, con un aumento de aproximadamente el 10%, a excepción del pozo San Antonio del área 2, donde varía el doble. Este aumento puede asociarse porque el agua de lluvia, al infiltrarse, atraviesa el suelo, se carga de CO_2 y favorece la formación de bicarbonatos. Por eso puede aumentar la alcalinidad, aunque la conductividad disminuya (Juárez, 2021).

- **Dureza total del agua**

Los resultados de laboratorio indican que todas las muestras cumplen porque están por debajo de 500 mg/L $CaCO_3$ según la NTON 03004. Sin embargo, la dureza total también fue más elevada en el Área 1, específicamente por los pozos El Diamante 3 con 450.30 mg/L, seguido por La Palizada Leiva con 276.78 mg/L y Nuri D. con 223.94 mg/L.

Según la USGS, la dureza del agua se debe a compuestos de calcio y magnesio, así como a diversos metales, debido a que, el agua al infiltrarse y desplazarse a través del suelo y las rocas disuelve pequeñas cantidades de minerales naturales, los cuales son transportados hasta el acuífero.

Las pautas generales para la clasificación del agua son: de 0 a 60 mg/L de carbonato de calcio se clasifica como blanda; de 61 a 120 mg/L como moderadamente dura; de 121 a 180 mg/L como dura; y más de 180 mg/L como muy dura. Por lo tanto, el Área 1 se ha clasificado entre rango de aguas Muy duras y el Área 2 entre el rango de aguas blandas a moderadamente duras.

Tabla 29. Parámetros físico-químicos

Área	Nombre	pH	CE (µS/cm)	Alcalinidad (mg/L $CaCO_3$)	Dureza total (mg/L $CaCO_3$)
			Época lluviosa		
1	Palizada Leiva	8.07	445	240	276.88
	El diamante 3	8.10	931	300	450.30
	Nuri Diaz	8.13	346	198	223.94
2	San Antonio	8.09	373	211	106.46
	Comunitario	8.51	258	125	30.32
Norma CAPRE		NE	VR = 400	NE	VR = 400
NTON 03004		6.5 – 8.5	1700	615	500

Nota: Elaboración propia a partir de los resultados de laboratorio / NE = No Especifica, VR = Valor Recomendado.

- **Cationes mayoritarios**

Como se puede observar en la Tabla 30, en los cationes del Área 1 predominó el calcio, con valores de 90.12% en el pozo La Palizada Leiva, 65.04% en El Diamante 3 y 42.50% en el pozo de Nuri Díaz, lo que indica una fuerte influencia cálcica, principalmente en los dos primeros pozos. En el caso del pozo Nuri Díaz, aunque el calcio continúa siendo el catión de mayor proporción, el magnesio presenta una participación importante con 32.44%, por lo que la composición catiónica tiende a ser cálcico-magnésica, lo que concuerda con Zamora (2009), quien expresa que la dureza está influenciada principalmente por la presencia de calcio y magnesio.

En términos porcentuales, para el Área 2, el pozo San Antonio presentó una composición mixta, donde el calcio representó el 40.91% de los cationes, mientras que la sumatoria de sodio y potasio alcanzó el 51.17%. Por lo tanto, esta muestra no debe clasificarse

como totalmente cálcica, sino como agua de composición catiónica mixta con tendencia sódico-cálcica, debido al ligero predominio del sodio y potasio sobre el calcio.

En el caso del Pozo Comunitario N°15, se observa un cambio más marcado en la composición catiónica, ya que el sodio más potasio representa el 85.43%, mientras que el calcio disminuye a 14.34% y el magnesio prácticamente desaparece con 0.23%. Esta reducción del calcio puede estar asociada a una menor interacción del agua con minerales cálcicos, a procesos de dilución durante la época lluviosa o a intercambio catiónico, donde el calcio y el magnesio son retenidos en los materiales arcillosos del acuífero y el sodio pasa a dominar en solución (Juárez, 2021).

Tabla 30. Concentración de cationes mayoritarios en época lluviosa

Catión	Palizada Leiva Pozo N°1	El Diamante 3 Pozo N°6	Nuri Diaz Pozo N°9	San Antonio Pozo N°12	Comunitario Pozo N°15
			mg/L		
Na^+	0.82	35.15	33.15	49.9	55.52
K^+	2.1	5.3	2.4	2.6	1.8
Ca^{2+}	101.64	139.08	50.98	35.75	8.26
Mg^{2+}	5.66	25.1	23.54	4.19	0.08
Sum cationes	110.22	204.63	110.07	92.44	65.66
			meq/L		
$Na^+ + K^+$	0.09	1.66	1.50	2.24	2.46
Na^+	0.04	1.53	1.44	2.17	2.41
K^+	0.05	0.14	0.06	0.07	0.05
Ca^{2+}	5.08	6.95	2.55	1.79	0.41
Mg^{2+}	0.47	2.07	1.95	0.35	0.01
NH_4^+	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum cationes	5.64	10.69	6.00	4.37	2.88
			%		
$Na^+ + K^+$	1.58	15.56	25.06	51.17	85.43
Na^+	0.63	14.29	24.03	49.65	83.83
K^+	0.95	1.27	1.02	1.52	1.60
Ca^{2+}	90.12	65.04	42.50	40.91	14.34
Mg^{2+}	8.30	19.40	32.44	7.92	0.23
NH_4^+	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum cationes	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Nota: Elaboración propia en el software EasyQuim a partir de resultados de laboratorio.

- **Aniones mayoritarios**

En los aniones del Área 1 predominó el bicarbonato en las tres muestras evaluadas. El agua del pozo Palizada Leiva presentó 75.88%, el pozo El Diamante 3 alcanzó 50.44% y el pozo Nuri Díaz registró 65.70%. Este comportamiento indica que la composición aniónica principal está controlada por el sistema bicarbonatado, asociado generalmente a procesos de interacción agua-roca, disolución de minerales carbonatados y meteorización de materiales geológicos del acuífero (Hem, 1985).

En el pozo El Diamante 3, aunque el bicarbonato fue el anión principal, el sulfato alcanzó 33.98%, por lo que el agua puede describirse como bicarbonatada-sulfatada. Esta condición puede relacionarse con disolución de minerales sulfatados, como yeso, oxidación de sulfuros o mayor tiempo de contacto agua-roca (Hem, 1985).

En el pozo Nuri Díaz, el bicarbonato dominó con 65.70%, sin embargo, el cloruro alcanzó 31.14%, por lo que no debe interpretarse como una composición puramente bicarbonatada, sino como bicarbonatada con componente clorurado. El nitrato fue bajo, con 0.02%, lo que no evidencia una señal importante de contaminación nitrogenada.

En el Área 2, el pozo San Antonio presentó un claro predominio bicarbonatado, con 86.01%, seguido por sulfato con 9.94% y cloruro con 3.99%. En el Pozo Comunitario N°15 también predominó el bicarbonato, con 77.25%, acompañado por sulfato con 15.04% y cloruro con 7.65%. Por lo tanto, ambas muestras mantienen una composición aniónica bicarbonatada.

Tabla 31. Concentración de aniones mayoritarios en época lluviosa

Anión	Palizada Leiva Pozo N°1	El Diamante 3 Pozo N°6	Nuri Diaz Pozo N°9	San Antonio Pozo N°12	Comunitario Pozo N°15
			mg/L		
HCO3-	240	300	198	211	125
SO4=	51.2	159	7.45	19.18	19.15
Cl-	6.5	53	54.6	5.7	7.2
NO3-	0.02	1.56	0.05	0.61	0.1

Anión	Palizada Leiva Pozo N°1	El Diamante 3 Pozo N°6	Nuri Diaz Pozo N°9	San Antonio Pozo N°12	Comunitario Pozo N°15
sum aniones	297.72	513.56	260.1	236.02	151.45
			meq/L		
HCO_3^-	3,93	4,92	3.25	3.46	2.05
SO_4^{2-}	1.07	3.31	0.16	0.40	0.40
Cl^-	0.18	1.49	1.54	0.16	0.20
NO_3^-	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
$Cl^-+NO_3^-$	0.18	1.42	1.54	0.16	0.20
sum aniones	5.18	9.75	4.94	4.02	2.65
			%		
HCO_3^-	75.88	50.44	65.70	86.01	77.25
SO_4^{2-}	20.58	33.98	3.14	9.94	15.04
Cl^-	3.53	15.32	31.14	3.99	7.65
NO_3^-	0.01	0.26	0.02	0.06	0.06
$Cl^-+NO_3^-$	3.54	15.57	31.16	4.5	7.71
sum aniones	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

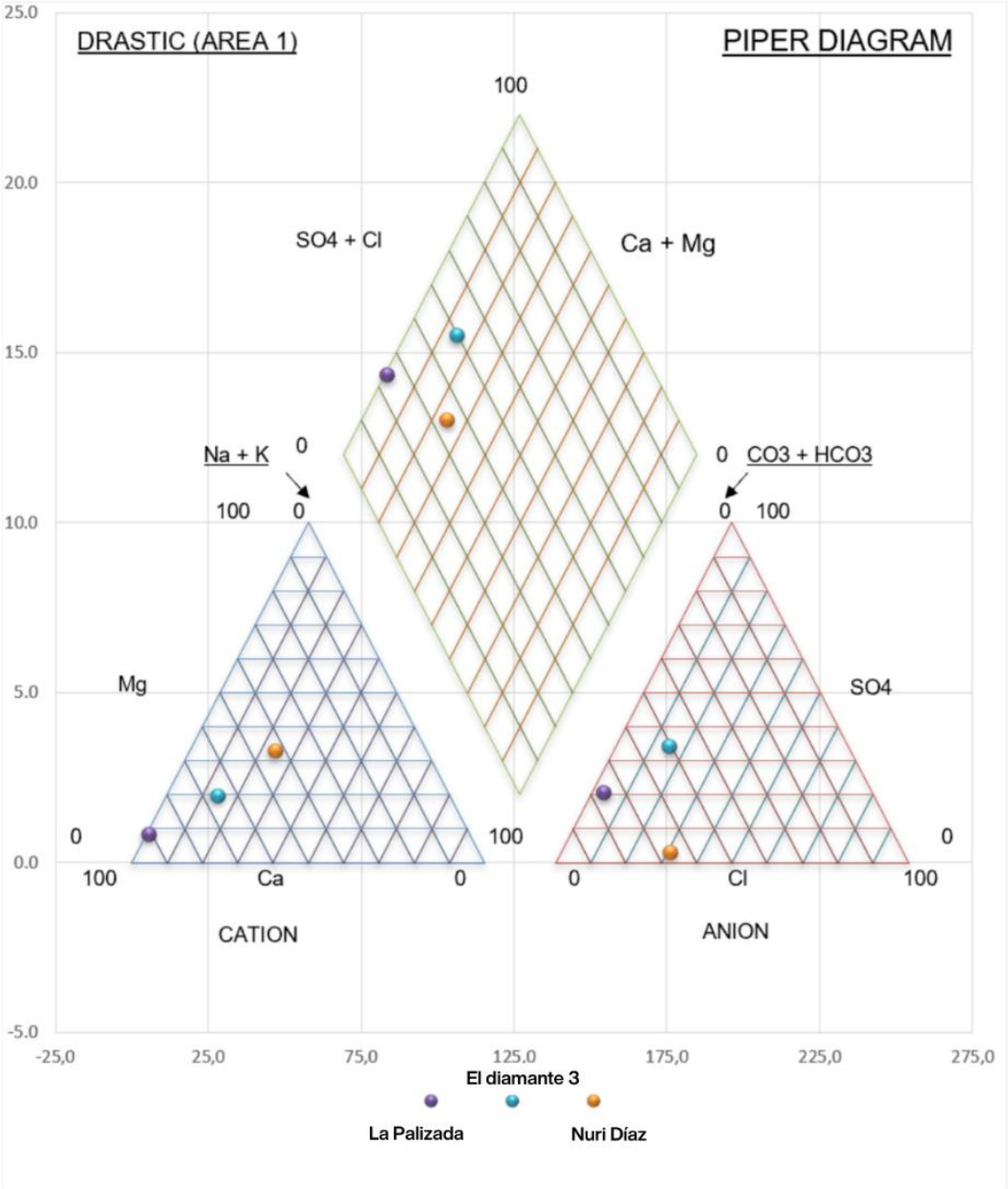
Nota: Elaboración propia.

- **Diagrama de Piper**

El diagrama de Piper del Área 1 confirma que las muestras presentan un predominio general de aguas bicarbonatadas, debido a la mayor participación del ion HCO_3^- en el triángulo de aniones (ver Figura 23).

El pozo La Palizada Leiva muestra una composición bicarbonatada cálcica, asociada a baja evolución hidroquímica; El pozo El Diamante 3 presenta una mayor mineralización y tendencia bicarbonatada-sulfatada cálcico-magnésica; mientras que el pozo Nuri Díaz mantiene predominio bicarbonatado, aunque con una influencia secundaria de cloruros y magnesio. El diagrama respalda los resultados de las Tablas 30 y 31, evidenciando aguas dominadas por Ca^{2+}, Mg^{2+} y HCO_3^-, con variaciones locales por sulfatos y cloruros.

Figura 23. Diagrama de Piper para el Área 1 en época lluviosa

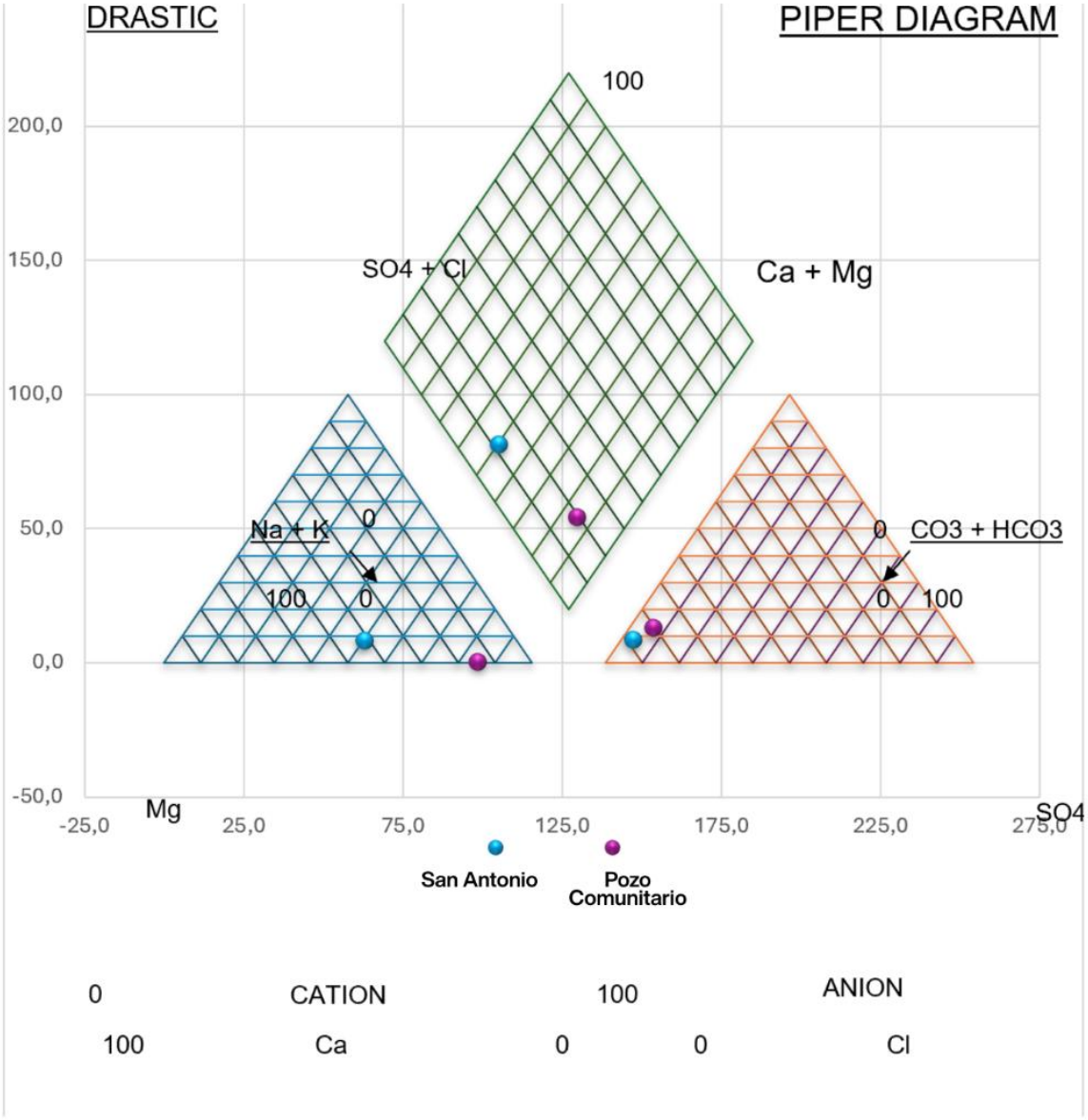


Nota: Elaboración propia utilizando el software EasyQuim.

En el Área 2, el diagrama de Piper confirma que las muestras de San Antonio y Pozo Comunitario presentan una composición aniónica bicarbonatada, debido al predominio del ion HCO_3^- en ambas fuentes (ver Figura 24).

Sin embargo, se observa una diferencia importante en la composición catiónica: el pozo San Antonio muestra un carácter mixto sódico-cálcico, mientras que el Pozo N°15 se desplaza claramente hacia el dominio de Na^+ y K^+.

Figura 24. Diagrama de Piper para el Área 2 en época lluviosa



Nota: Elaboración propia utilizando el software EasyQuim.

Los análisis obtenidos del laboratorio PIENSA respaldan la distribución espacial previamente indicada en el mapa hidroquímico de la región de León (ver figura 21), ya que los resultados de cationes, aniones y diagramas de Piper confirman el predominio de aguas bicarbonatadas en las áreas evaluadas. En el Área 1, los datos muestran facies cálcicas y cálcico-magnésicas, lo que está representado en el mapa. En el Área 2, los resultados evidencian una transición hacia aguas mixtas y sódicas, principalmente en el pozo San Antonio y el pozo Comunitario N°15.

7.4.6. Análisis bacteriológico

Los resultados bacteriológicos de la Tabla 32 evidencian presencia de coliformes totales, coliformes fecales y Escherichia coli en todas las muestras. Esta condición indica que el agua no cumple con los criterios microbiológicos establecidos para consumo humano por CAPRE y NTON 03004, debido a que estos indicadores deben estar ausentes o por debajo de los límites permitidos.

Tabla 32. Resultados de parámetros bacteriológicos

Área	Nombre	Coliformes totales NMP/100 mL	Coliformes fecales NMP/100 mL	E. Coli NMP/100 mL
1	Palizada Leiva	31	24	17
	El diamante 3	31	31	31
	Nuri Diaz	31	24	6.8
2	San Antonio	31	24	2
	Comunitario	31	17	11
Norma CAPRE		Negativo*	Negativo*	NR
NTON 03004		Ausentes	< 1,8	< 1,8
NTON 05-007-98		Promedio mensual menor de 2000 NMP/ 100ml	NR	NR

Nota: Elaboración propia a partir de resultado de análisis del laboratorio PIENSA-UNI. / NR: No registrado.

Estos hallazgos indican una afectación sanitaria asociada a las actividades agrícolas y urbanas de la zona, ya que, durante las visitas de campo se realizó el reconocimiento de fuentes puntuales de contaminación, identificándose principalmente presencia de letrinas, sistemas de drenaje y áreas de crianza de ganado ubicadas a distancias

comprendidas entre 10 y 40 metros de las fuentes hidrogeológicas. Esta condición representa un riesgo sanitario, el agua en las zonas de estudio no es apta para el consumo humano, y en el caso de uso doméstico y uso agropecuario puede utilizarse con un tratamiento previo adecuado como la cloración.

7.4.7. Análisis metales pesados

La norma CAPRE establece que metales como arsénico, cadmio, cianuro, cromo, mercurio, níquel, plomo, antimonio y selenio, incluso a concentraciones traza, presentan alta toxicidad y pueden generar efectos perjudiciales en la salud humana. Entre estos efectos se incluyen procesos de bioacumulación y biomagnificación, alteraciones en sistemas fisiológicos (neurológico, renal, hepático e inmunológico) y el desarrollo de enfermedades crónicas, debido a su carácter persistente y su potencial de toxicidad a largo plazo.

En cuanto a los metales evaluados, el arsénico se mantuvo por debajo del límite máximo permisible reportado en todas las muestras, por lo que no se evidencia contaminación significativa por este elemento. Sin embargo, no es ausencia total, sino concentraciones inferiores al límite de detección o cuantificación del análisis de laboratorio.

Tabla 33. Resultados de análisis de metales pesados

Área	Nombre	Fe mg/L	Mn mg/L	As mg/L
1	Palizada Leiva	0.31	0.078	<0.01
	El diamante 3	0.007	0.002	<0.001
	Nuri Diaz	<0.006	<0.006	<0.01
2	San Antonio	3.96	0.99	<0.01
	Comunitario	0.097	0.024	<0.01
Norma CAPRE		<0.3	<0.5	<0.01
NTON 03004		<0.3	<0.4	<0.01
NTON 05-007-98		<0.05	<5	<0.05

Nota: Elaboración propia a partir de resultado de análisis del laboratorio PIENSA-UNI. /Fe: Hierro, Mn: Manganeso; As: Arsénico.

Respecto al hierro, el pozo La Palizada Leiva presentó una concentración ligeramente superior al límite de 0.3 mg/L, mientras que el pozo San Antonio registró 3.96 mg/L, valor considerablemente más alto. Esto indica una condición localizada, posiblemente

asociada a la litología del acuífero, condiciones reductoras o mayor disolución de minerales ferrosos en el agua subterránea.

Desde el enfoque de riego agrícola, esta concentración de hierro se encuentra por encima del máximo permitido y puede ocasionar impactos técnicos, productivos y ambientales como la obstrucción de emisores de riego localizado, generar acumulación en el suelo, alterar la disponibilidad de nutrientes (interacción con fósforo), en exceso puede causar toxicidad, clorosis y estrés fisiológico en las plantas (Espino, 2023).

Para el manganeso, únicamente el pozo San Antonio superó los límites de CAPRE y NTON 03004, con 0.99 mg/L. El resto de las muestras presentó concentraciones bajas. Este comportamiento indica que la afectación por hierro y manganeso no es generalizada, sino localizada, probablemente relacionada con condiciones hidrogeoquímicas específicas del pozo San Antonio.

7.5. Índice de vulnerabilidad del método DRASTIC

7.5.1. Parámetro D (profundidad del nivel piezométrico)

Con base en los datos obtenidos en trabajo de campo, en el acápite 7.3.1. (Tabla 16) se observa que la profundidad del nivel freático del Área 1 oscila entre 52.7 – 58.75 m y en el Área 2 es de 45.7 – 54.8 metros, por lo tanto, para la metodología DRASTIC se le establece el valor de **1**, como se estipula en la Tabla 34.

Tabla 34. Valores del parámetro D en la metodología DRASTIC

D) Profundidad del Nivel Piezométrico	
Rango (m)	**Valor**
< 1,5	10
1,5 - 5	9
5 a 10	7
10 a 20	5
20 a 30	2
> 30	1

Nota: Aller et al. (1987)

7.5.2. Parámetro R (recarga)

La ETP estimada confirma que el área de estudio presenta un régimen climático cálido con alta demanda evaporativa. Desde el punto de vista hidrológico, puede influir en la recarga efectiva de los acuíferos, especialmente en los meses secos, donde la pérdida de agua por evapotranspiración puede superar la precipitación. Esta condición es relevante para la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea, ya que la reducción de la recarga favorece la concentración de contaminantes y puede modificar la dinámica de transporte en el subsuelo.

Aunque la evapotranspiración de referencia supera la precipitación anual, la recarga no es nula, ya que la evapotranspiración real está limitada por la disponibilidad de agua en el suelo. En este sentido, la recarga se genera durante eventos de precipitación en los cuales se excede la capacidad de almacenamiento del suelo, permitiendo la percolación hacia el acuífero.

La comarca Las Mojarras tiene una precipitación de 1070 mm/año y una ETP de 2070 mm/año, utilizando la Ecuación 2 y un coeficiente de infiltración de 0.20 se estima una recarga de **214 mm/año.** El método DRASTIC les asigna cinco valores a rangos de recarga, establecidos en la Tabla 35, el resultado se encuentra en el rango de 180 a 255 mm/año, por lo tanto, se le asigna un valor de **8.**

Tabla 35. Valores del parámetro R en la metodología DRASTIC

R) Recarga neta (mm)	
Rango	**Valor**
0 a 50	1
50 a 100	3
100 a 180	6
180 a 255	**8**
> 255	9

Nota: Aller et al. (1987).

En contraste, se optó por aplicar el método geológico para estimar la recarga regional, el análisis con base en las Tablas 36 y 37, evidencia que, aunque el volumen total de agua infiltrada es elevado (5.61 y 2.70 Mm^3/año), la recarga efectiva al acuífero es

considerablemente menor (1.402 y 0.52 Mm^3/año), debido principalmente a factores geológicos y al porcentaje de infiltración real.

Tabla 36. Recarga anual

Zona	Recarga Anual (m)	Área (m^2)	Recarga (m^3) Anual	Recarga (Mm^3) Anual
Área 1	1.07019	5240000	5607795.6	5.6077956
Área 2	1.07019	2520000	2696878.8	2.6968788

Nota: Elaboración propia.

La zona con depósitos cuaternarios presenta mejor capacidad de recarga, mientras que la presencia de materiales volcánicos reduce la eficiencia del proceso. En consecuencia, la disponibilidad real de agua subterránea depende no solo del área y la precipitación, sino principalmente de las condiciones geológicas y la capacidad de infiltración.

Tabla 37. Recarga potencial

Área	Formación geológica	Área (km^2)	P (mm/año)	Porcentaje infiltración	Recarga potencial (mm/año)	Recarga al acuífero (Mm^3/año)
1	Q; Depósitos Cuaternarios Indiferenciados	5.24	1070.00	25%	1401700	1.402
		5.24		Recarga total		**1.402**
2	Q; Depósitos Cuaternarios Indiferenciados	0.62	1070.00	25%	165850	0.166
	Qv; Cuaternario Volcánico depósitos piroclásticos	1.84	1070.00	18%	354306.96	0.354
		2.46		Recarga total		**0.520**

Nota: Elaboración propia.

Los resultados muestran que la recarga potencial anual varía en función de la geología del área de estudio. En las zonas conformadas por depósitos cuaternarios (Q), tanto en el Área 1 como en parte del Área 2, la recarga alcanza aproximadamente **267.5 mm/año**,

lo que evidencia una buena capacidad de infiltración asociada a la mayor permeabilidad de estos materiales.

En contraste, las zonas con depósitos volcánicos piroclásticos (Qv) presentan una menor recarga, estimada en 192.6 mm/año, debido a sus condiciones físicas menos favorables. Como resultado, el Área 2 presenta una recarga promedio de **247 mm/año**, reflejando la influencia de ambas formaciones. En conjunto, se confirma que la geología es un factor determinante en la recarga del acuífero, favoreciendo mayores valores en materiales cuaternarios y reduciéndolos en formaciones volcánicas.

7.5.3. Parámetro A (litología o medio del acuífero)

El parámetro A valora la litología que constituye al acuífero, considerándose que, a mayor granulometría, mayor permeabilidad y, por lo tanto, un grado de vulnerabilidad más elevado (Sasal, y otros, 2011). En la Tabla 38 se muestran los valores según la litología de los acuíferos.

Tabla 38. Valores del parámetro A en la metodología DRASTIC

A) Naturaleza del Acuífero		
Descripción	**Rango**	**Valor**
A - Arcillas, margas, limos	1 a 3	2
B - Ígneas / metamórficas	2 a 5	3
C - Ígneas / metamórficas alteradas	3 a 5	4
D - Alternancia de arenisca, arcillas y calizas	5 a 9	6
E - Areniscas masivas	4 a 9	6
F - Calizas masivas	4 a 9	6
G - Arenas, gravas y conglomerados	4 a 9	8
H - Volcánicas	**2 a 10**	**9**
I - Calizas carsificadas	9 a 10	10

Nota: Aller, et al. (1987)

De acuerdo con el mapa geológico (Figura 15, pág. 49) la formación del Área 1 es del Grupo Cuaternario (Qal) el cual está constituido principalmente por arena, grava y arcilla. Entonces, la metodología DRASTIC especifica que para este tipo de acuífero se le asigna una numeración de **8**. En cambio, el Área 2 posee además la formación Grupo Coyol, por lo tanto, su valor es de **9** para rocas volcánicas y aglomerados.

7.5.4. Parámetro S (naturaleza del suelo)

El parámetro S considera la capacidad que tiene un suelo de amortiguar el paso de un contaminante debido, básicamente, a dos factores: la actividad biológica y la textura del suelo. Por un lado, la capacidad de los organismos del suelo de metabolizar una carga contaminante y, por otro, la textura del suelo que regula la velocidad del pasaje de un contaminante (Sasal, y otros, 2011).

La información sobre el tipo de suelo de la zona de estudio se obtuvo mediante pruebas de textura in situ y pruebas de laboratorio (ver acápite 7.1.2.) donde se especifica la caracterización de suelos franco areno arcillosos y según la metodología se le asigna una valoración de **5** como término medio correspondiente a marga.

Tabla 39. Valores del parámetro S en la metodología DRASTIC

S) Naturaleza del Suelo	
Tipo de Suelo	**Valor**
Arcilla no expansivas y agregadas	1
Suelo orgánico	2
Marga arcillosa	3
Marga limosa	4
Marga	**5**
Marga arenosa	6
Arcilla expansiva y/o agregada	7
Turba	8
Arena	9
Grava	10
Delgada o ausente	10

Nota: Aller, et al. (1987)

7.5.5. Parámetro T (topografía, % de pendiente máxima)

El parámetro T tiene en cuenta el grado de la pendiente del terreno en el sitio de muestreo. Supone que a un menor grado de pendiente la vulnerabilidad es mayor (Sasal, y otros, 2011). Las áreas de estudio poseen una topografía plana (ver acápite 7.1.2) con pendientes de 1 a 7% (Tabla 40), por lo tanto, se le asigna el valor correspondiente al rango más representativo (2–6%), el cual es **9**.

Tabla 40. Valores del parámetro T en la metodología DRASTIC

T) Topografía	
Rango %	**Valor**
0 a 2	10
2 a 6	**9**
6 a 12	5
12 a 18	3
> 18	1

Nota: Aller, et al. (1987)

La baja pendiente incrementa la vulnerabilidad potencial a la contaminación, ya que favorece una escorrentía superficial mínima, a su vez, prolonga el tiempo de permanencia del agua sobre el terreno y, en consecuencia, facilita una mayor infiltración hacia el subsuelo, aumentando la probabilidad de que los contaminantes alcancen el acuífero.

7.5.6. Parámetro I (zona no saturada)

Sasal et al., (2011) expresan que el parámetro I valora el efecto de los materiales existentes en la zona no saturada (desde el suelo hasta el nivel de agua). Este parámetro se encuentra estrechamente relacionado con el parámetro A y S, para su selección se toma en cuenta que si el acuífero es libre corresponde a la propia litología del acuífero y para los otros dos casos corresponde a los materiales suprayacentes confinantes (Martínez, Delgado, & Fabregat, 1998).

De acuerdo con el mapa geológico (Figura 15, pág. 49), el Área 1 corresponde a depósitos del Grupo Cuaternario (Qal), conformados principalmente por arenas, gravas y arcillas. Según la metodología DRASTIC, esta composición litológica se asocia con la categoría **H – Arenas y gravas**, a la cual se le asigna un valor de **8** para el parámetro Impacto en la zona no saturada (I). Por su parte, el Área 2 presenta además afloramientos correspondientes al Grupo Coyol Superior, conforme a la clasificación DRASTIC, esta unidad geológica corresponde a la categoría **I – Volcánicas**, obteniendo un valor de **9**.

Tabla 41. Valores del parámetro I en la metodología DRASTIC

I) Impacto en la zona no saturada		
Descripción	**Rango**	**Valor**
A - Arcillas, margas, limos	1 a 2	1
B - Esquistos, pizarra	2 a 5	3
C - Caliza	2 a 7	6
D - Areniscas	4 a 8	6
E - Alternancia de arenisca, arcillas y calizas	4 a 8	6
F - Arenas y gravas con contenido de arcilla	4 a 8	6
G - Metamórficas, ígneas	2 a 8	4
H - Arenas y gravas	**6 a 9**	**8**
I - Volcánicas	**2 a 10**	**9**
J - Calizas carstíficadas	8 a 10	10

Nota: Aller, et al. (1987)

7.5.7. Parámetro C (permeabilidad)

Con base en los resultados de las pruebas de bombeo para la estimación de la conductividad hidráulica (ver acápite 7.3.2. Hidráulica de pozos, pág. 55), el Área 1 presenta valores comprendidos en el rango de 4 a 12, por lo que, según la metodología aplicada (Tabla 42), se le asigna una valoración de **2**. Por su parte, el Área 2 registra valores de K menores a 4, correspondiéndole una valoración de **1**.

Tabla 42. Valores del parámetro C en la metodología DRASTIC

C) Permeabilidad (m/día)	
Rango	Valor
< 4	**1**
4 a 12	**2**
12 a 28	4
28 a 40	6
40 a 80	8
> 80	10

Nota: Aller, et al. (1987).

7.6. Vulnerabilidad hidrogeológica

Una vez definidos los valores de los parámetros DRASTIC, se aplicó la Ecuación 17 incorporando las ponderaciones correspondientes establecidas por la metodología

(Anexo L1, pág. xxxvi). Como resultado de la suma ponderada se obtuvieron valores de 116 y 131 para las Áreas 1 y 2, respectivamente (ver Anexo L2, pág. xxxvii).

Con base en la clasificación de Hurtado Rojas (2012), se infiere que la comunidad Las Mojarras tiene un grado moderado frente a la contaminación hidrogeologica con un porcentaje de alta vulnerabilidad en un sector del Área 2. Esta diferencia entre áreas se explica principalmente por el material litológico, ya que el Área 1 está constituida predominantemente por arenas, mientras que el Área 2 presenta sectores con rocas volcánicas que, debido a sus características de fracturamiento y permeabilidad secundaria pueden favorecer la infiltración y la susceptibilidad a la contaminación.

Tabla 43. Grado de vulnerabilidad

Grado de vulnerabilidad	Valor DRASTIC
Bajo	84 - 110
Moderado	110 - 130
Alto	130 - 150

Nota: Adaptado de Hurtado Rojas (2012).

En el Mapa de Vulnerabilidad Hidrogeológica de la comarca Las Mojarras (Figura 25), se observa que predomina la vulnerabilidad moderada, ocupando una superficie de 684.15 ha, equivalente al 88.20% del área total evaluada (ver Tabla 44). Esto indica que gran parte del territorio presenta una susceptibilidad intermedia frente a posibles procesos de contaminación del recurso hídrico subterráneo, dependiendo de las condiciones de infiltración y de las actividades desarrolladas en superficie.

Por otra parte, la categoría de vulnerabilidad alta representa una superficie de 91.55 ha (11.80%), correspondiendo a sectores con mayor susceptibilidad a la contaminación, donde los contaminantes podrían alcanzar el acuífero con mayor facilidad. Estas áreas requieren mayor atención en la planificación del uso del suelo y la implementación de medidas de protección y manejo para reducir riesgos sobre la calidad del agua subterránea.

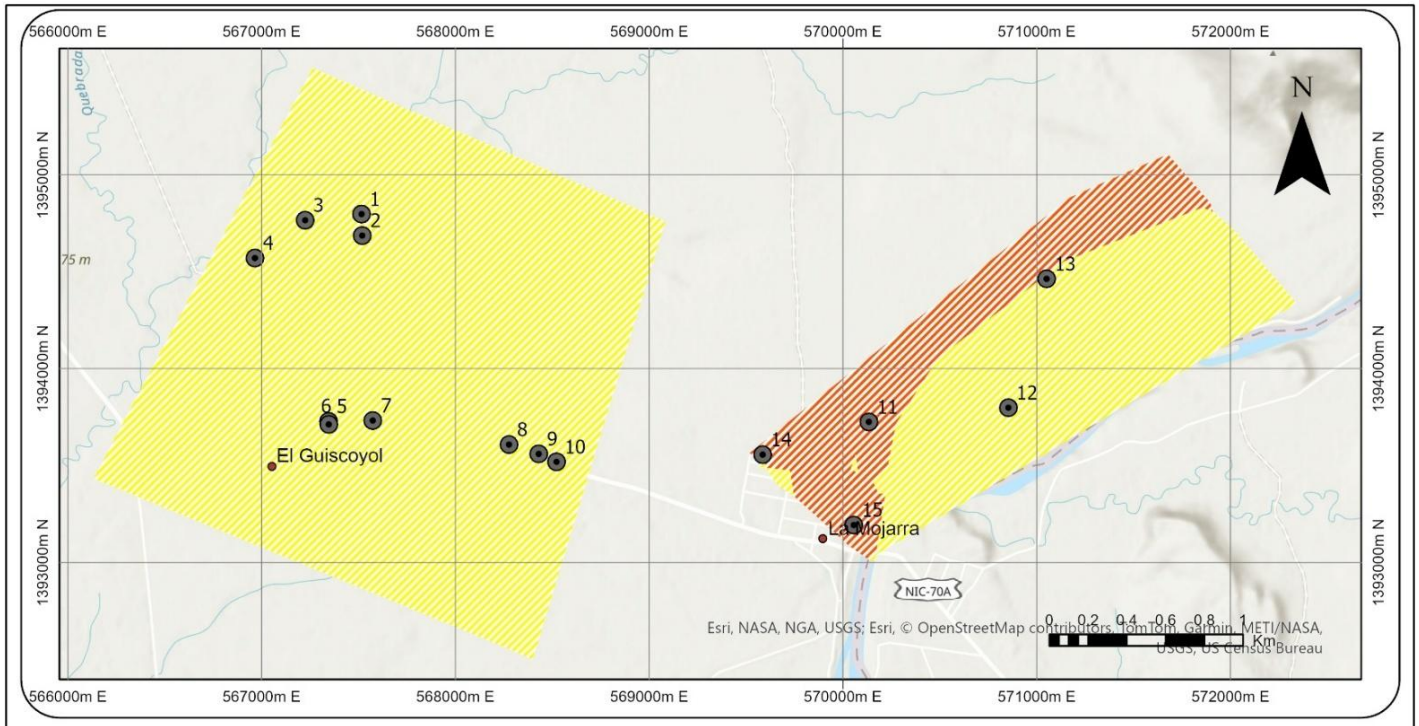
Tabla 44. Resultados de la vulnerabilidad intrínseca de las áreas de estudio

Grado de Vulnerabilidad	Área (ha)	(% del Área total)
Vulnerabilidad moderada	684.15	88.20
Vulnerabilidad alta	91.55	11.80

Nota: Elaboración propia a partir del cálculo de geometría en ArcGIS.

En este sentido, la mayor vulnerabilidad identificada en sectores del Área 2 se relaciona con las características litológicas de origen volcánico, cuyo fracturamiento y permeabilidad secundaria favorecen una mayor percolación, permitiendo el transporte más rápido de contaminantes hacia el acuífero. Esta condición incrementa el riesgo de contaminación bacteriológica, ya que los microorganismos patógenos pueden infiltrarse con mayor facilidad y mantenerse activos en condiciones favorables de humedad y temperatura.

Figura 25. Mapa de vulnerabilidad de las áreas de estudio



VIII. Conclusiones

La caracterización de los componentes físicos e hidro climáticos permitió establecer que las áreas de estudio presentan condiciones típicas de un entorno cálido–tropical, con una precipitación media anual de 1070 mm, una ETO de 2085.1 mm/año y una temperatura media anual de 27.31°C. Desde el punto de vista geomorfológico, ambas áreas muestran una topografía de muy baja pendiente, clasificándose como prácticamente planas, con un rango altitudinal comprendido entre 60 y 92 msnm. En cuanto al suelo, se identificó la presencia predominante de Entisoles, con variantes texturales franco arenosas y franco arcillosas, donde las formaciones geológicas corresponden al Cuaternario Aluvial (Qal) y al Grupo Coyol Superior (Tpcs), integradas por materiales como arenas y rocas volcánicas, respectivamente.

El acuífero en el Área 1 presenta mejores condiciones hidráulicas, con mayor transmisividad, conductividad hidráulica y capacidad específica, lo que favorece una mayor disponibilidad y rendimiento del recurso hídrico. Por el contrario, el Área 2 exhibe un comportamiento más limitado, con menor capacidad de transmisión y almacenamiento, asociado a condiciones geológicas menos favorables. En conjunto, ambas áreas corresponden a acuíferos de baja a moderada productividad, fuertemente influenciados por la estacionalidad climática y la litología. Esto implica que, aunque el recurso es explotable, su aprovechamiento debe realizarse de manera controlada, considerando las limitaciones hidráulicas y la posible interferencia entre pozos, a fin de evitar sobreexplotación y garantizar la sostenibilidad del sistema.

Se obtuvieron valores DRASTIC de 116 para el Área 1 y 131 para el Área 2, determinando un predominio de vulnerabilidad moderada sobre el 88.20% del área total y vulnerabilidad alta en el 11.80%. Estos resultados evidencian que, aunque el acuífero no presenta condiciones extremas de susceptibilidad, existen sectores que requieren medidas preventivas de manejo y protección para disminuir el riesgo de contaminación futura, ya que, en contraste con la calidad del agua, se encontró un nivel de contaminación microbiológica significativo, lo que constituye el principal riesgo sanitario, debido a la presencia generalizada de bacterias indicadoras de contaminación fecal.

IX. Recomendaciones

- A la alcaldía, realizar un monitoreo y registro de pozos existentes en la comunidad, que contenga información de carácter técnico con el fin de: facilitar el acceso a las fuentes de información para uso académico, mejorar la gestión del recurso hídrico y obtener un balance hídrico a través de la determinación del volumen disponible y la demanda hídrica.
- Incluir en futuros estudios el análisis de plaguicidas, nutrientes y vertidos de agua asociados a fuentes de contaminación agrícola y orgánica, especialmente fosfatos, con el fin de identificar la presencia de contaminantes provenientes de cultivos aledaños, fertilizantes, estiércol y aguas residuales; determinar su incidencia en la calidad del agua y su contribución a procesos de eutrofización, fortaleciendo así las medidas de prevención y control de la contaminación de los recursos hídricos.
- Implementar sistemas de desinfección (cloración o ebullición) antes del consumo humano para eliminar la contaminación microbiológica.
- Incentivar la adopción y respaldo normativo de los métodos de evaluación de la vulnerabilidad de acuíferos, dado que estos constituyen herramientas fundamentales para la adecuada toma de decisiones en la gestión de los recursos hídricos.
- Priorizar medidas de protección y regulación del uso del suelo en las zonas clasificadas con vulnerabilidad alta, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles y reduciendo actividades con potencial contaminante cerca de las áreas de recarga.
- Promover acciones de recuperación de cobertura vegetal y conservación del suelo en sectores estratégicos, con el objetivo de favorecer la infiltración controlada y reducir procesos de degradación ambiental.

X. Referencias bibliográficas

1. Aller, L. et al. (1987). Drastic A Standardized System.
2. Auge, M. (2005). Vulnerabilidad de acuíferos. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires: HIDRORED.
3. Barrera, Y., & Aguirre, C. (2011). Calidad del agua de pozos y aguas superficiales en la micro cuenca Las Jaguas, municipio de Ciudad Antigua. Universidad Nacional Agraria (UNA), Managua.
4. Castiglion, M., Kraemer, F., & Molina, J. (2018). Conductividad hidráulica saturada determinada por distintos procedimientos en suelos con alta humedad inicial. Buenos Aires: Asociación Argentina Ciencia del Suelo (AACS).
5. Castillo H. (2004). Estudio de mapificación hidrogeológica e hidrogeoquímica de la región central de Nicaragua. INETER, Managua.
6. Cisneros, J., Ramos, S., & Gutiérrez, Y. (2019). Diseño de un pozo para el suministro de agua potable en el municipio de Achuapa. Managua: UNI.
7. Cruz Martínez, J. (2019). Caracterización de la vulnerabilidad.
8. Custodio, E., & Llamas, M. (1983). Hidrología subterránea.
9. Espinoza Acuña, M., & López Barrientos, F. (2024). Influencia del uso del suelo.
10. FAO. (2009). Guía para la descripción de los suelos. Roma.
11. FAO. (2010). Evaluación de los recursos forestales mundiales. Roma.
12. FAO. (2019). Portal de Suelos de la FAO.
13. Fenzl, N. (1989). Nicaragua: Geografía, Clima, Geología y Hidrogeología.
14. Foster, S., & Chilton, J. (2021). Groundwater protection.
15. Gamez Morales, W. (2010). Texto básico de hidrología.
16. González Herrera, R. (2018). El acuífero yucateco.
17. Guarracino, L., & Tocho, C. (2020). Determinación del coeficiente de almacenamiento.
18. Hem, J. (1985). Hem, J. D. (1985). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water . Alexandria: Department of the Interior, US Geological Survey.
19. Hernández, C. et al. (2006). Situación de los recursos hídricos.
20. HGA. (2023). Informe final prueba de bombeo.

21. Hodgson, G. (2006). Geología Regional de Nicaragua.
22. Hurtado Rojas, J. (2012). Estudio de vulnerabilidad hidrogeológica.
23. Imram, A., & Mensenbet, Y. (2021). Groundwater recharge estimation.
24. Izaguirre, R. (2018). Evaluación de la vulnerabilidad intrínseca.
25. Lambis Orobajo, J. (2020). Evaluación de la vulnerabilidad.
26. Lorenzo, R. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. California: US Government Printing Office.
27. MARENA. (2010). Análisis de Cobertura Forestal en Nicaragua.
28. Martínez Pedro. (2006). Fundamentos de hidrogeología.
29. Martínez, M., Delgado, P., & Fabregat, V. (1998). Aplicación del método DRASTIC.
30. Nicoletti, F., & Spandre, R. (1996). Valoración del riesgo de contaminación.
31. Ordoñez Galvez, J. (2011). Aguas subterráneas- acuíferos.
32. Rincón, M., Vargas, W., & González, C. (2017). Topografía conceptos y aplicaciones.
33. Rodrigo Clavero, M., Rodrigo Ilarri, J., & Cassiraga, E. (2025). Parámetros hidrogeológicos fundamentales.
34. Roldán Rojas, J. (2015). Termodinámica.
35. Salazar, L., & Khalajabadi, S. (2021). Taxonomía de suelos.
36. Sánchez, J. (2016). Transporte de contaminantes.
37. Sasal, M., Wilson, M., et al. (2011). Aplicación del modelo DRASTIC.
38. Segura, C. (2016). Estudio hidrogeológico.
    Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2005). Ciencias de la tierra.
39. Tesfaldet, Y., & Puttiwongrak A. (2019). Seasonal groundwater recharge characterization using time-lapse electrical resistivity tomography in the Thepkasattri Watershed on Phuket Island, Thailand. Tailandia: J Groundw Sci Eng.
40. Thompson, T. (1982). Los suelos y su fertilidad.
41. Torres Aburto, D. (2017). Estudio de vulnerabilidad hidrogeológica.
42. Tóth, J. (2000). Las aguas subterráneas como agente geológico.
43. Valle, A. (2021). Caracterización de la vulnerabilidad hidrogeológica.

44. Villasana, N. (2013). Inferencia de Permeabilidad.
45. Zamora, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto,(ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre. Alajuela: Pensamiento actual.
46. Zúñiga López, I., & Crespo del Arco, E. (2021). Meteorología y climatología.

ANEXOS

INDICE DE ANEXOS

Anexo A. Formato de encuestas i
Anexo B. Variables climáticas iv
Anexo B1. Precipitación de DAV (1985-2025) iv
Anexo B2. Precipitación de INETER (2018-2025) v
Anexo B3. Temperatura media de DAV (1985-2025) vi
Anexo B4. RO para 12˚ de Lat. N en MJulio/m2/día viii
Anexo B5. Cálculo de ETP mediante el método de Hargreaves Simplificada viii
Anexo B6. ETP en el departamento de Leon periodo 2001-2021 ix
Anexo C. Análisis de suelo x
Anexo C1. Bitácora de servicios de laboratorio de edafología x
Anexo C2. Ficha para muestreo de suelo xi
Anexo C3. Resultados de laboratorio – Textura del suelo xi
Anexo C4. Densidad aparente según la textura del suelo xi
Anexo C5. Densidad real según la textura del suelo xii
Anexo C6. Triangulo textural xii
Anexo C7. Mapa de subgrupos taxonómicos de la región del pacifico al 2020 xiii
Anexo C8. Cobertura y usos de la tierra en el departamento de León xiv
Anexo D. Geología xv
Anexo D1. Mapa geológico de Nicaragua xv
Anexo D2. Mapa geológico de la concesión La Mojarra xvi
Anexo D3. Resumen de la estratigrafía de las provincias geológicas de Nicaragua xvii
Anexo E. Información del uso del agua de los pozos de la comunidad Las Mojarras . xviii
Anexo E1. Mapa de uso del recurso hídrico en el departamento de León xviii
Anexo E2. Información en Sinimbu xix
Anexo F. Pruebas de bombeo xx
Anexo G. Recuperación xxiv
Anexo H. Criterios para la selección del método de análisis según el acuífero xxvii
Anexo I. Hidroquímica xxviii
Anexo I1. Descripción de las clases de agua para riego xxviii
Anexo J. Calidad de agua xxix
Anexo J1. Resultados de ensayo físico químicos y bacteriológico de aguas naturales en época lluviosa xxix
Anexo J2. Rangos de conductividad eléctrica xxxiv

Anexo K. Velocidad de infiltración xxxv
Anexo L. Metodología DRASTIC xxxvi
Anexo L1. Ponderación de los parámetros DRASTIC xxxvi
Anexo L2. Resultados de la metodología DRASTIC xxxvii
Anexo M. Galería de fotos xxxviii
Anexo M1. Reconocimiento de las fuentes hidrogeológicas xxxviii
Anexo M2. Muestreo de suelos xl
A. Extracción de muestra inalterada xl
B. Cilindro de volumen conocido xl
C. Etiquetado de las muestras xl
Anexo M3. Análisis de muestras de suelo xl
Anexo M4. Equipos de bombeo xli
Anexo M5. Pruebas de bombeo xli
Anexo M6. Calidad de agua xli

Anexo A. Formato de encuestas

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

Dirección de Área de Conocimiento de Agricultura
Evaluación de la vulnerabilidad ante el riesgo de contaminación mediante el uso del método DRASTIC en pozos del municipio El Jicaral, departamento de León, Nicaragua, 2025

Encuesta a propietarios de unidades productivas de la zona de estudio

Fecha:_____ **Número:**_____

Estimado(a) productor:

Estudiantes de la carrera de Ingeniería Agrícola están realizando su proceso de tesis monográfica que incluye la realización de una encuesta con el objetivo de conocer el estado actual e información sobre las fuentes hídricas subterráneas en la zona de estudio (El Jicaral).

- **Categoría 1: Datos Generales**

P1. Nombre del entrevistado: _____

P2. Teléfono: _____

P3. Nombre de la finca: _____

P4. Ubicación (comunidad/zona): _____

P5. Área productiva (ha): _____

P6. Uso del recurso hídrico (puede ser selección múltiple)

1. Riego	☐	**4.** Industrial	☐
2. Ganadería	☐	**5.** Consumo humano	☐
3. Agropecuario	☐	**6.** Uso doméstico	☐

P7. Cultivo predominante: _____

P8. Uso anterior de la finca: _____

P9. Cantidad de pozos: _____

- **Categoría 2: Características del pozo**

P10. Tipo de perforación: **1.** Excavado ☐ **2.** Perforado ☐

P11. Profundidad (m): _____

P12. Diámetro del pozo (in): _____

P13. Nivel freático (m): _____

P14. ¿Con qué frecuencia se realiza mantenimiento al pozo?
1. 6 meses ☐ **2.** Anual ☐ **3.** Nunca ☐ **4.** Otro, indique: _____

P15. ¿Con qué frecuencia se usa el pozo?
1. Diario ☐ **2.** Solo en verano (7 años/campaña de riego) ☐ Otro, indique: _____

P16. ¿Alguna vez se ha secado el pozo?

1. Sí ☐ **2.** No ☐

Si su respuesta es positiva, Describa en que situaciones y épocas

_____
_____

P17. ¿Cuál es su percepción del cambio en el nivel freático en los últimos años?

1. Ha aumentado significativamente ☐
2. Ha aumentado ligeramente ☐
3. No ha cambiado ☐
4. Ha disminuido ligeramente ☐
5. Ha disminuido significativamente ☐

Si existen cambios, ¿A qué cree que se deba?
Responda brevemente:

_____
_____

- **Categoría 3: Calidad del agua**

P18. Si es de consumo humano ¿Cómo describiría el agua?
Sabor **1.** Normal ☐ **2.** Salobre ☐ **3.** Amargo ☐ **4.** Otro, indique: _____

Olor **1.** Sin olor ☐ **2.** Desagradable ☐

Color **1.** Transparente ☐ **2.** Turbia/Café ☐ **3.** Verde ☐ **4.** Otro, indique: _____

P19. ¿Cómo calificaría la calidad del agua del pozo?
1. Muy buena ☐ **2.** Buena ☐ **3.** Regular ☐ **4.** Mala ☐ **5.** Muy mala

P20. Quienes hacen uso del pozo ¿han tenido afectaciones por el consumo del agua?
1. Si ☐ **2.** No ☐

Si su respuesta es positiva, Indique con qué frecuencia

No.	Enfermedades y afectaciones	Si (1)	No (2)
P20.1	Cólera		
P20.2	Fiebre tifoidea		
P20.3	Leptospirosis		

P20.4	Giardiasis		
P20.5	Amebiasis (Disentería amebiana)		
P20.6	Ascaridiasis		
P20.7	Hepatitis A		
P20.8	Poliomielitis		
P20.9	Fluorosis		
P20.10	Arsenicosis		
P20.11	Diarrea aguda		

P21. ¿Ha venido alguna institución gubernamental a realizar estudios de los pozos o del suelo?
1. Sí ☐ **2.** No ☐ **3.** De otro tipo, indique: _____

Si su respuesta es positiva, Indique con qué frecuencia

No.	Estudios	Si (1)	No (2)	Entidad	Observación/Resultado
P21.1	Estudios de suelo				
P21.2	Análisis físico-químico del agua				
P21.3	Análisis bacteriológico del agua				
P21.4	Pruebas de calidad sanitaria				
P21.5	Estudios hidrológicos (evaluación de la recarga del acuífero)				
P21.6	Estudios hidrogeológicos				
P21.7	Pruebas de bombeo				
P21.8	Mediciones de caudal				
P21.9	Monitoreo de niveles del agua				
P21.10	Estudios de vulnerabilidad				
P21.11	Evaluación de infraestructura del pozo				

P22. ¿El pozo está cerca de fuentes potenciales de contaminación?
1. Sí ☐ **2.** No ☐

P23. Si su respuesta es positiva, marque con una **X** las fuentes de contaminación que reconozca:

1. Letrina/Fosas sépticas ☐
2. Corrales de ganado ☐
3. Cultivos intensivos con uso excesivo de fertilizantes y pesticidas. ☐
4. Basureros ☐
5. Zona de insumos agrícolas sin protección ☐
6. Cuerpos de agua contaminados ☐
7. Cementerios ☐
8. Actividades mineras ☐
9. Talleres mecánicos ☐
10. Ninguna ☐
11. Otra, indique _____

Anexo B. Variables climáticas

Anexo B1. Precipitación de DAV (1985-2025)

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	SUMA
1985	4.05	2.73	1.06	7.47	32.47	111.3	54.89	35.99	35.21	86.5	65.52	2.28	439.5
1986	0.04	2.37	7.3	0	109.8	112.9	24.99	103.1	58.15	58.81	17.61	16.6	511.6
1987	0.25	0.17	0.13	4.49	20.43	56.17	41.59	27.12	46.24	9.12	6.82	3.17	215.7
1988	4.88	1.35	4.63	3.45	20	70.31	87.93	203.9	242.5	36.05	3.01	0.09	678
1989	0.13	0.07	0.15	0.08	8.54	24.33	32.78	96.63	37.76	19.82	67.3	28.82	316.4
1990	0.52	0.63	1.07	27.97	135	84.25	158.2	110.9	165.1	136.4	86.64	25.99	932.7
1991	0.29	0.02	0.1	1.22	76.16	221	22.34	8.5	141	57.69	1.17	0.7	530.3
1992	0.16	5.92	13.04	2.71	220.5	206.6	66.24	108.3	134.6	30.75	4.83	3.21	796.9
1993	5.16	0.1	1.83	18.91	231.1	81.93	21.82	45.58	78.34	40.02	7.88	0.66	533.4
1994	0.28	0.91	0	0.88	11.7	34.32	11.49	28.02	58.19	25.53	16.61	5.23	193.2
1995	0.03	0.04	26.46	6.06	29.11	55.87	39.04	151.6	135.9	92.58	16.54	5.43	558.6
1996	8.9	0.1	2.63	15.56	45.06	48.83	48.36	32.27	40.23	98.51	20.15	1.48	362.1
1997	17.15	0.52	2.57	1.18	5.16	109.9	21.19	57.71	73.85	93.6	44.79	0	427.6
1998	0.04	0	3.77	0.46	47.86	182.6	73.2	96.16	213.1	366.4	44.57	11.77	1040
1999	2.76	46.68	6.33	2.29	81.16	136.2	78.5	113.5	330.6	170.5	30.08	0.79	999.4
2000	1.97	0.51	0.04	4.6	141.3	97.19	51.28	86.97	328.4	93.22	10.77	1.82	818
2001	7.29	1.87	2.73	0.13	58.67	28.81	59.66	24.14	225.7	83.92	9.07	1.88	503.9
2002	2.65	9.18	1.19	6.26	248.9	77.63	115.3	123.9	180.9	129.5	36.53	4.02	936
2003	6.33	2.07	21.5	63.12	154.1	171.5	68	72.82	90.83	154.4	55.48	3.39	863.5
2004	1.75	0.51	9.58	10.26	167.2	114.5	108.8	104	297.4	110.4	30.95	3.4	958.7
2005	0.37	0.32	59.83	12.83	125.5	296.2	91.55	124.5	354.1	265.6	20.09	0.69	1352
2006	1.27	1.33	0.16	10.84	103	182.4	85.73	43.94	216.3	111.8	23.85	3.95	784.5
2007	0.02	0.59	14.44	48.65	223.3	121.5	88.45	279.7	269.8	543.5	11.09	3.33	1604
2008	2.07	3.31	0.84	23.99	183	282.2	219.4	309.1	547.9	413.8	26.4	1.16	2013
2009	1.11	1.44	0.76	0.27	182.9	435.9	78.16	74.09	121.5	124.8	90.34	26.64	1138
2010	0.35	1.26	1.37	161.2	265.4	275.1	353.2	313.6	480.8	153.4	22.33	0.07	2028
2011	0.35	14.1	20.31	24.13	292.3	286.1	395.7	254.7	264.4	425.8	13.86	1.92	1994
2012	0.3	0.9	1.38	97	210.7	180.7	52.34	285.2	203.7	228.7	1.2	6.72	1269
2013	1.01	0.31	2.48	19.68	273.3	165.3	88.68	145.1	343.6	220.3	56.89	4.86	1321

2014	1.62	1.54	3.26	3.5	126.2	133.9	8.16	148.4	434.9	269.8	68.89	0.37	1201
2015	0.45	2.36	6.27	12.49	30.88	109.4	35.69	41.36	222.1	205.7	124.5	26.45	817.6
2016	0.02	1.05	5.12	32.91	180.7	218	71.03	216.4	249.3	305.1	76.57	44.77	1401
2017	0.72	1.12	0.57	74.3	236	461.5	88.86	248.1	302	323.7	14.49	3.04	1754
2018	0.94	4.06	0.01	31.24	383.6	187.2	23.5	68.24	157.5	527.4	12.24	1.2	1397
2019	4.55	0.39	0.05	10.62	252.3	104.9	48.43	133.7	226.2	385	20	0.51	1187
2020	0.89	0.32	0.46	3.92	134.7	322.9	83.13	123.8	435.1	478.1	448.3	73.52	2105
2021	3.9	0.84	5.31	64.66	60.83	255.3	135.7	505.5	318.2	148.2	3.67	1.24	1503
2022	0.71	0.33	1.82	42.8	252.2	253.9	115.5	247.5	381	186.6	122.3	1.16	1606
2023	0.27	0.17	18.58	7.64	105.9	151.4	132	127.2	167.4	316	99.95	21.21	1148
2024	1.36	16.7	1.78	17.57	265	515.2	318.2	115.3	372.8	140.1	465.5	25.66	2255
2025	2.97	13.58	41.64	26.17	147.9	280.6	157.2	131.4	253.7	311.8	12.92	4.7	1385
Promedio	2.192	3.458	7.135	22.04	143.4	176.7	94.05	135.8	225.3	194.6	56.38	9.12	**1070**

Anexo B2. Precipitación de INETER (2018-2025)

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Suma
2018	0.0	0.0	0.0	20.4	262.8	117.0	6.8	6.4	118.8	568.2	13.0	0.4	1113.8
2019	0.0	0.0	0.0	0.2	398.0	18.2	32.0	54.6	220.4	443.0	-	-	1166.4
2020	0.0	0.0	2.0	0.0	438.0	-	80.0	520.0	876.0	708.0	534.0	0.0	3158.0
2021	0.0	0.0	0.0	69.7	52.3	62.0	96.4	199.5	171.6	182.0	34.8	1.4	869.7
2022	0.0	0.2	0.4	103.6	194.2	179.7	44.6	241.3	379.4	271.8	142.4	0.0	1557.6
2023	0.0	0.0	132.2	0.0	61.9	95.8	46.0	124.7	120.4	379.9	205.9	24.3	1191.1
2024	1.0	0.2	9.2	24.0	107.6	529.2	72.2	55.6	373.5	339.6	417.8	6.4	1936.3
2025	2.4	0.0	0.0	1.8	132.8	154.7	25.2	12.6	107.4	0.4	0.0	0.6	437.9
Suma	**3.4**	**0.4**	**143.8**	**219.7**	**1647.6**	**1156.6**	**403.2**	**1214.7**	**2367.5**	**2892.9**	**1347.9**	**33.1**	**11430.8**
Media	**0.4**	**0.1**	**18.0**	**27.5**	**206.0**	**165.2**	**50.4**	**151.8**	**295.9**	**361.6**	**192.6**	**4.7**	**1428.9**
Max	**2.4**	**0.2**	**132.2**	**103.6**	**438.0**	**529.2**	**96.4**	**520.0**	**876.0**	**708.0**	**534.0**	**24.3**	**3158.0**
Min	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**52.3**	**18.2**	**6.8**	**6.4**	**107.4**	**0.4**	**0.0**	**0.0**	**437.9**

Anexo B3. Temperatura media de DAV (1985-2025)

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	SUMA
1985	25.82	27.07	28.6	29.32	29.43	28.01	26.91	27.42	28.11	27.74	25.89	26.65	27.58
1986	26.53	27.77	28.34	30.37	28.8	26.42	27.07	27.39	26.9	26.96	27.77	26.85	27.59
1987	27.03	28.63	30.49	30.95	30.38	29.93	27.9	28.43	28.46	28.8	29.71	28.63	29.11
1988	27.73	28.52	28.94	30.59	30.23	27.33	26.95	25.85	24.72	25.7	26.84	26.48	27.49
1989	27.23	26.99	28.42	29.79	29.83	29.39	28.18	28.85	26.46	28.1	27.64	25.52	28.04
1990	27.01	27.63	28.96	30.2	28.6	27.38	26.11	26.74	26.47	25.58	25.41	25.33	27.11
1991	26.69	27.55	29.17	30.42	29	27.68	26.74	28.26	27.48	26.18	26.89	26.62	27.72
1992	27.13	28.05	29.17	30.47	28.64	26.51	25.59	26	25.87	26.49	27.57	27.27	27.39
1993	27.57	28.3	29.3	30.21	27.58	26.31	27.05	27.77	26.82	27.47	28.19	27.81	27.86
1994	27.38	27.93	29.33	30.06	30.56	28.88	29.33	29.06	28.28	27.15	28.16	28.18	28.7
1995	27.47	28.18	29.35	30.6	29.79	28.21	28.33	26.46	25.79	25.5	27.13	27.43	27.85
1996	26.78	28.21	28.9	30.16	28.84	29.13	27.33	28.07	28.52	26.61	26.83	26.96	28.02
1997	27.32	28.03	28.94	30	30.53	27.44	28.91	28.96	28.36	26.66	27.28	27.17	28.3
1998	28.34	29.3	30.36	31.34	30.46	28.19	27	27.7	25.78	25.05	24.58	24.97	27.75
1999	25.94	26.53	27.92	29.55	28.07	27.49	26.36	26.57	25.03	24.24	24.22	24.34	26.35
2000	25.33	26.51	28.44	29.94	28.4	27.14	27.51	27.82	25.54	24.97	26.19	26.9	27.06
2001	26.51	27.07	28.83	30.24	30.05	28.23	28.61	28.87	26.77	26.64	26.41	27.75	28.01
2002	27.5	27.8	29.09	30.07	28.78	26.46	26.43	27.06	26.68	25.91	26.03	26.98	27.4
2003	26.94	28.1	28.86	30.3	28.71	26.07	26.94	27.49	27.52	26.77	26.81	26.99	27.62
2004	27.36	28.41	29.23	30.5	28.72	26.93	26.96	27.4	26.19	25.71	25.42	26.37	27.43
2005	26.56	27.16	29.42	30.66	28.43	26.33	26	26.57	25.95	24.54	24.53	25.21	26.78
2006	26.13	26.84	28.52	30.27	29.11	26.6	26.95	27.89	26.68	26.71	26.36	27.57	27.47
2007	27.24	28.35	29.68	29.4	28.58	26.51	26.91	26.3	25.41	24.79	24.22	24.24	26.79
2008	25.44	26.94	28.55	29.85	28.38	25.88	24.94	25.37	25.33	24.76	24.18	24.05	26.13
2009	25.07	26.35	27.72	29.69	28.07	26.24	25.77	26.47	26.94	26.69	25.53	26.3	26.74

2010	26.55	28.92	29.91	29.86	27.85	26.05	25.45	25.63	25.24	25.22	23.87	23.06	26.45
2011	25.64	27.24	27.81	29.53	27.84	25.92	25.48	25.87	25.62	24.57	24.2	24.18	26.15
2012	25.16	26.64	28.02	28.79	27.55	26.27	26.33	26.54	25.48	25.29	24.59	26.01	26.39
2013	26.88	27.8	29.02	30.67	28.12	26.35	26.06	26.56	25.8	25.47	25.17	24.98	26.9
2014	25.88	27.25	29	30.47	28.99	27.51	28.59	27.97	26.01	25.32	24.71	24.41	27.18
2015	25.8	27.28	28.55	30.29	29.89	27.91	28.27	29.66	27.55	26.65	25.67	26.96	27.88
2016	27.38	28.07	30.1	30.73	29.31	26.18	26.58	26.9	25.82	25.57	25.07	24.95	27.22
2017	25.55	27.24	28.93	29.71	27.25	26.31	25.93	26.17	25.86	25.3	25	24.77	26.49
2018	25.74	26.52	28.56	29.82	27.43	25.81	26.27	27.01	26.86	25.09	25.54	25.24	26.65
2019	26.35	28.12	29.02	30.59	27.75	27.32	27.72	27.89	27.1	25.49	25.49	26.27	27.42
2020	27.37	28.55	29.54	31.23	29.44	26.47	26.75	26.9	26.33	25.16	24.85	23.83	27.19
2021	24.45	26.57	28.29	29.21	29.2	27.73	26.68	26.01	25.69	26.05	25.25	25.92	26.75
2022	26.35	27.89	29.74	30.3	27.87	25.25	25.98	26.21	25.74	25.63	25.2	24.62	26.72
2023	25.88	27.17	28.55	30.2	30.47	27.68	27.31	28.04	27.82	26.56	25.84	26.21	27.65
2024	27.4	27.8	31.14	31.65	29.69	26.47	26.31	26.58	26.43	25.8	25.39	24.76	27.45
2025	25.25	26.95	28.59	28.81	29.21	26.27	26.59	26.99	26.55	25.78	25.13	25.9	26.84
	26.53	27.62	29.01	30.17	28.92	27.08	26.9	27.21	26.49	25.97	25.87	25.97	**27.31**

Anexo B4. RO para 12˚ de Lat. N en MJulio/m2/día

Lat. Norte	Ene	Feb	Mar	Abril	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
14°	29.9	33.1	36.1	38.1	38.4	38.1	38.1	38	36.7	33.9	30.6	28.9
13°	30.4	33.45	36.3	38.05	38.2	37.85	37.85	37.9	36.8	34.2	31.05	29.45
12°	30.9	33.8	36.5	38	38	37.6	37.6	37.8	36.9	34.5	31.5	30
11°	31.4	34.15	36.7	37.95	37.8	37.3	37.35	37.65	37	34.8	31.95	30.5
10°	31.9	34.5	36.9	37.9	37.6	37	37.1	37.5	37.1	35.1	32.4	31

Nota: Aller, et al. (1998)

Anexo B5. Cálculo de ETP mediante el método de Hargreaves Simplificada

Cálculo de ETP por fórmula de Hargreaves Simplificada						Estación León - San Francisco Libre			
	Promedios Mensuales Temperatura				Radiación Extraterr.		Evapotransp. Potencial		
Mes	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	35.1	26.5	18.6	4.06	30.9	12.61	5.2	31	**161.6**
Feb	36.8	27.6	19.4	4.18	33.8	13.79	6.0	28	**168.4**
Mar	38.4	29.0	20.0	4.29	36.5	14.89	6.9	31	**212.9**
Abr	39.1	30.2	21.9	4.15	38	15.50	7.1	30	**212.8**
May	38.2	28.9	22.6	3.95	38	15.50	6.6	31	**204.0**
Jun	34.4	27.1	21.8	3.56	37.6	15.34	5.6	30	**169.2**
Jul	34.2	26.9	21.2	3.61	37.6	15.34	5.7	31	**176.4**
Ago	35.0	27.2	21.7	3.65	37.8	15.42	5.8	31	**180.4**
Set	33.8	26.5	21.5	3.50	36.9	15.06	5.4	30	**161.1**
Oct	32.6	26.0	21.0	3.42	34.5	14.08	4.8	31	**150.0**
Nov	32.7	25.9	19.5	3.64	31.5	12.85	4.7	30	**140.9**
Dic	33.7	26.0	18.8	3.86	30	12.24	4.8	31	**147.4**
							TOTAL		**2085.1**

Anexo B6. ETP en el departamento de Leon periodo 2001-2021

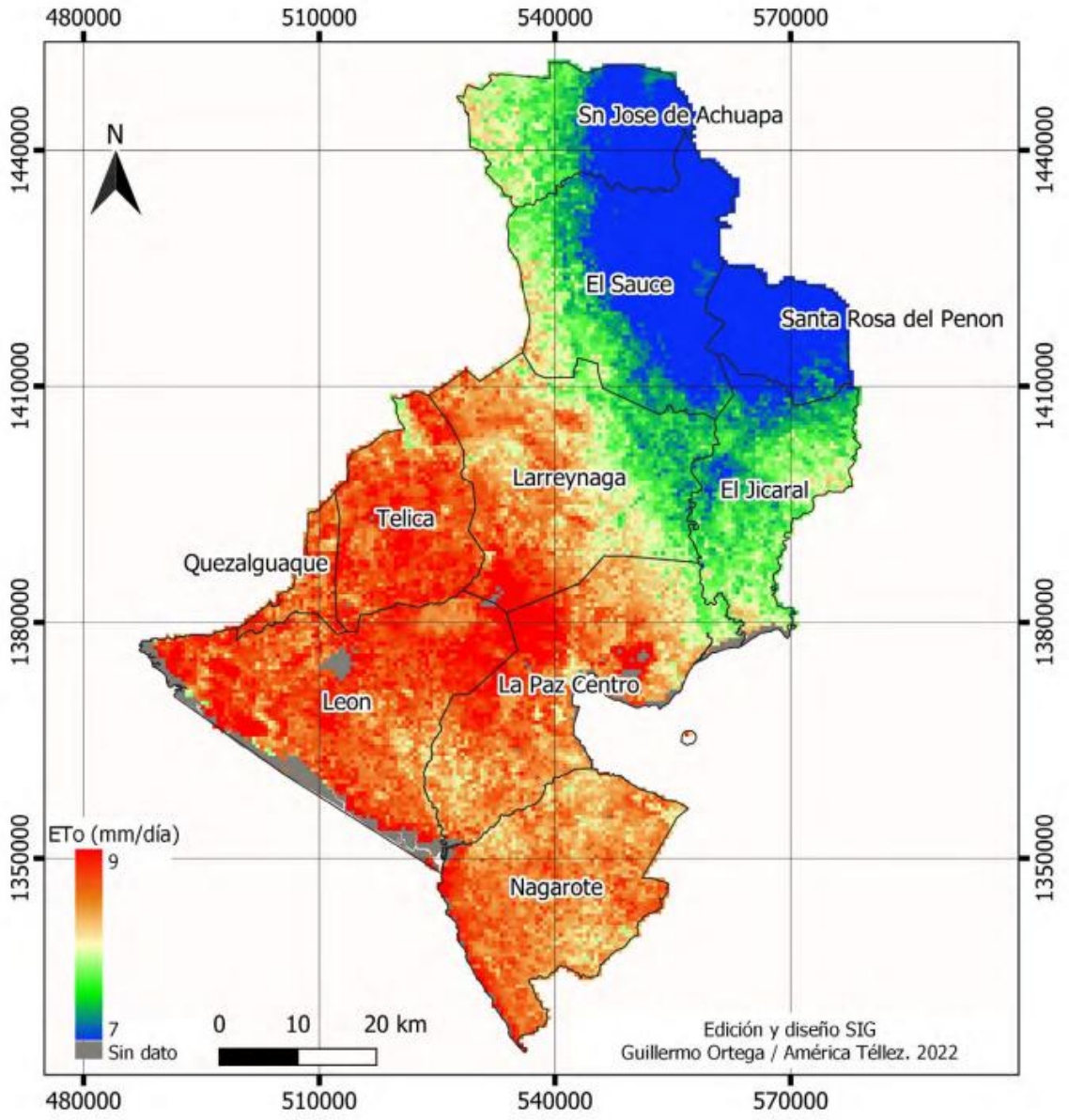


Figura 8. Amplitud de la ETP en el departamento de León (2001 – 2021) en mm día-1 ,en los meses de marzo y abril.

Anexo C. Análisis de suelo

Anexo C1. Bitácora de servicios de laboratorio de edafología

Universidad Nacional de Ingeniería
Área del Conocimiento de Agricultura
Laboratorio de Edafología

Bitácora de Servicios del Laboratorio de Edafología

BITÁCORA SERVICIOS / TESIS / FERIA / PROYECTO DE CURSO					
☑ TESIS	☐ PROYECTO DE CURSO	☐ FERIA	☐ SERVICIO	☐ I+D+I	☐ EXTENSIÓN
☐ OTRO (ESPECIFIQUE):					

INFORMACIÓN GENERAL			
FECHA DE INICIO: 9/2/26	HORA DE INICIO: 4 Pm	FECHA DE FINALIZACIÓN	HORA DE FINALIZACIÓN:
NOMBRE DE LA TESIS / PROYECTO: Evaluación de la vulnerabilidad ante el riesgo de contaminación Mediante el uso del método DRASTIC en 15 pozos de la comarca las Mojaras, municipio el Jicaral, Departamento de León, 2025			
ÁREA DE CONOCIMIENTO: DACA		PROGRAMA ACADÉMICO: Agrícola	OTRO: ☒
NOMBRE DEL TUTOR / COORDINADOR / CONTRAPARTE (SERVICIOS)		GRADO ACADÉMICO DEL TUTOR / COORDINADOR	
MSC. Ing Josue Green		INGENIERO / LICENCIADO	☐
ASIGNATURA/TESIS:	Pedología	MAESTRÍA	☑
GRUPO:	5T1-A61	DOCTORADO	☐

OBSERVACIONES:

ASISTENCIA (NO APLICA PARA SERVICIO EXTERNO)				
No.	NOMBRE Y APELLIDO	CARNET / CEDULA	FIRMA	CELULAR
1	Wendy Pamela Urbina Carrasco	2021-04130		5726 8307
2	Katya Mirbaliia Leiva Tórrez	2017-08430	Katya Le	86739618
3				
4				
5				

EQUIPO(S)				
ÍTEMS	EQUIPO	CODIFICACION	HORA (HORA/MIN)	PERIODO
1				
2				
3				
4				
5				

Anexo C2. Ficha para muestreo de suelo

Universidad Nacional de Ingeniería	Laboratorio de Edafología Dirección de Area de Conocimiento de Agricultura (DACA)
Muestra No.	Tipo de muestra:
Ubicación:	Número de submuestras:
Coordenadas :	Uso de suelo:
Fecha:	Cultivo:
Nombre:	Pendiente:
Responsable:	Textura aparente:

Anexo C3. Resultados de laboratorio – Textura del suelo

Datos

	Inicio	Despues de 5 hrs
Lectura de temperatura muestra en blanco	22	21.3
Excedente	2	1.3
Factor correcion	0.6	0.39

Peso de muestra (gramos)	50

Muestra	Lecturas de bouyoucos Inicial	Lectura corregida
1	27	27.6
2	24	24.6
4	20	20.6

Muestra	Lecturas de bouyoucos 5 hrs	Lectura corregida
1	15	15.39
2	15	15.39
4	12	12.39

Calculos

Muestra	%limo - arcilla	%Arcilla	%Arena	%Limo	Textura
1	55.2	30.78	44.8	24.42	
2	49.2	30.78	50.8	18.42	
4	41.2	24.78	58.8	16.42	

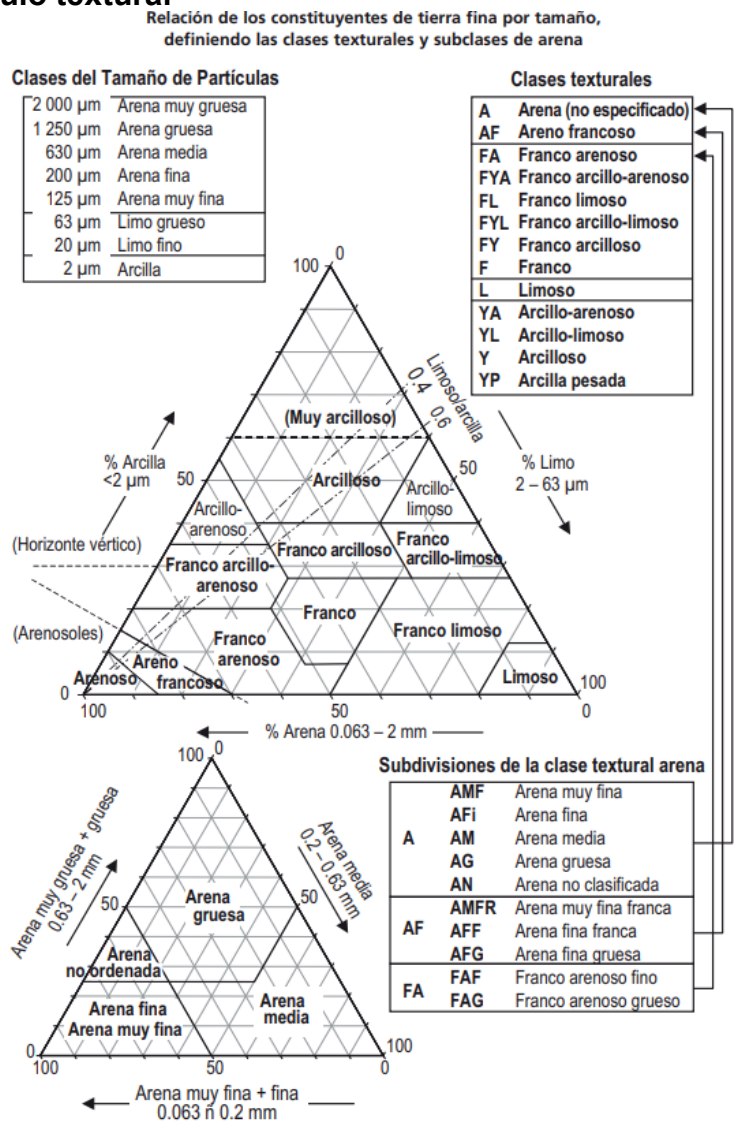
Anexo C4. Densidad aparente según la textura del suelo

Textura	Densidad aparente (g/cm³)
Arenas	1.6–1.7
Francos	1.3–1.4
Arcillas	1.0–1.2
Suelos orgánicos	0.7–1.0

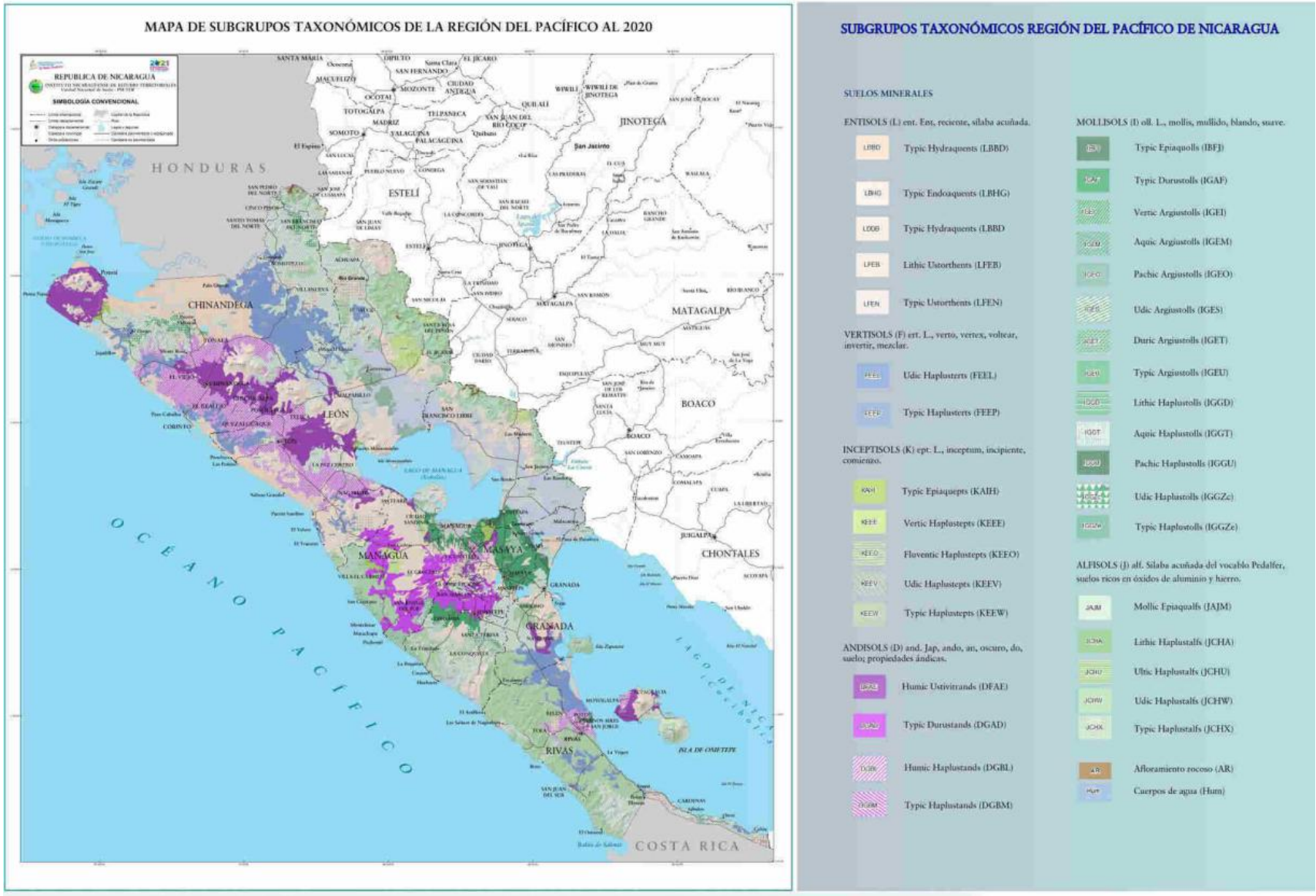
Anexo C5. Densidad real según la textura del suelo

Tipo de suelo	Rango de densidad real (g/cm^3)
Arenoso	2.63–2.67
Limoso	2.65–2.70
Arcilloso	2.67–2.90
Orgánico	< 2.00
Volcánico (Ándico)	2.00–2.50

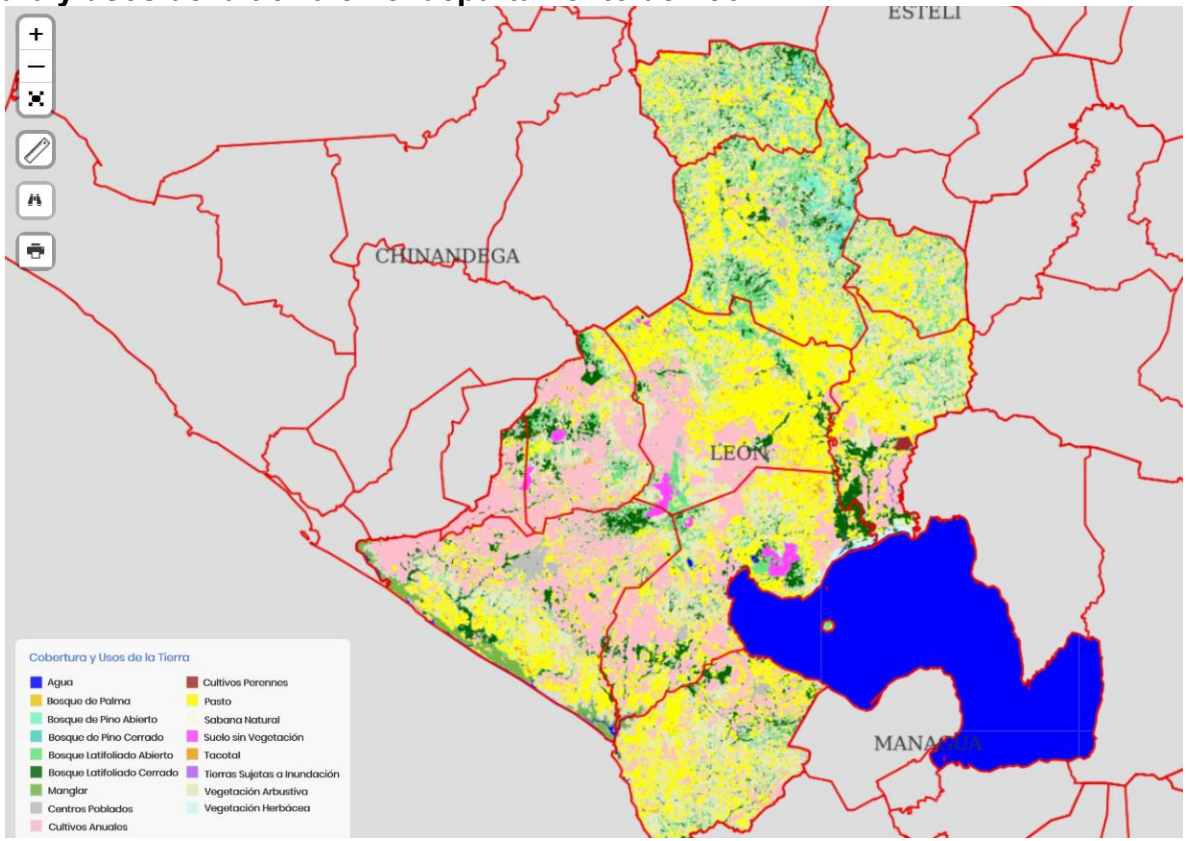
Anexo C6. Triangulo textural



Anexo C7. Mapa de subgrupos taxonómicos de la región del pacifico al 2020



Anexo C8. Cobertura y usos de la tierra en el departamento de León



Anexo D. Geología

Anexo D1. Mapa geológico de Nicaragua

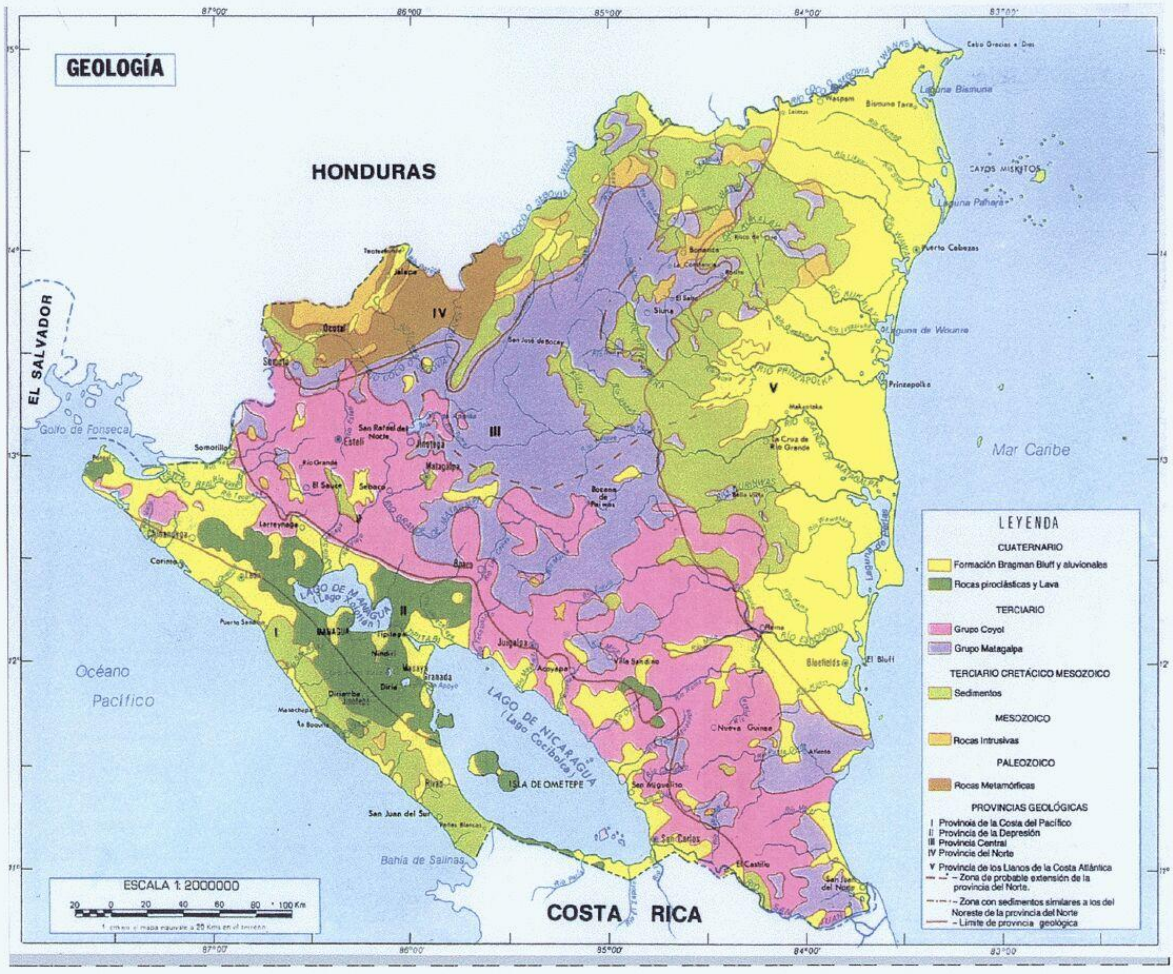
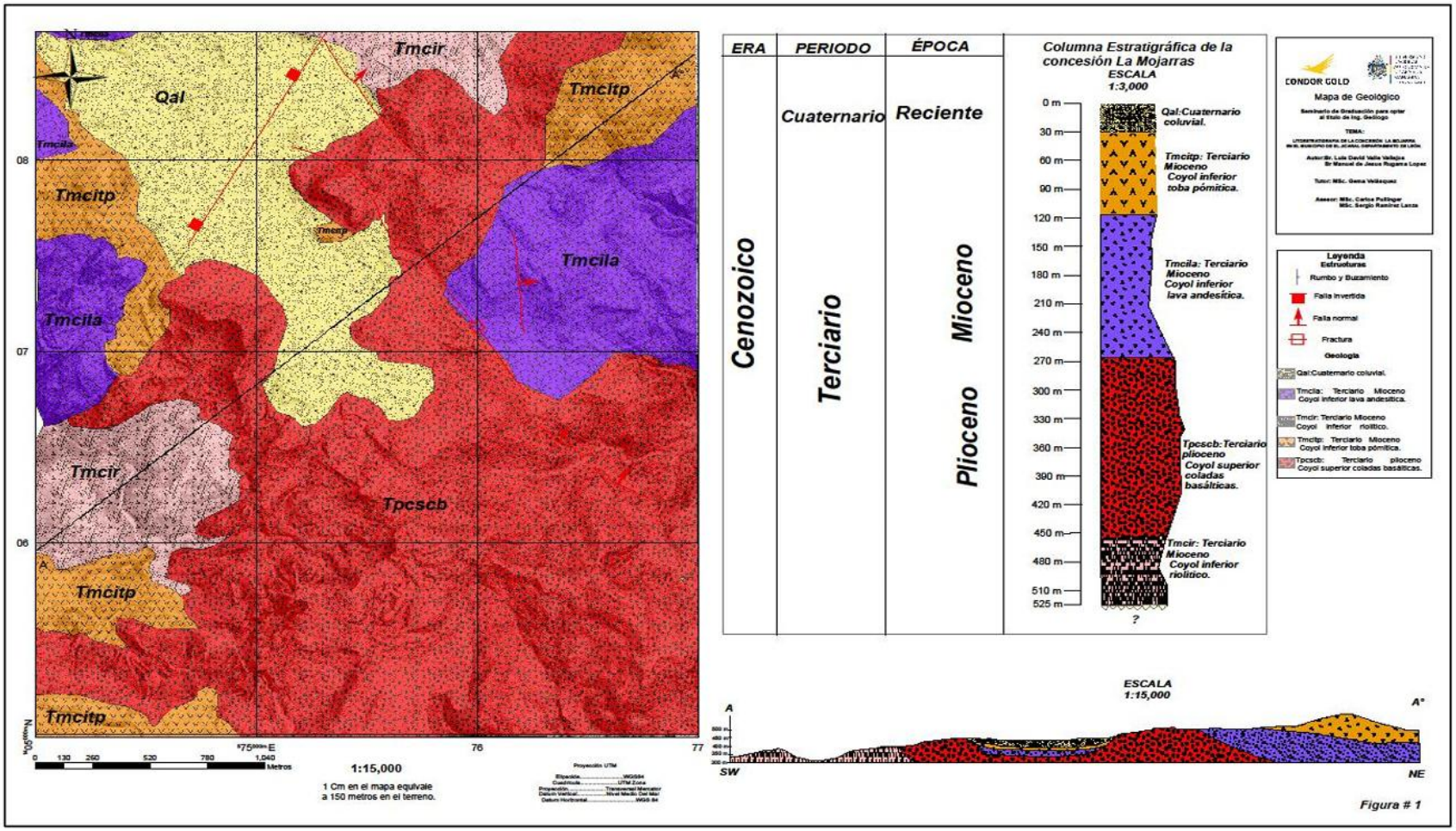


Figura 2.- Mapa geológico de Nicaragua. Tomado del Atlas Escolar de Nicaragua. INETER (1995). Escala original 1:200.000.

Anexo D2. Mapa geológico de la concesión La Mojarra



Anexo D3. Resumen de la estratigrafía de las provincias geológicas de Nicaragua

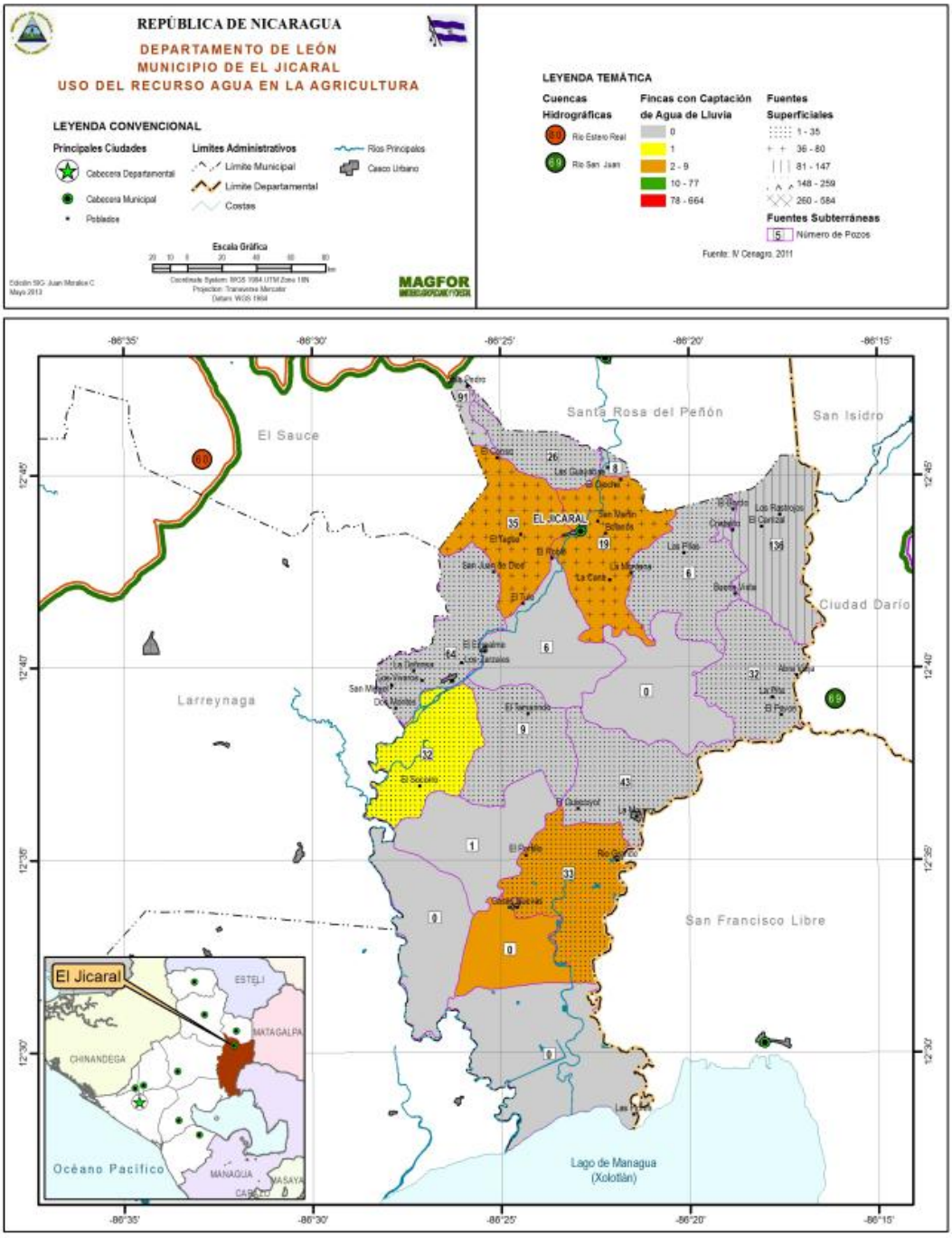
TABLA 6

RESUMEN DE LA ESTRATIGRAFIA DE LAS PROVINCIAS GEOLOGICAS

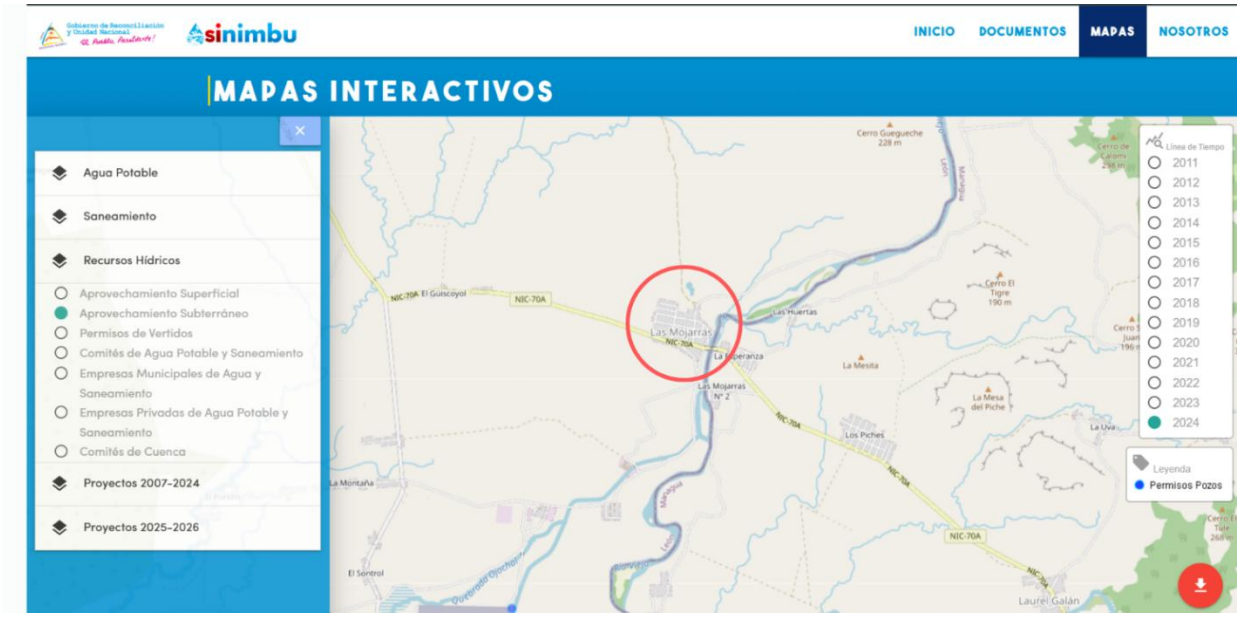
EDAD	CUENCA DE SEDIMENTACION DEL PACIFICO	DEPRESION (GRABEN) NICARAGUENSE	PROVINCIA VOLCANICA TERCIARIA CENTRAL	PALEOZOICO/ MESOZOICA NORTE	CUENCA DE SEDIMENTACION DE LA COSTA ATLANTICA
Reciente Holoceno	**Aluvional** arena grava arcilla	**Aluvional** arena, grava arcilla **Volcánico-Reciente** piroclásticos y flujo-lávicos. **Grupo Managua** piroclásticos incoherentes	**Aluvional** arena grava arcilla	**Aluvional** arena grava arcilla	**Aluvional** arena, grava, arcilla. **Fluvio-Coluvial** arena, aluviones sedimentos arcillosos. permeabilidad excelente-regular.
	muy permeable	muy permeable	muy permeable	muy permeable	
Pleistoceno	**Formación La Sierra** tobas-lítica, aglomerática y pmocea, sedimentos litorales.	**Formación La Sierra** toba-lítica, aglomerática, pomcea. permeabilidad buena regular.	**Vol. Cuaternario** basalto, intercalado con aglomerado (caldera de Las Lajas) permeabilidad secundaria.		**Bragmans Bluff** conglomerado y arcilla permeabilidad baja.
Plioceno	**Formación El Salto** arenisca tierna con intercalaciones de marga, coquina, coquina bien cementada. coquina intercalada con arcilla-arena y conglomerado. permeabilidad buena. impermeabilidad irregular.		**Coyol Superior** aglomerado, basalto, andesita toba e ignimbrita permeabilidad secundária.		**Intrusiva** granito permeabilidad secundaria.
Mioceno	**Formación Tamarindo** ignimbrita-toba y andesita permeabilidad variable. **Formación Fraile** arenisca-arenisca-tobácea y limolita. permeabilidad regular impermeable.	**Formación Tamarindo** ignimbrita-toba y andesita permeabilidad variable.	**Coyol Inferior** ignimbrita-dacítica y toba andesita y aglomerado. permeabilidad secundaria. **Malagalpa Superior** lava andesítica y basáltica. permeabilidad secundária.		
Oligoceno	**Formación Masachapa** lutitas tobáceas. limolita, lutita, calcárea y areniscas. permeabilidad variable.		**Malagalpa Medio** toba-ignimbrita permeabilidad impermeable. **Matagalpa Inferior** proclástica y volcano-sedimentária. permeabilidad variable. **Pre-Matagalpa**	**Formación Totogalpa** aglomerado con arenisca roja. permeabilidad secundaria.	**Pre-Matagalpa**
Paleoceno-Eoceno	**Formación Brito** arenisca grauvaca conglomerado lutita, arenisca calcárea y tobáceo. permeabilidad regular, impermeable. **Capa Sapoá** caliza masiva, arenosa y matriz arcillosa. permeabilidad variable.		Rocas básicas, ácidas. permeabilidad secundaria sedimentos toba genética, lacustre y marino. **Formación Machuca** calizas silicificada, grauvaca lutita. permeabilidad variable.	**Cuenca Bocay**	rocas basalto-andesita, toba e ignimbrita, toba e ignimbrita dacítica permeabilidad secundaria. sedimentos toba genética, lacustre y marina. permeabilidad variable.
Cretáceo	**Formación Rivas** arenisca, arenisca-tobácea, limolita, lutita, conglomerado, marga. permeabilidad regular, impermeable.		granodiorita diorita granito permeabilidad secundaria.	lutitas, arenisca aglomerado, caliza masiva y permeabilidad variable. permeabilidad variable. **Intrusiva** granito diorita.	
Intrusiva	diorita permeabilidad secundaria			**Rocas Metamórficas** esquistos filitas cuarcita, mármoles, pizarra. permeabilidad secundaria.	

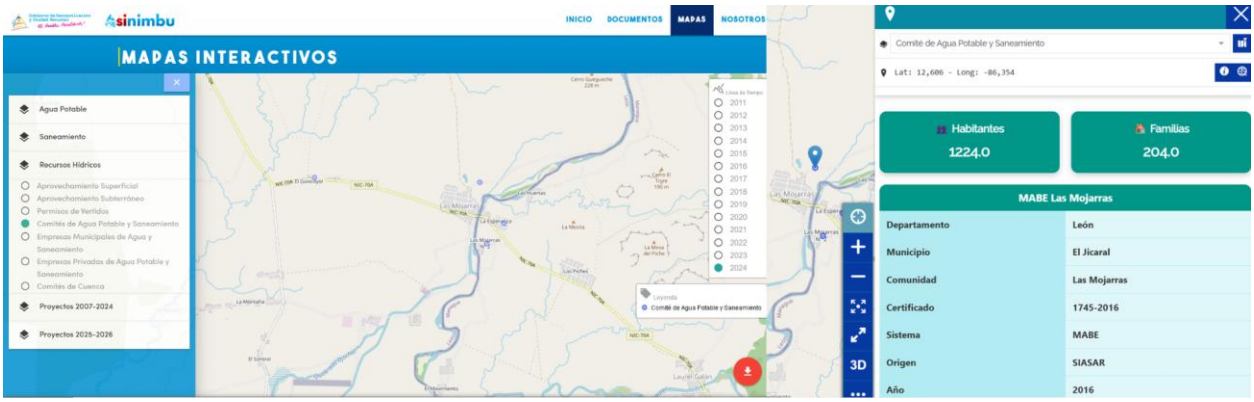
FUENTE: Anuário Estadístico – Segun G. Hodgson

Anexo E. Información del uso del agua de los pozos de la comunidad Las Mojarras
Anexo E1. Mapa de uso del recurso hídrico en el departamento de León



Anexo E2. Información en Sinimbu





Anexo F. Pruebas de bombeo

Prueba de Bombeo No. 1

Lugar:	La Palizada Leiva	**ØPozo (m):**	1.18		
Fecha:	26/4/2026	**Ø Descarga (in):**	1.5	**T1 =**	13.61
NEA (m):	8.56	**Elevación (msnm):**	62	**T2 =**	13.66
Q (m^3/d):	109.01	**Brocal (m):**	0.6	**T3 =**	13.68
Hora Inicio:	09:21:00 a. m.	**Hora Finaliza:**	11:26:00 a. m.	**TP =**	13.65

Date/time	Nivel del agua (m)	Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Abatimiento (m)	Δs(m)	s (m)	Caudal (GPM)	Caudal (m^3/d)
09:21:00 a. m.	8.56	0	0	0.00	0	0	20	109.01
09:22:00 a. m.	8.56	1	1	0.00	0.00	0.00		
09:23:00 a. m.	8.73	1	2	0.17	0.17	0.17		
09:24:00 a. m.	8.73	1	3	0.17	0.00	-0.17		
09:25:00 a. m.	8.74	1	4	0.18	0.01	0.01		
09:26:00 a. m.	8.79	1	5	0.23	0.05	0.04		
09:27:00 a. m.	8.81	1	6	0.25	0.02	-0.03		
09:28:00 a. m.	8.88	1	7	0.32	0.07	0.05		
09:29:00 a. m.	8.89	1	8	0.33	0.01	-0.06		
09:30:00 a. m.	8.95	1	9	0.39	0.06	0.05		
09:31:00 a. m.	8.98	1	10	0.42	0.03	-0.03		
09:33:00 a. m.	9.04	2	12	0.48	0.06	0.03		
09:35:00 a. m.	9.09	2	14	0.53	0.05	-0.01		
09:37:00 a. m.	9.11	2	16	0.55	0.02	-0.03		
09:39:00 a. m.	9.15	2	18	0.59	0.04	0.02		
09:41:00 a. m.	9.16	2	20	0.60	0.01	-0.03		
09:43:00 a. m.	9.19	2	22	0.63	0.03	0.02		
09:45:00 a. m.	9.22	2	24	0.66	0.03	0.00		
09:47:00 a. m.	9.26	2	26	0.70	0.04	0.01		
09:49:00 a. m.	9.28	2	28	0.72	0.02	-0.02		
09:51:00 a. m.	9.30	2	30	0.74	0.02	0.00		
09:56:00 a. m.	9.32	5	35	0.76	0.02	0.00		
10:01:00 a. m.	9.33	5	40	0.77	0.01	-0.01		
10:06:00 a. m.	9.34	5	45	0.78	0.01	0.00		
10:11:00 a. m.	9.34	5	50	0.78	0.00	-0.01		
10:16:00 a. m.	9.34	5	55	0.78	0.00	0.00		
10:21:00 a. m.	9.33	5	60	0.77	-0.01	-0.01		
10:26:00 a. m.	9.34	5	65	0.78	0.01	0.02		
10:31:00 a. m.	9.33	5	70	0.77	-0.01	-0.02		
10:36:00 a. m.	9.33	5	75	0.77	0.00	0.01		
10:41:00 a. m.	9.33	5	80	0.77	0.00	0.00		
10:46:00 a. m.	9.33	5	85	0.77	0.00	0.00		
10:51:00 a. m.	9.33	5	90	0.77	0.00	0.00		
10:56:00 a. m.	9.33	5	95	0.77	0.00	0.00		
11:01:00 a. m.	9.33	5	100	0.77	0.00	0.00		
11:06:00 a. m.	9.33	5	105	0.77	0.00	0.00		
11:11:00 a. m.	9.33	5	110	0.77	0.00	0.00		
11:16:00 a. m.	9.33	5	115	0.77	0.00	0.00		

Prueba de Bombeo No. 2

Lugar:	Junior Rojas	**ØPozo (m):**	1.25		
Fecha:	26/4/2026	**Ø Descarga (in):**	1 1/2"	**T1 =**	12.78
NEA (m):	9.33	**Elevación (msnm):**	61	**T2 =**	12.91
Q (m^3/d):	114.46	**Brocal (m):**	0.62	**T3 =**	12.86
Hora Inicio:	12:00:00 p. m.	**Hora Finaliza:**	02:05:00 p. m.	**P =**	12.85

Date/time	Nivel del agua (m)	Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Abatimiento (m)	Δs(m)	s (m)	Caudal (GPM)	Caudal (m^3/d)
12:00:00 p. m.	9.33	0	0	0.00	0	0	21	114.46
12:01:00 p. m.	9.41	1	1	0.08	0.08	0.08		
12:02:00 p. m.	9.46	1	2	0.13	0.05	-0.03		
12:03:00 p. m.	9.52	1	3	0.19	0.06	0.01		
12:04:00 p. m.	9.56	1	4	0.23	0.04	-0.02		
12:05:00 p. m.	9.62	1	5	0.29	0.06	0.02		
12:06:00 p. m.	9.68	1	6	0.35	0.06	0.00		
12:07:00 p. m.	9.72	1	7	0.39	0.04	-0.02		
12:08:00 p. m.	9.75	1	8	0.42	0.03	-0.01		
12:09:00 p. m.	9.81	1	9	0.48	0.06	0.03		
12:10:00 p. m.	9.84	1	10	0.51	0.03	-0.03		
12:12:00 p. m.	9.94	2	12	0.61	0.10	0.07		
12:14:00 p. m.	9.99	2	14	0.66	0.05	-0.05		
12:16:00 p. m.	10.06	2	16	0.73	0.07	0.02		
12:18:00 p. m.	10.12	2	18	0.79	0.06	-0.01		
12:20:00 p. m.	10.16	2	20	0.83	0.04	-0.02		
12:22:00 p. m.	10.19	2	22	0.86	0.03	-0.01		
12:24:00 p. m.	10.26	2	24	0.93	0.07	0.04		
12:26:00 p. m.	10.28	2	26	0.95	0.02	-0.05		
12:28:00 p. m.	10.33	2	28	1.00	0.05	0.03		
12:30:00 p. m.	10.37	2	30	1.04	0.04	-0.01		
12:35:00 p. m.	10.46	5	35	1.13	0.09	0.05		
12:40:00 p. m.	10.52	5	40	1.19	0.06	-0.03		
12:45:00 p. m.	10.57	5	45	1.24	0.05	-0.01		
12:50:00 p. m.	10.61	5	50	1.28	0.04	-0.01		
12:55:00 p. m.	10.66	5	55	1.33	0.05	0.01		
01:00:00 p. m.	10.72	5	60	1.39	0.06	0.01		
01:05:00 p. m.	10.76	5	65	1.43	0.04	-0.02		
01:10:00 p. m.	10.77	5	70	1.44	0.01	-0.03		
01:15:00 p. m.	10.78	5	75	1.45	0.01	0.00		
01:20:00 p. m.	10.79	5	80	1.46	0.01	0.00		
01:25:00 p. m.	10.81	5	85	1.48	0.02	0.01		
01:30:00 p. m.	10.83	5	90	1.50	0.02	0.00		
01:35:00 p. m.	10.83	5	95	1.50	0.00	-0.02		
01:40:00 p. m.	10.83	5	100	1.50	0.00	0.00		
01:45:00 p. m.	10.84	5	105	1.51	0.01	0.01		
01:50:00 p. m.	10.85	5	110	1.52	0.01	0.00		
01:55:00 p. m.	10.85	5	115	1.52	0.00	-0.01		
02:00:00 p. m.	10.86	5	120	1.53	0.01	0.01		
02:05:00 p. m.	10.86	5	125	1.53	0.00	-0.01	Fin de la prueba	

Prueba de Bombeo No. 3

Lugar:	Nuri Diaz	**ØPozo (m):**	1.25		
Fecha:	26/4/2026	**Elevación (msnm):**	61	**T1 =**	50
NEA (m):	9.33	**Brocal (m):**	0.62	**T2 =**	50.7
Q (m^3/d):	29.43	**Ø Descarga (in):**	1 1/2"	**T3 =**	50.64
Hora Inicio:	02:49:00 p. m.	**Hora Finaliza:**	04:45:00 p. m.	**TP =**	50.45

Date/time	Nivel del agua (m)	Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Abatimiento (m)	Δs(m)	s (m)	Caudal (GPM)	Caudal (m^3/d)
02:49:00 p. m.	10.21	0	0	0.00	0	0	5.4	29.43
02:50:00 p. m.	10.22	1	1	0.01	0.01	0.01		
02:51:00 p. m.	10.24	1	2	0.03	0.02	0.01		
02:52:00 p. m.	10.28	1	3	0.07	0.04	0.02		
02:53:00 p. m.	10.30	1	4	0.09	0.02	-0.02		
02:54:00 p. m.	10.31	1	5	0.10	0.01	-0.01		
02:55:00 p. m.	10.36	1	6	0.15	0.05	0.04		
02:56:00 p. m.	10.38	1	7	0.17	0.02	-0.03		
02:57:00 p. m.	10.41	1	8	0.20	0.03	0.01		
02:58:00 p. m.	10.45	1	9	0.24	0.04	0.01		
02:59:00 p. m.	10.46	1	10	0.25	0.01	-0.03		
03:01:00 p. m.	10.49	2	12	0.28	0.03	0.02		
03:03:00 p. m.	10.53	2	14	0.32	0.04	0.01		
03:05:00 p. m.	10.57	2	16	0.36	0.04	0.00		
03:07:00 p. m.	10.61	2	18	0.40	0.04	0.00		
03:09:00 p. m.	10.63	2	20	0.42	0.02	-0.02		
03:11:00 p. m.	10.65	2	22	0.44	0.02	0.00		
03:13:00 p. m.	10.67	2	24	0.46	0.02	0.00		
03:15:00 p. m.	10.75	2	26	0.54	0.08	0.06		
03:17:00 p. m.	10.77	2	28	0.56	0.02	-0.06		
03:19:00 p. m.	10.78	2	30	0.57	0.01	-0.01		
03:21:00 p. m.	10.79	2	35	0.58	0.01	0.00		
03:23:00 p. m.	10.79	2	40	0.58	0.00	-0.01		
03:25:00 p. m.	10.83	2	45	0.62	0.04	0.04		
03:30:00 p. m.	10.85	5	50	0.64	0.02	-0.02		
03:35:00 p. m.	10.90	5	55	0.69	0.05	0.03		
03:40:00 p. m.	10.9	5	60	0.69	0.00	-0.05		
03:45:00 p. m.	10.91	5	65	0.70	0.01	0.01		
03:50:00 p. m.	10.94	5	70	0.73	0.03	0.02		
03:55:00 p. m.	10.94	5	75	0.73	0.00	-0.03		
04:00:00 p. m.	10.99	5	80	0.78	0.05	0.05		
04:05:00 p. m.	11.01	5	85	0.80	0.02	-0.03		
04:10:00 p. m.	11.02	5	90	0.81	0.01	-0.01		
04:15:00 p. m.	11.03	5	95	0.82	0.01	0.00		
04:20:00 p. m.	11.03	5	100	0.82	0.00	-0.01		
04:25:00 p. m.	11.03	5	105	0.82	0.00	0.00		
04:30:00 p. m.	11.03	5	110	0.82	0.00	0.00		
04:35:00 p. m.	11.03	5	115	0.82	0.00	0.00		
04:40:00 p. m.	11.03	5	120	0.82	0.00	0.00		
04:45:00 p. m.	11.03	5	125	0.82	0.00	0.00	Fin de la prueba	

Prueba de Bombeo No. 4

Lugar:	Margarito Orozco	**ØPozo (m):**	1.58		
Fecha:	26/4/2026	**Elevación (msnm):**	61	**T1 =**	28.7
NEA (m):	8.52	**Brocal (m):**	0.5	**T2 =**	29.03
Q (m^3/d):	51.23	**Ø Descarga (in):**	1 1/2"	**T3 =**	28.81
Hora Inicio:	06:00:00 p. m.	**Hora Finaliza:**	08:05:00 p. m.	**P =**	28.84667

Date/time	Nivel del agua (m)	Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Abatimiento (m)	Δs(m)	s (m)	Caudal (GPM)	Caudal (m^3/d)
06:00:00 p. m.	8.52	0	0	0.00	0	0	9.4	51.23
06:01:00 p. m.	8.55	1	1	0.03	0.03	0.03		
06:02:00 p. m.	8.57	1	2	0.05	0.02	-0.01		
06:03:00 p. m.	8.59	1	3	0.07	0.02	0.00		
06:04:00 p. m.	8.61	1	4	0.09	0.02	0.00		
06:05:00 p. m.	8.63	1	5	0.11	0.02	0.00		
06:06:00 p. m.	8.67	1	6	0.15	0.04	0.02		
06:07:00 p. m.	8.58	1	7	0.06	-0.09	-0.13		
06:08:00 p. m.	8.71	1	8	0.19	0.13	0.22		
06:09:00 p. m.	8.73	1	9	0.21	0.02	-0.11		
06:10:00 p. m.	8.74	1	10	0.22	0.01	-0.01		
06:12:00 p. m.	8.79	2	12	0.27	0.05	0.04		
06:14:00 p. m.	8.86	2	14	0.34	0.07	0.02		
06:16:00 p. m.	8.89	2	16	0.37	0.03	-0.04		
06:18:00 p. m.	8.92	2	18	0.40	0.03	0.00		
06:20:00 p. m.	8.97	2	20	0.45	0.05	0.02		
06:22:00 p. m.	9.02	2	22	0.50	0.05	0.00		
06:24:00 p. m.	9.06	2	24	0.54	0.04	-0.01		
06:26:00 p. m.	9.10	2	26	0.58	0.04	0.00		
06:28:00 p. m.	9.14	2	28	0.62	0.04	0.00		
06:30:00 p. m.	9.18	2	30	0.66	0.04	0.00		
06:35:00 p. m.	9.29	5	35	0.77	0.11	0.07		
06:40:00 p. m.	9.39	5	40	0.87	0.10	-0.01		
06:45:00 p. m.	9.50	5	45	0.98	0.11	0.01		
06:50:00 p. m.	9.60	5	50	1.08	0.10	-0.01		
06:55:00 p. m.	9.70	5	55	1.18	0.10	0.00		
07:00:00 p. m.	9.83	5	60	1.31	0.13	0.03		
07:05:00 p. m.	9.93	5	65	1.41	0.10	-0.03		
07:10:00 p. m.	10.07	5	70	1.55	0.14	0.04		
07:15:00 p. m.	10.19	5	75	1.67	0.12	-0.02		
07:20:00 p. m.	10.32	5	80	1.80	0.13	0.01		
07:25:00 p. m.	10.44	5	85	1.92	0.12	-0.01		
07:30:00 p. m.	10.57	5	90	2.05	0.13	0.01		
07:35:00 p. m.	10.69	5	95	2.17	0.12	-0.01		
07:40:00 p. m.	10.81	5	100	2.29	0.12	0.00		
07:45:00 p. m.	10.82	5	105	2.30	0.01	-0.11		
07:50:00 p. m.	10.82	5	110	2.30	0.00	-0.01		
07:55:00 p. m.	10.82	5	115	2.30	0.00	0.00		
08:00:00 p. m.	10.82	5	120	2.30	0.00	0.00		
08:05:00 p. m.	10.87	5	125	2.35	0.05	0.05	Fin de la prueba	

Anexo G. Recuperación

- Recuperación del pozo La Palizada Leiva

Hora	Intervalo de tiempo (min)	Tiempo (min)	ND (m)	Ascenso (m)
11:26:00	0	0	9.33	0
11:27:00	1	1	9.17	0.16
11:28:00	1	2	9.12	0.21
11:29:00	1	3	9.06	0.27
11:30:00	1	4	9.02	0.31
11:31:00	1	5	8.98	0.35
11:32:00	1	6	8.93	0.40
11:33:00	1	7	8.89	0.44
11:34:00	1	8	8.83	0.50
11:35:00	1	9	8.82	0.51
11:36:00	1	10	8.78	0.55
11:37:00	1	11	8.76	0.57
11:38:00	1	12	8.73	0.60
11:39:00	1	13	8.71	0.62
11:40:00	1	14	8.69	0.64
11:41:00	1	15	8.66	0.67
11:42:00	1	16	8.64	0.69
11:43:00	1	17	8.63	0.70
11:44:00	1	18	8.60	0.73
11:45:00	1	19	8.58	0.75
11:46:00	1	20	8.57	0.76
				98.70
				% de recuperación

- Recuperación del pozo El Diamante 2

Hora	Intervalo de tiempo (min)	Tiempo (min)	ND (m)	Ascenso (m)
14:05:00	0	0	10.86	0
14:06:00	1	1	10.80	0.06
14:07:00	1	2	10.71	0.15
14:08:00	1	3	10.63	0.23
14:09:00	1	4	10.54	0.32
14:10:00	1	5	10.48	0.38
14:11:00	1	6	10.40	0.46
14:12:00	1	7	10.34	0.52
14:13:00	1	8	10.27	0.59
14:14:00	1	9	10.25	0.61
14:15:00	1	10	10.10	0.76
14:16:00	1	11	10.02	0.84
14:17:00	1	12	9.87	0.99
14:19:00	2	14	9.75	1.11
14:21:00	2	16	9.73	1.13
14:23:00	2	18	9.64	1.22
14:25:00	2	20	9.60	1.26
14:27:00	2	22	9.53	1.33
14:29:00	2	24	9.50	1.36
14:31:00	2	26	9.42	1.44
				94.30
				% de recuperación

- Recuperación del pozo La Ceibita

Hora	Intervalo de tiempo (min)	Tiempo (min)	ND (m)	Ascenso (m)
20:05:00	0	0	10.87	0
20:06:00	1	1	10.87	0.00
20:07:00	1	2	10.85	0.02
20:08:00	1	3	10.84	0.03
20:09:00	1	4	10.66	0.21
20:10:00	1	5	10.65	0.22
20:11:00	1	6	10.63	0.24
20:12:00	1	7	10.63	0.24
20:13:00	1	8	10.63	0.24
20:14:00	1	9	10.55	0.32
20:15:00	1	10	10.46	0.41
20:16:00	1	11	10.43	0.44
20:17:00	1	12	10.36	0.51
20:18:00	1	13	10.22	0.65
20:19:00	1	14	10.20	0.67
20:20:00	1	15	10.17	0.70
20:21:00	1	16	10.10	0.77
20:22:00	1	17	9.87	1.00
				42.55
				% de recuperación

Anexo H. Criterios para la selección del método de análisis según el acuífero

Tipo de acuífero	Tipo de ensayo	Detalle	Método de análisis
Confinado	Régimen permanente		Fórmula de Thiem
	Régimen variable	Interpretación de descensos	Fórmula de Theis
	Régimen variable		Aproximación logarítmica de Jacob
	Régimen variable	Interpretación de recuperación	Fórmula de recuperación de Theis
Semiconfinado	Régimen permanente		Fórmula de De Glee o de Jacob-Hantush
	Régimen variable	Int. Descensos	Fórmula de Hantush
	Régimen variable	Int. Recuperación	Análisis ascensos teóricos
Libre	Régimen permanente		Fórmula de Thiem (1) y corrección de Jacob
	Régimen permanente		Fórmula de Dupuit (2)
	Régimen variable	Int. descensos	Fórmula de Theis (3)
	Régimen variable		Aproximación logarítmica de Jacob (3)
	Régimen variable		Corrección de Dupuit
	Régimen variable		Fórmula de Boulton
	Régimen variable	Int. recuperación	Fórmula de Neuman
	Régimen variable		Fórmula de recuperación de Theis (1)

(1) Para descensos pequeños en comparación con el espesor saturado
(2) Si es admisible la aproximación de Dupuit-Forcheimer
(3) SI los descensos son pequeños en comparación con el espesor saturado y no existe drenaje diferido (es instantáneo).

Anexo I. Hidroquímica

Anexo I1. Descripción de las clases de agua para riego

CLASE	K (µS/cm a 25°C)	SÓLIDOS DISUELTOS (mg/L)	Descripción
C1	100 – 250	64 – 160	Puede usarse para la mayor parte de los cultivos en casi todos los suelos, con muy poco peligro de que desarrolle salinidad. Es preciso algún lavado, que se logra normalmente con el riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad.
C2	250 – 750	160 – 480	Puede usarse con un grado moderado de lavado. Sin excesivo control de la salinidad se pueden cultivar, en la mayoría de los casos, las plantas moderadamente tolerantes a las sales.
C3	750 – 2250	480 – 1440	No puede usarse en suelos de drenaje deficiente. Selección de plantas muy tolerantes a las sales y posibilidad de control de la salinidad del suelo, aún con drenaje adecuado.
C4	> 2250	> 1440	No es apropiada en condiciones ordinarias para el riego. Puede utilizarse con una selección de cultivos en suelos permeables, de buen drenaje y con exceso de agua para lograr un buen lavado.
S1	Puede usarse en la mayoría de los suelos con escasas posibilidades de alcanzar elevadas concentraciones de sodio intercambiable. Los cultivos sensibles, como los frutales, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.		
S2	Puede representar un peligro en condiciones de lavado deficiente, en terrenos de textura fina con elevada capacidad de cambio catiónico, si no contienen yeso.		
S3	En la mayor parte de los suelos puede alcanzarse un límite de toxicidad de sodio intercambiable, por lo que es preciso un buen drenaje, lavados intensos y adiciones de materia orgánica. En los suelos yesíferos el riesgo es menor.		
S4	En general inadecuada para riego, excepto con salinidades bajas o medias, siempre que se pueda posibilitar su empleo con la disolución del calcio del suelo, el uso del yeso o de otros elementos.		

Nota: CUSTODIO, E. y F. VILARO (1983)

Anexo J. Calidad de agua

Anexo J1. Resultados de ensayo físico químicos y bacteriológico de aguas naturales en época lluviosa

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

FQAN-2512-0180.01 **INFORME DE ENSAYO FISICO QUIMICOS DE AGUAS NATURALES**
LA-PT-09.RT01

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCION DEL CLIENTE		TELEFONO
Estudiantes UNI-DACA	El Jicaral León		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Wndy Pamela Urbina/ Katya Torrez	Estudiantes UNI-DACA	urbinawendy2004@gmail.com	5726-8307

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			Rango o valor máximo permisible o recomendado
Fecha y Hora de recolección	11/11/2025; 02:30 pm	Fecha de	Ingreso de muestra	11/11/2025	
Fuente[#]	Pozo de Finca La Palizada		Inicio de análisis	11/11/2025	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua Subterránea/Térmica/Aceptable		Finalización de análisis	11/12/2025	
Ubicación de la fuente[#]	Las Mojarras		Emisión del informe de resultados	11/12/2025	
Coordenadas	NR	No. Cadena de custodia		7303	
Recolectada por	Wendy Uribina/Katya Torrez	Código de muestra		LA-2511-0971	
Supervisor en campo[#]	Wendy Uribina/Katya Torrez	Muestra No.		Una (01)	

METODO SM // EPA/MH	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	NTON 03004[1]
2110	Apariencia	Adim	Turbia con MS	NE
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	8.07	6.5 - 8.5
2510-B	Conductividad Eléctrica	µS/cm	445.00	1700
2130-B	Turbiedad	UNT	2.420	5
2120-C	Color Verdadero	mg/L (Pt-Co)	7.00	15
2320-B	Alcalinidad	mg/L $CaCO_3$	240.00	615
2320-B	Carbonatos	mg/L $CaCO_3$	<0.40	20
2320-B	Bicarbonatos	mg/L $CaCO_3$	240.00	750
4500-B	Nitratos	mg NO^-_3-N/L	0.02	50
B	Nitritos	mg NO^-_2-N/L	<0.003	0.1
)	Cloruros	mg Cl/L	6.50	250
-B	Hierro Total	mg Fe/L	0.31	0.3
4500-E	Sulfatos	mg SO^{2-}_4/L	51.2	250
2340-C	Dureza Total	mg/L $CaCO_3$	276.88	500
8149	Manganeso	mg/L Mn	0.078	0.4
3500-B	Magnesio	mg/L	5.66	60
3500-X	Sodio	mg Na/L	0.82	200
3500-B	Calcio	mg/L	101.64	120
3500-C	Potasio	mg K/L	2.10	60
9221-B	Coliforme Totales	NMP/100 mL	31.00	Ausente
9221-E	Coliforme Fecales	NMP/100 mL	24.00	<1.8
9221-F	E.coli	NMP/100 mL	17.00	<1.8
3500-C	Arsénico	mg/L	<0.01	<0.01
450-C	Fluor	mg/L	0.11	1

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,
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 24 RD 2023, MH= Metodología Hach
EPA = Environmental Protection Agency, [1]Norma Técnica Nicaraguense Obligatoria Norma para Agua Potable
***Observación:** La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el personal de laboratorio a la Oficina de Atencion al Cliente, para la realización de los ensayos efectuados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI. [#]Datos de la muestra suministrados por el cliente en el momento de la recolección de la muestra insitu, según ubicación de la fuente reportada en este informe.*

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

Teléfono: (505) 2270 5613
Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595

MGPD.Silvano Cruz Sánchez
Responsable de Programa UNI-PIENSA

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

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

FQAN-2512-0180.02
LA-PT-09 RT01

INFORME DE ENSAYO FISICO QUIMICOS DE AGUAS NATURALES

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCIÓN DEL CLIENTE		TELEFONO
Estudiantes UNI-DACA	El Jicaral León		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Wndy Pamela Urbina/ Katya Torrez	Estudiantes UNI-DACA	urbinawendy2004@gmail.com	5726-8307

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	11/11/2025; 03:40 pm	Fecha de	**Ingreso de muestra**	11/11/2025	**Rango o valor máximo permisible o recomendado**
Fuente*	Pozo Marbeli Orozco		**Inicio de análisis**	11/11/2025	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua Subterránea/Térmica/Aceptable		**Finalización de análisis**	11/12/2025	
Ubicación de la fuente*	Las Mojarras		**Emisión del informe de resultados**	11/12/2025	
Coordenadas	NR	**No. Cadena de custodia**		7303	
Recolectada por	Wendy Uribina/Katya Torrez	**Código de muestra**		LA-2511-0972	
Supervisor en campo*	Wendy Uribina/Katya Torrez	**Muestra No.**		Dos (02)	

METODO SM // EPA/MH	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	NTON 03004[1]
2110	Apariencia	Adim	**Clara**	NE
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	**8.10**	6.5 - 8.5
2510-B	Conductividad Eléctrica	µS/cm	**931.00**	1700
2130-B	Turbiedad	UNT	**0.160**	5
2120-C	Color Verdadero	mg/L (Pt-Co)		15
2320-B	Alcalinidad	mg/L $CaCO_3$	**300.00**	615
2320-B	Carbonatos	mg/L $CaCO_3$		20
2320-B	Bicarbonatos	mg/L $CaCO_3$	**300.00**	750
4500-B	Nitratos	mg NO^-_3-N/L	**1.56**	50
4500-B	Nitritos	mg NO^-_2-N/L	**0.005**	0.1
4500-D	Cloruros	mg Cl/L	**53.00**	250
3500-B	Hierro Total	mg Fe/L	**0.007**	0.3
4500-E	Sulfatos	mg SO^{2-}_4/L	**159.00**	250
2340-C	Dureza Total	mg/L $CaCO_3$	**450.30**	500
8149	Manganeso	mg/L Mn	**0.002**	0.4
3500-B	Magnesio	mg/L	**25.1**	60
3500-X	Sodio	mg Na/L	**35.15**	200
3500-B	Calcio	mg/L	**139.08**	120
3500-C	Potasio	mg K/L	**5.30**	60
9221-B	Coliforme Totales	NMP/100 mL	**31.00**	Ausente
9221-E	Coliforme Fecales	NMP/100 mL	**31.00**	<1.8
9221-F	E.coli	NMP/100 mL	**31.00**	<1.8
3500-C	Arsénico	mg/L	**<0.001**	<0.01
450-C	Fluor	mg/L	**0.23**	1

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,
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 24 RD 2023, MH= Metodología Hach
EPA = Environmental Protection Agency, [1]Norma Técnica Nicaraguense Obligatoria Norma para Agua Potable

*Observación 1:La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el personal de laboratorio a la Oficina de Atencion al Cliente, para la realización de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI. *Datos de la muestra suministrados por el cliente en el momento de la recolección de la muestra insitu, según ubicación de la fuente reportada en este informe.*

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 unicamente con los ítems de ensayo.

Teléfono: (505) 2278 5613

Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595

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

MGPD.Silvano Cruz Sánchez
Responsable de Programa UNI-PIENSA

Fin del Informe

XXX

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

FQAN-2512-0180.03
LA-PT-09.RT01

INFORME DE ENSAYO FISICO QUIMICOS DE AGUAS NATURALES

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCION DEL CLIENTE		TELEFONO
Estudiantes UNI-DACA	El Jicaral León		NR
ATENCIÓN	CARGO	EMAIL	CELULAR
Wndy Pamela Urbina/ Katya Torrez	Estudiantes UNI-DACA	urbinawendy2004@gmail.com	5726-8307

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA		
Fecha y Hora de recolección	11/11/2025; 04:20 pm	Fecha de	Ingreso de muestra	11/11/2025
Fuente#	Pozo Marbeli Orozco		Inicio de análisis	11/11/2025
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua Subterránea/Térmica/Aceptable		Finalización de análisis	11/12/2025
Ubicación de la fuente#	Las Mojarras		Emisión del informe de resultados	11/12/2025
Coordenadas	NR	No. Cadena de custodia		7303
Recolectada por	Wendy Uribina/Katya Torrez	Código de muestra		LA-2511-0973
Supervisor en campo#	Wendy Uribina/Katya Torrez	Muestra No.		Tres (03)

Rango o valor máximo permisible o recomendado

METODO SM // EPA/MH	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	NTON 03004[1]
2110	Apariencia	Adim	Clara	NE
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	8.13	6.5 - 8.5
2510-B	Conductividad Eléctrica	µS/cm	346.00	1700
2130-B	Turbiedad	UNT	0.130	5
2120-C	Color Verdadero	mg/L (Pt-Co)	<1.0	15
2320-B	Alcalinidad	mg/L $CaCO_3$	198.00	615
2320-B	Carbonatos	mg/L $CaCO_3$	<0.40	20
2320-B	Bicarbonatos	mg/L $CaCO_3$	198.00	750
4500-B	Nitratos	mg NO^-_3-N/L	0.05	50
4500-B	Nitritos	mg NO^-_2-N/L	<0.003	0.1
4500-D	Cloruros	mg Cl/L	7.10	250
3500-B	Hierro Total	mg Fe/L	<0.006	0.3
4500-E	Sulfatos	mg SO^{2-}_4/L	7.45	250
2340-C	Dureza Total	mg/L $CaCO_3$	223.94	500
8149	Manganeso	mg/L Mn	<0.006	0.4
3500-B	Magnesio	mg/L	23.54	60
3500-X	Sodio	mg Na/L	23.85	200
3500-B	Calcio	mg/L	50.98	120
3500-C	Potasio	mg K/L	2.40	60
9221-B	Coliforme Totales	NMP/100 mL	31.00	Ausente
9221-E	Coliforme Fecales	NMP/100 mL	24.00	<1.8
9221-F	E.coli	NMP/100 mL	6.80	<1.8
3500-C	Arsénico	mg/L	<0.01	<0.01
450-C	Fluor	mg/L	0.18	1

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y linea respectiva.
Abreviaturas y simbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta,
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 24 RD 2023, MH= Metodologia Hach
EPA = Environmental Protection Agency, [1]Norma Técnica Nicaraguense Obligatoria Norma para Agua Potable

Observación :La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el personal de laboratorio a la Oficina de Atencion al Cliente, para la realización de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI. #Datos de la muestra suministrados por el cliente en el momento de la recolección de la muestra insitu, según ubicación de la fuente reportada en este informe.

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 unicamente con los items de ensayo.

MGPD.Silvano Cruz Sánchez
Responsable de Programa UNI-PIENSA

Teléfono: (505) 2270 5613
Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo. 5595
atencion.cliente@piensa.uni.edu.ni
www.piensa.uni.edu.ni

.....Fin del Informe.....

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

FQAN-2512-0180.04
LA-PT-09 RT01

INFORME DE ENSAYO FISICO QUIMICOS DE AGUAS NATURALES

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCION DEL CLIENTE		TELEFONO
Estudiantes UNI-DACA	El Jicaral León		NR
ATENCIÓN	CARGO	EMAIL	CELULAR
Wndy Pamela Urbina/ Katya Torrez	Estudiantes UNI-DACA	urbinawendy2004@gmail.com	5726-8307

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			Rango o valor máximo permisible o recomendado
Fecha y Hora de recolección	11/11/2025; 06:20 pm	Fecha de	Ingreso de muestra	11/11/2025	
Fuente#	Pozo Marbeli Orozco		Inicio de análisis	11/11/2025	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua Subterránea/Térmica/Aceptable		Finalización de análisis	11/12/2025	
Ubicación de la fuente#	Las Mojarras		Emisión del informe de resultados	11/12/2025	
Coordenadas	NR	No. Cadena de custodia		7303	
Recolectada por	Wendy Uribina/Katya Torrez	Código de muestra		LA-2511-0974	
Supervisor en campo#	Wendy Uribina/Katya Torrez	Muestra No.		Cuatro (04)	

METODO SM // EPA/MH	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	NTON 03004[1]
2110	Apariencia	Adim	Turbia MS	NE
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	8.09	6.5 - 8.5
2510-B	Conductividad Eléctrica	µS/cm	373.00	1700
2130-B	Turbiedad	UNT	11.800	5
2120-C	Color Verdadero	mg/L (Pt-Co)	9.00	15
2320-B	Alcalinidad	mg/L $CaCO_3$	211.00	615
2320-B	Carbonatos	mg/L $CaCO_3$	<0.40	20
2320-B	Bicarbonatos	mg/L $CaCO_3$	211.00	750
4500-B	Nitratos	mg NO^-_3-N/L	0.14	50
4500-B	Nitritos	mg NO^-_2-N/L	0.037	0.1
4500-D	Cloruros	mg Cl/L	5.70	250
3500-B	Hierro Total	mg Fe/L	3.96	0.3
4500-E	Sulfatos	mg SO^{2-}_4/L	19.18	250
2340-C	Dureza Total	mg/L $CaCO_3$	106.46	500
8149	Manganeso	mg/L Mn	0.99	0.4
3500-B	Magnesio	mg/L	4.19	60
3500-X	Sodio	mg Na/L	49.90	200
3500-B	Calcio	mg/L	35.75	120
3500-C	Potasio	mg K/L	2.60	60
9221-B	Coliforme Totales	NMP/100 mL	31.00	Ausente
9221-E	Coliforme Fecales	NMP/100 mL	24.00	<1.8
9221-F	E.coli	NMP/100 mL	2.00	<1.8
3500-C	Arsénico	mg/L	<0.01	<0.01
450-C	Fluor	mg/L	0.70	1

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,
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 24 RD 2023, MH= Metodología Hach
EPA = Environmental Protection Agency, [1]Norma Técnica Nicaraguense Obligatoria Norma para Agua Potable

Observación :La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el personal de laboratorio a la Oficina de Atencion al Cliente, para la realización de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI. #Datos de la muestra suministrados por el cliente en el momento de la recolección de la muestra insitu, según ubicación de la fuente reportada en este informe.

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

Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595

Teléfono: (505) 2270 5613

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

MGPD.Silvano Cruz Sánchez
Responsable de Programa UNI-PIENSA

..... Fin del Informe.....

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

FQAN-2512-0180.05
LA-PT-09.RT01

INFORME DE ENSAYO FISICO QUIMICOS DE AGUAS NATURALES

NOMBRE DEL CLIENTE	DIRECCIÓN DEL CLIENTE		TELEFONO
Estudiantes UNI-DACA	El Jicaral León		NR
ATENCIÓN	**CARGO**	**EMAIL**	**CELULAR**
Wndy Pamela Urbina/ Katya Torrez	Estudiantes UNI-DACA	urbinawendy2004@gmail.com	5726-8307

DATOS DE LA MUESTRA		CONTROL DEL LABORATORIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora de recolección	11/11/2025; 06:20 pm	**Fecha de**	**Ingreso de muestra**	11/11/2025	**Rango o valor máximo permisible o recomendado**
Fuente#	Pozo Comunitario de Las Mojarras		**Inicio de análisis**	11/11/2025	
Tipo de muestra/preservación/ /Estado envase	Agua Subterránea/Térmica/Aceptable		**Finalización de análisis**	11/12/2025	
Ubicación de la fuente#	Las Mojarras		**Emisión del informe de resultados**	11/12/2025	
Coordenadas	NR	**No. Cadena de custodia**		7303	
Recolectada por	Wendy Uribina/Katya Torrez	**Código de muestra**		LA-2511-0975	
Supervisor en campo#	Wendy Uribina/Katya Torrez	**Muestra No.**		Cinco (05)	

METODO SM // EPA/MH	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	NTON 03004[1]
2110	Apariencia	Adim	Clara	NE
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	8.51	6.5 - 8.5
2510-B	Conductividad Eléctrica	µS/cm	258.00	1700
2130-B	Turbiedad	UNT	0.310	5
2120-C	Color Verdadero	mg/L (Pt-Co)	<1.0	15
2320-B	Alcalinidad	mg/L $CaCO_3$	125.00	615
2320-B	Carbonatos	mg/L $CaCO_3$	<0.40	20
2320-B	Bicarbonatos	mg/L $CaCO_3$	125.00	750
4500-B	Nitratos	mg NO^-_3-N/L	0.10	50
4500-B	Nitritos	mg NO^-_2-N/L	<0.003	0.1
4500-D	Cloruros	mg Cl/L	7.20	250
3500-B	Hierro Total	mg Fe/L	0.097	0.3
4500-E	Sulfatos	mg SO^{2-}_4/L	19.15	250
2340-C	Dureza Total	mg/L $CaCO_3$	30.32	500
8149	Manganeso	mg/L Mn	0.024	0.4
3500-B	Magnesio	mg/L	0.08	60
3500-X	Sodio	mg Na/L	55.52	200
3500-B	Calcio	mg/L	8.26	120
3500-C	Potasio	mg K/L	1.80	60
9221-B	Coliforme Totales	NMP/100 mL	31.00	Ausente
9221-E	Coliforme Fecales	NMP/100 mL	17.00	<1.8
9221-F	E.coli	NMP/100 mL	11.00	<1.8
3500-C	Arsénico	mg/L	<0.01	<0.01
450-C	Fluor	mg/L	0.02	1

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 simbolos: ≤ menor o igual al Límite de Detección que se especifica por parámetro, NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta,
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 24 RD 2023, MH= Metodologia Hach
EPA = Environmental Protection Agency, [1]Norma Técnica Nicaraguense Obligatoria Norma para Agua Potable
Observación :*La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el personal de laboratorio a la Oficina de Atencion al Cliente, para la realización de los ensayos ejecutados en las instalaciones de los laboratorios ambientales PIENSA-UNI.* [#]*Datos de la muestra suministrados por el cliente en el momento de la recolección de la muestra insitu, según ubicación de la fuente reportada en este informe.*

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 unicamente con los items de ensayo.

Teléfono: (505) 2270 5613

MGPD.Silvano Cruz Sánchez
Responsable de Programa UNI-PIENSA

Recinto Universitario Simón Bolivar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo. 5595

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

.....Fin del Informe.....

Anexo J2. Rangos de conductividad eléctrica

Rango de conductividad (µS/cm)	Aplicaciones
800 – 2.500	Útil para el riego y el consumo de todo tipo de ganado. Sin embargo, se debe tener precaución al regar plantas sensibles a la salinidad, que pueden requerir agua con valores de conductividad más bajos. Asimismo, el agua en la mitad inferior de este rango podría ser apta para el consumo humano.
2.500 – 10.000	No es apta para el consumo humano ni para el riego. Sin embargo, las plantas muy tolerantes a la salinidad pueden utilizar agua con una salinidad de hasta 6000 µS/cm. El agua potable para aves de corral y cerdos también debe limitarse a 6000 µS/cm. La mayoría de los demás animales de granja pueden utilizar agua con una salinidad de hasta 10 000 µS/cm.
Por encima de 10.000 µS/cm	El agua con este nivel de conductancia es útil para aplicaciones como la producción de hormigón y las cisternas de los inodoros. Generalmente, no es apta para el consumo, pero el ganado vacuno y las ovejas adultas pueden tolerar hasta 17 000 µS/cm y 23 000 µS/cm, respectivamente.

Nota: AlpHa Measurement Solutions

Anexo K. Velocidad de infiltración

Velocidad de Infiltración - Método de Porchet

Lugar:	**La Palizada Leiva**
Hora de inicio:	09:20:00
Diámetro del agujero de	40.00
Hora de finalización:	10:00:00
Profundidad del agujero de infiltración (cm):	30

Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Lectura h (cm)
0	0	30
1	1	30
1	2	30
1	3	30
1	4	29.9
1	5	29.9
1	6	29.9
1	7	29.97
1	8	29.97
1	9	29.97
1	10	29.97
1	11	29.97
1	12	29.97
1	13	29.97
1	13	29.97
1	14	29.96
1	15	29.96
1	16	29.95
1	17	29.95
1	18	29.94
1	19	29.94
1	20	29.94
1	21	29.93
1	22	29.935
1	23	29.935
1	24	29.935
1	25	29.935
1	26	29.935
1	27	29.92
1	28	29.92
1	29	29.84
3	32	29.84
3	35	29.84
3	38	29.84
3	41	29.82

Velocidad de Infiltración - Método de Porchet

Lugar:	**Nuri Díaz**
Hora de inicio:	10:30:00
Diámetro del agujero de	40.00
Hora de finalización:	11:00:00
Profundidad del agujero de infiltración (cm):	30

Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Lectura h (cm)
0	0	30
1	1	29.9
1	2	29.9
1	3	29.98
1	4	29.98
1	5	29.98
1	6	29.9
1	7	29.9
1	8	29.9
1	9	29.8
1	10	29.6
1	11	29.4
1	12	29.3
1	13	29.3
1	13	29.1
1	14	29.1
1	15	29
1	16	28.9
1	17	28.8
1	18	28.7
1	19	28.65
1	20	28.6
1	21	28.55
1	22	28.4
1	23	28.5
1	24	28.5
1	25	28.4
1	26	28.4
1	27	28.3
1	28	28.2
1	29	28.1
3	32	28

Velocidad de Infiltración - Método de Porchet

Lugar:	**La Ceibita**
Hora de inicio:	13:00:00
Diámetro del agujero de	40.00
Hora de finalización:	13:35:00
Profundidad del agujero de infiltración (cm):	30

Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Lectura h (cm)
0	0	30
1	1	30
1	2	29.99
1	3	29.99
1	4	29.98
1	5	29.98
1	6	29.97
1	7	29.97
1	8	29.96
1	9	29.96
1	10	29.95
1	11	29.95
1	12	29.94
1	13	29.94
1	14	29.93
1	15	29.93
1	16	29.92
1	17	29.92
1	18	29.91
1	19	29.91
1	20	29.9
1	21	29.9
1	22	29.89
1	23	29.89
1	24	29.88
1	25	29.88
1	26	29.87
1	27	29.87
1	28	29.86
1	29	29.85
1	32	29.84
3	35	29.83

VELOCIDAD DE (cm/hr)	**0.27**	**3.75**	**0.29**

Anexo L. Metodología DRASTIC

Anexo L1. Ponderación de los parámetros DRASTIC

(D) PROFUNDIDAD DEL NIVEL PIEZOMÉTRICO	
RANGO (m)	VALOR
< 1,5	10
1,5-5	9
5-10	7
10-20	5
20-30	2
>30	1

(R) RECARGA NETA	
RANGO(mm)	VALOR
0-50	1
50-100	3
100-180	6
180-255	8
>255	9

(A) NATURALEZA DEL ACUÍFERO		
DESCRIPCIÓN	RANGO	VALOR
A-Arcillas, margas, limos	1-3	2
B-Ígneas/metamórficas	2-5	3
C-Ígneas/metamórficas alteradas	3-5	4
D-Alternancia de areniscas, arcillas y calizas	5-9	6
E-Areniscas masivas	4-9	6
F-Calizas masivas	4-9	6
G-Arenas, gravas y conglomerados	4-9	8
H-Volcánicas	2-10	9
I-Calizas carstíficadas	9-10	10

(S) NATURALEZA DEL SUELO	
TIPO DE SUELO	VALOR
Arcilla no expansiva y agregada	1
Suelo orgánico	2
Marga arcillosa	3
Marga limosa	4
Marga	5
Marga arenosa	6
Arcilla expansiva y/o agregada	7
Turba	8
Arena	9
Grava	10
Delgado o ausente	10

(T) TOPOGRAFÍA	
RANGO %	VALOR
0- 2	10
2- 6	9
6-12	5
12-18	3
>18	1

(C) PERMEABILIDAD	
RANGO (m/día)	VALOR
<4	1
4-12	2
12-28	4
28-40	6
40-80	8
>80	10

(I) IMPACTO DE LA ZONA NO SATURADA		
DESCRIPCIÓN	RANGO	VALOR
A-Arcilla, limo, margas	1-2	1
B-Esquistos, pizarras	2-5	3
C-Calizas	2-7	6
D-Areniscas	4-8	6
E-Alternancia de calizas, areniscas y arcillas	4-8	6
F-Arenas y gravas con contenido en arcilla	4-8	6
G-Metamórficas, ígneas	2-8	4
H-Arenas y gravas	6-9	8
I-Volcánicas	2-10	9
J-Calizas carstíficadas	8-10	10

Tabla 1. Rangos y valores de los parámetros (modificado de Aller et Al., 1987 en CCE-MOPTMA, 1994).

PARÁMETROS	ÍNDICE DE PONDERACIÓN (w)
D - Profundidad del nivel de agua	5
R - Recarga	4
A - Naturaleza del acuífero	3
S - Tipo de suelo	2
T - Topografía	1
I - Impacto de la zona no saturada	5
C - Permeabilidad	3

Anexo L2. Resultados de la metodología DRASTIC

VALORACIÓN DRASTIC

D) Profundidad del Nivel Piezometrico		
Rango (m)	Valor	
< 1,5	10	
1,5 - 5	9	
5 a 10	7	
10 a 20	5	
20 a 30	2	
> 30	1	X

R) Recarga neta (mm)		
Rango	Valor	
0 a 50	1	
50 a 100	3	
100 a 180	6	
180 a 255	8	X
> 255	9	

A) Naturaleza del Acuífero			
Descripción	Rango	Valor	
A - Arcillas, margas, limos	1 a 3	2	
B - Ígneas / metamórficas	2 a 5	3	
C - Ígneas / metamórficas alteradas	3 a 5	4	
D - Alternancia de arenisca, arcillas y calizas	5 a 9	6	
E - Areniscas masivas	4 a 9	6	
F - Calizas masivas	4 a 9	6	
G - Arenas, gravas y conglomerados	4 a 9	8	X
H - Volcanicas	2 a 10	9	X
I - Calizas carsificadas	9 a 10	10	

S) Naturaleza del Suelo		
Tipo de Suelo	Valor	
Arcilla no expansivas y agregadas	1	
Suelo orgánico	2	
Marga arcillosa	3	
Marga limosa	4	
Marga	5	X
Marga arenosa	6	
Arcilla expansiva y/o agregada	7	
Turba	8	
Arena	9	
Grava	10	
Delgada o ausente	10	

T) Topografía		
Rango %	Valor	
0 a 2	10	
2 a 6	9	X
6 a 12	5	
12 a 18	3	
> 18	1	

C) Permeabilidad (m/día)		
Rango	Valor	
< 4	1	X
4 a 12	2	X
12 a 28	4	
28 a 40	6	
40 a 80	8	
> 80	10	

I) Impacto en la zona no saturada			
Descripción	Rango	Valor	
A - Arcillas, margas, limos	1 a 2	1	
B - Esquistos, pizarra	2 a 5	3	
C - Caliza	2 a 7	6	
D - Areniscas	4 a 8	6	
E - Alternancia de arenisca, arcillas y calizas	4 a 8	6	
F - Arenas y gravas con contenido en arcilla	4 a 8	6	X
G - Metamórficas, igneas	2 a 8	4	
H - Arenas y gravas	6 a 9	8	
I - Volcanicas	2 a 10	9	X
J - Calizas carstificadas	8 a 10	10	

Parametros	Ponderación	Area 1	R	Area 2	R
D - Profundidad del nivel de agua	5	1	5	1	5
R - Recarga	4	8	32	8	32
A - Naturaleza del acuífero	3	8	24	9	27
S - Tipo del suelo	2	5	10	5	10
T - Topografía	1	9	9	9	9
I - Impacto en la zona no saturada	5	6	30	9	45
C - Permeabilidad	3	2	6	1	3

Índice de vulnerabilidad - Cálculo	
DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + IrIw + CrCw	
Área 1	116
Área 2	131

Anexo M. Galería de fotos

Anexo M1. Reconocimiento de las fuentes hidrogeológicas



Foto N°1. Entrevista



Foto N°2. Aplicación de encuesta



Foto N°3. Pozo N°1 La Palizada Leiva



Foto N°4. Pozo N°2 La Palizada 2



Foto N°5. Pozo N°3 La Palizada 3



Foto N°6. Pozo N°4 Las Guayabas



Foto N°7. Pozo N°5 El Diamante



Foto N°8. Pozo N°6 El Diamante 2

	
Foto N°9. Pozo N°7 El Diamante 3	Foto N°10. Pozo N°8 Las Guayabas
	
Foto N°11. Pozo N°9 Nuri Díaz	Foto N°12. Pozo N°10 El Jicarito
	
Foto N°13. Pozo N°11 San Antonio	Foto N°14. Pozo N°12 La Ceibita
	
Foto N°15. Pozo N°13 Finca Pilar	Foto N°16. Pozo N°14 Rosa María

	
Foto N°17. Pozo N°15 Pozo comunitario	Foto N°18 Fuentes de contaminación

Anexo M2. Muestreo de suelos		
		
A. Extracción de muestra inalterada	B. Cilindro de volumen conocido	C. Etiquetado de las muestras

Anexo M3. Análisis de muestras de suelo		
		
A: Representación de muestras extraídas	B: Tamizado de muestras	C: Secado de muestras
		
D: Metodología para obtener densidades	E: Método de Bouyucos	F: Peso de las muestras

Anexo M4. Equipos de bombeo	
 A	 B
A: Bomba sumergible Truper BOS-1-1/2SM 1 ½ Hp	B: Bomba periférica Truper BOAP-1 de 1 Hp

Anexo M5. Pruebas de bombeo			
			
A: Prueba de bombeo No. 3	*B: Prueba de bombeo No. 1*	*C: Sonda de nivel marca Solinst*	*D: Medición del descenso del NEA*

Anexo M6. Calidad de agua

A: Flameado de la tubería B: Etiquetado del envase para ensayos físico-químico y de metales pesados C: Etiquetado del envase para ensayos bacteriológicos. D: pHmetro



E: Endulzado del envase
F: Muestreo en la finca San Antonio con ayuda de Don Margarito
G: Refrigeración de las muestras

Universidad Nacional de Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
UNI
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARÁUZ PALACIOS

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	6AC924A8		
NOMBRE	LEIVA TORREZ KATYA MIRBANIA		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN DE ÁREA DE CONOCIMIENTO DE AGRICULTURA		
CARRERA	Ingeniería Agrícola		
TURNO	Diurno	**SEXO**	F
AÑO MATRICULADO	6	**GRUPO**	D1FCE-AGR-R
SIT. ESC	REINGRESO	**AÑO ING. EDUC. SUP**	2017

AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
6	D1FCE-AG	FORMAS DE CULMINACION DE ESTUDIOS

LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.
Para Consultar Informe de Calificaciones en https://singu.setec.edu.ni/

Correo:
Clave:

FECHA: 08/06/2026 09:21:53

Creado Por: 6AC924A8
Actualizado Por:

INICIO DE CLASES:
-- NUEVO INGRESO 2026:
--PRESENCIAL: LUNES 2 DE FEBRERO
--SABATINO: SÁBADO 31 DE ENERO
--DOMINICAL: DOMINGO 1 DE FEBRERO
--REINGRESO 2026:
-- CARRERAS DE CIENCIAS DE LA SALUD (II AÑO - VI AÑO): LUNES 26 DE ENERO.
--PRESENCIAL: 9 DE MARZO
--SABATINO: 7 DE MARZO
--DOMINICAL: 8 DE MARZO

Universidad Nacional de Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
UNI
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARÁUZ PALACIOS

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	6BE58B99		
NOMBRE	URBINA CARRASCO WENDY PAMELA		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN DE ÁREA DE CONOCIMIENTO DE AGRICULTURA		
CARRERA	Ingeniería Agrícola		
TURNO	Diurno	**SEXO**	F
AÑO MATRICULADO	6	**GRUPO**	D1FCE-AGR-R
SIT. ESC	REINGRESO	**AÑO ING. EDUC. SUP**	2021

AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
6	D1FCE-AG	FORMAS DE CULMINACION DE ESTUDIOS

LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.
Para Consultar Informe de Calificaciones en https://singu.setec.edu.ni/

Correo:
Clave:

FECHA: 07/06/2026 04:09:24

Creado Por: 6BE58B99
Actualizado Por:

INICIO DE CLASES:
-- NUEVO INGRESO 2026:
--PRESENCIAL: LUNES 2 DE FEBRERO
--SABATINO: SÁBADO 31 DE ENERO
--DOMINICAL: DOMINGO 1 DE FEBRERO
--REINGRESO 2026:
-- CARRERAS DE CIENCIAS DE LA SALUD (II AÑO - VI AÑO): LUNES 26 DE ENERO.
--PRESENCIAL: 9 DE MARZO
--SABATINO: 7 DE MARZO
--DOMINICAL: 8 DE MARZO