

REPÚBLICA DOMINICANA
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL
(UTECO)



Facultad de Ingeniería y Recursos Naturales
Escuela de Geología

Proyecto de Grado para optar por el título de Ingeniería en Geología

Título del Trabajo:

Evaluación del Impacto de la Minería en la Calidad del Agua Subterránea
de Sánchez Ramírez.

Sustentado por:

Celines María Peñaló Peralta
Rosanny Miguelina Vásquez Gil
Kelmelina Almanzar Jiménez
Heiddy María Marte Polanco
Raquel Inmaculada Acosta
Alex Rodríguez Reynoso

Asesor:

Ing. Elpidio Moronta

Cotuí, provincia Sánchez Ramírez

Año Académico 2026.

Título:

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MINERÍA EN LA CALIDAD DEL
AGUA SUBTERRÁNEA DE SÁNCHEZ RAMÍREZ**

HOJA DE EVALUACIÓN

Evaluación del Impacto de la Minería en la Calidad del Agua Subterránea de Sánchez
Ramírez.

Sustentantes:

Celines María Peñaló Peralta
Rosanny Miguelina Vásquez Gil
Kelmelina Almanzar Jiménez
Heiddy María Marte Polanco
Raquel Inmaculada Acosta
Alex Rodríguez Reynoso

Ing. Elpidio Moronta
Asesor

Jurado Evaluador

Jurado Evaluador

Jurado Evaluador Director/a de la Escuela de Ingeniería en Geología

Decano/a de la Facultad de Ingeniería y Recursos Naturales

Calificación _____

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Los conceptos plasmados en el presente proyecto de grado con el título “Evaluación del Impacto de la Minería en la Calidad del Agua Subterránea de Sánchez Ramírez”, son responsabilidad de los/as sustentantes de esta. Las citas y consultas bibliográficas se han realizado respetando el derecho de autor; por tanto, se libera a la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO) de su responsabilidad, sin embargo, para la reproducción total o parcial se requiere de su autorización.

Celines María Peñaló Peralta

Rosanny Miguelina Vásquez Gil

Kelmelina Almanzar Jiménez

Heiddy María Marte Polanco

Raquel Inmaculada Acosta

Alex Rodríguez Reynoso

Índice de Contenidos

Contenido

HOJA DE EVALUACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
AGRADECIMIENTOS.....	xii
DEDICATORIA.....	xiii
RESUMEN.....	xxii
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO.....	1
1.1 Descripción del Contexto del Proyecto.....	1
1.1.1 Hidrogeología.....	5
1.1.2 Geología General.....	5
1.1.3 Geología Local.....	7
1.1.4 Datos Climáticos.....	8
1.2 Diagnóstico del Estado Actual.....	9
1.2.1 Objetivos del Diagnóstico.....	13
1.2.2 Metodología.....	13
1.2.3 Presentación de los Resultados.....	18
1.2.4 Análisis de los Resultados.....	18
1.3 Descripción del problema.....	19
1.4 Análisis del Problema.....	20
1.5 Análisis de Objetivos.....	23
1.6 Justificación del Proyecto.....	24
1.7 Análisis de Involucrados.....	26
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA O MARCO REFERENCIAL	27
2.1 Introducción.....	27
2.2 Antecedentes.....	27
2.2.1 Antecedentes Internacionales.....	27
2.2.2 Antecedentes Nacionales.....	29
2.2.3 Antecedentes Locales.....	30

2.3 Marco Teórico	32
2.3.1 Impacto de la Minería en las aguas subterráneas	32
2.3.2 Puntos de captación de agua subterráneas	33
2.3.3 Muestreos hidroquímicos y biológicos de aguas subterráneas	34
2.3.4 Informes técnico-hidrogeológicos de empresas mineras	35
2.3.5 Muestras de aguas subterráneas	36
2.3.6 Normativa ambiental nacional e internacional sobre las aguas subterráneas ...	37
2.4 Marco Conceptual	39
CAPÍTULO III: PROPUESTA DE SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	
SELECCIONADO	44
3.1 Descripción de la Propuesta	44
3.2 Alcances y Limite	47
3.2.1 Alcance Espacial	47
3.2.2 Alcance Temporal	50
3.3 Objetivos	50
3.3.1 Objetivo General	50
3.3.2 Objetivos específicos	50
3.4 Plan de Acción	51
3.5 Cronograma de Implementación	53
3.6 Presupuestos	54
3.7 Análisis de factibilidad	55
3.7.1 Factibilidad Técnica	55
3.7.2 Factibilidad Económica	55
3.7.3 Factibilidad Social	55
3.7.4 Factibilidad Ambiental	56
3.8 Sostenibilidad	56
3.9 Monitoreo y Seguimiento	56
CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE SOLUCIÓN	57
4.1 Presentación y Análisis de los resultados	57
4.1.1 Principales puntos de captación de agua subterránea en el área de influencia minera y nivel freático	57
4.1.2 Muestreos físicos y químicos en los diferentes puntos de captación de aguas subterráneas	73

4.1.3 Muestreos de metales pesados (Cu, Zn, Fe, Cd) a las aguas subterráneas del Distrito Municipal de Zambrana.....	77
4.1.4 Percepción de los comunitarios de la zona impactada sobre los efectos de la minería en las aguas subterráneas.....	80
4.1.5 Relación de los resultados de los muestreos con los datos (línea base) y los límites permisibles establecidos en la normativa dominicana e internacional.	101
CAPÍTULO V: CONSIDERACIONES FINALES.....	125
5.1 Conclusiones	125
5.2 Recomendaciones.....	128
Referencias.....	130
Anexos	137

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No.	Descripción	Página
1	Análisis de los involucrados	26
2	Análisis FODA	46
3	Plan de acción	51
4	Presupuesto	54
5	Levantamiento de pozos y cálculo del nivel freático	61
6	Resultados de análisis fisicoquímicos	74
7	Muestras adicionales - Pozos	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.	Descripción	Páginas
1	Esquema fisiográfico de la Española y localización de la Hoja de Cotuí	2
2	Mapa de la litología de Sánchez Ramírez	7
3	Principales puntos de monitoreo de las aguas subterráneas	9
4	Delimitación del área de interés	10
5	Pozos y red de abastecimiento en la comunidad de Guadiarnon, Sabana del Rey, Jobo Claro y Jurungo	11
6	Pozos y red de abastecimiento en la comunidad de El Maricao, Dos Palmas	12
7	Mapa topográfico con los puntos de interés	48
8	Mapa de puntos estudiados	49
9	Cronograma de implementación de actividades	53
10	Mapa de ubicación de pozos en Zambrana	57
11	Mapa de topográfico de pozos muestreados y no muestreados en Zambrana	59
12	Mapa de Red hídrica superficial de Zambrana	68
13	Mapa de permeabilidad aparente	70
14	Puntos muestreados sobre mapa geológico	72
15	Resultados de los análisis en los metales pesados	78
16	Distribución de frecuencia según la edad	81
17	Distribución de frecuencia según el sexo	82
18	Distribución de frecuencia según el nivel educativo	83
19	Distribución de frecuencia según la fuente principal del consumo del agua	84
20	Distribución de frecuencia según la cercanía de la mina	85
21	Distribución de frecuencia según la confiabilidad en la mina	86
22	Distribución de frecuencia según cambios en el agua	87
23	Distribución de frecuencia según la preocupación por el estado de las aguas	88
24	Distribución de frecuencia según la responsabilidad de Barrick con las aguas	89
25	Distribución de frecuencia según efecto de la operación minera en las aguas	90

26	Distribución de frecuencia según el uso diario de las aguas	91
27	Distribución de frecuencia según el monitoreo de las aguas	92
28	Distribución de frecuencia según la confiabilidad de las mediciones de calidad del agua	93
29	Distribución de frecuencia según el cambio en el uso de las aguas subterráneas	94
30	Distribución de frecuencia según el efecto en la salud del agua	95
31	Distribución de frecuencia según las orientaciones o informaciones brindadas.	96
32	Distribución de frecuencia según la existencia de un programa de monitoreo	97
33	Distribución de frecuencia según actores involucrados en el monitoreo del agua	98
34	Distribución de frecuencia según medidas para proteger el agua	99
35	Distribución de frecuencia según la información recibida	100
36	Relación de PH con el límite permitido por OMS y el MEM (1)	102
37	Relación de PH con el límite permitido por OMS y el MEM (2)	103
38	Relación de Na ⁺ con el límite permitido por OMS y el MEM (1)	104
39	Relación de Na ⁺ con el límite permitido por OMS y el MEM (2)	105
40	Relación de Cl con el límite permitido por OMS y el MEM (1)	106
41	Relación de Cl con el límite permitido por OMS y el MEM (2)	107
42	Relación de SO ₄ con el límite permitido por OMS y el MEM (1)	108
43	Relación de SO ₄ con el límite permitido por OMS y el MEM (2)	109
44	Relación de N-No ₃ con el límite permitido por OMS y el MEM (1)	110
45	Relación de N-No ₃ con el límite permitido por OMS y el MEM (2)	111
46	Relación de N-No ₂ con el límite permitido por OMS y el MEM (1)	112
47	Relación de N-No ₂ con el límite permitido por OMS y el MEM (2)	113
48	Relación de D.T. con el límite permitido por OMS y el MEM (1)	114
49	Relación de D.T. con el límite permitido por OMS y el MEM (2)	115
50	Relación de STD con el límite permitido por OMS y el MEM (1)	116

51	Relación de STD con el límite permitido por OMS y el MEM (2)	117
52	Relación de la temperatura con el límite permitido por OMS y el MEM	118
53	Relación de Cu con el límite permitido por OMS y el MEM	120
54	Relación de Zn con el límite permitido por OMS y el MEM	121
55	Relación de Fe con el límite permitido por OMS y el MEM	122
56	Relación de Cd con el límite permitido por OMS y el MEM	124

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo No.	Descripción	Páginas
1	Carta de notificación de aprobación del título de investigación	139
2	Encuesta elaborada para ser aplicada a los comunitarios de Zambrana	140
3	Formulario para la toma de muestras de agua subterráneas	146
4	Carta de solicitud de colaboración INDRHI	148
5	Carta de solicitud de colaboración CORMIDOM	149
6	Evidencias del trabajo de campo	150

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por ser nuestra guía constante, por darnos la fortaleza, la salud y la sabiduría necesarias para culminar este proyecto. Sus bendiciones iluminaron cada paso de este camino académico.

A la **Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO)**, nuestro más sincero agradecimiento por abrirnos sus puertas y brindarnos una formación integral. Esta institución no solo nos proporcionó conocimientos, sino también valores, experiencias y oportunidades que marcaron nuestra vida profesional y personal.

Nuestro agradecimiento especial al **Ing. Elpidio Moronta**, asesor de tesis, por su paciencia, su acompañamiento constante y su orientación precisa. Su entrega, su espíritu crítico y su dedicación fueron fundamentales para guiar el rumbo de esta investigación y elevar su calidad. Apreciamos cada hora, cada corrección y cada enseñanza compartida.

Al profesor **Ricardo Villafaña**, por su pasión por la educación, por inspirarnos con su entrega y por motivarnos a perseguir siempre la excelencia. Su ejemplo profesional y humano queda grabado en nuestra formación.

Extendemos también nuestro profundo agradecimiento a las **instituciones que apoyaron este trabajo: Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI)**, por facilitar información clave y datos indispensables para la construcción del análisis técnico. **Corporación Minera Dominicana (CORMIDOM)**, por su colaboración significativa durante el desarrollo de esta investigación.

Celines María Peñaló Peralta

Rosanny Miguelina Vásquez

Kelmelina Almanzar

Heidy María Marte Polanco

Raquel Inmaculada Polanco

Alex Rodríguez

DEDICATORIA

A **Dios**, mi padre todo poderoso por acompañarme en cada paso ya que este logro es gracias a él. Te doy gracias, padre celestial por darme tu poder y gloria para seguir avanzando en cada trayecto de vida, gracias por las dificultades que pusiste en mi camino para hacer de este proceso lo que es hoy en día y también te doy gracias por los momentos buenos que me hicieron creer con mas firmeza de que estabas conmigo caminado silenciosamente en cada paso que avanzaba.

A mi madre, **Ana Yubelki Peralta Mosquea**, por ser esa mujer valiente, alegre y trabajadora que se convirtió en un ejemplo a seguir. Te entrego una eterna gratitud por ser una madre ejemplar, y aunque la vida nos haya presentado dificultades, siempre has sabido enfrentarlas con firmeza y amor. Tu apoyo incondicional, tus sacrificios y tu dedicación los llevaré siempre en este corazón. ¡A ti te pertenece este logro! Has caminado a mi lado en cada paso, corrigiéndome, educándome y moldeando la persona que soy.

A mi padre, **Tomás Peñaló Gonzales**, por ser ese hombre fuerte, capaz y trabajador que, a través de su dedicación y esfuerzo, me enseñó que todo es posible. Tu amor único, tu apoyo y tu presencia constante en mi vida hicieron de mí una mujer capaz. ¡A ti también te pertenece este logro! Eres parte esencial de mi vida, y agradezco a Dios que me haya elegido tu hija.

A mi abuela **María Mosquea**, Mi pedazo de cielo en la tierra. Te agradezco todo el amor, los sacrificios y el apoyo incondicional hacia mí. Tu eres clave importante de mi vida y este logro también es suyo. A mi hermana **Brianna Peñalo**, Te agradezco por tu compañía y por tu cariño único.

A **mi familia Peralta**, A ustedes les agradezco por ser parte de mi vida y por verme crecer día a día y mostrar su apoyo incondicional mientras me enseñaban el concepto de lo que es una familia unida. A **Michaelmas Rodríguez y Almadamaris Rodríguez**, por ser parte de un modelo de éxito en la vida y por impulsarme a través de este a seguirlo, a **María Del Carmen Peralta y Claribel Peralta**, por mostrarme su apoyo y cariño. A **Yuseiry Peralta**, agradezco de manera infinita que estes a mi lado a pesar de nuestros buenos y

malos ratos mostrándome tu apoyo y cariño. **A Kevin Peralta**, por ser más que un primo, un hermano. Aprecio tu apoyo y compañía silenciosas y te agradezco por siempre estar presente.

A mi mejor amigo **Jhan Luis Matías Mirabal**, Por ser ese amigo al que ninguno le hace justicia ya que fuiste, eres y será parte importante en mi vida. A ti te agradezco por tu amistad única e inigualable y por todos los momentos de tristeza y alegría y que he compartido contigo. A Dios agradezco que formes parte de mi vida.

A mis amigos **Reyes Concepción, Aridilson Vásquez, Kenny Valenzuela, Andy Bautista y Angelixis Flores**, A ustedes les agradezco de manera especial su presencia ya que con ustedes he podido vivir como se siente el concepto amistad de diferentes maneras de forma única, aprecio cada momento que comparto con ustedes y el cariño que me han demostrado. Agradezco a Dios por unirnos en esta parte crucial de nuestras vidas, espero seguir compartiendo con ustedes, con cariño nelice.

A mis compañeros de estudios **Rafelina Ovalle, Nathaly Nolzco, Esmarlin Mendoza, Alexander Guzmán, Renniel Apolinar y Vangely Diplan**, por convertirse en amigos. Aprecio cada momento que pasamos juntos en este proceso académico, gracias por siempre estar presente en momentos de presión, pero también en los momentos de risa que me ayudaron a sobrellevar las largas noches de estudio, por ser mi apoyo en los momentos de duda, y por recordarme, en medio de todo, la importancia de disfrutar el proceso.

A mis compañeros de tesis **Heiddy Marte, kelmelina Almanzar, Alex Rodriguez, Miguelina Vázquez, Raquel Acosta**, agradecida por compartir este proceso académico con ustedes.

Mis maestros **Elpidio Moronta y Ricardo Villafaña**, Ambos por ser un ejemplo de compromiso por la enseñanza y por su incansable dedicación, por cada lección que fueron más allá del conocimiento y hacerme ver la geología de una manera más hermosa. Cada clase, cada consejo, cada palabra de aliento ha sido fundamental en este proceso.

Celines María Peñaló Peralta

A **Dios** por mostrarme el rumbo que hizo posible culminar mi carrera. Su dirección, sabiduría y fortaleza me sostuvieron en cada desafío y me permitieron avanzar. Este logro es testimonio de Su amor y de Su presencia constante en mi vida.

A **mi bisabuela y madre Pascuala Matos Alcántara** gracias por enseñarme a luchar con valentía y humildad. Tu paciencia, ternura y constancia fueron mi mayor inspiración, incluso en los momentos más duros. Esta tesis es fruto de tus sacrificios y de tu amor incondicional. Todo lo que he logrado ha sido posible gracias a las herramientas que tú me regalaste.

A **mis padres Rogelina Gil y Ramon Hilario** por ser mi apoyo firme en cada paso de este recorrido. Por mostrarme la importancia del esfuerzo, confiar en mí incluso en mis momentos de duda y acompañarme siempre con amor y paciencia. Cada logro que hoy celebro está marcado por tus sacrificios silenciosos. Esta tesis es el resultado de tu ejemplo, tus enseñanzas y tu fe inquebrantable en mí.

A **mi esposo Alexi Vilorio Pimentel** gracias por ser ese balance perfecto entre alegría, paciencia y apoyo en los días más intensos. Por escuchar mis quejas, acompañar mis desvelos y creer en mí incluso cuando yo sentía que no podía más. Tu presencia hizo este camino más liviano y hermoso, y esta tesis lleva tu huella en cada detalle. Te amo y te agradezco más de lo que cualquier dedicatoria podría expresar.

A **mis hermanos** dedico este trabajo a mis hermanos menores, cuya inocencia, apoyo y amor han sido una fuente constante de fuerza. Ustedes me impulsaron a ser mejor, a no rendirme y a esforzarme para ser un ejemplo digno para ustedes.

Dedico esta tesis a **todos mis amigos y compañeros** Heiddy María Marte, Alex Rodríguez, Celines Peñaló, Kelmelina Almanzar, Raquel Vizcaíno, Yulenny Padilla, que me acompañaron en los momentos de estrés y alegría a lo largo de este camino retador. Su apoyo, confianza, cariño y compañía fueron invaluableles.

A **mis tías Jobina Robles, Erodita Robles y Arleni Vasquez**, que han sido faros de ternura, fortaleza y motivación. Gracias por estar siempre presentes, por brindarme su apoyo sincero y por darme ánimos cuando más los necesitaba.

A mis primos Robinson Rosario, Juan Carlos de Paula y Francisco Rosario, en tu mirada descubrí una nueva forma de amor y motivación. Tu presencia en mi vida me recordó lo importante de seguir adelante, de ser ejemplo, de construir un futuro con esperanza.

A mi asesor, Ing. Elpidio Moronta, por su orientación, dedicación y apoyo constante durante el desarrollo de esta investigación. Su guía fue fundamental para la culminación de este trabajo.

A mi querido profesor Ricardo Villafaña gracias por compartir no solo conocimiento, sino también pasión, paciencia y humanidad. Cada clase, cada consejo y cada desafío dejaron huellas que van más allá de lo académico.

Dedico esta tesis a todas las personas que, de algún modo, hicieron este camino más ligero y significativo. Su apoyo, sus gestos de aliento y su presencia, incluso en silencio, fueron fundamentales para llegar hasta aquí. Este logro también les pertenece.

Rosanny Miguelina Vásquez

A Dios, fuente de toda luz, sabiduría y fuerza, por acompañarme en cada paso de este camino. Por darme claridad en los momentos de duda, serenidad en los días de cansancio y la convicción de que cada esfuerzo tiene un propósito. A Él entrego este logro, con gratitud por todas las bendiciones, oportunidades y aprendizajes recibidos.

A mis padres, Kennedy Almanzar Brito y Raudelina Jiménez Ortega, pilares irremplazables en mi vida. Gracias por educarme con amor, disciplina y valores; por cada sacrificio, cada palabra de aliento y cada gesto silencioso que me sostuvo durante este proceso. Ustedes son la raíz de mis sueños y la razón de muchas de mis metas cumplidas. Este logro también les pertenece.

A mis hermanos, Kendry Almanzar Jiménez y Keldalís Almanzar Jiménez, compañeros de vida, de risas y de desafíos. Gracias por su apoyo constante, por celebrar conmigo cada pequeño avance y por recordarme, incluso sin palabras, que nunca estoy sola. Cada uno de ustedes ha sido un impulso importante en mi crecimiento personal y académico.

A mi amado esposo, Joel Núñez por su comprensión infinita, por su apoyo incondicional y por su presencia en los días buenos y en los difíciles. Gracias por escucharme, animarme y motivarme cuando parecía no avanzar. Tu paciencia, tus palabras y tu amor fueron un refugio y una fuerza que me sostuvieron hasta el final.

A mis amigos de la universidad, Celines María Peñaló Peralta, Rosanny Miguelina Vásquez Gil, Raquel Inmaculada Acosta Vizcaíno, Heiddy María Marte Polanco y Alex Rodríguez, se convirtieron en una familia durante este recorrido. Gracias por las horas interminables de estudio, por las risas que nos aliviaron el estrés, por el trabajo en equipo y por el apoyo mutuo en cada etapa. Este logro también refleja nuestras vivencias compartidas y los lazos que construimos.

A todos ustedes, gracias por ser parte fundamental de este logro. Cada uno ha dejado una huella única en mi corazón y en mi camino.

Kelmelina Almanzar

A **Dios**, por encima de todas las cosas, dedico este esfuerzo y los años de perseverancia que me han traído hasta aquí. Mi vida entera es testimonio de Su guía y fortaleza constante.

Este proyecto de grado es el reflejo de una lucha continua por salir adelante, pero también del amor, la inspiración y el apoyo de personas maravillosas que han estado conmigo en cada paso del camino. A ellos les entrego con gratitud y cariño este logro.

A mis abuelos, **Basilia Mosquea y Anasario Polanco**, por ser mis raíces y mi fortaleza. Su amor incondicional, sus enseñanzas y su ejemplo de vida han sido mi mayor motivación. Gracias por cada palabra de aliento, por sus consejos llenos de sabiduría y por mostrarme que la constancia y el esfuerzo siempre dan frutos. Este logro también es suyo.

A mi amado esposo, **Josué Cruz Jiménez**, por ser mi compañero inquebrantable, mi refugio y mi mayor motivador. Gracias por tu paciencia en los días difíciles, por confiar en mí aun cuando yo dudaba y por celebrar cada avance como si fuera tuyo. Tu amor y comprensión han sido mi impulso para seguir adelante.

A mi madre y mi padrastro, **Juana Reyna Polanco y Andrés Colón**, por ser mi inspiración y mis guías. Mami, gracias por tu amor infinito, por enseñarme a ser fuerte, a luchar por mis sueños y a nunca rendirme. Yan, gracias por tu apoyo constante y por creer en mí. Juntos me han mostrado el valor del esfuerzo y la dedicación; este logro también les pertenece.

A mis hermanas, **Elizabeth Álvarez y María Isabel Polanco**, por su amor incondicional y su apoyo constante. Gracias por ser mi refugio en los días difíciles y mi impulso en los momentos decisivos. Su fortaleza, cariño y confianza en mí han sido luz en este camino.

A mis amigos y hermanos de la universidad, **Kelmelina Almánzar, Raquel Inmaculada, Alex Rodríguez y Miguelina Vásquez**, por ser mi segunda familia en este viaje académico. Gracias por las risas en medio del estrés, por las horas interminables de

estudio y por estar siempre presentes en cada reto. Su amistad hizo que este camino fuera más llevadero y significativo.

A mi tía, **Yissel Polanco**, por ser un pilar de amor y fortaleza en mi vida. Gracias por tu cariño incondicional y por acompañarme en cada etapa de mi formación.

A mi asesor, **Ing. Elpidio Moronta**, por su guía y apoyo durante el desarrollo de este proyecto.

Y a mis profesores, **Juana Gutiérrez y Ricardo Reynoso Villafaña**, por compartir sus conocimientos y acompañarme en este proceso de crecimiento académico.

A cada uno de ustedes, gracias desde lo más profundo de mi corazón. Este logro es tanto mío como suyo y siempre llevaré en mi corazón el amor, la confianza y el apoyo que me han brindado.

Heiddy María Marte Polanco

A Dios, fuente inagotable de sabiduría, amor y fortaleza. Porque sin Su guía y bendición, este logro no hubiera sido posible. Mi gratitud es eterna.

A mi amada Familia, el pilar fundamental de mi vida. Gracias por su amor incondicional, su paciencia infinita y su apoyo inquebrantable en cada etapa.

A mis padres, José Ramón e Yris Raquel quienes me inculcaron el valor del esfuerzo, la perseverancia y la fe. Su sacrificio y ejemplo han sido mi mayor motor. Este triunfo es el resultado directo de su amor y confianza en mí.

A mis hermanas Raymiris del Carmen y Rosmiry Mercedes y demás familiares, por su alegría, sus palabras de aliento y por ser mi refugio seguro.

A mis mejores amigas, Esnerly María y Rosa Guadalupe por estar a mi lado en los momentos más difíciles, por sus consejos oportunos y por la fuerza que siempre me brindaron para no desfallecer. Su presencia constante ha sido un regalo invaluable.

A mi novio, Gerhard Waldemar por su amor incondicional, sus acertados consejos y por estar siempre para mí. Tu apoyo ha sido mi tranquilidad y tu cariño, mi impulso constante.

A Ángel Abigail Báez Vizcaíno, cuya pasión y dedicación se convirtieron en mi inspiración decisiva para elegir y amar esta maravillosa carrera.

A mis compañeras y compañero de carrera: Celines, María Peñalo Peralta, Rosanny Miguelina Vásquez Gil, Kelmelina Almanzar Jiménez, Heiddy María Marte Polanco y Alex Rodriguez. Gracias infinitas por su apoyo incondicional, su entrega, el compañerismo sincero y por la mano amiga que estuvo siempre disponible. Su colaboración hizo de esta etapa un proceso más llevadero y enriquecedor.

Raquel Inmaculada Acosta

A Dios:

En primer lugar, dedico este trabajo a Dios, quien me ha dado la vida, la salud, la sabiduría y la fortaleza necesarias para alcanzar mis metas. Agradezco su guía y bendiciones en todo momento, y le pido que siga iluminando mi camino hacia un futuro lleno de éxitos y realizaciones.

A mis padres:

También dedico esta tesis a mis queridos padres, **Luis Ramón Antonio Rodríguez Vicioso** y **Sandra Hidely Reynoso Romero**, quienes han sido mi ejemplo de trabajo duro, sacrificio y amor incondicional. Gracias a su apoyo, estímulo y confianza en mí, he logrado llegar hasta aquí. Les agradezco por todo lo que han hecho por mí, y espero que este logro les llene de orgullo y satisfacción.

A mis hermanas:

A mis queridos hermanos, **Nallely Rodríguez Reynoso** y **Crismeldy Rodríguez Reynoso**, les dedico esta tesis como muestra de mi gratitud y cariño. Gracias por ser mi compañía, apoyo y motivación en todo momento, y por compartir conmigo los momentos buenos y malos. Espero que este logro nos una aún más como familia y nos siga motivando a alcanzar nuestras metas.

A mis compañeras:

A mis compañeras **Celines María Peñaló Peralta**, **Rosanny Miguelina Vásquez Gil**, **Kelmelina Almanzar Jiménez**, **Heiddy María Marte Polanco** y **Raquel Inmaculada Acosta**, les expreso mi agradecimiento por su apoyo, compañerismo y disposición durante este proceso académico. Su colaboración, respeto y trabajo en equipo hicieron que cada etapa del camino fuera más llevadera y enriquecedora. Gracias por motivarme, compartir conocimientos y caminar conmigo hacia el logro de esta meta.

Alex Rodríguez

RESUMEN



Autores:

Celines María Peñaló Peralta
Rosanny Miguelina Vásquez Gil
Kelmelina Almanzar Jiménez
Heiddy María Marte Polanco
Raquel Inmaculada Acosta
Alex Rodríguez Reynoso

Ing. Elpidio Moronta

Asesor

Título

Evaluación del Impacto de la Minería en la Calidad del Agua Subterránea de Sánchez
Ramírez.

La provincia Sánchez Ramírez ha experimentado un incremento significativo en la actividad minera en los últimos años, lo que ha generado preocupaciones sobre su impacto ambiental. La minería puede alterar los acuíferos subterráneos, provocando contaminación y deterioro en la calidad del agua potable para las comunidades locales. La presencia de metales pesados y productos químicos utilizados en los procesos mineros representa un riesgo para la salud humana y los ecosistemas acuáticos. Este estudio tenía por objetivo Evaluar el Impacto de la Minería en la Calidad del Agua Subterránea de Sánchez Ramírez.

La provincia Sánchez Ramírez, y en particular la zona de Cotuí se enmarca en un contexto de actividad minera de gran relevancia para la economía local. En este escenario, Barrick Pueblo Viejo ha emergido como un actor clave en la extracción de metales, aportando empleo y desarrollo regional. A la vez, estas operaciones mineras plantean

desafíos ambientales que requieren atención continua para garantizar una actividad responsable y sostenible a largo plazo.

Este proyecto se realizó con un diseño no experimental, un enfoque mixto y un tipo de investigación descriptiva, así como un método de investigación deductivo. Entre los resultados encontrados se destacan: Las evaluaciones en el área de Zambrana revelan una distribución variada de pozos de agua subterránea en diferentes contextos geográficos y geológicos, influyendo en la disponibilidad y vulnerabilidad del recurso hídrico. Algunos pozos se encuentran en zonas con alta permeabilidad y formaciones favorables para la recarga del acuífero, mientras otros en áreas con menor infiltración, afectando su sostenibilidad. Los niveles freáticos varían según la altitud y condiciones del subsuelo, reflejando la complejidad hidrogeológica del área.

Los análisis fisicoquímicos demostraron que el agua es apta para consumo humano, con parámetros dentro de límites seguros, bajos niveles de contaminación y buena calidad física. Sin embargo, se detectó cadmio en niveles superiores a los permitidos por la OMS, sugiriendo una posible fuente de contaminación vinculada a actividades mineras o industriales, lo que requiere monitoreo y control constante. Los niveles de otros metales como zinc, hierro y cobre permanecen dentro de rangos seguros.

La percepción comunitaria indica que la minería ha afectado la calidad y disponibilidad del agua, aunque existe incertidumbre y falta de información clara por parte de las autoridades. La comunidad muestra interés en fortalecer la vigilancia, participación y transparencia en la gestión hídrica, destacando la necesidad de monitoreo continuo y mejor comunicación.

Palabras claves: Evaluación, Impacto, Minería, Calidad, Agua Subterránea.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO

1.1 Descripción del Contexto del Proyecto

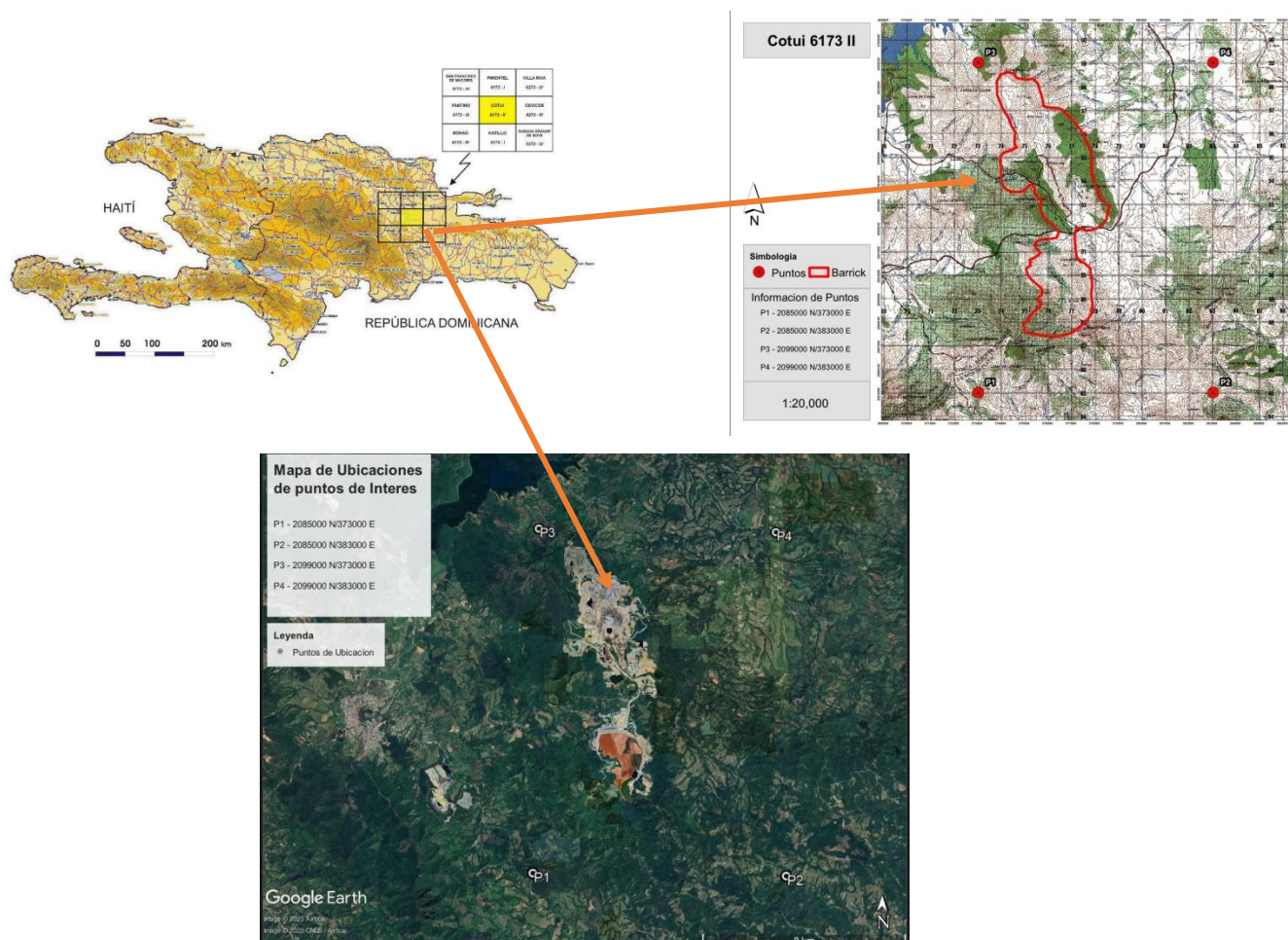
El presente proyecto tiene como finalidad evaluar el impacto que las actividades mineras desarrolladas en la provincia Sánchez Ramírez, específicamente en el entorno de la mina Barrick Pueblo Viejo, han generado sobre la calidad de las aguas subterráneas. La minería metálica a gran escala constituye una de las actividades económicas de mayor relevancia en la República Dominicana, sin embargo, su desarrollo implica importantes desafíos ambientales asociados con la gestión de los recursos hídricos, la alteración de los ecosistemas y la contaminación potencial de los acuíferos.

El área de estudio se localiza en el Distrito Municipal de Zambrana, municipio de Cotuí, provincia Sánchez Ramírez, donde se encuentra la mina de oro y plata Pueblo Viejo, una de las más grandes de América Latina. Esta zona presenta una intensa actividad minera que ha transformado de manera significativa el paisaje natural, generando preocupación en la población local por la posible afectación de las fuentes de agua subterráneas utilizadas para el consumo humano, agrícola e industrial.

En este contexto, el presente estudio se orienta a identificar, describir y evaluar los efectos de la actividad minera sobre la calidad de las aguas subterráneas, estableciendo una línea base que permita proponer medidas de gestión ambiental y estrategias de mitigación que garanticen la sostenibilidad del recurso hídrico en la región.

El presente proyecto de investigación se ubica en la Provincia Sánchez Ramírez; Municipio de Cotuí; Distrito Municipal de Zambrana; Secciones comunitarias Guadiarnon, Sabana del Rey, Jobo Claro, Jurungo, El Maricao, Las Dos Palmas, Monte Negro, Los Cacaos, Las Lagunas, La Piñita y el Llagal, todas estas colindantes a la mina de Barrick Pueblo Viejo.

Figura No. 1: Esquema fisiográfico de la Española y localización de la Hoja de Cotuí



Fuente: Servicio Geológico Nacional, 2024, imagen satelital Google Earth y mapa topográfico de Cotuí 6173 II.

La zona cuenta con una de las minas de oro más grandes por producción mundial (Barrick Pueblo Viejo) y recursos hídricos subterráneos utilizados para abastecer los usos domésticos, agrícolas e industriales y con cuencas hidrográficas que mantienen condiciones de alta variabilidad estacional. Los acuíferos de la zona se alimentan principalmente de recargas naturales procedentes de lluvias y de la infiltración en formaciones geológicas locales. Su calidad determina la disponibilidad para el consumo humano, riego y procesos productivos. En contextos de minería, la vulnerabilidad de estos acuíferos a contaminantes como metales pesados, sales y compuestos removidos o

formados durante la extracción y procesamiento de los minerales es un aspecto relevante para la evaluación ambiental de ese recurso.

La provincia Sánchez Ramírez presenta un contexto de zonas rurales y urbanas con dependencia significativa de los recursos hídricos. Las actividades económicas, incluidas la minería, la agricultura y el turismo rural, interactúan con el manejo del agua y la salud ambiental de la población, haciendo que la calidad del agua subterránea tenga impactos directos en la vida cotidiana y en la sostenibilidad de las actividades productivas.

En la zona de Cotuí y sus alrededores se ubica la operación de extracción minera a gran escala. La presencia de esta operación minera implica potenciales rutas de afectación a la calidad del agua subterránea (infiltración de lixiviados, drenaje ácido de mina, migración de metales y de sales).

Los procesos industriales asociados a la operación minera (extracción, molienda, flotación o lixiviación, almacenamiento de relaves) pueden generar escorrentía y filtración hacia el subsuelo si no se implementan medidas adecuadas de contención. Los riesgos ambientales podrán incluir cambios en las condiciones físicas y químicas en las aguas subterráneas.

La operación minera está sujeta a regulaciones ambientales y permisos de gestión de recursos hídricos, tales como la Ley No. 146-02, de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ley No. 64-00, de Agua, Decreto No. 236-07, Reglamentación de la Ley de Medio Ambiente, Reglamento para la Gestión y Control de la Calidad del Agua, Convención de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD, 1992) y el Acuerdo de Escazú. Esto implica marcos de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas, informes de cumplimiento y mecanismos de control ambiental por parte de autoridades competentes y de las propias empresas mineras.

La disponibilidad de datos regionales de calidad de agua subterránea puede ser limitada, lo que subraya la necesidad de estudios locales, como el propuesto en este proyecto de grado. Muchas comunidades en Sánchez Ramírez dependen de pozos y captaciones de aguas subterráneas para consumo doméstico y para actividades

agropecuarias. La calidad del agua subterránea influye directamente en la salud pública, en los costos de tratamiento y en la viabilidad de ciertos usos agrícolas.

La infiltración de contaminantes desde áreas mineras podrá alterar la potabilidad del agua, afectar cultivos y reducir la productividad de las tierras agrícolas. En contextos donde la demanda de agua es alta y la capacidad de los sistemas hídricos es moderada, incluso cambios relativamente pequeños en los parámetros de calidad podrán tener efectos significativos para la población.

El estudio aporta información específica para la región de Sánchez Ramírez, contribuye a la gestión local del recurso y complementa evidencias a nivel nacional sobre la interacción entre minería y aguas subterráneas, con posibles aportes a políticas públicas, planes de manejo de cuencas y programas de mitigación y remediación.

En un diagnóstico sobre los recursos hídricos en el país a nivel provincial, identifica ocho problemas principales en la provincia Sánchez Ramírez, derivados de variables críticas vinculadas al agua. Se destacan fallas en el uso del agua agrícola, insuficiente suministro de agua potable, deficiente gestión de aguas residuales y degradación de la cuenca. Se señalan causas como infraestructuras deterioradas, tarifas bajas que no incentivan la eficiencia y desarrollo urbano en zonas de escasez. En conjunto, los problemas muestran una interdependencia entre agricultura, servicios urbanos e infraestructura de cuencas. (Ministerio de Economía, 2022).

Sin embargo, el análisis presenta limitaciones: no prioriza las problemáticas, no cuantifica su magnitud ni fija metas o plazos. Las causas se mencionan sin ponderación ni evidencia de causalidad. Tampoco se aprecian indicadores para monitorear avances ni una visión de resiliencia ante variabilidad climática. Falta información sobre costos, impacto en grupos vulnerables y viabilidad de las soluciones propuestas. (Ibid., 2022).

Esto ofrece una base para un marco de gestión integrada de recursos hídricos, siempre que se acompañe de planes concretos. Las acciones prioritarias deberían incluir modernización de riego, gestión de demanda y precios que reflejen el costo real del agua; inversión en agua potable y saneamiento; y redes de tratamiento de aguas residuales con

regulación de vertidos. También es clave fortalecer la gobernanza, asegurar financiamiento suficiente y regular los vertidos, incorporando la planificación de un buen manejo de las cuencas y subcuencas de la zona en el desarrollo urbano.

1.1.1 Hidrogeología

Desde el punto de vista hidrográfico, la región de Cotuí está marcada por la existencia del lago de Hatillo, en el cuadrante SO de la Hoja; además de la presencia de los ríos Yuna y Camú que dominan el margen sur del valle del Cibao, al Norte y NE del territorio de la Hoja. (Servicio Geológico Nacional SGN, 2010).

En la zona de Zambrana, Cotuí, el principal cuerpo de agua superficial es el río El Naranjo, que abastece a varias comunidades de la región. En ese contexto regional, las obras hidrogeológicas históricas se han centrado principalmente en caracterizar los acuíferos superficiales y la influencia de las cuencas aluviales en la disponibilidad de agua subterránea para uso agrícola, urbano e industrial, así como en la gestión de recursos hídricos ante variaciones estacionales y de explotación. (Ibid., 2010).

La hidrogeología de la zona ha mostrado que la región se apoya en acuíferos aluviales y, en algunas subáreas, en sistemas fracturados o cársticos asociados a formaciones cercanas a la Cordillera Septentrional y a la geología regional de la cuenca de Yuna. Los estudios históricos suelen abordar temas como la recarga estacional, la calidad del agua (con posibles problemas de hierro, manganeso y salinidad en ciertos contextos), y la presión por la extracción de agua para la minería y la agricultura en Cotuí y sus alrededores. (Ibid., 2010).

1.1.2 Geología General

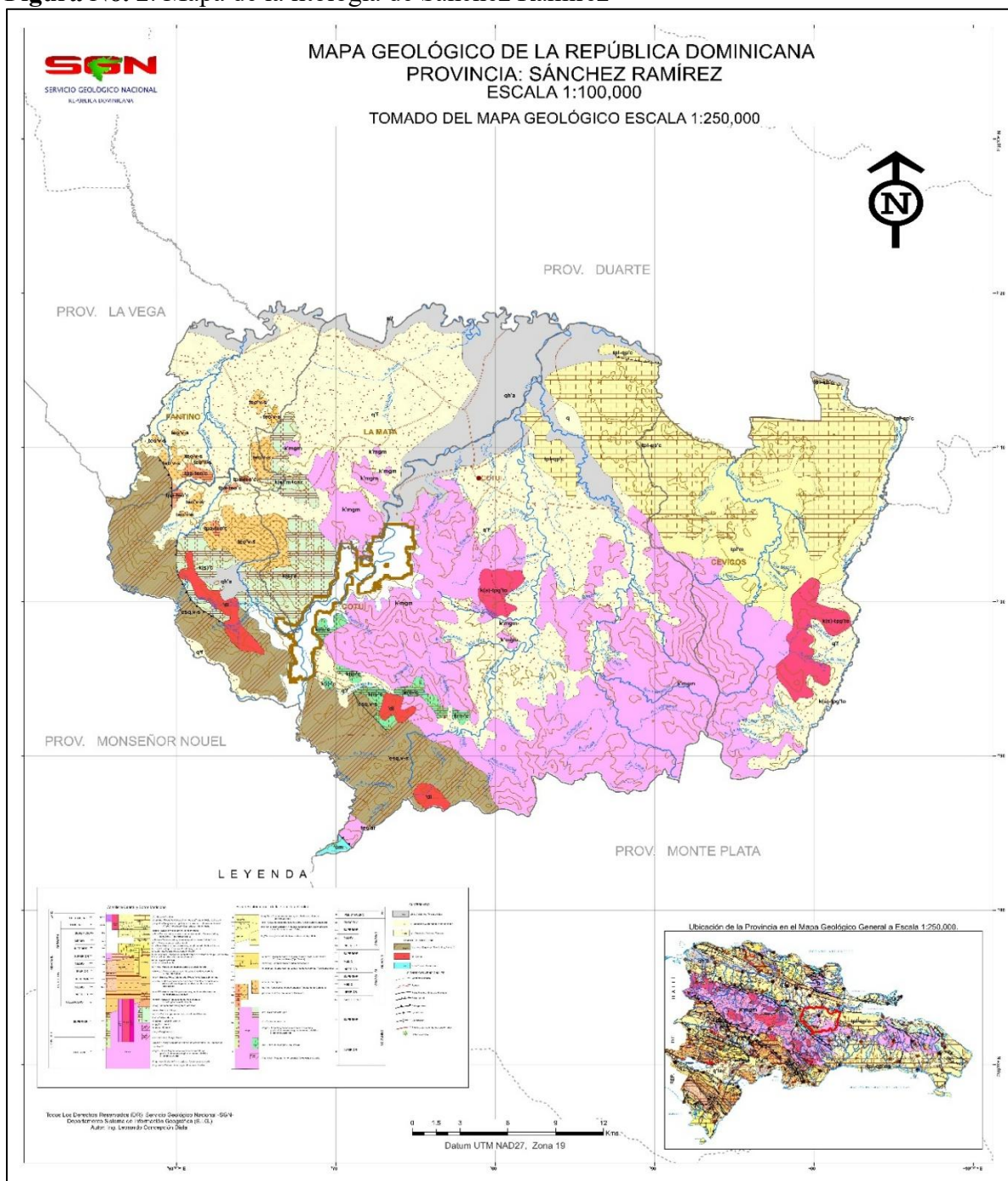
La Hoja Cotuí (6173-II), en la parte Sur, moderadamente montañosa, predominan los terrenos volcánicos de la Fm Los Ranchos, del Cretácico Inferior. Basaltos y productos volcanoclásticos de composición básica son los constituyentes esenciales de la formación. Éstos están asociados, interestratificados, y localmente intruídos, por coladas y domos de dacitas, riolitas y andesitas. (SGN, 2010).

El macizo tonalítico de Zambrana (115,5 $\pm$ 0,3 Ma) aflora al Sur de la Hoja, en el límite con la Hoja de Hatillo. Otros afloramientos de tonalita han sido reconocidos al NO de la Presa de Hatillo, emplazados en un complejo de rocas volcánicas ácidas, confirman la existencia de una relación genética entre las rocas volcánicas ácidas de la Fm Los Ranchos y el voluminoso plutonismo tonalítico que intruye los niveles estratigráficos más bajos. La existencia de rocas volcánicas ácidas en forma de coladas y domos, de intrusiones tonalíticas y, especialmente, de numerosas zonas hidrotermales refuerza el interés minero de la región.

Cotuí está cerca del yacimiento de oro de Pueblo Viejo siendo considerado para la explotación de sulfuros (800 t de oro) y de Cerro Maimón que recientemente ha entrado en producción (122 kt Cu). En el cuadrante SO de la Hoja, la Fm Los Ranchos está cubierta por calizas masivas con rudistas y calizas oscuras con nódulos de sílex de la Fm Hatillo, de edad Albiano, que trazan un pliegue sinclinal de gran radio de curvatura. La cobertura tabular de las calizas de Los Haitises (Plio-Pleistoceno) está, en sí misma, ampliamente expuesta y ocupa la mayor parte de la mitad Este de la Hoja. Genera, además, una morfología kárstica particularmente característica. (Ibid., 2010).

Las calizas karstificadas de Los Haitises constituyen el mejor acuífero de la región, tanto en calidad como en cantidad. La conexión entre las colinas, el substrato cretácico y los aluviones de la Cuenca del Cibao se caracteriza por la difusión de las arcillas generadas por meteorización del substrato. En el NE de la Hoja, la margen Sur de la Cuenca del Cibao está marcada por un importante eskarpe E-O, generado por las fallas que limitan la extensión Norte de la plataforma de los Haitises. En el substrato Cretácico, domina la fracturación NO-SE; está truncado y ligeramente desplazado por una red de accidentes perpendiculares, NE-SO. (Ibid., 2010).

Figura No. 2. Mapa de la litología de Sánchez Ramírez



Fuente: Servicio Geológico Nacional, 2010.

1.1.3 Geología Local

La geología de la zona del Distrito Municipal de Zambrana se caracteriza por la presencia del Macizo Tonalítico, una unidad de roca ígnea de granitoide que aflora en el área, específicamente al sur de la hoja geológica de Cotuí, y es datada en el Cretácico

Superior, hace unos 115.5 millones de años. Esta área pertenece a un mosaico de dominios geológicos que incluye relieves de cordillera, rocas sedimentarias y depósitos aluviales. En superficies accesibles, predominan formaciones sedimentarias y carbonatadas que muestran antecedentes de levantamientos y episodios de sustracción y relleno por flujos fluviales.

En esa región, la interacción entre escenarios de deposición fluvial y procesos de karstificación en zonas cercanas de roca caliza ha dejado paisajes que incluyen llanuras de inundación, terrazas fluviales y formaciones de relieve suave en algunos sectores. La historia geológica de Zambrana, dentro de Cotuí, se entiende mejor cuando se la interpreta como parte de un marco regional: un mosaico de rocas carbonatadas, sedimentarias y aluviales. La litología del área está dominada por una secuencia volcánica y volcansedimentaria del Cretácico, particularmente la Formación Los Ranchos (unidades 4 a 13) y la Formación Maimón (Unidad 2), que contienen espilitas, queratófidos, tobas, brechas y areniscas. En la base se encuentran rocas más antiguas, como la Formación Loma Caribe (Peridotita y gabro, Unidad 1). (Servicio Geológico Nacional, 2010).

Además, por encima, se observan extensas unidades de calizas arrecifales y de plataforma como las Calizas de Hatillo (Unidad 14) y las Calizas de las Cañas (Unidad 16). Finalmente, la secuencia se completa con intrusiones de Granitoides (Unidad 18) y Dioritas (Unidad 22), y los depósitos más superficiales del Cuaternario, que incluyen limos, arenas y gravas de fondos de valle y llanuras de inundación (Unidades 27 y 26).

1.1.4 Datos Climáticos

Los datos históricos muestran variabilidad interanual típica de la República Dominicana, influida por fenómenos climáticos regionales como El Niño/La Niña y por la actividad tropical del Atlántico. En conjunto, las series históricas señalan temperaturas cálidas a lo largo del año, con variaciones estacionales y con lluvias que pueden fluctuar significativamente entre años.

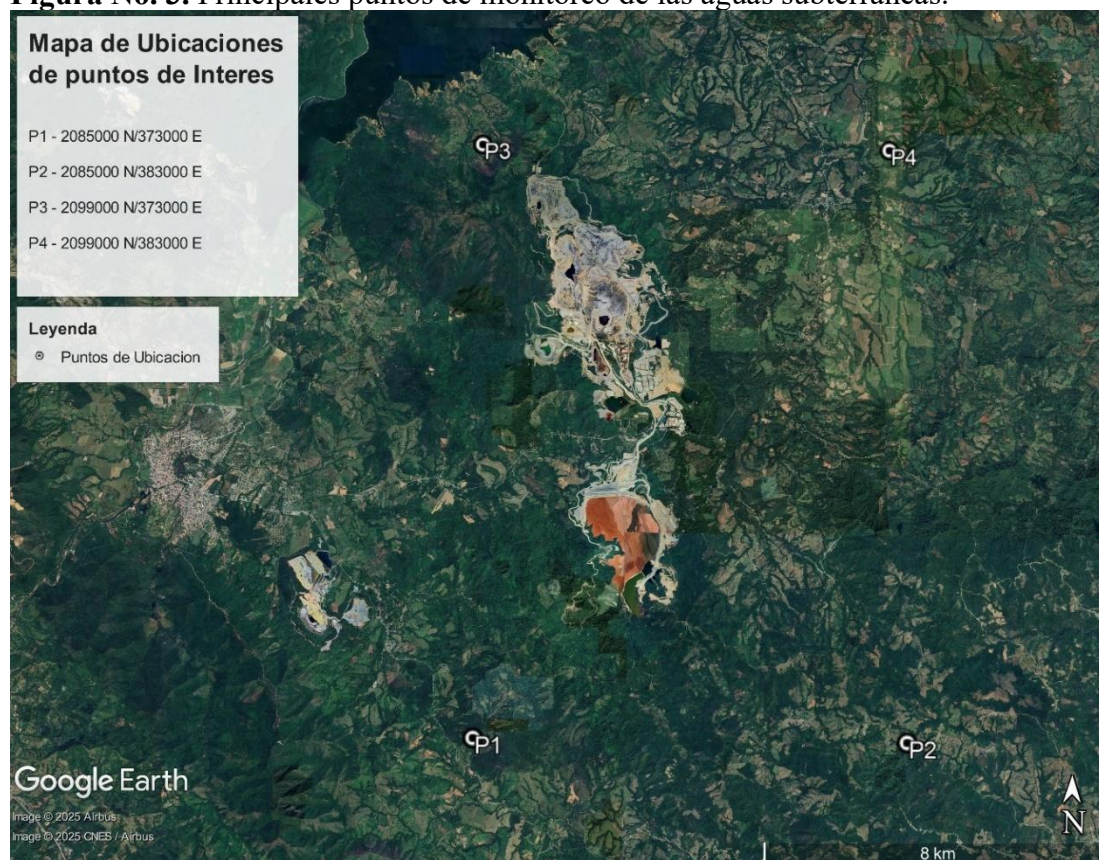
En cuanto a tendencias y patrones a largo plazo, las series disponibles a nivel regional suelen indicar un incremento gradual de las temperaturas medias y una

variabilidad en la distribución de las lluvias, con episodios de sequía intermitentes y eventos intensos de lluvia asociados a tormentas tropicales o huracanes durante la temporada alta de huracanes.

1.2 Diagnóstico del Estado Actual

El diagnóstico del estado actual tiene como propósito analizar las condiciones presentes del recurso hídrico subterráneo en el área de influencia de la mina Pueblo Viejo, mediante la recopilación, revisión y evaluación de información existente y de campo, con el fin de determinar el grado de alteración o contaminación de los acuíferos. Este diagnóstico permitirá establecer la situación real de la calidad del agua subterránea y su relación con las actividades mineras desarrolladas en la zona. Barrick Pueblo Viejo, como operación minera de gran envergadura en la región, ha generado preocupaciones respecto a la calidad de los recursos hídricos incluyendo los subterráneos.

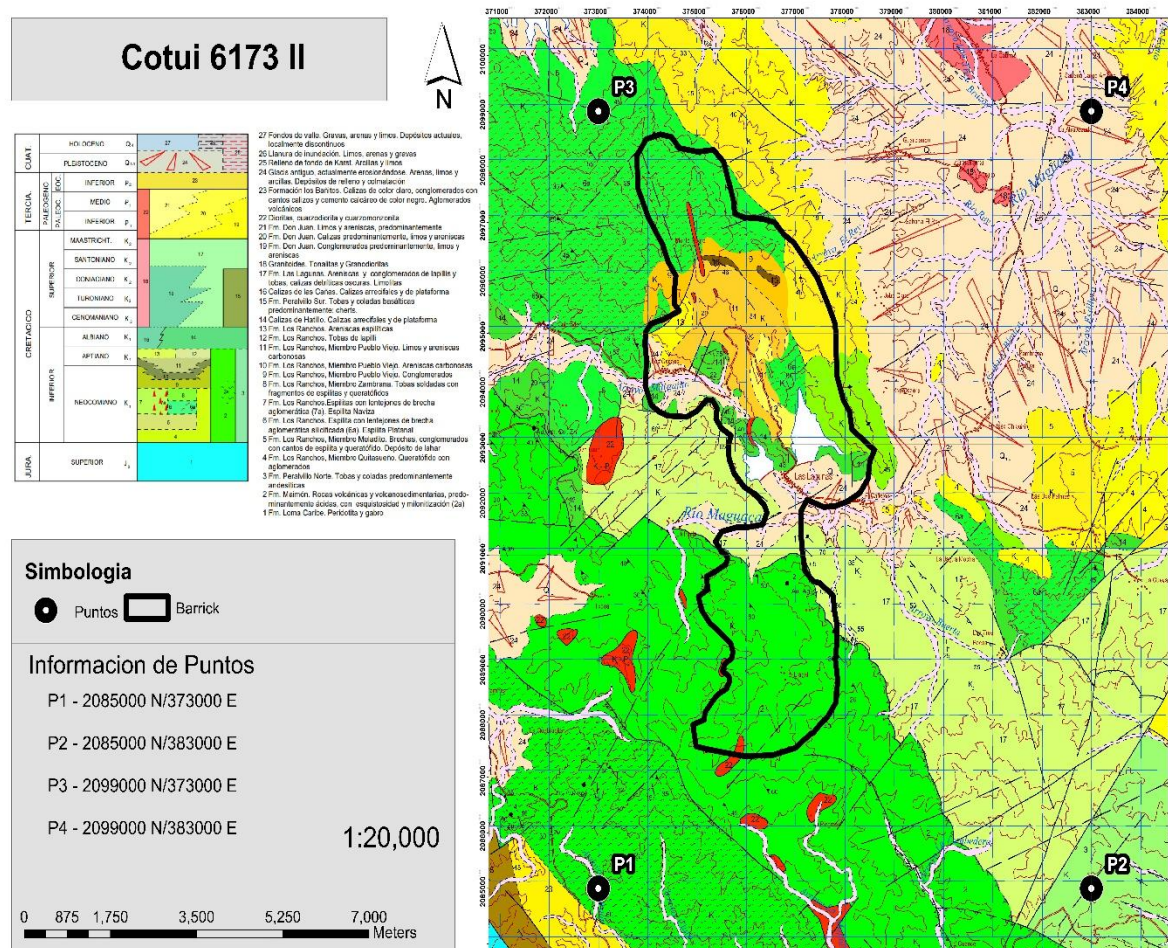
Figura No. 3. Principales puntos de monitoreo de las aguas subterráneas.



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Las comunidades del Distrito Municipal de Zambrana se abastecen, en parte, mediante pozos tubulares que extraen agua subterránea para consumo humano y usos domésticos. En este contexto, es fundamental identificar si la operación de Pueblo Viejo podría estar influyendo en la calidad de estas aguas, especialmente a través de posibles aportes de hierro, manganeso y, en casos puntuales, metales pesados. Aun cuando las evaluaciones preliminares en la región señalan que, en general, los parámetros de potabilidad básicos se mantienen dentro de rangos aceptables, la exposición continua a actividades mineras plantea la necesidad de vigilancia para detectar cambios en pH, conductividad, turbidez y presencia de contaminantes que podrían afectar la potabilidad y la seguridad de los pozos de Zambrana.

Figura No. 4. Delimitación del área de interés



Fuente: Elaboración propia, 2025.

El diagnóstico también reconoce que la minería artesanal y de pequeña escala, junto a las operaciones industriales del área de Pueblo Viejo, puede contribuir a la contaminación del acuífero mediante prácticas no controladas, uso de explosivos, manejo de residuos y posibles filtraciones de lubricantes y combustibles. Estas fuentes, combinadas con la presión de extracción y la variabilidad climática, podrían modificar el régimen de recarga y la circulación subterránea, comprometiendo la seguridad hídrica de las comunidades que dependen de pozos tubulares en Zambrana.

Figura No. 5. Pozos y red de abastecimiento en la comunidad de Guadiarnon, Sabana del Rey, Jobo Claro y Jurungo



Fuente: fotografías tomadas por el equipo investigador, 2025.

Finalmente, se evidencia una limitada infraestructura de monitoreo de la calidad del agua subterránea en la región. La red de estaciones de muestreo es escasa y presenta accesos restringidos, lo que dificulta obtener datos representativos y continuos para evaluar con rigor el impacto real de la actividad minera de Pueblo Viejo en los recursos hídricos subterráneos. Ante ello, se recomienda fortalecer la vigilancia ambiental, ampliar la red de

muestreo, y realizar estudios detallados que permitan determinar las condiciones actuales, proyectar escenarios futuros y orientar medidas de mitigación para proteger las aguas subterráneas que abastecen a Zambrana.

Figura No. 6. Pozos y red de abastecimiento en la comunidad de El Maricao, Dos Palmas



Fuente: Tomadas por el equipo investigador, 2025.

1.2.1 Objetivos del Diagnóstico

El objetivo del diagnóstico es determinar las condiciones actuales de la calidad del agua subterránea en el área de influencia minera, identificando los posibles impactos derivados de las operaciones de extracción, procesamiento y disposición de residuos mineros, así como establecer los principales factores que inciden en la alteración de los parámetros fisicoquímicos e hidrogeoquímicos del recurso.

1.2.2 Metodología

Enfoque Metodológico

El estudio adoptó un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo) y descriptivo. El cual se basó en la comparación de resultados de análisis de agua con los estándares de calidad establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y las normas ambientales dominicanas (NORDOM 593 y 798), con el fin de evaluar la magnitud de los posibles impactos mineros sobre el agua subterránea.

El marco analítico combina hidrogeoquímica (parámetros fisicoquímicos y trazas, índices de calidad de agua) con técnicas de estadística multivariada y cartografía para identificar condiciones atenuantes y otros factores circunstanciales que afecten los análisis de sobre las aguas.

Se garantizó validez y fiabilidad mediante triangulación de datos (muestras de agua, mediciones in situ, entrevistas semiestructuradas y revisión documental) y controles de calidad en laboratorio y en campo y un enfoque de evaluación de impacto ambiental desde una perspectiva de riesgo: se estimaron posibles efectos sobre la salud humana y la disponibilidad de agua, vinculando variables químicas con la actividad en el área de las aguas subterráneas y con estándares internacionales.

Diseño y Tipo de Estudio

El diseño del estudio fue no experimental, transversal y de campo, ya que se observaron las condiciones actuales del recurso sin manipular variables, en un período determinado. Se complementaron con un análisis documental de reportes ambientales, estudios hidrogeológicos previos y registros de monitoreo realizados por instituciones ambientales y la empresa minera. De acuerdo con Hernández, Fernández, y Baptista (2010)

podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios donde no hacen variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables.

Lo que se hace en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos. En un experimento, el investigador construye deliberadamente una situación a la que son expuestos varios individuos.

Este fue un estudio transversal comparativo con posibilidad de componente de monitoreo temporal en fases futuras. Se compararon áreas de influencia minera con zonas de control sin actividad minera cercana.

Informantes Claves o Población

Informantes claves:

- La empresa minera (PVCD) opera en la provincia Sánchez Ramírez.
- Autoridades ambientales y de recursos hídricos municipales/nacionales, tales como Ministerio de Medioambiente e Intitulo de Aguas Potables y Alcantarillados INAPA.
- Inspectores y técnicos de empresas mineras y operadores de pozos.
- Responsables de la gestión de agua de la comunidad y líderes comunitarios.
- Técnicos de laboratorios y responsables de permisos ambientales.

Población:

- Población de pozos de agua subterránea en el área de estudio (ceranos a áreas mineras y a zonas de control).
- Hogares y comunidades que consumen agua de estos pozos.

En ese mismo orden, se tomó una muestra estimada (a ser definido en plan de muestreo y la capacidad de los laboratorios): 10–15 pozos en áreas de influencia minera y 5-10 pozos en áreas de control, sujeto a criterios de viabilidad y representatividad; aproximadamente 10 a 25 entrevistas cualitativas para el muestreo cualitativo adicional.

Métodos y Técnicas de Recolección de Datos

Los métodos de investigación hacen referencia a las diferentes formas en que el sujeto que investiga puede interactuar con el objeto de estudio en este sentido los centros educativos, por lo que se aplicó en método de investigación deductivo. Según Uriarte (2018), “se conoce como método deductivo o razonamiento deductivo a un tipo de razonamiento lógico que se caracteriza por extraer conclusiones válidas particulares a partir de una premisa o hipótesis general”

Para el muestreo de agua subterránea se hizo una selección de sitios: zonas con actividad minera activa, zonas de influencia potencial y zonas de control sin actividad minera en una malla cartográfica definida.

También se hizo un muestreo en sitio: mediciones de pH, conductividad eléctrica (EC), temperatura y turbidez; toma de muestra para laboratorio de agua: la temperatura ambiental, en envases apropiados, con preservación y cadena de custodia.

Se realizó un análisis de laboratorio (cuantitativo), tomando en cuenta los parámetros fisicoquímicos: pH, EC, TDS, temperatura, alcalinidad, conductividad; metales y trazas: Fe, Cd, Zn, Cu, y otros relevantes según normativa local y disponibilidad de métodos. Otros metales tales como Mn, As, Pb, Hg, Cr, Ni, Se, no pudieron ser realizados dado que los análisis fueron donados y dicho laboratorio no tenía el equipamiento requerido para abordar estos elementos, y realizarlos en otro laboratorio salía muy costoso.

Entre los métodos de recolección de datos cualitativos se realizaron entrevistas semiestructuradas a informantes clave (autoridades, operadores, propietarios o gerentes de minas) para conocer percepciones de impacto, prácticas de agua, medidas de mitigación y gobernanza.

Además, se crearon grupos focales con miembros de la comunidad para explorar experiencias, riesgos percibidos y aceptación de medidas. También, se hizo una revisión documental de permisos ambientales, reportes de monitoreo, registros de minas y datos oficiales de calidad de agua.

Para la recolección geoespacial, se implantó un registro de coordenadas GPS de cada pozo, profundidad de la fuente, uso del agua y características del pozo (diámetro, tipo de tubería, uso doméstico/agrícola).

Instrumentos de Validez

Se realizó una validez de contenido: revisión por nuestro asesor Ing. Elpidio Moronta y expertos en hidrología y toxicología para asegurar que indicadores y variables cubran adecuadamente el fenómeno. Además, se hizo una triangulación: contraste entre datos hidroquímicos, resultados de entrevistas y revisión de documentos para fortalecer interpretaciones.

Se hizo una comparación de resultados con estándares nacionales e internacionales para determinar niveles de riesgo. Al momento del muestreo, se utilizó una calibración regular de equipos en sitio (pH/EC/T°), procedimientos estandarizados de muestreo.

Además, se crearon replicaciones y duplicados en laboratorio, uso de estándares y controles de calidad, un piloto previo de migración de cuestionarios y guiones de entrevista para asegurar claridad y consistencia y hubo ética y consentimiento: obtención de consentimiento informado por escrito para participantes humanos; confidencialidad y uso de datos conforme a normativas.

Procedimientos

Se hizo una solicitud del tema investigación y como tal fue aprobado. Luego, se procedió a realizar una recopilación de investigaciones de nivel técnica-científica en artículos de revistas, libros, tesis, reportes técnicos, mapas páginas web, instituciones tales como: (INAPA, INDRHI, OMS, Medio Ambiente, Dirección General de Minería y otros), entre otros, con el propósito de identificar todo el conocimiento hidrogeológico sobre la zona de estudio y tener todo el apoyo necesario para hacer las visitas de campo con todo lo requerido. En este mismo apartado se hizo una malla para la ubicación y la toma de las muestras.

Se aplicó una delimitación geográfica y definición de zonas de influencia minera y control, y se designaron equipos de muestreo, laboratorios acreditados y personal capacitado. Se estableció contacto con autoridades y comunidades para presentar el estudio

y coordinar muestreos. Tras tener un esquema de trabajo se recolectaron las muestras de agua subterránea y mediciones in situ siguiendo protocolo estandarizado, y se realizaron entrevistas semiestructuradas y/o grupos focales; grabación y transcripción con consentimiento.

Posteriormente, se registrarán los datos en planillas y base de datos con controles de calidad. Luego se enviarán muestras al laboratorio acreditado con todos los protocolos requeridos, y se analizarán de parámetros fisicoquímicos y metales en condiciones aseguradas.

Con la información obtenida se hará una integración de datos cuantitativos y cualitativos para análisis mixto. Se implementará una gestión de información sensible; manejo de riesgos percibidos; seguridad del personal en zonas mineras. Y finalmente se realizarán los capítulos IV y V de este proyecto de grado.

Métodos y Técnicas de Análisis de Datos

Se utilizaron análisis descriptivos: medias, medianas, rangos, desviaciones estándar para cada parámetro; detección de valores atípicos. También, análisis multivariado: PCA (análisis de componentes principales) y/o CA (análisis de conglomerados) para identificar patrones y agrupamientos en la composición química del agua.

Se hicieron índices de calidad de agua: cálculo de índices para sintetizar la calidad global y relaciones con exposición: regresión lineal/multivar para explorar asociación entre distancia a la minería, tipo de actividad minera y concentración de contaminantes.

Se realizó una transcripción y codificación de entrevistas/grupos focales; identificación de temas emergentes y patrones de percepción, riesgos y adaptaciones, y un análisis temático o fundamentado en enfoques de teoría fundamentada, con uso de software tales como GIS, SPSS, y ArcGIS.

Se procedió a hacer una integración de resultados cuantitativos y cualitativos para una visión holística; síntesis de hallazgos en tablas y mapas que conecten calidad del agua con percepciones y gobernanza. La documentación y reporte: se analizaron con herramientas de procesamiento de datos y visualización (Excel, Power BI, Tableau) según necesidad.

La interpretación de los datos se efectuó considerando los valores guía establecidos por la OMS (2004) y la NORDOM 593 sobre calidad de aguas para consumo humano, además de la Guía Ambiental Minera del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la República Dominicana.

1.2.3 Presentación de los Resultados

Para la evaluación del impacto de la minería en la calidad del agua subterránea en la provincia de Sánchez Ramírez, se realizó un análisis exhaustivo de los datos recopilados durante el período de muestreo. Los resultados se presentaron en diferentes secciones, incluyendo análisis estadísticos descriptivos, comparaciones entre sitios cercanos a actividades mineras y sitios de control, y la identificación de posibles contaminantes.

Los principales parámetros analizados fueron pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos (TDS), metales pesados (como arsénico, plomo, cadmio y mercurio), y otros contaminantes relevantes. Los datos se presentaron mediante tablas, gráficos y mapas temáticos para facilitar la comprensión de las variaciones espaciales y temporales.

1.2.4 Análisis de los Resultados

El análisis de los resultados permitió determinar las variaciones en la calidad del agua subterránea dentro del área de influencia minera.

Se identificó una relación directa entre la concentración de ciertos metales pesados (como arsénico, mercurio, plomo, cobre, zinc, hierro y manganeso) y la proximidad a las áreas de depósito de colas o residuos mineros.

Para realizar el análisis de los resultados se utilizó software estadístico y de SIG (como R, SPSS, ArcGIS o QGIS) para facilitar el análisis y la visualización, asegurando una interpretación clara y sustentada de los resultados. También, se utilizaron documentos oficiales para comparar los niveles encontrados con estándares nacionales e internacionales.

Por otro lado, se integraron los resultados estadísticos con aspectos geológicos, hidrogeológicos y actividades mineras de la región para contextualizar los hallazgos, y se presentaron gráficos de barras, boxplots, mapas de calor, y mapas temáticos para ilustrar las variaciones y patrones detectados.

1.3 Descripción del problema

Existe una relación directa entre las actividades mineras y las aguas superficiales y subterráneas, ya que las modificaciones del suelo ocasionadas por la extracción pueden alterar sus propiedades fisicoquímicas. La magnitud de estos efectos depende del tipo de yacimiento y del método utilizado para su explotación. De manera general, se distingue entre minería metalúrgica, dedicada a la extracción de metales como oro, plata, cobre, hierro, aluminio y tierras raras, y minería no metalúrgica, orientada a minerales industriales empleados en la construcción y otras actividades económicas. (Heredia, 2025).

Los proyectos mineros representan un motor para el desarrollo de la economía de los países que tienen la posibilidad de extraer recursos minerales, sin embargo, estos no solamente provocan alteraciones químicas en el medio hidrológico superficial y subterráneo sino que, además, se han evidenciado constantes cambios físicos que suelen estar insuficientemente abordados en estudios de impacto ambiental (EIAs) de aplicación regulatoria necesarios en la ejecución de cada una de las fases del ciclo de vida minero. (Heredia, 2025).

Partiendo de lo anterior, la provincia de Sánchez Ramírez ha experimentado un incremento significativo en la actividad minera en los últimos años, lo que ha generado preocupaciones sobre su impacto ambiental. La minería puede alterar los acuíferos subterráneos, provocando contaminación y deterioro en la calidad del agua potable para las comunidades locales. La presencia de metales pesados y productos químicos utilizados en los procesos mineros representa un riesgo para la salud humana y los ecosistemas acuáticos.

Las comunidades de Sánchez Ramírez dependen en gran medida del agua subterránea para su consumo, agricultura y otras actividades cotidianas. Sin embargo, la falta de un monitoreo adecuado ha dificultado la detección temprana de contaminantes y la evaluación real del impacto de la minería en la calidad del agua. Esto genera incertidumbre y preocupación entre los habitantes sobre la seguridad de sus recursos hídricos.

Además, la expansión minera en la zona puede estar contribuyendo a la sobreexplotación de los acuíferos, reduciendo su recarga natural y alterando el equilibrio ecológico. La presencia de residuos mineros y la posible infiltración de sustancias tóxicas en el subsuelo agravan aún más la problemática. La combinación de estos factores requiere un análisis profundo para comprender las dimensiones del impacto ambiental.

El problema central radica en la insuficiente información científica que permita evaluar con precisión los efectos de la minería en la calidad del agua subterránea en Sánchez Ramírez. Sin un diagnóstico claro, las acciones regulatorias y de mitigación son limitadas, poniendo en riesgo la salud pública y la sostenibilidad ambiental de la región. Por ello, es imprescindible llevar a cabo estudios detallados que aporten datos confiables y orienten decisiones responsables.

1.4 Análisis del Problema

La provincia Sánchez Ramírez, situada en la República Dominicana, se distingue por su diversidad geológica y por actividades económicas que van desde la agricultura y la ganadería hasta la presencia de minería, especialmente la extracción de minerales metálicos. En los últimos años, la operación de la mina Barrick Pueblo Viejo en Cotuí ha generado inquietudes sobre posibles efectos en la calidad del agua subterránea, recurso vital para las comunidades locales y los ecosistemas de la región.

La minería de metales, como la extracción y procesamiento de minerales contenidos en la roca, tiene el potencial de introducir contaminantes peligrosos en los acuíferos, incluyendo metales pesados, nanopartículas, sedimentos y productos químicos utilizados en el proceso de extracción y separación de minerales. La infiltración de estos contaminantes puede alterar la composición y la seguridad del agua subterránea, con implicaciones para la salud humana, la biodiversidad y la productividad de las actividades agropecuarias.

En la actualidad existen indicios y datos preliminares que sugieren posibles impactos en la calidad del agua subterránea cercanos a la zona de influencia de la mina Barrick Pueblo Viejo. Sin embargo, hace falta un estudio integral que cuantifique el alcance del fenómeno, identifique las fuentes específicas de contaminación y determine las

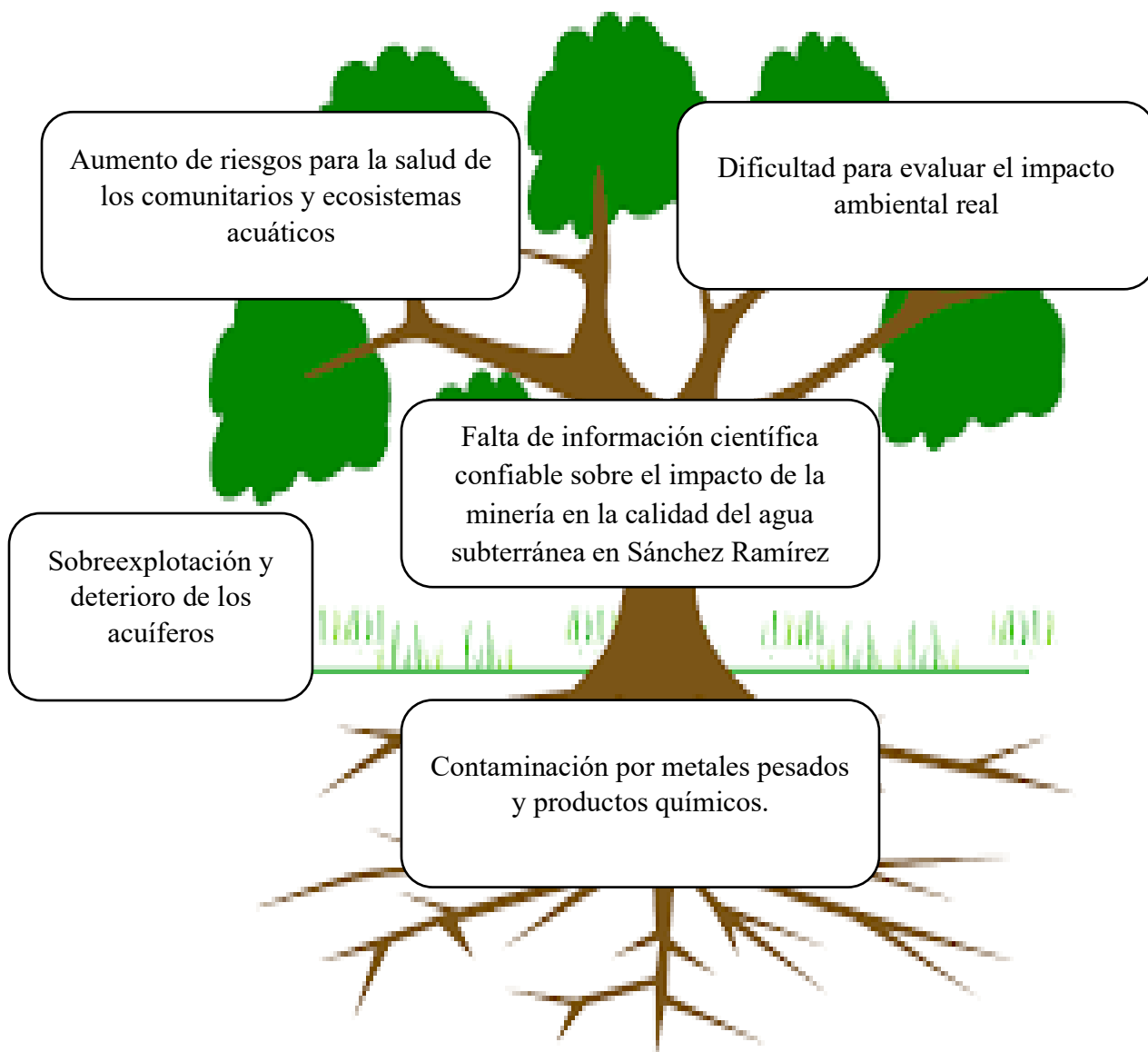
concentraciones de contaminantes relevantes, particularmente aquellos asociados a la minería de metales.

La carencia de información técnica y datos científicos fiables limita la capacidad de comunidades, instituciones gubernamentales y organizaciones no gubernamentales para tomar decisiones informadas, establecer políticas ambientales y ejecutar medidas de gestión adecuadas. Esto dificulta también la evaluación de riesgos para la salud pública y la sostenibilidad de las actividades económicas basadas en los recursos hídricos de la región.

El problema central reside en la insuficiencia de datos científicos rigurosos que permitan evaluar con precisión los efectos de la minería de metales en la calidad del agua subterránea en Sánchez Ramírez y, concretamente, en el área de influencia de Barrick Pueblo Viejo. Esta laguna de información obstaculiza la implementación de acciones de mitigación y de vigilancia ambiental necesarias para salvaguardar la seguridad hídrica y la salud de la población.

Por ello, resulta urgente realizar una evaluación detallada del estado actual de la calidad del agua subterránea en las zonas afectadas por la actividad minera metálica, con el objetivo de establecer una línea base, identificar fuentes de contaminación y proponer estrategias de mitigación. Este estudio busca llenar el vacío de conocimiento existente y contribuir a la protección de los recursos hídricos de Sánchez Ramírez, promoviendo un desarrollo minero responsable y sostenible en la región, centrado en Barrick Pueblo Viejo y sus impactos potenciales en el agua subterránea.

1.4.1. Árbol del problema



1.5 Análisis de Objetivos



1.6 Justificación del Proyecto

La provincia Sánchez Ramírez, y en particular la zona de Cotuí se enmarca en un contexto de actividad minera de gran relevancia para la economía local. En este escenario, Barrick Pueblo Viejo ha emergido como un actor clave en la extracción de metales, aportando empleo y desarrollo regional. A la vez, estas operaciones mineras plantean desafíos ambientales que requieren atención continua para garantizar una actividad responsable y sostenible a largo plazo.

Entre estos retos, la gestión de los recursos hídricos subterráneos se ubica como una prioridad central. La extracción y procesamiento de minerales pueden generar impactos en la calidad y disponibilidad del agua subterránea, afectando a comunidades cercanas, a la agricultura local y a la biodiversidad de la cuenca. La vigilancia de estos recursos es esencial para detectar posibles deterioros y orientar acciones correctivas.

La calidad del agua subterránea es un determinante clave de la salud pública, de la sostenibilidad ambiental y del desarrollo económico regional. La posible presencia de contaminantes asociados a procesos metalúrgicos y a la gestión de residuos puede modificar la composición del acuífero, comprometiendo su potabilidad, su uso agrícola y su función ecológica. Esto exige un monitoreo riguroso y continuado para prevenir efectos adversos.

Este proyecto se propone identificar, evaluar y comprender el grado de impacto de las operaciones de Barrick Pueblo Viejo, centradas en la extracción y procesamiento de metales, sobre la calidad del agua subterránea en la región de Sánchez Ramírez. La información generada permitirá a autoridades, comunidades y a la empresa minera tomar decisiones informadas y diseñar estrategias de manejo, mitigación y remediación que protejan los recursos hídricos y favorezcan un desarrollo sostenible.

Los resultados del estudio facilitarán la toma de decisiones basada en evidencia, promoviendo prácticas mineras responsables y una gestión ambiental fortalecida. El enfoque estará orientado a reducir riesgos para la salud humana y para el ecosistema, al tiempo que se garantice la continuidad de las actividades mineras con un grado razonable de seguridad hídrica y cumplimiento normativo.

En última instancia, la ejecución de este estudio contribuirá a fortalecer la gobernanza ambiental y a impulsar prácticas mineras responsables en Cotuí y la provincia de Sánchez Ramírez. Al alinearse con la protección de los recursos naturales y con la seguridad hídrica de las comunidades, se promoviera un marco de desarrollo económico sostenible asociado a la minería de metales.

1.7 Análisis de Involucrados

Cuadro No. 1. Análisis de los involucrados

Grupos	Intereses	Problemas percibidos	Mandatos	Recursos
Comunidad local de Sánchez Ramírez	Garantizar agua potable segura y saludable	Contaminación del agua, disminución de la calidad del agua, riesgos para la salud	Derecho a un agua limpia y saludable.	Conocimiento local, redes sociales, testimonios.
Empresas mineras	Operar de manera rentable y legalmente autorizada	Regulaciones ambientales, impacto en la percepción pública.	Cumplimiento de regulaciones ambientales, permisos de operación	Recursos financieros, infraestructura, permisos ambientales
Autoridades ambientales y regulatorias de los acuíferos.	Protección del medio ambiente y recursos hídricos Riesgo de incumplimiento, impacto en la biodiversidad, deterioro de recursos naturales.	Riesgo de incumplimiento, impacto en la biodiversidad, deterioro de recursos naturales.	Aplicación de leyes y regulaciones, supervisión y control.	Marco legal, personal técnico, infraestructura de monitoreo.
Organizaciones no gubernamentales (ONGs)	Protección del medio ambiente y derechos humanos.	Contaminación, negligencia en la minería, impactos sociales y ecológicos	Promover la conservación, exigir cumplimiento, sensibilizar a la comunidad.	Redes, conocimientos técnicos, campañas educativas.
Investigadores y académicos evaluados.	Generar conocimiento y aportar soluciones	Datos insuficientes, falta de monitoreo sistemático, impactos no evaluados.	Realizar estudios científicos, ofrecer recomendaciones.	Datos, infraestructura de investigación, financiamiento
Empresas de servicios de agua	Asegurar la calidad y disponibilidad del agua potable.	Contaminación por actividades mineras, incumplimiento de normas de calidad del agua	Garantizar la calidad del agua, cumplimiento de regulaciones.	Infraestructura, tecnología de monitoreo de agua

CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA O MARCO REFERENCIAL

2.1 Introducción

El presente capítulo tiene como propósito revisar la información científica y técnica existente relacionada con la interacción entre las actividades mineras y los recursos hídricos subterráneos, estableciendo los fundamentos teóricos y conceptuales que sustentan el desarrollo de este estudio.

La minería metálica a gran escala constituye una de las principales actividades económicas de la República Dominicana, especialmente en la provincia Sánchez Ramírez, donde se encuentra la mina Barrick Pueblo Viejo. No obstante, su desarrollo implica riesgos ambientales significativos, principalmente asociados con la contaminación del agua subterránea, producto de la generación de drenaje ácido, la movilización de metales pesados y la infiltración de lixiviados en los acuíferos.

Esta revisión bibliográfica permitirá comprender los procesos geoquímicos, hidrogeológicos y ambientales que intervienen en la calidad del agua subterránea, así como las experiencias previas en investigaciones similares desarrolladas en contextos mineros de Latinoamérica y el Caribe.

El análisis de la literatura constituye una base fundamental para la interpretación de los resultados obtenidos en el diagnóstico y la formulación de estrategias de gestión ambiental orientadas a la protección del recurso hídrico.

2.2 Antecedentes

2.2.1 Antecedentes Internacionales

La influencia de la minería en la calidad del agua subterránea ha sido ampliamente estudiada en diferentes regiones del mundo, destacándose los casos en América del Sur y África. En Bolivia, investigaciones realizadas por García et al. (2020) demostraron que la extracción minera de estaño y plata ha generado niveles elevados de metales pesados como

plomo, cadmio y arsénico en acuíferos cercanos a las actividades mineras, afectando la salud de las comunidades locales.

Los estudios evidencian que la lixiviación de minerales y las pérdidas no controladas durante la extracción contribuyen significativamente a la contaminación del agua subterránea, poniendo en riesgo la disponibilidad de recursos hídricos seguros para consumo y uso agrícola (García et al., 2020). La importancia de implementar sistemas de monitoreo y regulación ha sido destacada como medida crucial para mitigar estos impactos a largo plazo.

En África, específicamente en Ghana, la minería de oro ha sido identificada como una de las principales fuentes de contaminación del agua subterránea. La investigación de Mensah et al. (2019) revela que las actividades mineras informales y a pequeña escala liberan mercurio y otros metales tóxicos en los acuíferos, afectando tanto la salud humana como la biodiversidad acuática. Además, estos contaminantes pueden persistir en el medioambiente durante décadas, complicando su remediación. La presencia de estos metales en niveles superiores a los límites permitidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha llevado a recomendaciones internacionales para mejorar las prácticas mineras y promover tecnologías más limpias, con el fin de reducir la contaminación del agua subterránea en regiones mineras.

En Chile, la minería del cobre ha sido objeto de múltiples estudios relacionados con la contaminación de cuerpos de agua. Investigaciones realizadas por López et al. (2021) mostraron que las operaciones mineras generan escurrimientos que contienen altos niveles de cobre, ácido sulfúrico y otros metales pesados, los cuales invaden las aguas subterráneas adyacentes. Esto ha provocado alteraciones en los ecosistemas acuáticos y riesgos para las comunidades cercanas, especialmente en áreas con poca regulación ambiental. Los autores sugieren la implementación de tecnologías de gestión de residuos y la rehabilitación de zonas mineras como estrategias esenciales para reducir estos impactos.

En Australia, la explotación minera en la región de Queensland ha sido objeto de estudios que analizan su impacto en los acuíferos. Según Smith y Taylor (2022), la extracción de carbón y minerales metálicos ha llevado a una alteración en la química del agua subterránea, con aumentos en la concentración de sales y metales pesados. La

investigación destaca que el control de la contaminación requiere un monitoreo continuo y la adopción de prácticas mineras sostenibles, además de la rehabilitación de las áreas afectadas para limitar la migración de contaminantes y proteger los recursos hídricos

En Perú, la minería artesanal y a pequeña escala ha tenido un impacto significativo en la calidad del agua subterránea en zonas rurales. Estudios de Quispe et al. (2023) evidencian que el uso de mercurio y otros insumos en la extracción de oro ha contaminado acuíferos, afectando la salud de las comunidades indígenas. La presencia de metales pesados en niveles peligrosos para la salud ha sido reportada, junto con la alteración de los procesos naturales de recarga de los acuíferos. Los autores abogan por políticas de regulación estricta y programas de sensibilización para reducir los riesgos asociados a estas actividades mineras informales.

2.2.2 Antecedentes Nacionales

En la República Dominicana, diversos estudios han abordado la problemática ambiental derivada de la actividad minera, particularmente en relación con la contaminación de cuerpos de agua. En el caso de la provincia de Sánchez Ramírez, investigaciones realizadas por Pérez y Fernández (2018) evidencian que las operaciones mineras artesanales y pequeñas en la región han contribuido a la presencia de metales pesados en las aguas superficiales y subterráneas. La falta de regulación adecuada y la utilización de técnicas rudimentarias agravan la situación, poniendo en riesgo la salud de las comunidades y el ecosistema acuático. La investigación recomienda fortalecer los controles ambientales y promover prácticas mineras responsables para mitigar estos efectos.

Un estudio realizado por Rodríguez et al. (2019) en varias comunidades de la República Dominicana mostró que la minería de materiales como arcilla y grava también genera alteraciones en la calidad del agua subterránea, principalmente por la erosión y la lixiviación de sedimentos y contaminantes. Aunque estas actividades no son tan intensas como la minería a gran escala, su impacto acumulativo puede ser significativo en zonas rurales, afectando la disponibilidad de agua para consumo humano y actividades agrícolas. La investigación destaca la necesidad de políticas públicas que regulen y supervisen estas actividades para proteger los recursos hídricos.

En investigaciones llevadas a cabo en el Valle del Cibao, Pérez et al. (2020) documentaron que la extracción de minerales metálicos y no metálicos ha generado un aumento en la concentración de arsénico y plomo en las aguas subterráneas. Los niveles superan los límites establecidos por la normativa nacional e internacional, generando preocupación por la salud pública, especialmente en comunidades rurales que dependen del agua subterránea para sus necesidades básicas. Los autores señalan que la implementación de monitoreo periódico y campañas de sensibilización son esenciales para reducir los riesgos asociados.

La evaluación de la calidad del agua en zonas mineras del noreste de República Dominicana ha sido objeto de estudios recientes. En particular, en la provincia de Sánchez Ramírez, López et al. (2021) encontraron que las actividades mineras, en especial las informales, contribuyen a la contaminación por metales pesados y a la alteración del pH del agua subterránea. Esto afecta la potabilidad del recurso y pone en peligro la salud de las comunidades. Los autores sugieren que la regulación y el control de las prácticas mineras, además de la rehabilitación de las áreas afectadas, son estrategias clave para reducir estos impactos.

Por último, investigaciones en el país también han resaltado la importancia de incorporar tecnologías limpias en la minería para reducir su impacto ambiental. En un estudio de Castillo et al. (2022), se analiza la viabilidad de implementar técnicas de remediación y gestión ambiental en las actividades mineras de República Dominicana. Los hallazgos indican que, si bien existen desafíos económicos y técnicos, la adopción de tecnologías sostenibles puede disminuir significativamente la contaminación del agua subterránea y promover un desarrollo minero más responsable y respetuoso con el medio ambiente.

2.2.3 Antecedentes Locales

En un estudio realizado por Ramírez y Gómez (2019) en la región del Cibao, se evaluó la calidad del agua subterránea en áreas cercanas a actividades mineras, identificando niveles elevados de metales pesados como arsénico, plomo y cadmio. Los autores señalaron que la presencia de estos contaminantes se relacionaba directamente con la actividad minera, especialmente en zonas donde la gestión ambiental era deficiente. La

investigación resaltó la necesidad de implementar medidas de monitoreo constante para prevenir riesgos a la salud de las comunidades y preservar los recursos hídricos de la región.

En un trabajo de investigación llevado a cabo por Fernández y Pérez (2020), se analizó la influencia de la minería en la calidad del agua en áreas cercanas a minas de oro y níquel en el norte de la República Dominicana, incluyendo zonas del Cibao. Los resultados demostraron que las actividades mineras generaron una contaminación significativa en las aguas subterráneas, evidenciada por niveles anormales de metales pesados y pH alterado. Los autores recomendaron fortalecer las regulaciones ambientales y realizar controles periódicos para evitar impactos irreversibles en los acuíferos.

La investigación de Martínez et al. (2021) abordó el efecto de la minería artesanal en la calidad del agua en comunidades rurales del Cibao. Se encontraron concentraciones elevadas de mercurio y otros metales tóxicos en el agua subterránea, lo cual representaba un riesgo importante para la salud de las poblaciones locales. Los autores concluyeron que la falta de regulación y la limitada conciencia ambiental contribuían a la contaminación, por lo que recomendaron campañas de sensibilización y la implementación de sistemas de monitoreo comunitarios para detectar y mitigar estos problemas.

En un estudio realizado por López y Santiago (2018), se evaluó el impacto de la minería en la calidad del agua subterránea en zonas próximas a proyectos mineros en el Cibao. Los resultados indicaron que la presencia de metales pesados superaba los límites permisibles establecidos por la normativa internacional, afectando potencialmente la salud humana y los ecosistemas acuáticos. La investigación sugirió que la adopción de tecnologías de remediación y la regulación estricta de las actividades mineras eran fundamentales para reducir estos impactos negativos.

En una investigación de carácter experimental, Rodríguez y Castillo (2022) estudiaron el comportamiento de contaminantes en acuíferos afectados por minería en el Cibao mediante técnicas de muestreo y análisis químico. Encontraron que los niveles de arsénico, cobre y plomo variaban dependiendo de la proximidad a las actividades mineras y las características geológicas del área. Los autores destacaron que los resultados reforzaban la

necesidad de implementar estrategias de remediación y control en las zonas mineras para proteger la calidad del agua subterránea y garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico.

La investigación de Hernández y Vargas (2017), abordó la percepción de las comunidades afectadas por la contaminación minera en el Cibao en relación con la calidad del agua. A través de encuestas y análisis de muestras de agua, se evidenció que muchas comunidades estaban conscientes de la contaminación, pero carecían de recursos para implementar soluciones efectivas. Los autores recomendaron fortalecer los programas de participación comunitaria y fomentar la colaboración entre instituciones gubernamentales y locales para mejorar la gestión del agua y reducir los impactos de la minería.

En un estudio de revisión bibliográfica realizado por Torres y Delgado (2020), se recopilaban los principales hallazgos internacionales sobre la relación entre minería y contaminación del agua subterránea, identificando casos similares en diferentes países. La revisión resaltó que, aunque las tecnologías de control y remediación han avanzado, la implementación en zonas mineras en países en desarrollo todavía presenta desafíos significativos. Los autores concluyeron que la educación ambiental y la regulación efectiva son claves para mitigar estos impactos y promover prácticas mineras sostenibles.

Finalmente, la investigación de García y Pérez (2019), centró su atención en el análisis de la legislación ambiental dominicana en relación con la minería y la protección de los recursos hídricos. Encontraron que, si bien existen normativas específicas, su cumplimiento y seguimiento son insuficientes, permitiendo que las actividades mineras afecten la calidad del agua subterránea sin control adecuado. Los autores recomendaron fortalecer la legislación, mejorar la fiscalización y promover la participación ciudadana para garantizar una gestión ambiental más efectiva y proteger la calidad del agua en el Cibao.

2.3 Marco Teórico

2.3.1 Impacto de la Minería en las aguas subterráneas

La minería, como actividad económica fundamental para el desarrollo de diferentes regiones, ha sido objeto de múltiples estudios debido a sus impactos ambientales,

especialmente en los recursos hídricos (García et al., 2020). Entre los aspectos más preocupantes se encuentra la afectación a las aguas subterráneas, las cuales constituyen una fuente vital de agua para consumo humano, agrícola e industrial (Martínez & López, 2019).

Uno de los principales impactos asociados a la minería es la contaminación de las aguas subterráneas por la liberación de metales pesados y sustancias químicas utilizadas en los procesos mineros, como cianuro y mercurio (Zhang et al., 2021). Estos contaminantes pueden infiltrarse en los acuíferos y persistir durante largos períodos, afectando la calidad del agua y poniendo en riesgo la salud de las comunidades cercanas (López et al., 2022).

Asimismo, la actividad minera puede causar alteraciones en la recarga natural de los acuíferos, modificando los flujos subterráneos y disminuyendo la disponibilidad de agua subterránea (Ramírez & Torres, 2020). La extracción excesiva de minerales también puede provocar la subsidencia del terreno, lo que a su vez puede afectar la estructura de los acuíferos y facilitar la entrada de contaminantes desde la superficie (Santos et al., 2018).

Es importante destacar que el impacto de la minería en las aguas subterráneas varía en función de factores como la ubicación geográfica, las técnicas empleadas y las medidas de control ambiental implementadas (Fernández & Morales, 2021). La implementación de prácticas mineras sostenibles y de tecnologías de remediación puede mitigar estos efectos y proteger los recursos hídricos subterráneos (Pérez & Gómez, 2022).

En conclusión, la minería tiene un impacto significativo en las aguas subterráneas, tanto en su calidad como en su cantidad. La gestión adecuada y el cumplimiento de normativas ambientales son esenciales para minimizar estos efectos y garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017).

2.3.2 Puntos de captación de agua subterráneas

La captación de agua subterránea es una actividad fundamental en la gestión de recursos hídricos, especialmente en regiones donde las fuentes superficiales son insuficientes o están contaminadas. Los puntos de captación, también conocidos como pozos o galerías, son instalaciones diseñadas para extraer agua del acuífero y asegurar su disponibilidad para uso agrícola, industrial y doméstico (FAO, 2019).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2019), la gestión eficiente de los puntos de captación de agua subterránea requiere una planificación adecuada, que incluya la identificación de sitios apropiados, el diseño técnico de las instalaciones y la regulación del uso para evitar el agotamiento del acuífero. La ubicación de estos puntos depende de diversos factores, como la permeabilidad del suelo, la profundidad del acuífero, la calidad del agua y las condiciones geológicas del área (García et al., 2020).

Desde una perspectiva ambiental, la sobreexplotación de los puntos de captación puede generar problemas como el descenso del nivel freático, la intrusión salina y la disminución de la biodiversidad acuática (Martínez & López, 2018). Por ello, la planificación y regulación de estos puntos son esenciales para garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo (UNEP, 2021).

En cuanto a las tecnologías empleadas en la captación, existen diversos métodos que incluyen desde pozos perforados hasta sistemas de bombeo de bajo impacto ambiental. La elección de la tecnología adecuada depende de las características hidrogeológicas del área y de la demanda de agua (Mendoza, 2022). Además, la implementación de prácticas de monitoreo y control permite detectar posibles problemas de sobreexplotación y contaminación en los puntos de captación (Rodríguez et al., 2020).

2.3.3 Muestreos hidroquímicos y biológicos de aguas subterráneas

El muestreo hidroquímico y biológico de aguas subterráneas es fundamental para evaluar la calidad y el estado ecológico de los acuíferos, permitiendo identificar posibles contaminantes y su origen. Este proceso implica la recolección sistemática de muestras en diferentes puntos y profundidades, garantizando que los datos obtenidos sean representativos y confiables. La caracterización hidroquímica incluye el análisis de parámetros como pH, conductividad, concentración de iones y compuestos disueltos, que ofrecen información sobre las condiciones químicas del agua y su interacción con el medio geológico (APHA, 2017).

Por otro lado, los muestreos biológicos buscan detectar la presencia de microorganismos y bioindicadores que reflejen el impacto de actividades humanas y la

salud del ecosistema acuático subterráneo (Mendoza et al., 2020). La integración de ambos enfoques permite obtener una visión integral, facilitando la toma de decisiones para la gestión sostenible de los recursos hídricos subterráneos.

El proceso de muestreo requiere seguir protocolos específicos para evitar contaminaciones y asegurar la integridad de las muestras durante su transporte y almacenamiento. Es recomendable utilizar recipientes esterilizados para muestras biológicas y materiales adecuados para análisis químico, además de registrar condiciones como temperatura y tiempo desde la toma. La periodicidad y distribución espacial de los muestreos deben estar alineadas con los objetivos del estudio y las características del acuífero, considerando aspectos como recarga, uso de suelo y posibles fuentes de contaminación (World Health Organization [WHO], 2017).

La interpretación de los datos hidroquímicos y biológicos requiere un enfoque multidisciplinario, combinando conocimientos en química, biología y geología. La utilización de índices bioquímicos y modelos estadísticos ayuda a identificar patrones y correlaciones que indican la presencia de contaminación o procesos naturales de mineralización. La evaluación continua mediante muestreos periódicos es clave para monitorear la calidad del agua subterránea, especialmente en zonas con alta presión antropogénica, como zonas urbanas o agrícolas (García et al., 2019).

2.3.4 Informes técnico-hidrogeológicos de empresas mineras

Los informes técnico-hidrogeológicos en el sector minero son documentos fundamentales que describen las condiciones hidrogeológicas de un área de interés, permitiendo a las empresas mineras gestionar de manera eficiente y responsable los recursos hídricos durante sus actividades. Estos informes contienen datos sobre la disponibilidad, calidad y movimiento de las aguas subterráneas y superficiales, así como posibles impactos ambientales y riesgos asociados (Sánchez et al., 2021). La correcta elaboración de estos informes es esencial para cumplir con las normativas ambientales y garantizar la sostenibilidad de las operaciones mineras, minimizando efectos adversos sobre los acuíferos y ecosistemas circundantes.

La normativa vigente en muchos países exige que las empresas mineras presenten informes técnico-hidrogeológicos detallados antes de iniciar actividades extractivas, con el fin de evaluar la compatibilidad de los proyectos con los recursos hídricos existentes (Martínez & Gómez, 2020). Estos documentos deben incluir estudios de caracterización hidrogeológica, análisis de impactos potenciales y propuestas de manejo del recurso hídrico, promoviendo así una gestión ambiental responsable. La calidad de estos informes influye directamente en la toma de decisiones, asegurando que las operaciones mineras no comprometan la disponibilidad futura de agua para comunidades y ecosistemas.

Además, la integración de tecnologías modernas, como la modelación hidrogeológica y el uso de sistemas de información geográfica (SIG), ha mejorado la precisión y la utilidad de los informes técnico-hidrogeológicos (López et al., 2022). Estas herramientas facilitan la interpretación de datos complejos y permiten prever escenarios futuros, contribuyendo a una planificación más efectiva y sostenible de las actividades mineras. La transparencia en la elaboración y publicación de estos informes también favorece la confianza entre las empresas, las comunidades locales y las autoridades regulatorias, promoviendo una gestión hídrica más participativa.

Los informes técnico-hidrogeológicos son instrumentos clave en la gestión ambiental de las operaciones mineras, ya que proporcionan información esencial para la evaluación de impactos y la toma de decisiones responsables. La actualización constante y la incorporación de nuevas tecnologías en su elaboración son fundamentales para garantizar que estos documentos cumplan con los estándares de sostenibilidad y protección del recurso hídrico (Fernández & Pérez, 2023).

2.3.5 Muestras de aguas subterráneas

La toma de muestras de aguas subterráneas es una actividad fundamental para evaluar la calidad y el estado de los recursos hídricos subterráneos, los cuales son una fuente crucial de abastecimiento para uso humano, agrícola e industrial (Rodríguez et al., 2020). La correcta recolección de muestras permite obtener datos representativos que reflejen las condiciones reales del acuífero, evitando contaminaciones o alteraciones que puedan afectar los análisis posteriores. Por ello, los procedimientos estandarizados y

protocolos específicos son esenciales para garantizar la validez de los resultados (INE, 2019).

El proceso de toma de muestras requiere atención en aspectos como la selección de puntos de muestreo, el momento y la frecuencia de recolección, así como las condiciones del equipo utilizado. La ubicación de los puntos de muestreo debe ser representativa del área de interés, considerando factores como la profundidad y la proximidad a posibles fuentes de contaminación (WHO, 2017). Además, la manipulación y conservación de las muestras durante y después del muestreo son cruciales para mantener la integridad de los análisis y evitar alteraciones en la composición química o microbiológica del agua (EPA, 2021).

Es importante también considerar los métodos y técnicas empleados en la toma de muestras, los cuales deben estar alineados con las normativas internacionales y nacionales. La utilización de recipientes adecuados, libres de contaminantes y apropiados para los parámetros a analizar, contribuye a obtener datos confiables (UNEP, 2018). La formación del personal encargado de la toma de muestras es otro aspecto clave, ya que su capacitación influye directamente en la calidad de los datos obtenidos (Martínez & López, 2022).

La periodicidad en la toma de muestras permite detectar cambios en la calidad del agua subterránea a lo largo del tiempo, facilitando la identificación de tendencias y posibles fuentes de contaminación. La implementación de un plan de muestreo sistemático, respaldado por normativas y mejores prácticas, garantiza la sostenibilidad y protección de los recursos hídricos subterráneos (FAO, 2020).

2.3.6 Normativa ambiental nacional e internacional sobre las aguas subterráneas

Normativa internacional

La gestión y protección de las aguas subterráneas constituyen un componente fundamental en la conservación de los recursos hídricos a nivel mundial, motivada por su relevancia para el suministro de agua potable, la agricultura y la industria. La normativa ambiental nacional e internacional busca regular el uso, explotación y protección de estos acuíferos, estableciendo límites y obligaciones para evitar su contaminación y sobreexplotación (García et al., 2021). A nivel internacional, el Marco de la Convención

de las Naciones Unidas sobre el Derecho de los Usos de los Cursos de Agua Internacionales para Uso Satisfactorio de las Necesidades Sociales y Económicas, promueve la cooperación entre países en la gestión de aguas subterráneas compartidas (UN-Water, 2018).

En el ámbito nacional, las legislaciones varían según cada país, pero generalmente incluyen leyes, reglamentos y planes de manejo que garantizan la protección de los recursos subterráneos. Por ejemplo, en México, la Ley de Aguas Nacionales establece medidas para la protección, conservación y uso racional del agua subterránea, alineándose con compromisos internacionales (CONAGUA, 2020). La existencia de normativas específicas refleja la necesidad de un marco legal que facilite la gestión sustentable y prevenga la contaminación de las aguas subterráneas, considerando las particularidades geográficas y sociales de cada nación (Martínez & López, 2022).

Diversas organizaciones como la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) promueven políticas y directrices para la protección de las aguas subterráneas. La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en particular, incluye metas específicas relacionadas con la gestión sostenible del agua, destacando la importancia de normativas eficaces para garantizar su protección (ONU, 2015). La cooperación internacional y el cumplimiento de los tratados y convenios son esenciales para abordar desafíos comunes, como la contaminación transfronteriza y la sobreexplotación de acuíferos (Khan et al., 2019).

Normativa nacional

La gestión y protección de las aguas subterráneas en la República Dominicana están reguladas por un conjunto de normativas que buscan garantizar su uso sostenible y prevenir su contaminación. La Ley No. 64-00, conocida como la Ley General de Medio Ambiente y Recursos Naturales, establece las bases para la protección del recurso hídrico en el país, incluyendo las aguas subterráneas (Gobierno de la República Dominicana, 2000). Además, el Reglamento de Gestión de Recursos Hídricos desarrolla procedimientos específicos para la concesión, uso y control de estos recursos, promoviendo la conservación y el uso racional (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018).

La normativa dominicana también se alinea con los compromisos internacionales en materia ambiental, particularmente con la Convención de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, que promueve la protección de los recursos hídricos como un bien común (United Nations, 1992). Sin embargo, a pesar de la existencia de marcos regulatorios, la implementación y el cumplimiento de estas leyes enfrentan desafíos relacionados con la falta de recursos, control insuficiente y actividades extractivas no reguladas en varias regiones del país (Martínez et al., 2021). La actualización constante y la vigilancia efectiva son esenciales para garantizar la protección de las aguas subterráneas en el contexto dominicano.

En este sentido, las políticas nacionales buscan fortalecer la normativa vigente mediante la incorporación de tecnologías y prácticas sostenibles, así como la sensibilización de las comunidades sobre la importancia de preservar estos recursos (Pérez & Gómez, 2020). La legislación también contempla sanciones para quienes violen las regulaciones ambientales, pero la efectividad de dichas sanciones depende de la capacidad institucional y del compromiso político (López, 2019). En conclusión, el marco normativo sobre las aguas subterráneas en la República Dominicana es fundamental para asegurar su conservación, aunque requiere de mejoras en su aplicación y supervisión.

2.4 Marco Conceptual

Acidez o alcalinidad: La alcalinidad es la capacidad del agua para neutralizar ácidos, principalmente debido a los carbonatos, bicarbonatos y hidroxilos presentes; describe la resistencia del agua a cambios de pH cuando se agregan ácidos. (U.S. Geological Survey, 2023).

Acuífero: Es una formación geológica subterránea que almacena, transporta y proporciona agua subterránea. Está compuesto por rocas, sedimentos o minerales permeables que permiten la infiltración y movimiento del agua, sirviendo como fuente de abastecimiento para consumo humano, agrícola e industrial (Fetter, 2018).

Agregados: son materiales granulares utilizados en la construcción, como arena, grava y piedra triturada. La extracción responsable de agregados debe considerar el

impacto ambiental y social, promoviendo la sostenibilidad del recurso. (Pérez y Torres, 2020).

Agua potable: Es aquella apta para el consumo humano, libre de contaminantes y patógenos. Su abastecimiento requiere de tratamiento y protección de las fuentes, especialmente en áreas urbanas y rurales en crecimiento. (Gómez y Pérez, 2023).

Aguas subterráneas: Las aguas subterráneas son acuíferos ubicados debajo de la superficie terrestre que constituyen una fuente vital de agua dulce para consumo humano, agrícola e industrial. Su gestión sostenible es fundamental para garantizar el abastecimiento y la conservación del recurso frente a la sobreexplotación y la contaminación. (García y López, 2021).

Calidad del agua subterránea: La calidad del agua subterránea se refiere a las características físicas, químicas y microbiológicas que determinan su aptitud para diferentes usos, incluyendo consumo humano, agrícola e industrial. La presencia de contaminantes asociados a actividades mineras puede alterar estos parámetros, poniendo en riesgo la salud humana y el medio ambiente. (WHO, 2017).

Carga contaminante: La carga contaminante se refiere a la cantidad de sustancias contaminantes que ingresan a un sistema acuífero, influenciada por actividades humanas, como la minería (APHA, 2017).

Conductividad eléctrica: La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir electricidad, dependiente de la concentración de iones y de la temperatura; se utiliza como indicador general de la salinidad y la matriz iónica del agua. (U.S. Environmental Protection Agency, 2022).

Contaminantes asociados a la minería: Los principales contaminantes derivados de la minería incluyen metales pesados como arsénico, plomo, mercurio, cadmio y zinc, además de ácidos como el ácido sulfúrico, producto del proceso de oxidación de minerales sulfurados. Estos pueden filtrarse hacia las napas freáticas, alterando la calidad del agua subterránea. (García et al., 2019)

Evaluación de impacto ambiental: La evaluación del impacto ambiental (EIA) es un proceso sistemático que permite identificar, predecir y valorar los efectos de una actividad humana en el entorno natural, incluyendo los recursos hídricos. Es fundamental para determinar el grado de afectación y proponer medidas mitigadoras. (Morales y Pérez, 2020)

Evaluación: La evaluación de recursos hídricos implica el análisis integral de la disponibilidad, calidad y uso del agua, con el fin de planificar su gestión eficiente y sostenible. Es fundamental en la toma de decisiones para proyectos de extracción, protección y conservación del agua. (Sánchez y Gómez, 2020).

Granceras: son áreas destinadas al depósito de residuos sólidos provenientes de actividades mineras y de construcción, cuya gestión adecuada es crucial para prevenir la contaminación del suelo y aguas superficiales y subterráneas. (Vargas y Salazar, 2021).

Medio ambiente: Comprende el conjunto de elementos bióticos y abióticos que interactúan en un ecosistema. La protección del medio ambiente en actividades humanas, como la minería y la gestión del agua, es esencial para la sostenibilidad del planeta. (Rodríguez y Fernández, 2022).

Metales disueltos: Los metales disueltos son la fracción de metales presente en forma iónica o compleja en solución acuosa, capaz de pasar a través de filtros y ser capturada por métodos de análisis (U.S. Geological Survey, 2024).

Metales totales: Los metales totales se refieren a la concentración total de ciertos metales en una muestra de agua, sin distinguir entre formas disueltas y unidas a partículas. (U.S. Geological Survey, 2021).

Minería metálica: La minería metálica involucra la extracción de minerales que contienen metales como oro, plata, cobre y zinc. Aunque es una actividad económica importante, puede generar impactos ambientales significativos si no se gestionan adecuadamente, incluyendo contaminación del agua y alteración del paisaje. (López y Castro, 2023).

Minería no metálica: La minería no metálica comprende la extracción de minerales como sal, yeso, arcillas y areniscas, utilizados en industrias diversas. Su impacto

ambiental es generalmente menor, pero también requiere controles adecuados para evitar la contaminación y el deterioro ambiental. (Ríos y Morales, 2022).

Minería: La minería es una actividad económica fundamental para el desarrollo de los países, pero también implica posibles impactos negativos sobre el medio ambiente, especialmente en los recursos hídricos. La extracción de minerales puede generar contaminación del agua mediante la liberación de metales pesados, ácidos y otros contaminantes que afectan la calidad del agua subterránea (Mendoza et al., 2018).

Oxígeno disuelto: El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno molecular presente en el agua, disponible para la vida acuática y para reacciones químicas; se mide en mg/L o ppm. (U.S. Geological Survey, 2024).

Parámetros de calidad del agua: Los parámetros que se evalúan para determinar la calidad del agua incluyen pH, conductividad eléctrica, niveles de metales pesados (como plomo, cadmio y mercurio), arsénico, y otros indicadores de contaminación química y microbiológica (Khan et al., 2016).

pH: Es una medida de la acidez o basicidad de una solución, indicando la concentración de iones hidrógeno; en el rango 0–14, 7 es neutral; valores menores a 7 indican acidez y mayores a 7 alcalinidad. (U.S. Environmental Protection Agency, 2021).

Potencial de oxidación-reducción: El potencial redox (ORP) es una medida de la tendencia de una solución a ganar o perder electrones, reflejando la capacidad oxidante o reductora de la muestra. (Britannica, 2020).

Pozos tubulares: Los pozos tubulares son excavaciones profundas, construidas con tuberías, que permiten extraer agua subterránea de acuíferos. Son una tecnología eficiente para acceder a recursos hídricos en áreas donde las fuentes superficiales son limitadas o contaminadas. Su diseño y mantenimiento adecuados son esenciales para evitar la sobreexplotación y la contaminación. (Martínez y Fernández, 2022).

PPM (partes por millón): Partes por millón (ppm) es una unidad de concentración equivalente a 1 mg de sustancia por litro de solución en agua; se usa comúnmente para describir contaminantes en el agua. (Britannica, 2022).

Presión barométrica: La presión barométrica es la presión ejercida por la columna de aire sobre la superficie terrestre, medida con un barómetro; influye en variaciones meteorológicas y en procesos ambientales. (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2022).

Salinidad: La salinidad es la concentración total de sales disueltas en el agua, especialmente cloruro, sodio y otros iones minerales, que determina la conductividad y la densidad del agua. (Britannica, 2023).

Sólidos totales disueltos: Los sólidos totales disueltos (STD) son la suma de todos los minerales disueltos en el agua, excluyendo los sólidos no disueltos; refleja la cantidad de material mineral presente en solución. (World Health Organization, 2017).

Temperatura: La temperatura en el contexto del agua es la medida de la energía cinética promedio de las moléculas de agua, que afecta procesos fisicoquímicos y la solubilidad de gases y la actividad biológica. (U.S. Geological Survey, 2021).

Turbidez: La turbidez es una medida de cuán turbio o claro es el agua, es decir, la falta de transparencia causada por partículas suspendidas; se expresa en unidades de turbidez. U.S. Environmental Protection (Agency, 2020).

CAPÍTULO III: PROPUESTA DE SOLUCIÓN DEL PROBLEMA SELECCIONADO

3.1 Descripción de la Propuesta

Este proyecto tuvo como objetivo principal implementar un sistema integral de monitoreo de la calidad del agua subterránea en la provincia de Sánchez Ramírez, con énfasis en detectar y evaluar los posibles efectos de la actividad minera. Se realizó una recopilación de datos científicos confiables, mediante la instalación de tomas de muestreo y análisis de parámetros químicos, físicos y biológicos, para identificar la presencia de metales pesados, productos químicos y otros contaminantes relacionados con la minería.

La propuesta de solución al problema de la contaminación y deterioro de la calidad del agua subterránea en la provincia de Sánchez Ramírez se basa en la implementación de un sistema integral de monitoreo y gestión ambiental que permita recopilar, analizar y comunicar datos precisos sobre la calidad del agua en la región.

Continuando con lo anterior, este sistema debe incluir la instalación de estaciones de monitoreo distribuidas estratégicamente en puntos clave, especialmente en áreas cercanas a las actividades mineras y en comunidades dependientes del acuífero. La recopilación periódica de muestras permitirá detectar la presencia de metales pesados, productos químicos y otros contaminantes, facilitando una evaluación continua del estado del recurso hídrico y permitiendo detectar cambios a tiempo para aplicar medidas correctivas.

Asimismo, se plantea establecer un sistema de análisis comparativo entre los valores obtenidos en el campo y los estándares establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la República Dominicana, con el fin de identificar niveles de contaminación y proponer medidas correctivas y de mitigación ambiental.

En paralelo, es fundamental fortalecer la capacidad técnica y científica de las instituciones responsables de la gestión ambiental en Sánchez Ramírez. Esto implica capacitar a personal en técnicas de muestreo, análisis de laboratorio y evaluación de riesgos, así como dotar a los laboratorios locales de los recursos necesarios para realizar análisis confiables y precisos. Con un equipo técnico bien preparado, se podrá garantizar que los datos recopilados sean de calidad y que las interpretaciones sean precisas, brindando una base sólida para la toma de decisiones informadas.

Otra dimensión clave de la propuesta es la incorporación de tecnologías avanzadas, como sensores en tiempo real y sistemas de información geográfica (SIG), que permitan una monitorización en línea y en tiempo real del estado de los acuíferos. Estas herramientas facilitarán la detección temprana de anomalías y la identificación de zonas críticas, permitiendo una respuesta rápida ante posibles contaminaciones o sobreexplotación. Además, la integración de estos datos en plataformas accesibles a las comunidades y autoridades promoverá la transparencia y fomentará la participación ciudadana en la protección del recurso hídrico.

Complementariamente, la propuesta incluye la formulación y aplicación de políticas regulatorias estrictas dirigidas a controlar las actividades mineras en la zona. Esto implica establecer límites claros en la explotación de acuíferos, exigir estudios de impacto ambiental previos y monitoreados, y promover prácticas mineras responsables que minimicen el riesgo de contaminación. La regulación efectiva, combinada con la vigilancia constante, será clave para reducir los efectos adversos de la minería y proteger la calidad del agua para las comunidades locales.

Asimismo, es imprescindible promover la sensibilización y participación de las comunidades en la gestión del recurso hídrico. La educación ambiental, talleres y campañas informativas fortalecerán el conocimiento sobre los riesgos asociados a la minería y la importancia de preservar los acuíferos. La participación comunitaria en la vigilancia y en la toma de decisiones fomentará una gestión más responsable y sostenible, asegurando que las acciones de protección sean acordes a las necesidades y realidades de la población local.

La implementación de esta propuesta debe ir acompañada de una planificación a largo plazo que contemple la sostenibilidad del recurso hídrico y el equilibrio ecológico de

la región. Esto incluye elaborar planes de recuperación y protección de acuíferos, promover el uso racional del agua y buscar alternativas de abastecimiento en caso de que la calidad del recurso se vea gravemente afectada. Solo con un enfoque integral, coordinado y participativo, será posible mitigar los impactos de la minería y garantizar la seguridad hídrica y ambiental de Sánchez Ramírez en el futuro.

Cuadro No. 2. Análisis FODA

FORTALEZAS	DEBILIDADES
❖ La existencia de recursos minerales que pueden impulsar el desarrollo económico local. ❖ Conciencia creciente en la comunidad sobre la importancia de proteger los recursos hídricos. ❖ Potencial para implementar tecnologías y prácticas mineras responsables si se cuenta con información adecuada	❖ Insuficiente monitoreo y datos científicos sobre la calidad del agua subterránea. ❖ Falta de regulación efectiva y de acciones de mitigación específicas para el impacto ambiental minero. ❖ Limitados recursos técnicos y económicos para realizar estudios ambientales profundos.
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
❖ Posibilidad de realizar estudios científicos que permitan una evaluación precisa del impacto ambiental. ❖ Implementación de políticas y regulaciones basadas en datos científicos para proteger los recursos hídricos. ❖ Fomento de prácticas mineras sostenibles y responsables con el medio ambiente. ❖ Incentivos para la investigación y monitoreo ambiental mediante alianzas con instituciones académicas y organizaciones internacionales	❖ Sobreexplotación de acuíferos por expansión minera, reduciendo la disponibilidad de agua. ❖ Contaminación de acuíferos por metales pesados y productos químicos, afectando la salud pública. ❖ Deterioro de la calidad de vida de las comunidades por la inseguridad en la calidad del agua. ❖ Riesgo de conflictos sociales y resistencia de las comunidades ante la expansión minera sin controles adecuados

3.2 Alcances y Limite

Campo: Geología

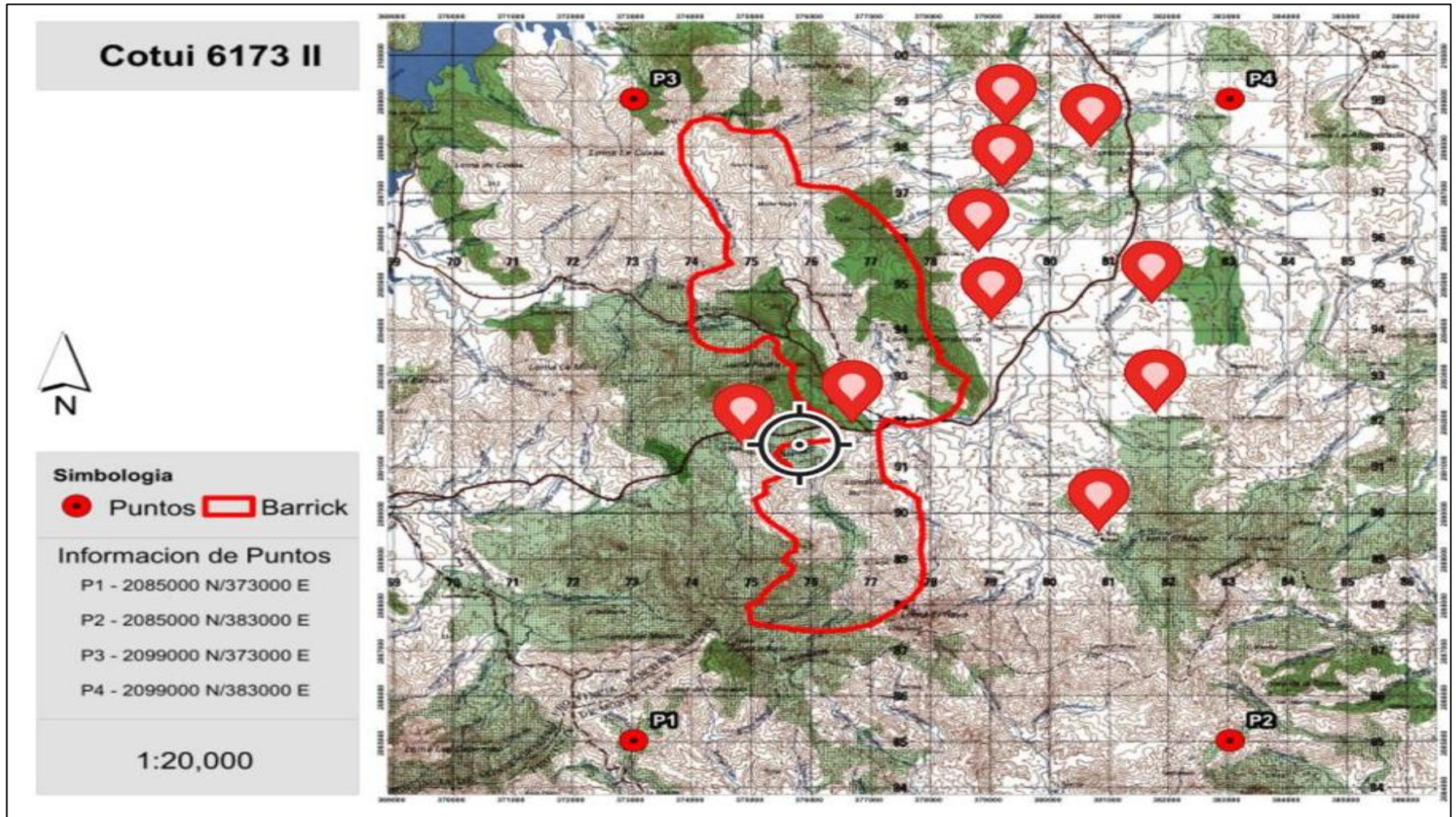
Área: Hidrogeología

Aspecto: Evaluación del Impacto de la Minería en la Calidad del Agua Subterránea de Sánchez Ramírez

3.2.1 Alcance Espacial

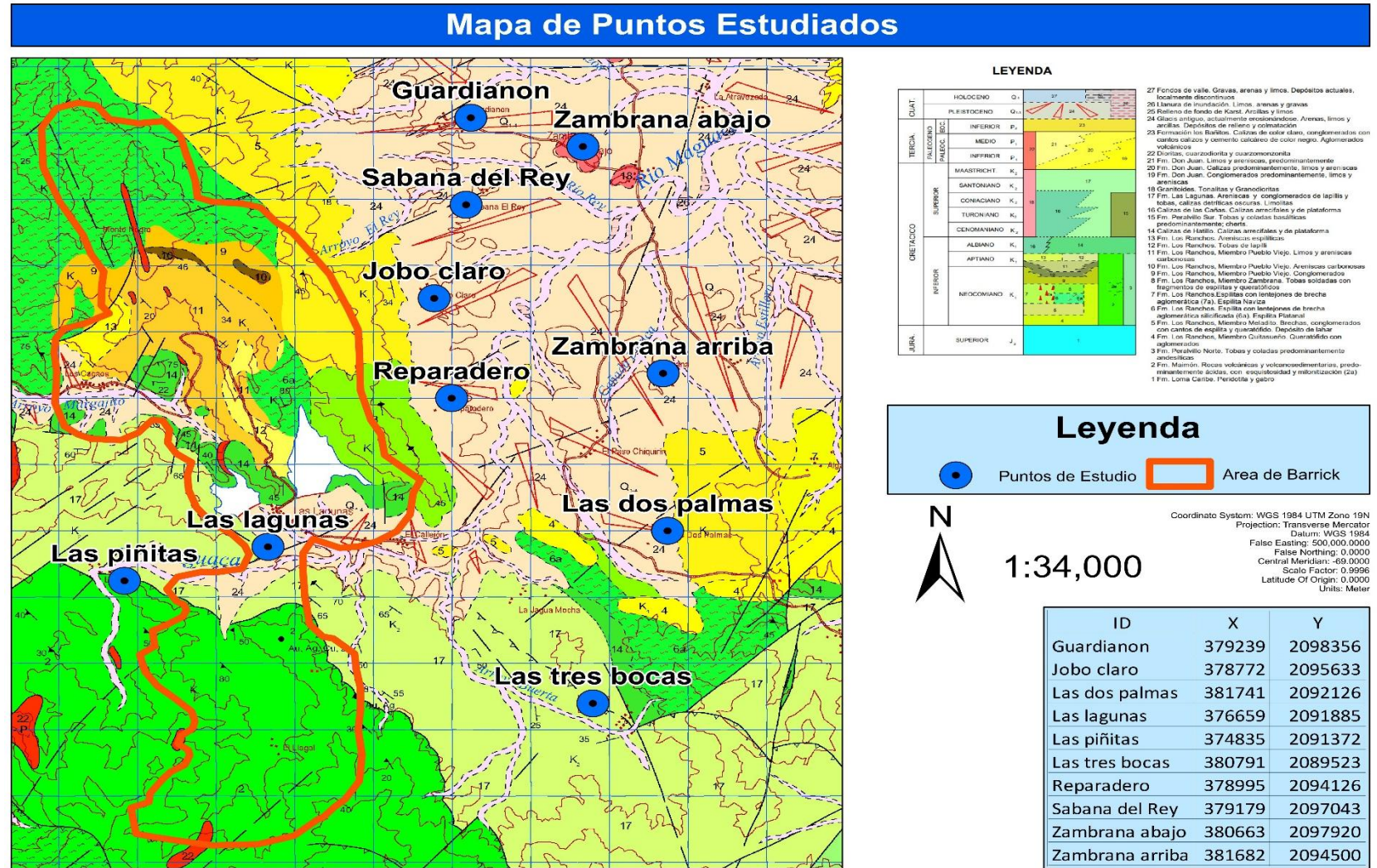
El estudio se delimitó geográficamente al Distrito Municipal de Zambrana, municipio de Cotuí, en la provincia Sánchez Ramírez, abarcando las secciones Guadiarnón, Sabana del Rey, Jobo Claro, Jurungo, El Maricao, Las dos Palmas, Las Lagunas, La Piñita y todas ellas colindantes a la mina Pueblo Viejo.

Figura No. 7. Mapa topográfico con los puntos de interés



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura No. 8. Mapa de puntos estudiados



Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.2.2 Alcance Temporal e Investigativo

El estudio se desarrolló durante un período estimado de seis meses, distribuidos entre la recolección de datos, análisis de laboratorio, procesamiento de resultados, y redacción del informe final. Este marco temporal permitió realizar una evaluación representativa de la calidad del agua subterránea, considerando tanto la época lluviosa como la seca. Cabe destacar que con los equipos de laboratorio del INDRHI y CORMIDOM no se pudieron realizar algunos análisis fisicoquímicos, metales pesados tales como Arsénico (As), Plomo (Pb), Mercurio (Hg), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Manganeseo (Mn), Selenio (Se) y Uranio (U), y otros que se tendrían que repetir como el Cobre (Cu) y Zinc (Zn). En ese mismo orden, tampoco se pudieron hacer los análisis biológicos, y mandar las muestras a otro laboratorio implica un costo muy elevado, y no de disponía presupuesto para eso.

3.3 Objetivos

3.3.1 Objetivo General

Evaluar el impacto ambiental de la minería en la calidad de las aguas subterráneas de la provincia Sánchez Ramírez, mediante un estudio técnico y comparativo de parámetros fisicoquímicos y metales pesados en zonas adyacentes a la mina Pueblo Viejo.

3.3.2 Objetivos específicos

- Identificar los principales factores de contaminación asociados a las actividades mineras en la zona de estudio.
- Detectar la presencia de metales pesados y productos químicos relacionados con la minería.
- Comparar los resultados obtenidos con las normas nacionales e internacionales de calidad del agua.
- Capacitar a las comunidades, empresas mineras y autoridades en interpretación de datos y buenas prácticas de gestión hídrica.

- Proponer recomendaciones de mitigación, control y monitoreo para la protección de los recursos hídricos subterráneos.

3.4 Plan de Acción

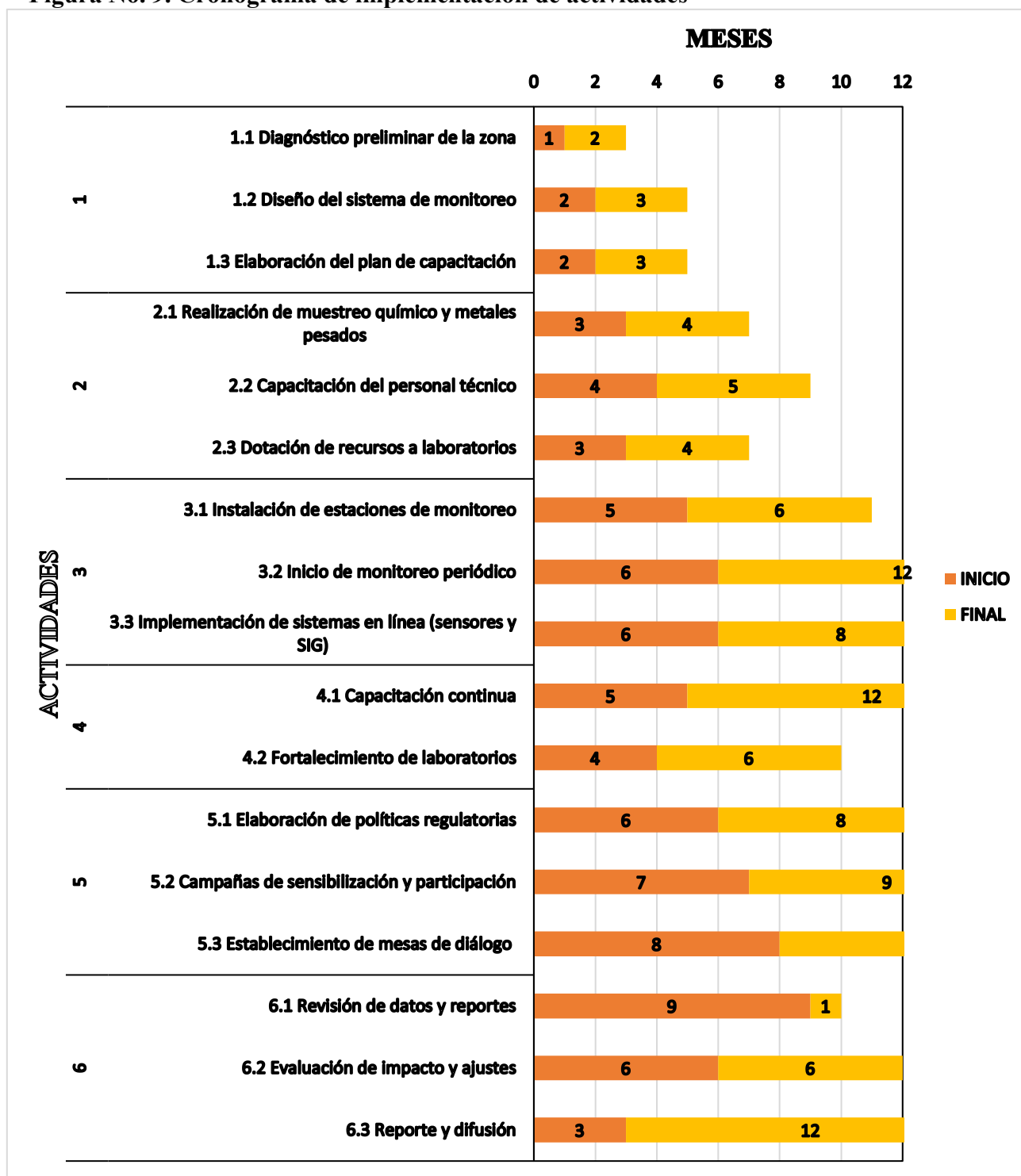
Cuadro No. 3. Plan de acción

Fase	Tarea	Descripción	Recursos Necesarios	Responsables
1. Planificación y Diseño	1.1 Diagnóstico preliminar	Evaluar la situación actual del recurso hídrico y actividades mineras.	Personal técnico, informes existentes	Coordinador del proyecto
	1.2 Diseño del sistema de monitoreo	Definir ubicación de estaciones, parámetros a medir, tecnología a usar.	Expertos en hidrología, ingenieros ambientales, software SIG	Equipo técnico
	1.3 Elaboración del plan de capacitación	Diseñar programas de formación para personal local	Facilitadores, materiales didácticos	Coordinador de capacitación
2. Adquisición y Preparación de Recursos	2.1 Realización de muestreo químico y metales pesados	Adquisición de sensores, equipos de muestreo, infraestructura	Proveedores de equipos, técnicos en instalación	Gerente de logística
	2.2 Capacitación del personal técnico	Formación en técnicas de muestreo, análisis y uso de SIG	Expertos en capacitación, materiales	Coordinador de capacitación
	2.3 Dotación de recursos a laboratorios	Mejoras en infraestructura y equipos de análisis	Recursos económicos, asesoría técnica	Director de laboratorios
3. Implementación	3.1 Instalación de estaciones de monitoreo	Colocación en puntos estratégicos	Equipos, personal técnico	Equipo de campo
	3.2 Inicio de monitoreo periódico	Recolección y análisis de muestras	Personal técnico, laboratorios	Supervisores de monitoreo
	3.3 Implementación de sistemas en línea (sensores y SIG)	Integración de datos en plataformas digitales	Especialistas en TIC, infraestructura IT	Equipo de tecnología

4. Capacitación y Fortalecimiento Institucional	4.1 Capacitación continua	Talleres y cursos para personal local	Expertos en análisis, materiales didácticos	Coordinador de capacitación
	4.2 Fortalecimiento de laboratorios	Equipamiento y certificación	Recursos económicos, asesoría técnica	Director de laboratorios
5. Implementación de Políticas y Participación Comunitaria	5.1 Elaboración de políticas regulatorias	Colaboración con autoridades locales y nacionales	Asesores legales, datos científicos	Equipo legal y ambiental
	5.2 Campañas de sensibilización y participación	Talleres, campañas informativas	Materiales, voluntarios	Coordinador de comunicación
	5.3 Establecimiento de mesas de diálogo	Participación comunitaria y seguimiento	Facilitadores, espacios de reunión	Líderes comunitarios
6. Monitoreo, Evaluación y Ajustes	6.1 Revisión de datos y reportes	Análisis periódico del estado del recurso	Software SIG, personal técnico	Supervisor de monitoreo
	6.2 Evaluación de impacto y ajustes	Ajustar acciones según resultados	Equipo técnico, datos históricos	Director del proyecto
	6.3 Reporte y difusión	Informar resultados a comunidades y autoridades	Plataforma digital, reuniones	Equipo de comunicación

3.5 Cronograma de Implementación

Figura No. 9. Cronograma de implementación de actividades



3.6 Presupuestos

Cuadro No. 4. Presupuesto

FASE	ACTIVIDAD	COSTO/UD.	UNIDAD	SUBTOTAL FASE
1	1.1 Diagnóstico preliminar de la zona	\$ 4,000.00	64	\$ 228,000.00
	1.2 Diseño del sistema de monitoreo	\$ 125,000.00	1	
	1.3 Elaboración del plan de capacitación	\$ 3,000.00	1	
2	2.1 Realización de muestreo químico y metales pesados	\$ 4,500.00	25	\$ 437,500.00
	2.2 Capacitación del personal técnico	\$ 5,000.00	5	
	2.3 Dotación de recursos a laboratorios	\$ 300,000.00	1	
3	3.1 Instalación de estaciones de monitoreo	\$ 8,000.00	25	\$ 319,500.00
	3.2 Inicio de monitoreo periódico	\$ 7,000.00	1	
	3.3 Implementación de sistemas en línea (sensores y SIG)	\$ 4,500.00	25	
4	4.1 Capacitación continua	\$ 4,000.00	1	\$ 12,000.00
	4.2 Fortalecimiento de laboratorios	\$ 8,000.00	1	
5	5.1 Elaboración de políticas regulatorias	\$ 5,000.00	1	\$ 14,000.00
	5.2 Campañas de sensibilización y participación	\$ 6,000.00	1	
	5.3 Establecimiento de mesas de diálogo	\$ 3,000.00	1	
6	6.1 Revisión de datos y reportes	\$ 4,000.00	1	\$ 12,000.00
	6.2 Evaluación de impacto y ajustes	\$ 6,000.00	1	
	6.3 Reporte y difusión	\$ 2,000.00	1	
TOTAL FASE				\$ 1,179,000.00

3.7 Análisis de factibilidad

3.7.1 Factibilidad Técnica

- ✓ Evaluación de capacidades existentes: Revisar la infraestructura y recursos técnicos disponibles en instituciones locales, nacionales y académicas para realizar monitoreo y análisis de calidad del agua subterránea.
- ✓ Diseño de metodologías de monitoreo: Desarrollar protocolos para muestreos periódicos, identificación de contaminantes y análisis de datos.
- ✓ Implementación de tecnologías: Evaluar y seleccionar tecnologías apropiadas para detección temprana de contaminantes, sistemas de sensores, Laboratorios móviles o centros de análisis especializados.
- ✓ Capacitación del personal: Formar a técnicos y profesionales en metodologías de muestreo, análisis y evaluación de datos ambientales.

3.7.2 Factibilidad Económica

- ✓ Estimación de costos: Identificar costos asociados a la adquisición de equipos, contratación de personal, análisis de laboratorio, capacitación y mantenimiento.
- ✓ Fuentes de financiamiento: Explorar fondos gubernamentales, cooperación internacional, ONG y sectores privados interesados en la protección ambiental.
- ✓ Beneficios económicos: Considerar la prevención de costos futuros relacionados con salud pública, recuperación ambiental y posibles sanciones por incumplimiento de regulaciones.
- ✓ Análisis costo-beneficio: Realizar estudios que muestren la relación entre inversión y beneficios en términos de salud, sostenibilidad y protección del recurso hídrico.

3.7.3 Factibilidad Social

- ✓ Participación comunitaria: Involucrar a las comunidades locales, líderes comunitarios y organizaciones sociales en el diseño y ejecución del monitoreo.
- ✓ Conciencia y educación: Promover campañas informativas sobre la importancia del cuidado del agua y los riesgos de la minería.
- ✓ Aceptación social: Evaluar la percepción y aceptación de las comunidades respecto a las acciones propuestas, garantizando que las medidas sean inclusivas y transparentes.

- ✓ Impacto en la salud: Considerar los beneficios sociales derivados de la protección de la salud pública y la calidad de vida de la población.

3.7.4 Factibilidad Ambiental

- ✓ Impacto en ecosistemas acuáticos: Determinar cómo la contaminación y sobreexplotación afectan los recursos naturales y biodiversidad local.
- ✓ Compatibilidad con el desarrollo sostenible: Evaluar si las actividades mineras actuales y futuras pueden compatibilizarse con la protección del medio ambiente.
- ✓ Recuperación y mitigación: Analizar la viabilidad de implementar medidas de remediación y recuperación ambiental en áreas afectadas.
- ✓ Cumplimiento de normativas: Verificar si las actividades mineras cumplen con las regulaciones ambientales existentes y qué mejoras son necesarias.

3.8 Sostenibilidad

- ❖ Capacitación continua a personal local para garantizar el mantenimiento y operación del sistema, con apoyo de SGN, UTECO y Medioambiente.
- ❖ Incorporación de los resultados en las políticas públicas y planes de gestión hídrica en las diferentes entidades pertinentes.
- ❖ Fomentar la conciencia comunitaria sobre la protección del agua mediante campañas permanentes.
- ❖ Buscar financiamiento externo o alianzas con instituciones académicas y gubernamentales para la continuidad del monitoreo.

3.9 Monitoreo y Seguimiento

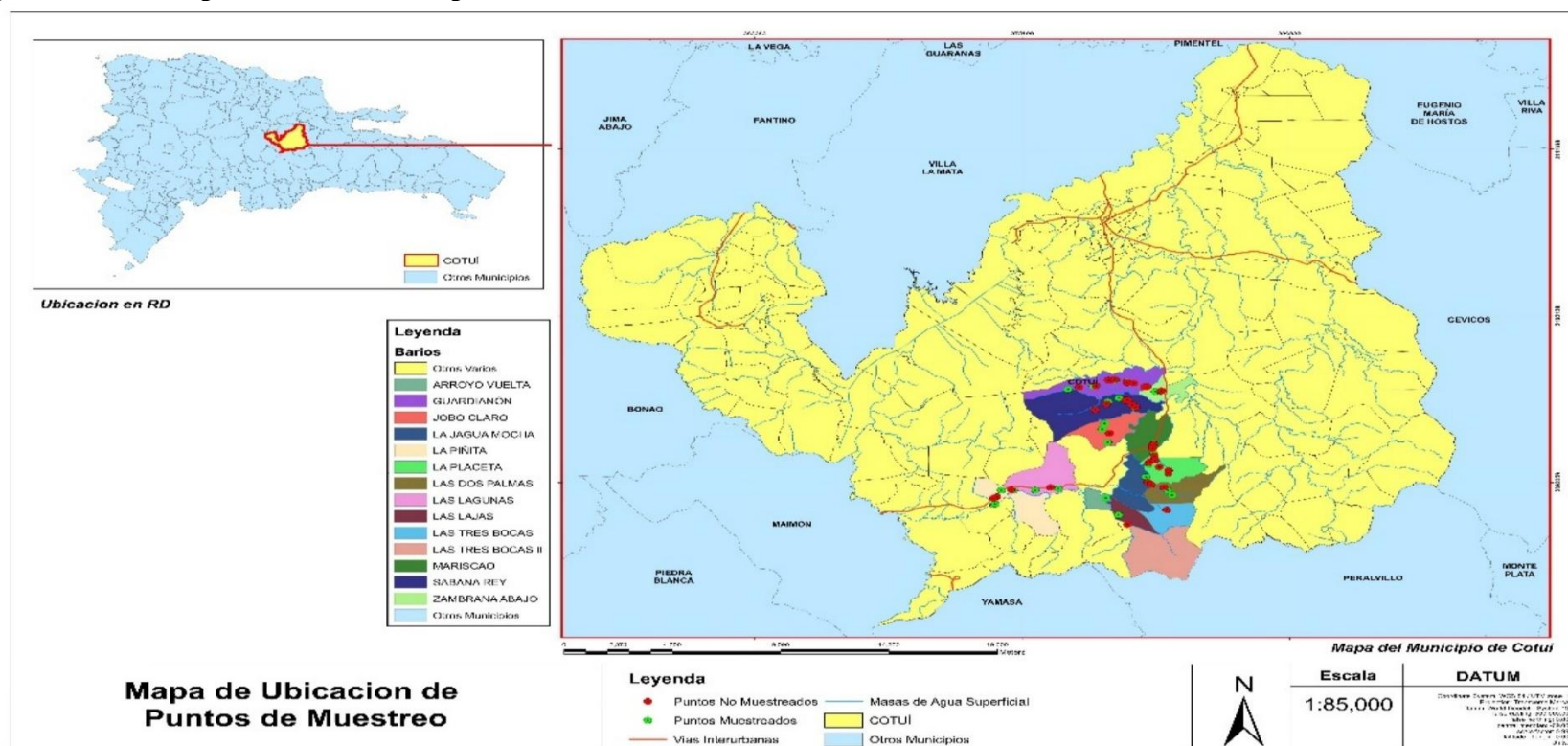
- ❖ Establecimiento de indicadores clave (presencia de metales pesados, niveles de químicos, concentración de bacterias o contaminación biológica).
- ❖ Revisión periódica de los datos y ajuste de las estrategias de muestreo.
- ❖ Elaboración de informes semestrales y anuales para evaluar avances.
- ❖ Reuniones de coordinación con comunidades, autoridades y expertos para analizar resultados y definir acciones futuras.

CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE SOLUCIÓN

4.1 Presentación y Análisis de los resultados

4.1.1 Principales puntos de captación de agua subterránea en el área de influencia minera y nivel freático.

Figura No. 10. Mapa de ubicación de puntos de muestreo



Fuente: elaboración propia, 2025.

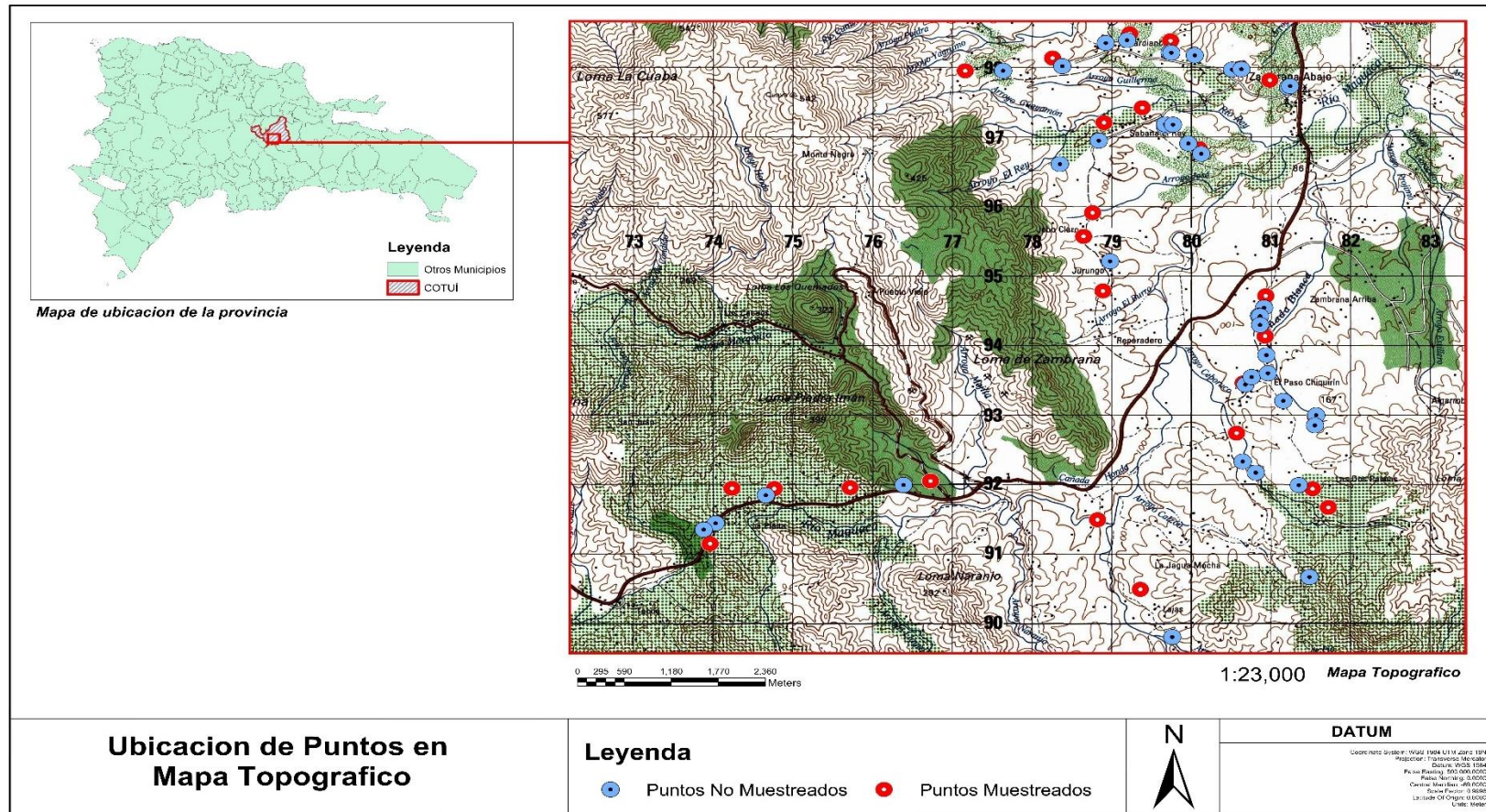
En el Mapa de Ubicación de Puntos de Muestreo del Distrito Municipal de Zambrana, figura No. 10, se observa una distribución clara de los pozos muestreados (marcados con puntos verdes) y los no muestreados (puntos rojos) en distintos parajes del Distrito Municipal. Los pozos muestreados se concentran principalmente en los siguientes parajes: Las Lagunas, Las Dos Palmas, Sabana del Rey, y Zambrana Abajo.

Estas zonas presentan una mezcla de áreas forestales y asentamientos humanos, lo que sugiere que el muestreo busca evaluar la calidad del agua en contextos tanto naturales como habitados. También se identifican puntos verdes en Las Tres Bocas y La Parcela, lo que indica una cobertura más amplia del monitoreo en el territorio.

Por otro lado, los pozos no muestreados, representados por puntos rojos, se encuentran distribuidos en parajes como Jobo Claro, La Jacua y Ojo de Agua, Las Dos Palmas, y Maricao. Estos lugares podrían estar pendientes de muestreo por razones logísticas, de acceso o por priorización técnica.

También se observan algunos puntos rojos en Guirijalan y Arroyo Vuelta, lo que sugiere que aún hay áreas del D.M. Zambrana que requieren atención para completar el diagnóstico hidrogeológico. Esta diferenciación espacial es clave para planificar futuras campañas de muestreo y asegurar una cobertura representativa del territorio. Si deseas, puedo ayudarte a organizar esta información en una tabla o mapa temático para facilitar su análisis.

Figura No. 11. Mapa de ubicación de pozos muestreados y no muestreados en Zambrana



Fuente: Elaboración propia, 2025.

El mapa topográfico proporcionado, figura No. 11, que ilustra el levantamiento de unos pozos muestreados y otros no muestreados. La esquina superior izquierda incluye un mapa de ubicación general que sitúa la zona cartografiada dentro del contexto provincial. El mapa principal utiliza curvas de nivel para mostrar el relieve del terreno, indicando altitudes, y presenta una cuadrícula de coordenadas, una escala gráfica y numérica de 1:23,000, y una leyenda que distingue entre dos tipos de puntos marcados.

El mapa muestra la distribución de los pozos de agua en el Distrito Municipal de Zambrana, diferenciados por su estado de muestreo. Los puntos azules representan los "pozos muestreados" y los puntos rojos los "pozos no muestreados". Estos puntos están dispersos a lo largo del mapa y su ubicación es crucial para el análisis de los recursos hídricos subterráneos. La concentración de puntos, especialmente en la mitad superior del mapa, sugiere que se ha realizado un estudio de campo significativo en esta área específica.

Al analizar la topografía en la que se encuentran los pozos muestreados (puntos azules), se observa una clara tendencia a situarse en las áreas de menor elevación, específicamente en los valles y cerca de los cauces de los ríos que atraviesan la región. Estos puntos se ubican predominantemente en zonas con curvas de nivel más espaciadas, lo que indica pendientes suaves o terrenos más planos, que son áreas propicias para la acumulación de agua subterránea o la perforación de pozos accesibles. La mayoría de los pozos muestreados parecen estar fuera de las zonas más escarpadas y montañosas (áreas sombreadas con curvas de nivel muy juntas).

Cuadro No. 5. Levantamiento de pozos y cálculo del nivel freático

No.	Coordenadas X	Coordenadas Y	Elevación del terreno	Profundidad al nivel del agua	Nivel freático	Dirección
P-01	2097780	377125	159 m	11.43 m	147.57 m	Guardianon
P-02	2097905	377602	152	No disponible	No disponible	Guardianon
P-03	2097962	378221	130 m	9.93 m	120.07 m	Guardianon
P-04	2097971	378346	126 m	9.48 m	116.52 m	Guardianon
P-05	2098305	378891	104 m	6.4 m	97.6 m	Guardianon
P-06	2098345	379160	110 m	5.84 m	104.16 m	Guardianon
P-07	2098314	379192	107 m	6.77 m	100.23 m	Guardianon
P-08	2098172	379693	95	No disponible	No disponible	Guardianon
P-09	2098164	379714	94 m	No disponible	No disponible	Guardianon
P-10	2098212	379703	108 m	2.9 m	105.1 m	Guardianon
P-11	2098127	380008	96 m	No disponible	No disponible	Guardianon
P-12	2097922	380479	96 m	No disponible	No disponible	Guardianon
P-13	2097929	380595	112 m	5.87 m	106.13 m	Guardianon

P-14	2097248	379348	114 m	9.59 m	104.41 m	Sabana de Rey
P-15	2097108	379634	119 m	1.68 m	117.32 m	Sabana de Rey
P-16	2097135	379637	99 m	1.7 m	97.3 m	Sabana de Rey
P-17	2097130	379735	106 m	No disponible	No disponible	Sabana de Rey
P-18	2096860	379929	68 m	No disponible	No disponible	Sabana de Rey
P-19	2096711	380091	90 m	No disponible	No disponible	Sabana de Rey
P-20	2096661	380063	88 m	5.04 m	82.96 m	Sabana de Rey
P-21	2097033	378867	109 m	5.85 m	103.15 m	Sabana de Rey
P-22	2096563	378313	125 m	No disponible	No disponible	Sabana de Rey
P-23	2096901	378803	112 m	No disponible	No disponible	Sabana de Rey
P-24	2095739	378724	117 m	No disponible	No disponible	Jobo claro
P-25	2095398	378611	122 m	No disponible	No disponible	Jobo claro
P-26	2097644	380949	91 m	20.82 m	70.18 m	El Limpio

P-27	2097666	381181	98 m	No disponible	No disponible	El Limpio
P-28	2097686	381207	111 m	3.81 m	107.19 m	El Limpio
P-29	2094543	380899	112 m	No disponible	No disponible	El Maricao
P-30	2094497	380878	84 m	No disponible	No disponible	El Maricao
P-31	2094382	380814	122 m	1.19 m	120.81 m	El Maricao
P-32	2094377	380828	119 m	6.4 m	112.6 m	El Maricao
P-33	2094250	380829	112 m	No disponible	No disponible	El Maricao
P-34	2093963	380891	117 m	No disponible	No disponible	El Maricao
P-35	2093816	380908	111 m	No disponible	No disponible	El Maricao
P-36	2093158	381120	120 m	0.43 m	119.57 m	La placeta
P-37	2092951	381532	115 m	No disponible	No disponible	La placeta
P-38	2092804	381519	125 m	17.04 m	107.96 m	La placeta
P-39	2092805	381519	125 m	No disponible	No disponible	La placeta
P-40	2093289	380615	111 m	1.8 m	109.2 m	La placeta

P-41	2093393	380645	115 m	5.82 m	109.18 m	La placeta
P-42	2093499	380724	121 m	No disponible	No disponible	Zambrana Arriba
P-43	2093554	380929	122 m	No disponible	No disponible	Zambrana Arriba
P-44	2092569	380532	133 m	No disponible	No disponible	Zambrana Arriba
P-45	2092285	380610	142 m	No disponible	No disponible	Zambrana Arriba
P-46	2092125	380776	119 m	10.03 m	108.97 m	Zambrana Arriba
P-47	2091945	381315	124 m	0.88 m	123.12 m	Zambrana Arriba
P-48	2091769	381488	155 m	6.3 m	148.7 m	Zambrana Arriba
P-49	2091500	381686	138 m	5.72 m	132.28 m	Dos Palmas
P-50	2090624	381449	219 m	No disponible	No disponible	Dos Palmas
P-51	2089761	379726	127 m	No disponible	No disponible	Laja
P-52	2090321	379324	114 m	4.75 m	109.25 m	Laja
P-53	2091321	378785	121 m	No disponible	No disponible	Arroyo vuelta
P-54	2095166	378946	110m	No disponible	No disponible	Jurungo

P-55	2094614	378854	117 m	16.764 m	100.236 m	Jurungo
P-56	2091880	376688	134 m	21.31 m	112.69 m	La Laguna
P-57	2091948	376350	170 m	20.18 m	149.82 m	La Laguna
P-58	2091783	375680	131 m	13.35 m	117.65 m	La laguna
P-59	2091800	374623	151 m	11.03 m	139.97 m	La Cerca
P-60	2091770	374727	145 m	19.45 m	125.55 m	La Cerca
P-61	2091774	374195	178 m	26.95 m	151.05 m	La Piñita
P-62	2091396	373992	148 m	8.29 m	139.71 m	La Piñita
P-63	2091305	373841	190 m	No disponible	No disponible	La Piñita
P-64	2090978	373919	166 m	No disponible	No disponible	La Piñita

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El cálculo de del nivel freático se realizó con la siguiente formula: Elevación del terreno - profundidad al nivel del agua.

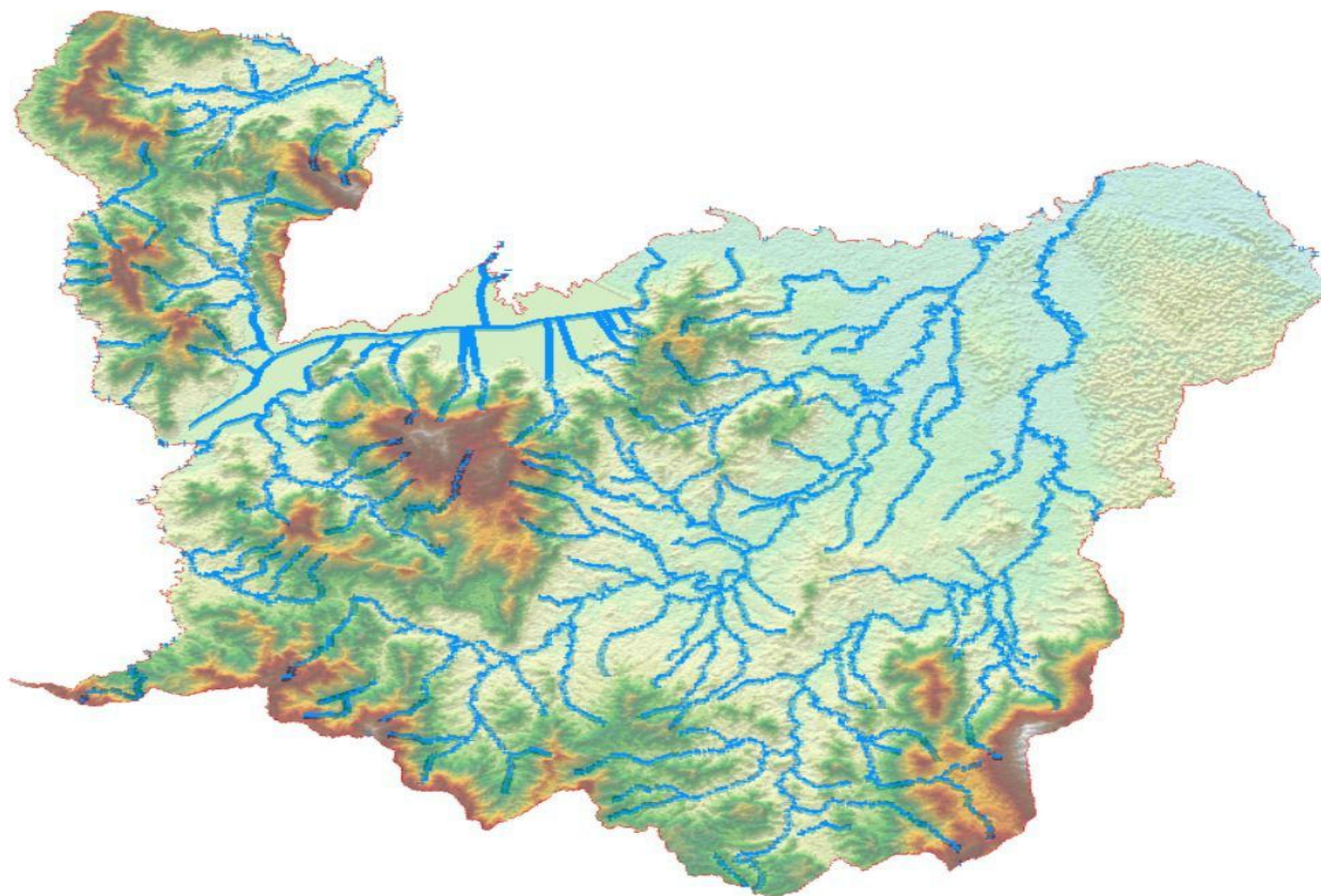
De acuerdo con el cuadro No. 5, sobre el nivel freático medido en los pozos del Distrito Municipal de Zambrana revela una gran diversidad hidrogeológica en función de la ubicación geográfica y la elevación del terreno. En zonas como Guardianón, los niveles freáticos varían entre 147.57 m (P-01) y 97.6 m (P-05), lo que indica que el agua subterránea se encuentra a diferentes profundidades dependiendo de la altitud local y posiblemente de la cercanía a fuentes de recarga o actividades humanas. Pozos como el P-10, con un nivel freático de 105.1 m, muestran que en algunos sectores el agua está relativamente cerca de la superficie.

En Sabana del Rey, los niveles freáticos también presentan variabilidad, destacando el pozo P-15 con 117.32 m, muy cercano a la elevación del terreno, lo que sugiere una zona de alta presión hidráulica. En contraste, el pozo P-20 muestra un nivel freático de 82.96 m, mucho más profundo, lo que podría indicar una zona de menor recarga o mayor extracción. Esta diferencia entre pozos cercanos refleja la complejidad del sistema acuífero local.

En otras localidades como El Limpio, El Maricao, La Placeta, Zambrana Arriba, Jurungo, La Laguna, La Cerca y La Piñita, los niveles freáticos medidos oscilan entre 70.18 m (P-26 en El Limpio) y 151.05 m (P-61 en La Piñita). Destacan valores elevados como los de P-48 (148.7 m) y P-57 (149.82 m), que podrían estar relacionados con zonas de alta elevación y baja extracción. En cambio, pozos como P-36 (119.57 m) y P-47 (123.12 m) muestran niveles muy cercanos a la superficie, lo que puede facilitar el acceso al agua, pero también aumentar el riesgo de contaminación.

Este dato es clave para entender la accesibilidad del recurso hídrico y para evaluar la vulnerabilidad del acuífero frente a posibles contaminaciones superficiales, pero varios de estos pozos no tenían una forma para acceder a estos, y poder realizarle la medición del nivel piezométrico, algunos de estos son P2, P8, P9, P11, P12, P24, P25, P29, P34, P39, P44, P53 y P64.

Figura No. 12. Mapa de red hidrográfica de la zona de Zambrana



Fuente: Elaboración propia, 2025.

La figura No. 12, aborda el mapa muestra la Red hídrica superficial de un área con un relieve variado, desde zonas montañosas hasta valles. Aunque no puedo confirmar específicamente que se trate del Distrito Municipal de Zambrana basándome únicamente en la imagen y sin un mapa de ubicación claro, la representación es consistente con la geografía de la provincia Sánchez Ramírez, conocida por sus recursos hídricos superficiales y subterráneos.

La topografía está representada por un modelo digital de elevación sombreado. Los tonos marrones y naranjas oscuros indican las zonas de mayor altitud (montañas o colinas escarpadas), que se concentran principalmente en las partes central, superior izquierda y este del área. Los tonos verdes y azules representan las zonas más bajas, llanuras y valles fluviales, donde se asientan la mayoría de los cuerpos de agua (líneas azules).

La red de drenaje es densa y bien desarrollada, lo que sugiere un área con precipitaciones significativas y un terreno que facilita la escorrentía superficial. Los ríos y arroyos nacen en las zonas altas, siguiendo el gradiente topográfico hacia las tierras bajas. Los patrones de drenaje parecen ser dendríticos, típicos de terrenos con litología relativamente uniforme. Es probable que estos cursos de agua, como el río Chacuey mencionado en la legislación local, sean afluentes de sistemas fluviales más grandes de la región, como el río Yuna, que es el más caudaloso del país.

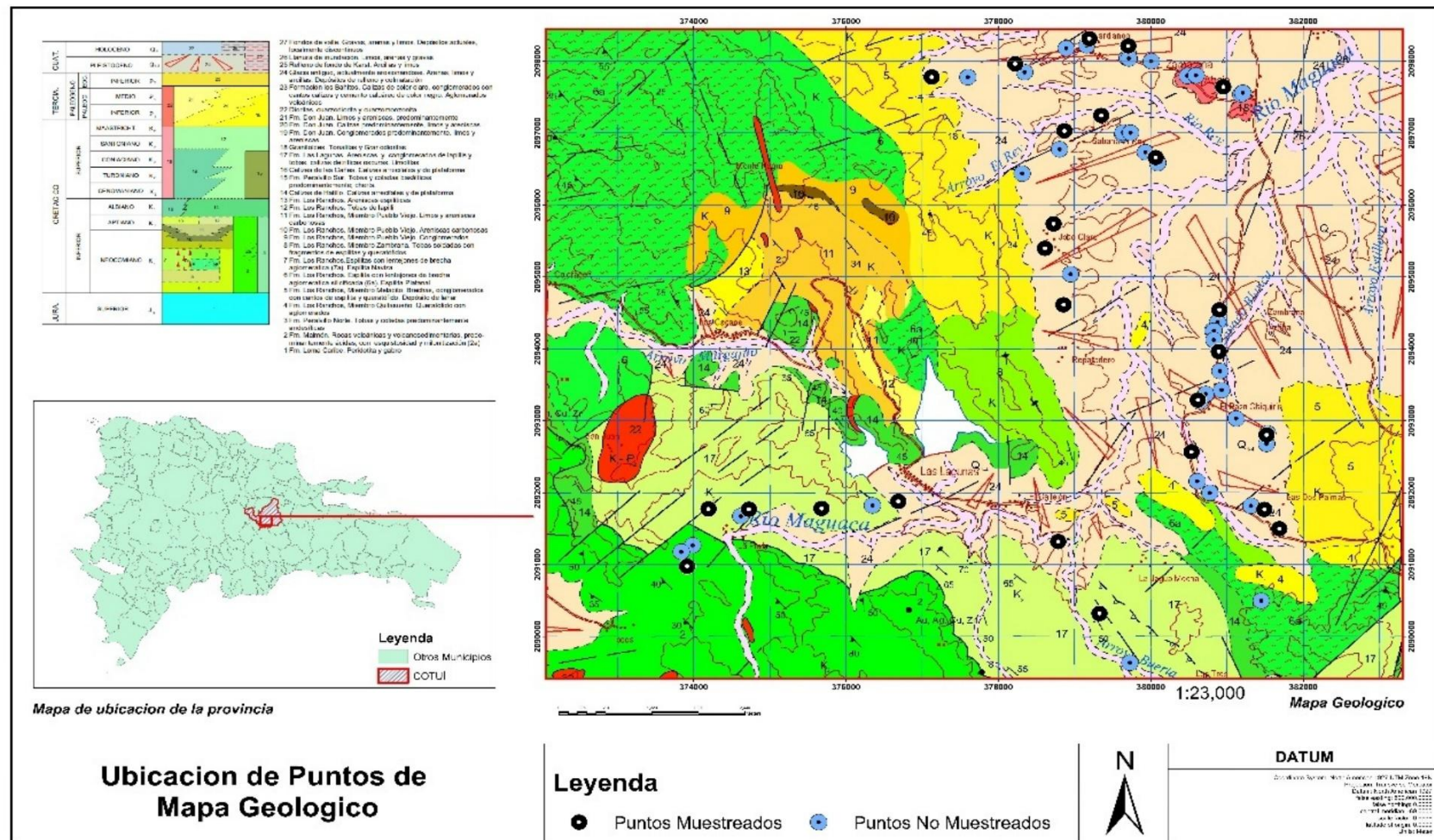
En la figura No. 13, sobre el Mapa de Permeabilidad Aparente del Suelo del Distrito Municipal de Zambrana, se observa una distribución espacial de los pozos muestreados (puntos negros) y no muestreados (puntos azules) sobre un gradiente de colores que representa la permeabilidad del suelo. Las zonas con permeabilidad alta, indicadas en tonos rojizos, se concentran principalmente en áreas de relieve bajo y cercanas a cuerpos de agua superficial. En estas regiones, varios pozos muestreados como los ubicados en La Cerca, La Piñita y partes de La Laguna se encuentran dentro de zonas de alta permeabilidad, lo que sugiere que el suelo permite una rápida infiltración del agua, favoreciendo la recarga del acuífero.

Por otro lado, los pozos situados en áreas de permeabilidad baja, representadas en tonos verdes, se localizan mayormente en zonas elevadas o con suelos más compactos. Ejemplos de esto son algunos pozos en Guardianón, El Maricao y Zambrana Arriba, donde la infiltración del agua es más limitada. En estas áreas, la recarga del acuífero puede ser más lenta y el almacenamiento subterráneo más profundo, lo que influye en la disponibilidad del recurso hídrico y en la dinámica del nivel freático.

Los pozos no muestreados (puntos azules) también se distribuyen en ambas zonas de permeabilidad, aunque se observa una mayor concentración en áreas de permeabilidad intermedia. Esto podría deberse a factores logísticos o técnicos que impidieron el muestreo en zonas de difícil acceso o menor prioridad hidrogeológica. En conjunto, el mapa permite identificar patrones clave para la gestión del agua subterránea, destacando qué pozos están en condiciones más favorables para la recarga y cuáles requieren monitoreo más detallado por su ubicación en zonas de baja permeabilidad.

En ese mismo orden, es preciso resalta que los pozos se recargan de manantiales naturales o ríos. Muchos de estos se encuentran alrededor de arroyos que atraviesa esa localidad, y al ser una zona altamente permeable permite que rápido abastecimiento, pero en ese mismo sentido, esto representa un riesgo por el alto riesgo de contaminación, cualquier agente contaminante podría acceder fácilmente a la composición física, química y biológica de las aguas subterráneas debido a su cercanía con la minera Barrick Gold. y traer consigo graves problemas a la salud de los comunitarios.

Figura No. 14. Puntos muestreados sobre mapa geológico



Fuente: elaboración propia, 2025.

En la figura No. 14, sobre el mapa geológico con ubicación de pozos del Distrito Municipal de Zambrana ofrece una visión detallada de la relación entre los puntos de muestreo de aguas subterráneas y las unidades geológicas del subsuelo. Los pozos muestreados (puntos negros) y no muestreados (puntos azules) se distribuyen sobre una variedad de formaciones geológicas que incluyen desde depósitos aluviales recientes hasta rocas metamórficas más antiguas. Esta diversidad litológica influye directamente en la capacidad de almacenamiento y transmisión del agua subterránea.

En las zonas donde predominan los depósitos cuaternarios como aluviones (Qal) y terrazas (Qat), se ubican varios pozos muestreados, lo que sugiere que estas áreas tienen una alta porosidad y permeabilidad, ideales para la infiltración y recarga del acuífero. Estas formaciones suelen estar compuestas por arenas, gravas y limos, materiales que permiten una buena circulación del agua. También se observan pozos en regiones del Neógeno (Tcg), caracterizadas por conglomerados, areniscas y lutitas, que pueden presentar variabilidad en la permeabilidad dependiendo del grado de cementación.

En contraste, algunos pozos están situados sobre unidades del Cretácico (Kcr, Kml, Kcm) y del Paleógeno (Tcr), donde predominan las calizas, margas y lutitas. Estas rocas pueden actuar como acuíferos kársticos si presentan fracturación o disolución, pero también pueden comportarse como acuíferos confinados o de baja permeabilidad si están intactas. Finalmente, los pozos que se encuentran en zonas de rocas metamórficas (Pz), como esquistos y anfíbolitas, suelen tener una baja capacidad de almacenamiento de agua, dependiendo de la presencia de fracturas.

4.1.2 Muestreos físicos y químicos en los diferentes puntos de captación de aguas subterráneas

Cuadro No. 6. Resultados de análisis fisicoquímicos



INDRHI

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRAULICOS-INDRHI
CENTRO PARA LA GESTION SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS HIDRICOS EN LOS ESTADOS INSULARES DEL CARIBE (CEHICA)
AREA DE CALIDAD DE AGUA Y GESTION AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUAS



CEHICA

Solicitante Heiddy Marte Polanco

Clasificación

Operador

FORMULARIO DE REPORTE DE SALIDA DE DATOS

Lugar Distrito Nacional

Fecha 7 de noviembre de 2025

Fecha de Muestreo	Turbidez NTU	pH	FORMULARIO DE REPORTE DE SALIDA DE DATOS												PO4 Orto	D.T. (mg/l)	Alc. (mg/l)	STD (mg/l)	RAS	Clase	Lugar y Fuente
			CE (µS/cm)	Ca+2 (mg/l)	Mg (mg/l)	Na+ (mg/l)	CO3 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	N-No3 (mg/l)	N-No2 (mg/l)	N-NO3+N-NO2 (mg/l)								
4/11/2025	5.00	7.51	163,00	11,64	7,81	16,30	0,00	73,20	22,15	0,10	0,20	0,0000	0,20	0,20	46,08	60,00	82,00	1,04	C1S1	P44	
4/11/2025	0,00	7,18	150,00	9,70	5,58	17,77	0,00	61,00	18,46	0,20	0,00	0,0000	0,00	0,02	36,38	50,00	85,00	1,28	C1S1	P48	
4/11/2025	0,00	6,91	225,00	13,58	6,69	29,44	0,00	36,60	55,38	0,50	0,40	0,0010	0,40	0,02	48,50	30,00	112,00	1,84	C1S1	P49	
4/11/2025	9,00	6,93	86,00	0,97	1,12	17,55	0,00	24,40	18,46	0,03	0,00	0,0000	0,00	0,01	4,85	20,00	43,00	3,46	C1S1	P52	
4/11/2025	0,00	6,91	165,00	8,73	8,92	18,99	0,00	85,40	14,77	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,01	41,23	70,00	83,00	1,29	C1S1	P53	
4/11/2025	1,08	6,89	320,00	19,40	6,69	44,60	0,00	36,60	95,99	0,20	0,30	0,0020	0,30	0,00	63,05	30,00	160,00	2,44	C2S1	P55	
4/11/2025	1,04	7,72	940,00	36,08	5,35	169,35	0,00	109,80	239,98	2,00	0,00	0,00	0,00	0,10	101,85	90,00	500,00	7,30	C3S1	P56	
4/11/2025	10,10	8,09	1.037,00	67,90	33,47	126,96	0,00	146,40	258,44	3,00	1,00	0,02	1,02	1,10	242,50	120,00	519,00	3,54	C3S1	P58	
2/11/2025	0,00	8,10	459,00	36,86	6,69	56,49	0,00	134,20	92,30	0,20	0,20	0,00	0,20	0,00	106,70	110,00	229,00	2,38	C2S1	P60	
4/11/2025	0,80	7,99	408,00	18,43	12,27	60,38	0,00	109,80	73,84	0,20	1,50	0,00	1,50	0,20	72,75	90,00	204,00	3,08	C2S1	P61	
4/11/2025	0,00	7,66	102,00	13,58	4,46	4,00	0,00	73,20	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,65	60,00	51,00	0,22	C1S1	P64	
Valores Límites		6,5-8,5				200,00			350,00	400,00	10,00	3,00			500,00		1.000,00				

Aprobado Por: 

Verificado Por: _____

Enc. Laboratorio Calidad de Agua

Sometido Por: _____

Realizado Por: _____



Fuente: INDRHI, 2025.



INDRHI

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRAULICOS-INDRHI
CENTRO PARA LA GESTION SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS HIDRICOS EN LOS ESTADOS INSULARES DEL CARIBE (CEHICA)
AREA DE CALIDAD DE AGUA Y GESTION AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUAS



Solicitante	Heiddy Marte Polanco														
Clasificación															
Operador															
FORMULARIO DE REPORTE DE SALIDA DE DATOS															
Lugar	Distrito Nacional														
Fecha	7 de noviembre de 2025														

FORMULARIO DE REPORTE DE SALIDA DE DATOS																				
Fecha de Muestreo	Turbidez	pH	CE	Ca+2	Mg	Na+	CO3	HCO3	Cl	SO4	N-No3	N-No2	N-NO3+N-NO2	PO4 Orto	D.T.	Alc.	STD	RAS	Clase	Lugar y Fuente
	NTU		(µS/cm)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)			
4/11/2025	0,00	6.92	197,00	5,82	4,46	34,16	0,00	36,60	55,38	0,00	0,20	0,0000	0,20	0,30	24,25	30,00	98,00	3,02	C1S1	P01
4/11/2025	0,00	7.59	228,00	13,58	4,46	32,36	0,00	109,80	18,46	0,20	0,00	0,0000	0,00	0,02	43,65	90,00	120,00	2,13	C1S1	P03
4/11/2025	0,00	6.68	122,00	4,46	10,49	12,44	0,00	85,40	3,32	1,00	0,30	0,0010	0,30	0,02	33,95	70,00	61,00	0,93	C1S1	P07
4/11/2025	0,00	7.06	208,00	14,55	3,35	27,76	0,00	109,80	18,46	0,03	0,00	0,0000	0,00	0,01	43,65	90,00	104,00	1,83	C1S1	P10
4/11/2025	0,00	7.35	183,00	8,73	8,92	23,13	0,00	85,40	14,77	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,01	41,23	70,00	91,00	1,57	C1S1	P14
4/11/2025	0,00	7.33	136,00	10,86	5,35	13,43	0,00	85,40	1,85	0,20	0,30	0,0020	0,30	0,00	38,80	70,00	69,00	0,94	C1S1	P20
4/11/2025	0,00	7.14	150,00	10,28	6,02	16,65	0,00	85,40	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	38,80	70,00	75,00	1,16	C1S1	P21
4/11/2025	0,00	7.11	188,00	13,58	4,46	23,16	0,00	85,40	18,46	0,20	0,00	0,00	0,00	0,10	43,65	70,00	94,00	1,52	C1S1	P24
4/11/2025	0,00	7.42	235,00	16,49	7,81	27,28	0,00	85,40	36,92	0,20	0,20	0,00	0,20	0,00	58,20	70,00	117,00	1,55	C1S1	P25
4/11/2025	0,00	7.46	308,00	18,43	12,27	37,38	0,00	109,80	44,30	0,20	1,50	0,00	1,50	0,20	72,75	90,00	190,00	1,91	C2S1	P26
4/11/2025	0,00	7.33	804,00	40,74	11,16	4,00	0,00	97,60	203,06	2,00	0,50	0,02	0,52	1,50	126,10	80,00	402,00	4,91	C3S1	P29
4/11/2025	0,00	7.34	349,00	16,68	5,35	55,73	0,00	85,40	70,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	53,35	70,00	175,00	3,32	C2S1	P34
4/11/2025	0,00	6.97	104,00	8,34	8,25	6,07	0,00	73,20	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,80	60,00	52,00	0,42	C1S1	P39
4/11/2025	2.50	6.90	180,00	15,33	4,69	19,09	0,00	61,00	33,23	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	48,50	50,00	90,00	1,19	C1S1	P40
Valores Límites		6,5-8,5				200,00			350,00	400,00	10,00	3,00			500,00		1.000,00			

Aprobado Por:

D/ María I. Hernández
Enc. Área de Calidad de Agua y
Gestión Ambiental

Sometido Por:



Verificado Por:

Enc. Laboratorio Calidad de Agua

Realizado Por:

Enc. Área de Físicoquímica

Fuente: INDRHI, 2025.

Los resultados del análisis de aguas subterráneas en Zambrana, en el cuadro No. 6 parte 1, se muestran parámetros dentro de los límites permisibles establecidos por la OMS y el Ministerio de Medio Ambiente de la República Dominicana, sin valores que representen riesgos inmediatos para la salud humana.

Al revisar los datos del informe del INDRHI y CEHICA, se observa que el pH de todas las muestras es de 7.50, lo cual se encuentra dentro del rango recomendado por la OMS (6.5–8.5) para agua potable. Este valor indica que el agua es neutra, lo que es ideal para consumo humano y no representa riesgo de corrosión ni de afectación a la salud. Asimismo, la turbidez registrada es de 0.60 NTU, muy por debajo del límite de 5 NTU establecido por la OMS, lo que sugiere que el agua está libre de partículas suspendidas que puedan interferir con la desinfección o indicar contaminación física.

En cuanto a los iones disueltos, los valores de cloruros (Cl^-) son de 11 mg/L, sodio (Na^+) de 6 mg/L y sulfatos (SO_4^{2-}) de 10 mg/L. Todos estos se encuentran muy por debajo de los límites recomendados por la OMS: 250 mg/L para cloruros, 200 mg/L para sodio y 250 mg/L para sulfatos. Esto indica que el agua no presenta problemas de salinidad ni sabor desagradable, y es apta para consumo humano y posiblemente para riego. También se destaca que el bicarbonato (HCO_3^-) tiene un valor de 240 mg/L, lo cual es común en aguas subterráneas y contribuye a la alcalinidad sin representar un riesgo.

Los nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$) y nitritos ($\text{NO}_2\text{-N}$), que son indicadores clave de contaminación por materia orgánica o aguas residuales, presentan valores de 0.010 mg/L y 0.000 mg/L respectivamente, muy por debajo del límite de 50 mg/L para nitratos y 3 mg/L para nitritos según la OMS. Esto sugiere que no hay evidencia de contaminación por fertilizantes ni por infiltración de aguas negras en los pozos muestreados. Además, el fosfato (PO_4 Orto) tiene un valor de 0.010 mg/L, lo cual es bajo y no representa riesgo de eutrofización ni de proliferación de algas.

El valor de sólidos totales disueltos (D.T.) es de 43 mg/L, muy inferior al límite de 500 mg/L recomendado por la OMS. Esto indica que el agua tiene baja mineralización, lo cual es positivo para consumo humano, aunque podría afectar su sabor si se encuentra por debajo de 100 mg/L.

En cuanto a parte 2 del cuadro No. 6, el pH promedio es de 6.92, dentro del rango aceptable de 6.5 a 8.5, lo que sugiere que el agua no presenta características ácidas ni básicas que puedan afectar la salud o la infraestructura hidráulica.

Uno de los parámetros más relevantes es la conductividad eléctrica (CE), con valores promedio de 510.60 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo cual está por debajo del límite de 1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ recomendado por la normativa nacional. Esto indica una mineralización moderada del agua, compatible con usos domésticos y agrícolas. Asimismo, los sólidos totales disueltos (D.T.) se mantienen en 510 mg/L, justo en el límite recomendado por la OMS (500 mg/L), lo que sugiere que el agua tiene una carga mineral significativa, aunque aún aceptable. Este valor debe ser monitoreado regularmente, ya que un aumento podría afectar el sabor del agua y su aptitud para ciertos cultivos sensibles.

En cuanto a los iones principales, los niveles de calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+) y potasio (K^+) están muy por debajo de los límites establecidos: por ejemplo, el sodio tiene un promedio de 12.3 mg/L, frente a un límite de 200 mg/L, y el calcio de 12.3 mg/L, frente a un límite de 200 mg/L. Esto indica que el agua no presenta problemas de salinidad ni dureza excesiva. Los valores de bicarbonato (HCO_3^-) se sitúan en 97.6 mg/L, lo cual es típico en aguas subterráneas y contribuye a la alcalinidad sin representar un riesgo.

Finalmente, los nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$) y nitritos ($\text{NO}_2\text{-N}$), que son indicadores clave de contaminación por fertilizantes o aguas residuales, presentan valores de 0.010 mg/L, muy por debajo de los límites de 50 mg/L para nitratos y 3 mg/L para nitritos según la OMS. También se detecta amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$) en concentraciones de 0.010 mg/L, lo cual es insignificante y no representa riesgo.

.

Cuadro No. 7. Muestras adicionales - Pozos

Método: Absorción atómica (AAS)						
Nombre	Fecha	Temperatura	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Fe(mg/L)	Cd(mg/L)
P1	20/11/2025	26.2	ND	0.78	0.04	0.16
P3	20/11/2025	25.8	ND	ND	ND	0.09
P7	20/11/2025	26.3	ND	0.044	0.01	0.08
P10	20/11/2025	27.6	ND	ND	ND	0.08
P14	20/11/2025	28.6	ND	ND	0.02	0.15
P20	20/11/2025	26.2	ND	ND	0.04	0.09
P22	20/11/2025	26.8	ND	ND	0.01	ND
P24	20/11/2025	19.7	ND	ND	0.01	0.06
P25	20/11/2025	27.1	ND	ND	0.01	0.1
P26	20/11/2025	26.8	ND	0.02	0.04	0.06
P29	20/11/2025	27	ND	ND	0.02	0.07
P39	20/11/2025	25.5	ND	0.04	0.01	0.02
P40	20/11/2025	25.9	ND	ND	0.02	0.12
P44	20/11/2025	26	ND	ND	0.05	0.1
P48	20/11/2025	25.4	ND	ND	0.02	0.11
P49	20/11/2025	24.7	ND	ND	0.03	0.12
P52	20/11/2025	25.1	ND	ND	0.05	0.06
P53	20/11/2025	26.4	ND	ND	0.03	0.12
P55	20/11/2025	33	ND	ND	0.04	0.08
P56	20/11/2025	26.8	ND	ND	0.09	0.12
P58	20/11/2025	25.8	ND	ND	0.21	0.1
P60	20/11/2025	25	ND	ND	0.06	0.11
P61	20/11/2025	24.6	ND	ND	0.06	0.14
P64	20/11/2025	24.9	ND	0.05	0.04	0.06

Fuente: CORMIDOM, 2025.

Según la figura No. 15 y el cuadro No. 7, los resultados muestran que el metal más preocupante es el cadmio (Cd), con varias muestras que superan el límite permitido por la OMS de 0.003 mg/L, mientras que el hierro (Fe) y el zinc (Zn) se mantienen dentro de los rangos aceptables. No se detectó cobre (Cu) en ninguna muestra.

Al analizar los valores de cadmio (Cd), se observa que todas las muestras detectadas superan el límite de 0.003 mg/L establecido por la OMS para agua potable. Los valores más altos se registran en los pozos P1 (0.16 mg/L), P14 (0.15 mg/L) y P61 (0.14 mg/L), lo cual representa un riesgo potencial para la salud, ya que el cadmio es un metal tóxico que puede afectar los riñones y el sistema óseo con exposición prolongada. Este patrón sugiere una posible fuente de contaminación localizada, posiblemente relacionada con actividades mineras o industriales en el área.

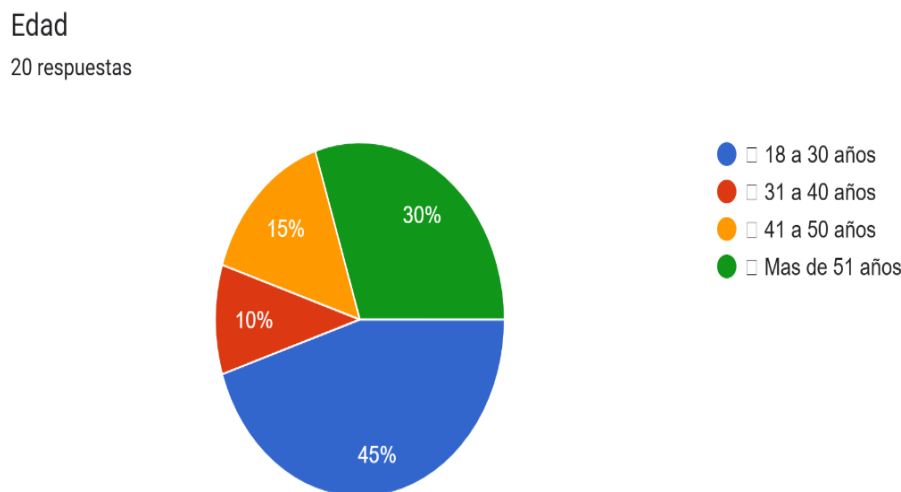
En cuanto al hierro (Fe), los valores detectados están dentro del límite de 0.3 mg/L recomendado por la OMS. Las concentraciones más altas se observan en P1 (0.04 mg/L), P20 (0.04 mg/L) y P60 (0.06 mg/L), todas muy por debajo del umbral. Aunque el hierro no representa un riesgo directo para la salud en estas concentraciones, puede afectar el sabor del agua y causar manchas en superficies si se acumula. Su presencia moderada en varios pozos indica una influencia natural del sustrato geológico.

Respecto al zinc (Zn), solo se detectó en tres muestras: P1 (0.78 mg/L), P7 (0.044 mg/L) y P26 (0.02 mg/L). Estos valores están muy por debajo del límite de 3 mg/L establecido por la OMS, lo que indica que no hay preocupación desde el punto de vista toxicológico. El zinc es un elemento esencial en pequeñas cantidades, y su presencia puede deberse a procesos naturales de lixiviación de minerales.

No obstante, es importante destacar que no se detectó cobre (Cu) en ninguna de las 25 muestras analizadas. Esto es positivo, ya que el límite permitido por la OMS es de 2 mg/L, y su ausencia indica que no hay corrosión de tuberías ni contaminación por fuentes industriales relacionadas con este metal.

4.1.4 Percepción de los comunitarios de la zona impactada sobre los efectos de la minería en las aguas subterráneas.

Figura No. 16. Distribución de frecuencia según la edad



Fuente: Encuesta a comunitarios, 2025.

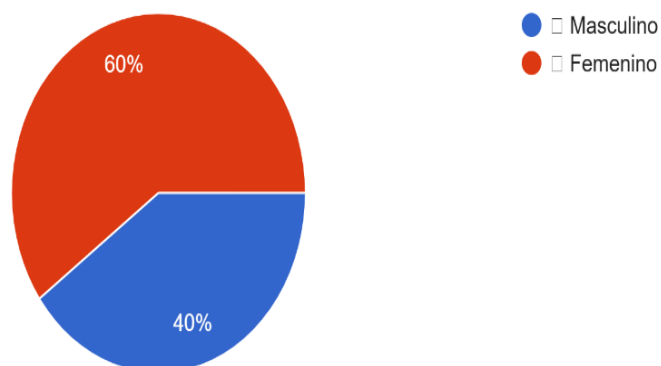
La figura No. 16, muestra un gráfico que representa la distribución por edades de 20 personas encuestadas en el Distrito Municipal de Zambrana. El grupo más numeroso corresponde a jóvenes entre 18 y 30 años, que representan el 45% del total, seguido por personas mayores de 51 años, con un 30%, lo que indica una participación significativa de adultos mayores en el estudio.

Los grupos de edad intermedia están menos representados: solo el 15% de los encuestados tienen entre 41 y 50 años, y apenas un 10% se encuentran en el rango de 31 a 40 años. Esta distribución sugiere que la muestra está compuesta principalmente por jóvenes y adultos mayores, lo cual puede influir en la percepción y prioridades frente a temas ambientales o comunitarios abordados en el estudio.

Figura No. 17. Distribución de frecuencia según el sexo

Sexo

20 respuestas



Fuente: Encuesta a comunitarios, 2025.

En la figura No. 17, se muestra que el color rojo representa a las personas de sexo femenino, que constituyen el 60% de los encuestados, mientras que el color azul representa a los de sexo masculino, con un 40%.

Esta distribución indica que las mujeres fueron mayoría en la muestra, lo cual puede influir en la interpretación de los resultados si el estudio aborda temas sociales, ambientales o comunitarios. La diferencia de participación entre géneros también puede reflejar dinámicas locales de involucramiento ciudadano o acceso a recursos.

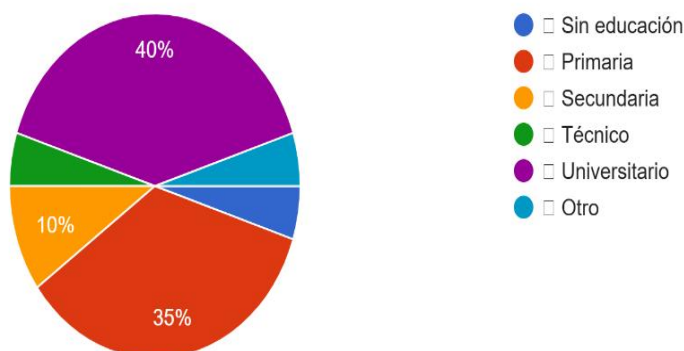
Área de residencia (Sector)

1. Guadiarnon
2. Jobo Claro
3. Las Lagunas
4. Los Pinos
5. Zambrana
6. La Piñita
7. Guadiarnon
8. Villa El Progreso
9. Jurungo

10. Sabana Del Rey
11. Comedero Arriba
12. El Limpio
13. Las Lagunas
14. Guadiarnon
15. Libertad C/Diego Colón #04
16. Maricao
17. Dos Palmas
18. Maricao
19. Arroyo La Vuelta
20. La Cerca

Figura No. 18. Distribución de frecuencia según el nivel educativo

Nivel educativo
20 respuestas



Fuente: Encuesta a comunitarios, 2025.

La figura No. 18, destaca que el grupo más numeroso corresponde a personas con educación universitaria, que representan el 40% del total, seguido por quienes tienen educación primaria, con un 35%. Esto indica que la muestra incluye una proporción significativa de personas con formación académica avanzada, así como una base importante con educación básica.

Los demás niveles están menos representados: secundaria aparece con un 10%, mientras que las categorías de técnico, sin educación y otro tienen porcentajes menores no

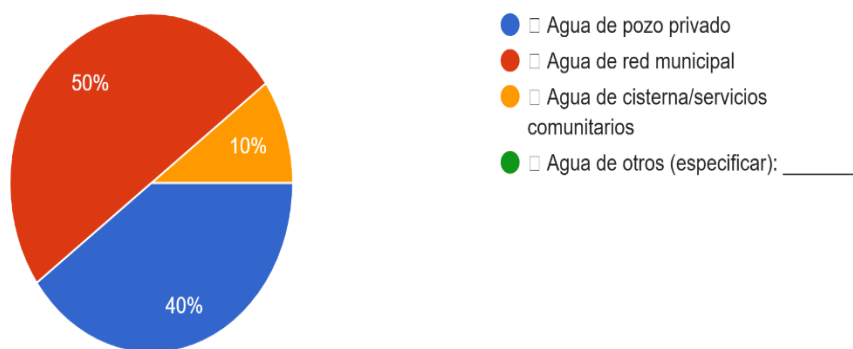
especificados en la imagen. Esta distribución sugiere una diversidad educativa entre los encuestados, con predominancia de formación universitaria, lo cual puede influir en la forma en que se perciben y abordan temas ambientales, sociales o comunitarios en el Distrito Municipal de Zambrana.

Ocupación principal

1. Estudiante (6)
2. Ama de casa (6)
3. Agricultor (2)
4. Comerciante
5. Decorador
6. Sector privado
7. Empleada privada
8. Auxiliar de Laboratorio (SGN)
9. Lic. En Educación

Figura No. 19. Distribución de frecuencia según la fuente principal del consumo del agua

Fuente principal para consumo
20 respuestas



Fuente: Encuesta a comunitarios, 2025.

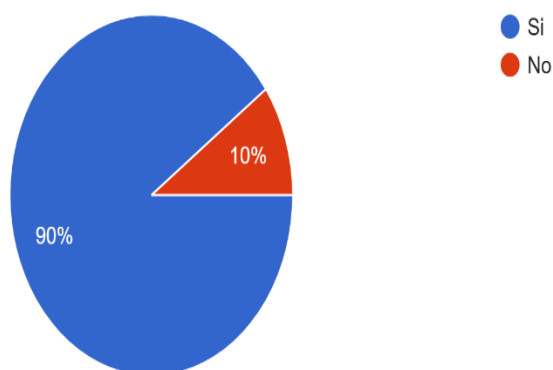
Según la figura No. 19, el segmento más grande corresponde al uso de agua de red municipal, representando el 50% de los encuestados, lo que indica que la mitad de la población depende de sistemas públicos de abastecimiento.

El segundo grupo más numeroso utiliza agua de pozo privado, con un 40%, lo que refleja una fuerte presencia de soluciones individuales o familiares para el consumo de agua. Solo un 10% de los encuestados consume agua proveniente de cisternas o servicios comunitarios, y no se registraron respuestas en la categoría de “otros”. Esta distribución sugiere una coexistencia entre infraestructura pública y fuentes privadas, lo cual puede tener implicaciones importantes en términos de calidad, acceso y gestión del recurso hídrico.

Figura No. 20. Distribución de frecuencia según la cercanía de la mina

¿Vive en su casa/vecindario cerca de una operación minera u otra infraestructura industrial?

20 respuestas



Fuente: Encuesta a comunitarios, 2025.

De acuerdo con la figura No. 20, el resultado es contundente: el 90% de los encuestados respondieron “Sí”, lo que indica que la gran mayoría vive en proximidad directa a actividades mineras o instalaciones industriales.

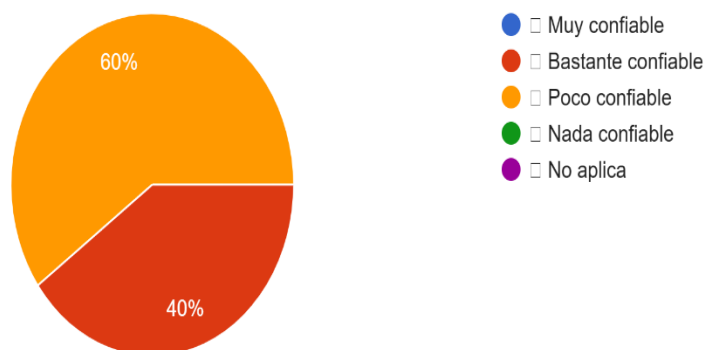
Solo un 10% de los participantes indicó que no reside cerca de este tipo de infraestructura. Esta información es clave para estudios de impacto ambiental o social, ya que sugiere que la población encuestada está potencialmente expuesta a riesgos o

influencias derivadas de la actividad industrial, lo que podría afectar su percepción sobre la calidad del agua, el aire, o el uso del suelo en su entorno.

Figura No. 21. Distribución de frecuencia según la confiabilidad en la mina

¿Cómo calificaría la confiabilidad de su suministro de agua subterránea en el último año?

20 respuestas



Fuente: Encuesta a comunitarios, 2025.

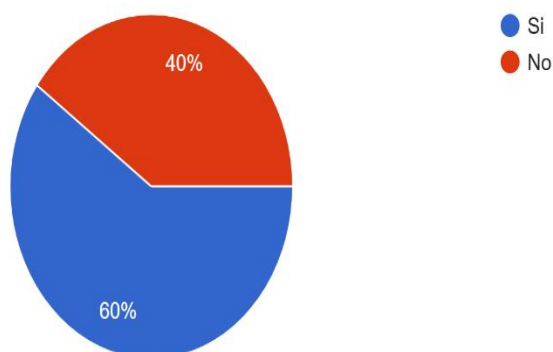
En lo relacionado a la figura No. 21, el 60% de los encuestados considera que su suministro fue “bastante confiable”, mientras que el 40% lo califica como “muy confiable”, lo que indica una percepción positiva general sobre la disponibilidad y estabilidad del recurso hídrico.

No se registraron respuestas en las categorías de “poco confiable”, “nada confiable” ni “no aplica”, lo que sugiere que ninguno de los participantes experimentó interrupciones graves o falta de acceso al agua subterránea. Esta percepción de confiabilidad es relevante para evaluar la sostenibilidad del sistema de abastecimiento local y puede influir en la planificación de futuras intervenciones técnicas o comunitarias.

Figura No. 22. Distribución de frecuencia según cambios en el agua

¿Ha notado cambios en la calidad de agua subterránea en los últimos años?

20 respuestas



Fuente: Encuesta a comunitarios, 2025.

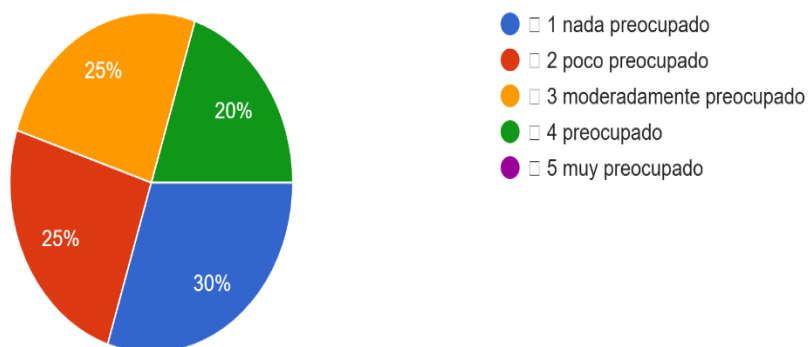
Según la figura No. 22, el 60% de los encuestados respondió “Sí”, lo que indica que una mayoría ha percibido alguna variación en las características del agua que consume, ya sea en sabor, color, olor o comportamiento fisicoquímico.

El 40% restante indicó que no ha notado cambios, lo que sugiere que para una parte significativa de la población el suministro se ha mantenido estable. Esta percepción dividida puede estar relacionada con la ubicación de los pozos, el tipo de fuente utilizada (pozo privado, red municipal, cisterna), o la cercanía a actividades industriales o mineras. Estos datos son valiosos para orientar estudios de calidad del agua y priorizar zonas de monitoreo.

Figura No. 23. Distribución de frecuencia según la preocupación por el estado de las aguas

En una escala del 1 al 5, ¿Qué tan preocupado(a) está por el estado de las aguas subterráneas?

20 respuestas



Fuente: Encuesta a comunitarios, 2025.

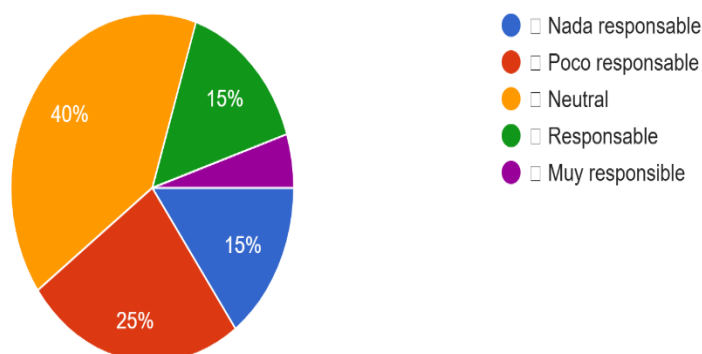
La figura No. 23, muestra que el grupo más numeroso, con 30%, indicó estar nada preocupado (nivel 1), seguido por un 25% que se consideran poco preocupados (nivel 2) y otro 25% que se ubican en un nivel moderado de preocupación (nivel 3).

Solo un 20% de los encuestados se identifican como preocupados (nivel 4), mientras que ninguno seleccionó el nivel 5 (muy preocupado). Esta distribución sugiere que, aunque existe cierta inquietud sobre el estado de las aguas subterráneas, la mayoría de los participantes no percibe una amenaza grave o inminente. Esto podría estar relacionado con la confiabilidad del suministro o con la falta de información sobre posibles riesgos ambientales.

Figura No. 24. Distribución de frecuencia según la responsabilidad de Barrick con las aguas

¿Qué tan responsable considera que es la operación minera Barrick Pueblo Viejo en la salubridad de las aguas subterráneas?

20 respuestas



Fuente: Encuesta a comunitarios, 2025.

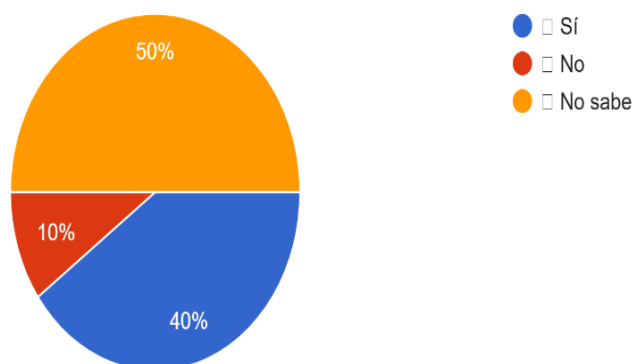
De acuerdo a la figura No. 24, el 40%, considera que la empresa es “responsable”, seguido por un 25% que la califican como “poco responsable”, lo que refleja una percepción mixta entre confianza y escepticismo.

Además, un 15% de los encuestados opinan que la minera es “nada responsable”, mientras otro 15% se mantiene neutral. Solo un 5% considera que Barrick Pueblo Viejo es “muy responsable” en relación con la salubridad del agua subterránea. Esta distribución sugiere que, aunque existe cierto reconocimiento de responsabilidad, también hay una proporción significativa de la población que cuestiona el impacto ambiental de la operación minera en el recurso hídrico local.

Figura No. 25. Distribución de frecuencia según efecto de la operación minera en las aguas

¿Cree que la operación minera ha afectado de alguna forma el suministro de agua subterránea en su comunidad?

20 respuestas



Fuente: Encuesta a comunitarios, 2025.

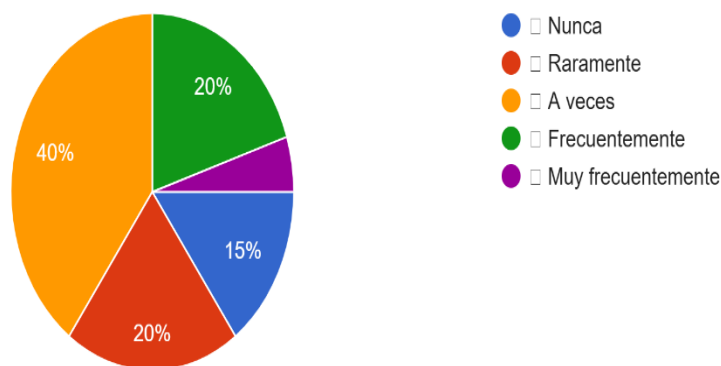
Según la figura No. 25, el 50% de los encuestados respondió “No sabe”, lo que refleja un alto grado de incertidumbre o falta de información sobre el impacto real de la actividad minera en el recurso hídrico local.

Por otro lado, un 40% considera que sí ha habido afectación, lo que indica una percepción significativa de impacto negativo, posiblemente basada en experiencias personales o cambios observados en el suministro. Solo un 10% respondió “No”, lo que sugiere que muy pocos descartan completamente la influencia de la operación minera. Esta distribución evidencia la necesidad de fortalecer la comunicación ambiental y los estudios técnicos que permitan esclarecer el vínculo entre la minería y la disponibilidad de agua subterránea en Zambrana.

Figura No. 26. Distribución de frecuencia según el uso diario de las aguas

¿Con qué frecuencia ha ocurrido alguno de los efectos mencionados en la pregunta anterior en su agua de uso diario?

20 respuestas



Fuente: Encuesta a comunitarios, 2025.

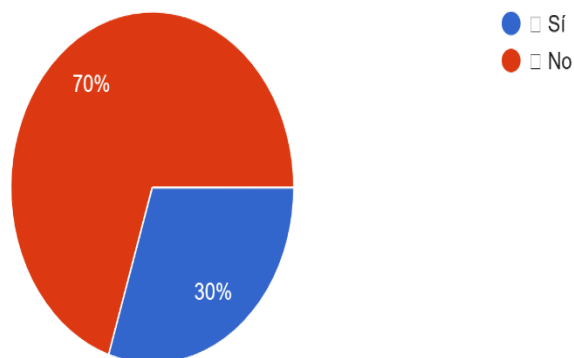
En lo relativo a la figura No. 26, el 40% de los comunitarios indicó que dichos efectos ocurren “a veces”, lo que sugiere una presencia intermitente de alteraciones en la calidad del agua, como cambios en color, olor, sabor o turbidez.

Además, un 20% de los encuestados señaló que estos efectos ocurren “frecuentemente”, y otro 5% los experimenta “muy frecuentemente”, lo que eleva el nivel de preocupación sobre la confiabilidad del agua de uso diario. En contraste, el 15% indicó que “nunca” ha notado estos efectos, y un 20% respondió “raramente”, lo que refleja una experiencia más estable. Esta distribución evidencia que, aunque no todos los usuarios enfrentan problemas constantes, una parte significativa de la comunidad sí percibe afectaciones periódicas en su suministro de agua.

Figura No. 27. Distribución de frecuencia según el monitoreo de las aguas

¿Ha participado o presenciado alguna actividad de monitoreo o control de calidad del agua en su comunidad relacionada con la minería?

20 respuestas



Fuente: Encuesta a comunitarios, 2025.

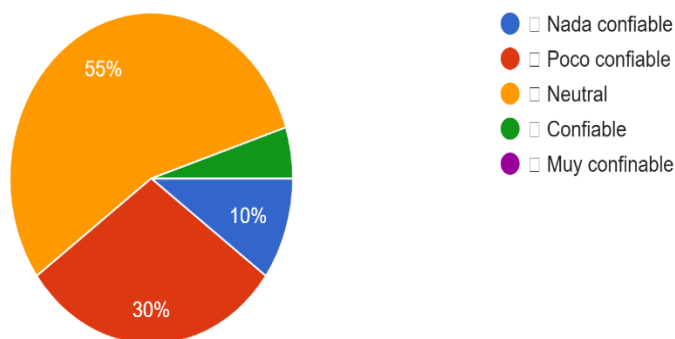
Según la figura No. 27, el 70% de los encuestados respondió “No”, lo que indica que la mayoría de la población no ha tenido contacto directo con procesos de vigilancia ambiental vinculados a la actividad minera.

Por otro lado, solo un 30% indicó que sí ha participado o presenciado este tipo de actividades, lo que sugiere una limitada presencia de mecanismos comunitarios o institucionales de monitoreo en el área. Esta baja participación puede reflejar falta de acceso a información, escasa articulación entre la empresa minera y la comunidad, o debilidad en los programas de gestión ambiental. Es un dato relevante para evaluar el nivel de transparencia y corresponsabilidad en la protección del recurso hídrico.

Figura No. 28. Distribución de frecuencia según la confiabilidad de las mediciones de calidad del agua

¿Qué tan confiable considera que son las mediciones de calidad del agua realizadas por las autoridades (reguladores) o la empresa minera?

20 respuestas



Fuente: Encuesta a comunitarios, 2025.

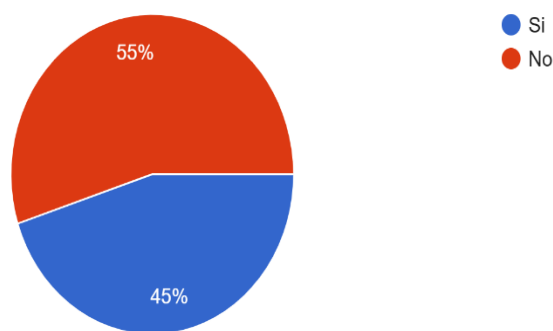
La mayoría de los encuestados en la figura No. 28, con un 55%, se posiciona en una postura neutral, lo que sugiere una percepción ambivalente o falta de información clara sobre la veracidad de los datos reportados por los entes responsables.

Además, un 30% considera que las mediciones son poco confiables, mientras que un 10% las califica como nada confiables, lo que refleja cierto nivel de desconfianza en los procesos de monitoreo institucional. El segmento que considera las mediciones como confiables o muy confiables es mínimo o inexistente en el gráfico, lo que evidencia una necesidad urgente de fortalecer la transparencia, la participación comunitaria y la comunicación técnica en torno a la calidad del agua subterránea en zonas influenciadas por la minería.

Figura No. 29. Distribución de frecuencia según el cambio en el uso de las aguas subterráneas

¿Ha cambiado su uso del agua subterránea (por ejemplo, menos consumo, cambios en hábitos) debido a preocupaciones por la minería?

20 respuestas



Fuente: Encuesta a comunitarios, 2025.

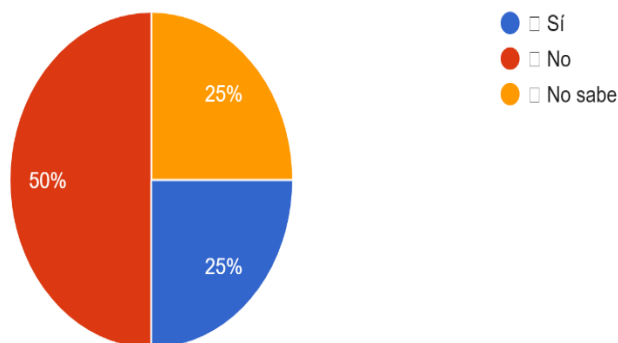
En la figura No. 29, se responde a la pregunta: “¿Ha cambiado su uso del agua subterránea debido a preocupaciones por la minería?”, con base en 20 respuestas. El 55% de los encuestados respondió “No”, lo que indica que más de la mitad de la población no ha modificado sus hábitos de consumo de agua subterránea, a pesar de posibles inquietudes relacionadas con la actividad minera.

Sin embargo, un 45% sí ha cambiado su uso del agua, lo que refleja un nivel considerable de preocupación que ha llevado a ajustes en el comportamiento cotidiano, como reducir el consumo, cambiar de fuente o implementar medidas de precaución. Esta proporción sugiere que, aunque no es mayoritaria, una parte significativa de la comunidad percibe riesgos asociados al impacto minero sobre el recurso hídrico.

Figura No. 30. Distribución de frecuencia según el efecto en la salud del agua

¿Cree que la calidad del agua subterránea ha afectado la salud de su familia o vecinos?

20 respuestas



Fuente: Encuesta a comunitarios, 2025.

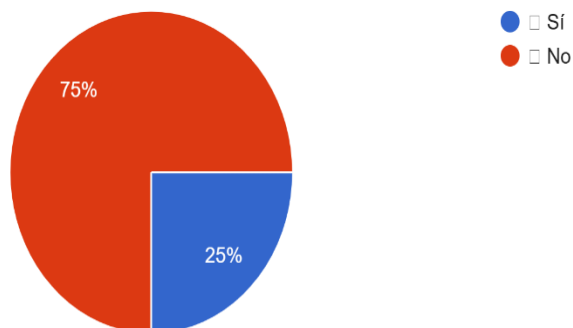
En cuanto a la figura No. 30, sobre la pregunta: “¿Cree que la calidad del agua subterránea ha afectado la salud de su familia o vecinos?”. El 50% de los encuestados respondió “No”, lo que indica que la mitad de la población no percibe una relación directa entre la calidad del agua subterránea y problemas de salud en su entorno.

Sin embargo, un 25% considera que sí ha habido afectaciones, lo que sugiere que una parte significativa de la comunidad ha experimentado o sospecha impactos negativos en la salud vinculados al agua. Otro 25% respondió “No sabe”, lo que refleja incertidumbre o falta de información sobre los posibles efectos. Esta distribución evidencia la necesidad de fortalecer la vigilancia sanitaria y la comunicación sobre los riesgos asociados al agua subterránea, especialmente en zonas cercanas a actividades industriales o mineras.

Figura No. 31. Distribución de frecuencia según las orientaciones o informaciones brindadas.

¿Ha recibido orientación o información de autoridades, ONG o la empresa minera sobre el uso seguro del agua?

20 respuestas



Fuente: Encuesta a comunitarios, 2025.

De acuerdo con la figura No. 31, sobre la pregunta: “¿Ha recibido orientación o información de autoridades, ONG o la empresa minera sobre el uso seguro del agua?”, con base en 20 respuestas. El resultado revela que el 75% de los encuestados respondió “No”, lo que indica una marcada ausencia de comunicación o educación ambiental por parte de las entidades responsables.

Solo un 25% de los participantes indicó que sí ha recibido orientación, lo que sugiere que los esfuerzos informativos han sido limitados o focalizados. Esta falta de acceso a información técnica y preventiva puede influir en la percepción de riesgo, en la adopción de buenas prácticas y en la capacidad de la comunidad para participar activamente en la gestión del recurso hídrico. Es un dato relevante para fortalecer estrategias de divulgación y participación ciudadana en contextos de influencia minera.

En una escala del 1 al 5, ¿Cuánta confianza tiene en las autoridades locales para proteger el recurso hídrico subterráneo frente a la minería? (1 nada de confianza - 5 mucha confianza): 20 respuestas

3 nada de confianza

3 poco de confianza

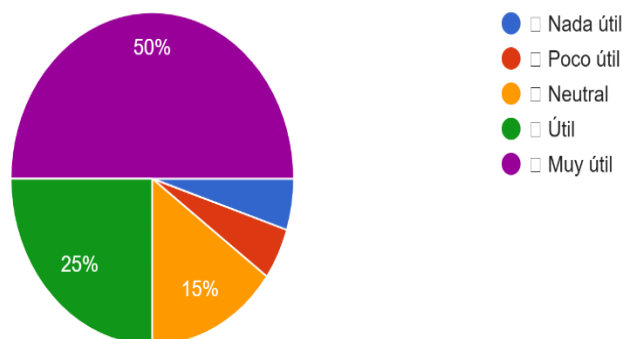
4 algo de confianza

5 confianza moderada

5 mucha confianza

Figura No. 32. Distribución de frecuencia según la existencia de un programa de monitoreo

¿Qué tan útil sería para usted que exista un programa de monitoreo participativo del agua subterránea (por ejemplo, informes abiertos, discusiones comunitarias, mediciones accesibles)?
20 respuestas



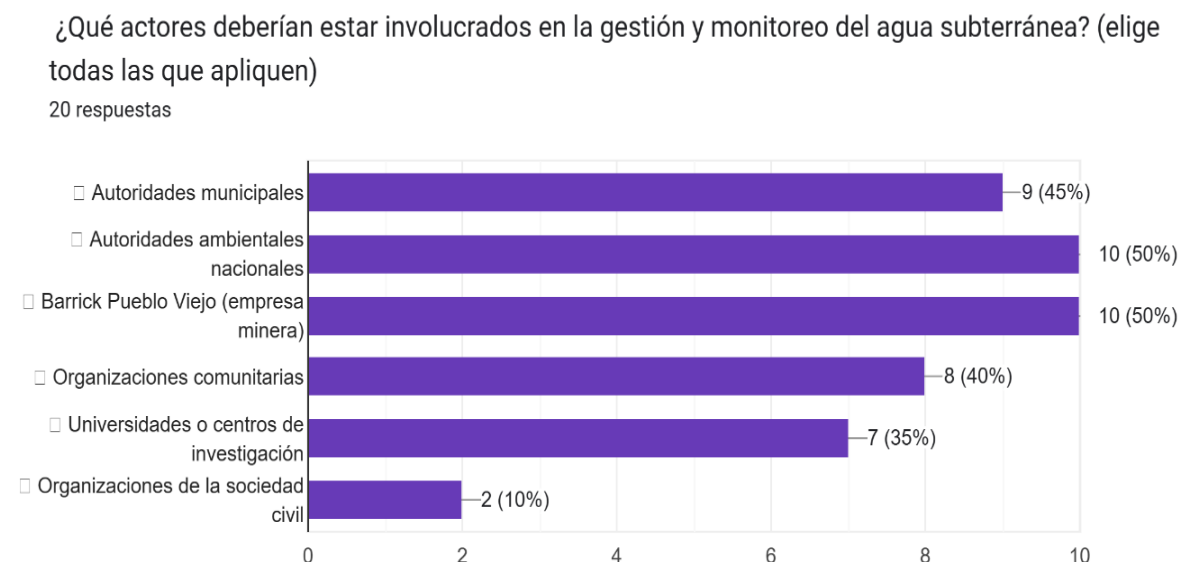
Fuente: Encuesta a comunitarios, 2025.

Según la figura No. 32, la mayoría de los encuestados, un 50%, considera que sería “muy útil”, mientras que un 25% lo califica como “útil”, lo que refleja un fuerte interés comunitario en tener acceso a información transparente y espacios de discusión sobre la calidad del agua.

Además, un 15% se posiciona como neutral, y los segmentos que consideran el programa “poco útil” o “nada útil” son mínimos. Esta distribución evidencia una clara disposición de la comunidad hacia la participación activa en la gestión del recurso hídrico,

lo cual puede ser clave para fortalecer la confianza, la vigilancia ambiental y la corresponsabilidad frente a posibles impactos de la actividad minera.

Figura No. 33. Distribución de frecuencia según actores involucrados en el monitoreo del agua



Fuente: Encuesta a comunitarios, 2025.

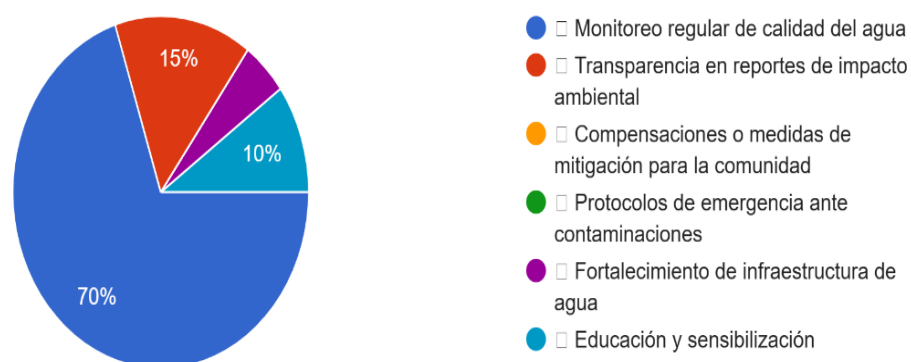
La figura No. 33, presenta un gráfico de barras horizontales que responde a la pregunta: “¿Qué actores deberían estar involucrados en la gestión y monitoreo del agua subterránea?”, con base en 20 respuestas. Los actores más mencionados fueron las autoridades ambientales nacionales y la empresa minera Barrick Pueblo Viejo, ambos con 50% de las respuestas, seguidos por las autoridades municipales con 45%, lo que indica una fuerte expectativa de participación institucional y empresarial en la gestión del recurso hídrico.

También se destaca el papel de las organizaciones comunitarias con un 40%, y de las universidades o centros de investigación con 35%, lo que refleja el interés en integrar saberes locales y técnicos. En contraste, solo un 10% mencionó a las organizaciones de la sociedad civil, lo que sugiere que su rol aún no es ampliamente reconocido por la comunidad. Esta distribución evidencia una visión plural sobre la gobernanza del agua, donde se espera colaboración entre actores públicos, privados, académicos y comunitarios.

Figura No. 34. Distribución de frecuencia según medidas para proteger el agua

¿Qué medidas considera prioritarias para proteger el agua subterránea en Zambrana?

20 respuestas



Fuente: Encuesta a comunitarios, 2025.

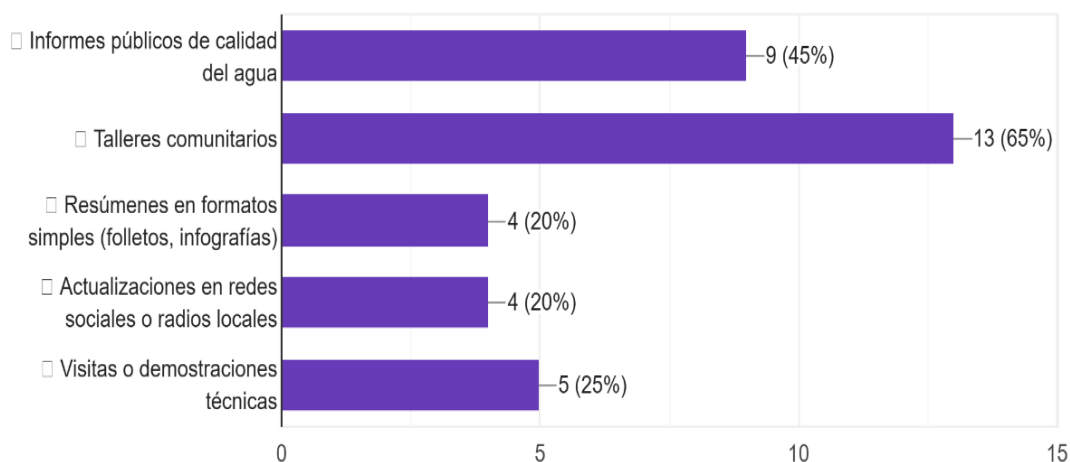
En la figura No. 34, se visualiza que la opción más destacada es el monitoreo regular de calidad del agua, seleccionada por el 70% de los encuestados, lo que refleja una fuerte demanda comunitaria por vigilancia técnica continua del recurso hídrico.

Otras medidas recibieron menor apoyo: transparencia en reportes de impacto ambiental obtuvo un 15%, educación y sensibilización un 10%, y el fortalecimiento de infraestructura de agua apenas un 5%. Las opciones de protocolos de emergencia ante contaminaciones y compensaciones o medidas de mitigación para la comunidad no recibieron ninguna respuesta. Esta distribución evidencia que la comunidad prioriza el acceso a información confiable y monitoreo constante como base para la protección efectiva del agua subterránea.

Figura No. 35. Distribución de frecuencia según la información recibida

¿Qué tipo de información le gustaría recibir para entender mejor el estado del agua subterránea?
(elige todas las que apliquen)

20 respuestas



Fuente: Encuesta a comunitarios, 2025.

La figura No. 35, presenta la pregunta: “¿Qué tipo de información le gustaría recibir para entender mejor el estado del agua subterránea?”, con base en 20 respuestas. La opción más seleccionada fue “talleres comunitarios”, con un 65%, lo que indica una fuerte preferencia por espacios participativos y educativos donde se pueda dialogar y aprender colectivamente sobre el recurso hídrico.

Le siguen los informes públicos de calidad del agua con un 45%, y en menor medida, visitas o demostraciones técnicas con 25%, así como resúmenes en formatos simples y actualizaciones en redes sociales o radios locales, ambas con 20%. Esta distribución sugiere que la comunidad valora tanto la accesibilidad como la interacción directa en los procesos de comunicación ambiental, y que existe interés por recibir información clara, útil y adaptada a distintos canales.

¿Hay algún incidente específico relacionado con el agua que quiera describir?

1. No
2. No
3. No
4. Ninguno
5. Hay un incidente comunitario, hay desacuerdo entre los comunitarios, molestias.
6. No hay.
7. No
8. Muerte de animales por la contaminación del agua
9. Protección y cuidado

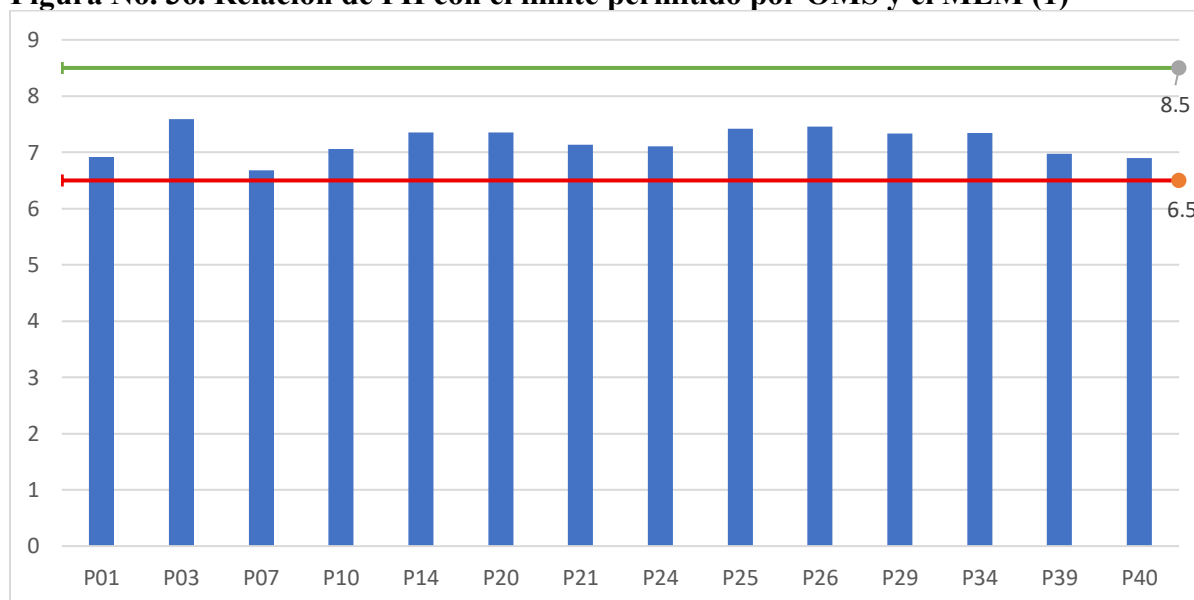
¿Qué sugerencias tiene para mejorar la gestión del agua subterránea en el Distrito Municipal de Zambrana?

1. Más tiempo para distribuir el agua por hogares.
2. Que pongan agua permanente
3. Que las empresas mineras y las autoridades municipales estén pendientes a las aguas subterráneas y su gestión
4. Concientización a los pobladores y la postura de filtros
5. Tener conciencia y que le den buen uso
6. Sería bueno implementar charlas comunitarias cada cierto tiempo, con el objetivo de informar a los alrededores la importancia del agua subterránea y el por qué debemos cuidar de ella. A demás evaluar la calidad del agua / hacer monitoreo constante con la participación de la comunidad.
7. No
8. Un acueducto con agua permanente
9. La gestión del agua subterránea en Zambrana puede mejorar con monitoreo constante, control local del uso de pozos, acciones de recarga como reforestación y zanjas de infiltración, y participación comunitaria para vigilar el recurso.
10. Construcción de más pozos en la comunidad
11. Monitoreo constante para ver su calidad

12. Educar a la población con talleres y cursos, con el objetivo de orientarlos con el uso responsable de los recursos hídricos
13. Construcción de más pozos comunitarios
14. Construir un acueducto
15. No
16. No hay forma de mejorar la gestión
17. Protección y cuidado de medio ambiente y monitoreo de la empresa minera
18. Ninguno
19. Crear un acueducto
20. Darle más participación a la comunidad en los monitoreos

4.1.5 Relación de los resultados de los muestreos con los datos (línea base) y los límites permisibles establecidos en la normativa dominicana e internacional.

Figura No. 36. Relación de PH con el límite permitido por OMS y el MEM (1)



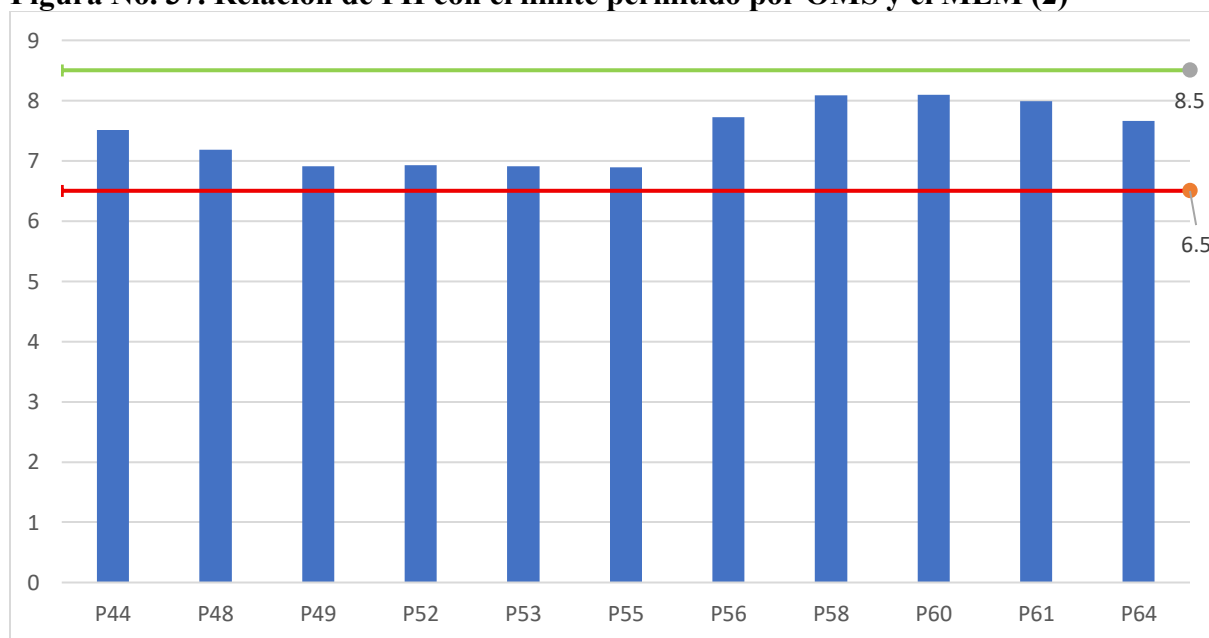
Fuente: Resultados de análisis físicos-químicos y normas de calidad OMS y MEM, 2025.

La figura No. 36, muestra los valores de pH obtenidos en 14 muestras de agua subterránea identificadas como P01, P03, P07, P10, P14, P20, P21, P24, P25, P26, P29, P34, P39 y P40. Las líneas horizontales roja y verde representan los límites permisibles establecidos por la OMS y el Ministerio de Medio Ambiente de la República Dominicana: 6.5 como mínimo y 8.5 como máximo. Al observar las barras, se aprecia que la mayoría

de las muestras se encuentran dentro del rango aceptable, lo que indica que el agua no presenta condiciones de acidez ni alcalinidad extremas que puedan afectar su potabilidad o interacción con materiales de infraestructura.

Aunque un pH ligeramente superior a 8.5 no representa un riesgo sanitario inmediato, puede afectar el sabor del agua, la eficiencia de la desinfección con cloro y la solubilidad de ciertos metales. Estas muestras ameritan seguimiento para evaluar si esta condición es persistente y si está relacionada con características geológicas locales o con actividades humanas como el uso de cal en procesos agrícolas o industriales.

Figura No. 37. Relación de PH con el límite permitido por OMS y el MEM (2)



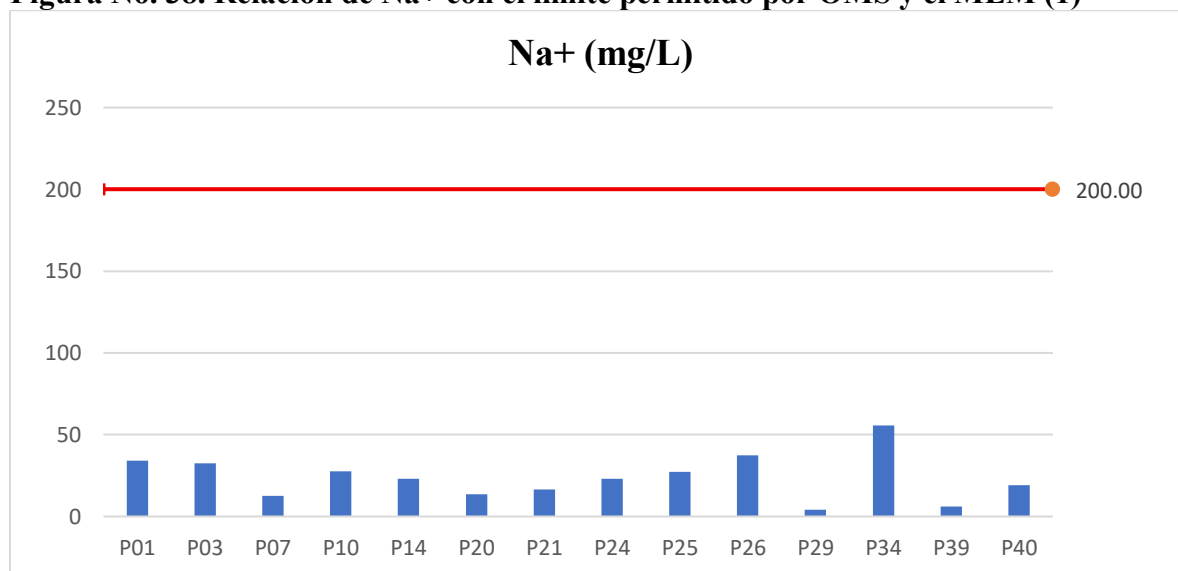
Fuente: Resultados de análisis físicos-químicos y normas de calidad OMS y MEM, 2025.

La figura No. 37, presenta los valores de pH obtenidos en 11 muestras de agua subterránea identificadas como P44, P48, P49, P52, P53, P55, P56, P58, P60, P61 y P64. Las líneas horizontales roja y verde indican los límites permisibles establecidos por la OMS y el Ministerio de Medio Ambiente de la República Dominicana: 6.5 como mínimo y 8.5 como máximo. Al observar las barras, se puede afirmar que todas las muestras se encuentran dentro del rango aceptable, lo que sugiere que el agua no presenta condiciones extremas de acidez ni de alcalinidad que puedan comprometer su potabilidad o generar problemas de corrosión en infraestructura.

Los valores de pH registrados oscilan aproximadamente entre 6.6 y 8.0, lo cual es típico en aguas subterráneas de zonas tropicales con buena calidad hidroquímica. Ninguna muestra supera el límite superior de 8.5 ni cae por debajo del mínimo de 6.5, lo que indica estabilidad química y ausencia de procesos de contaminación ácida o alcalina.

Esta condición es favorable tanto para el consumo humano como para el uso agrícola, ya que el pH dentro de este rango permite una buena solubilidad de nutrientes y evita la liberación de metales pesados desde el sustrato. Aunque no se observan valores anómalos, sería recomendable complementar este análisis con parámetros como alcalinidad, bicarbonatos y metales para confirmar la estabilidad geoquímica del acuífero.

Figura No. 38. Relación de Na⁺ con el límite permitido por OMS y el MEM (1)



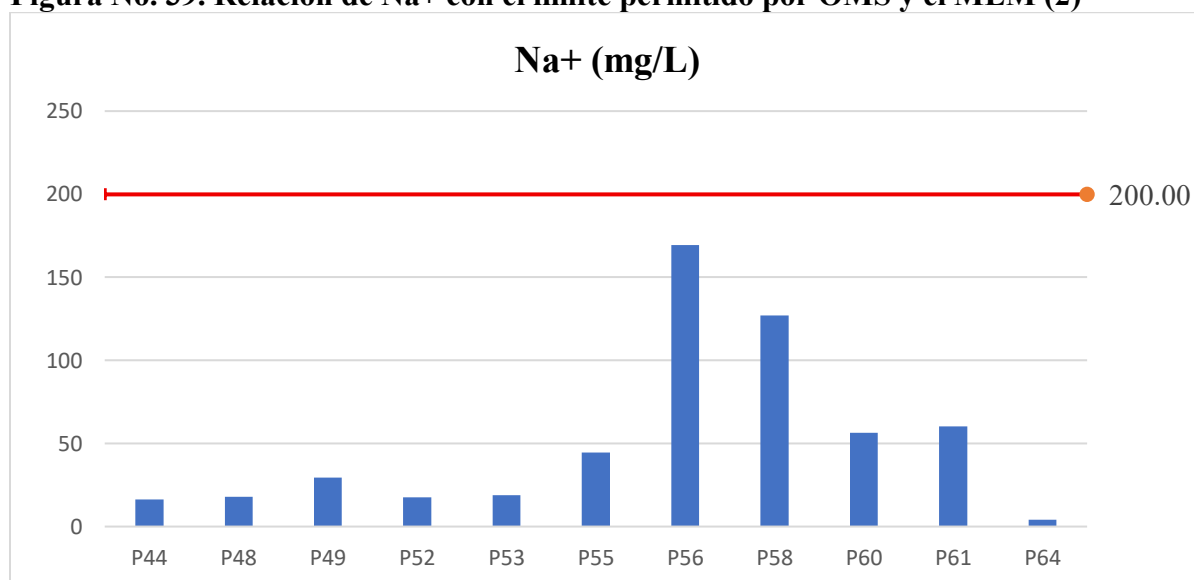
Fuente: Resultados de análisis físicos-químicos y normas de calidad OMS y MEM, 2025.

La figura No. 38, revela los resultados de concentración de sodio (Na⁺) en 14 muestras de agua subterránea identificadas como P01, P03, P07, P10, P14, P20, P21, P24, P25, P26, P29, P34, P39 y P40. La línea roja horizontal ubicada en 200 mg/L representa el límite máximo permitido según las normas de la OMS y el Ministerio de Medio Ambiente de la República Dominicana. Al observar las barras azules, se evidencia que todas las muestras se encuentran por debajo del límite establecido, lo que indica que no hay presencia excesiva de sodio en el agua analizada.

Entre las muestras, P34 presenta la concentración más alta, aunque claramente permanece por debajo del umbral de 200 mg/L. Esto sugiere que, si bien hay variabilidad entre los puntos de muestreo, ninguno representa un riesgo por exceso de sodio, lo cual es positivo tanto para el consumo humano como para el uso agrícola.

El sodio en concentraciones elevadas puede afectar el sabor del agua, contribuir a problemas de hipertensión en poblaciones vulnerables y deteriorar la estructura del suelo en riego prolongado. En este caso, los resultados reflejan una condición hidroquímica estable y dentro de los parámetros aceptables, aunque sería recomendable continuar el monitoreo en puntos como P34 para detectar posibles tendencias al alza.

Figura No. 39. Relación de Na⁺ con el límite permitido por OMS y el MEM (2)



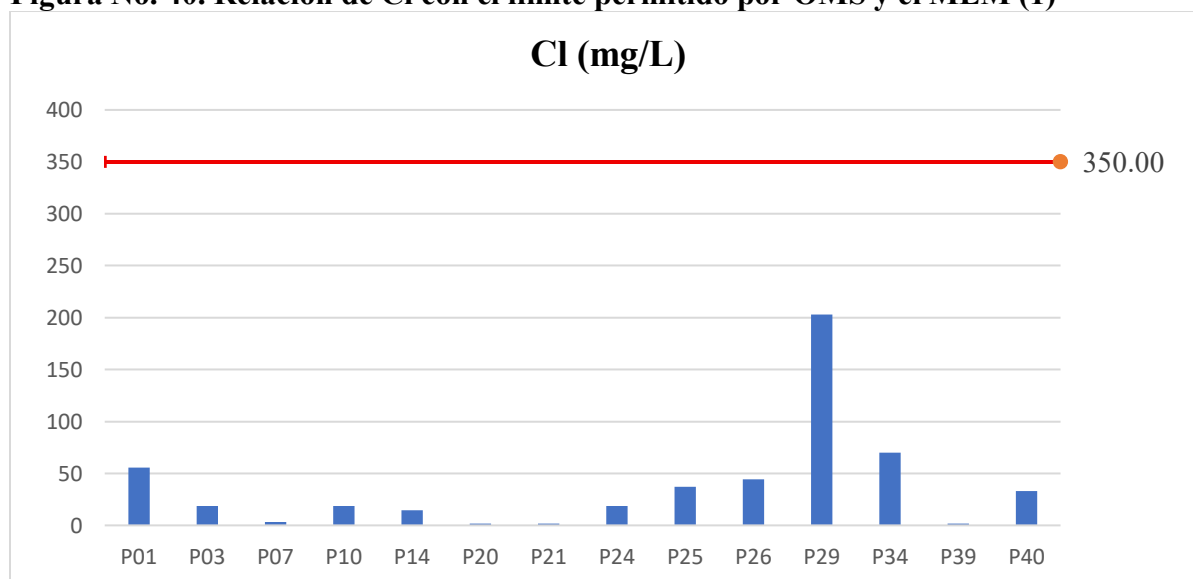
Fuente: Resultados de análisis físicos-químicos y normas de calidad OMS y MEM, 2025.

La figura No. 39, resalta los resultados de concentración de sodio (Na⁺) en 11 muestras de agua subterránea identificadas como P44, P48, P49, P52, P53, P55, P56, P58, P60, P61 y P64. La línea roja horizontal ubicada en 200 mg/L representa el límite máximo permitido según las normas de la OMS y el Ministerio de Medio Ambiente de la República Dominicana. Al observar las barras azules, se evidencia que ninguna de las muestras supera el límite establecido, lo que indica que el sodio presente en estas aguas se encuentra dentro de los parámetros aceptables para consumo humano y uso agrícola.

Entre las muestras, P56 y P58 presentan las concentraciones más elevadas, aunque claramente permanecen por debajo del umbral de 200 mg/L. Esto sugiere que, si bien hay cierta variabilidad entre los puntos de muestreo, no se detectan condiciones de salinización significativa ni riesgo por exceso de sodio.

En este caso, los resultados reflejan una condición hidroquímica estable, aunque sería prudente mantener el monitoreo en los puntos con valores más altos para detectar posibles tendencias ascendentes o influencia de fuentes externas como infiltración de aguas residuales o lixiviados.

Figura No. 40. Relación de Cl con el límite permitido por OMS y el MEM (1)



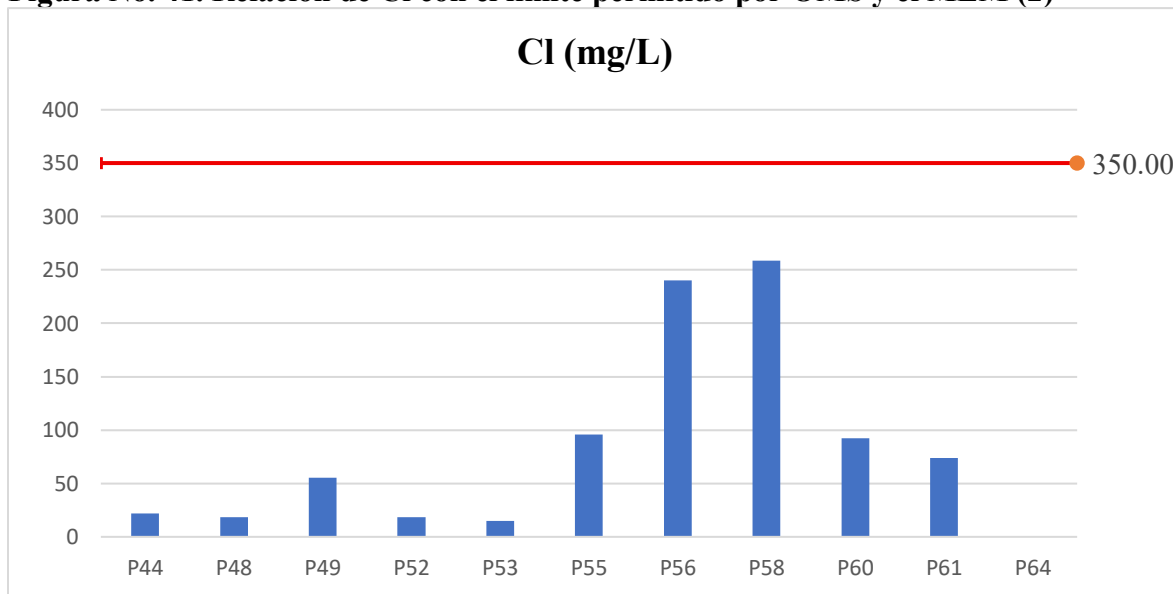
Fuente: Resultados de análisis físicos-químicos y normas de calidad OMS y MEM, 2025.

La figura No. 40, destaca los resultados de concentración de cloruros (Cl^-) en múltiples muestras de agua subterránea, con una línea roja que indica el límite máximo permitido de 350 mg/L, conforme a las normas de la OMS y del Ministerio de Medio Ambiente de la República Dominicana. La mayoría de las muestras se encuentran por debajo de los 150 mg/L, lo cual es típico en acuíferos no influenciados por intrusión salina ni por contaminación de origen antrópico.

La muestra P29 destaca por tener la concentración más alta entre todas, acercándose a los 200 mg/L, aunque aún dentro del rango permitido. Este valor, aunque no excede el límite, podría ser indicativo de procesos naturales de disolución de minerales haluros o de

influencia de actividades humanas como el uso de fertilizantes o infiltración de aguas residuales. Es recomendable mantener el monitoreo en este punto para detectar posibles tendencias al alza. En general, los resultados reflejan una condición hidroquímica estable, sin evidencia de intrusión marina ni de contaminación salina significativa, lo cual es favorable para el uso del agua en consumo humano y agrícola.

Figura No. 41. Relación de Cl con el límite permitido por OMS y el MEM (2)



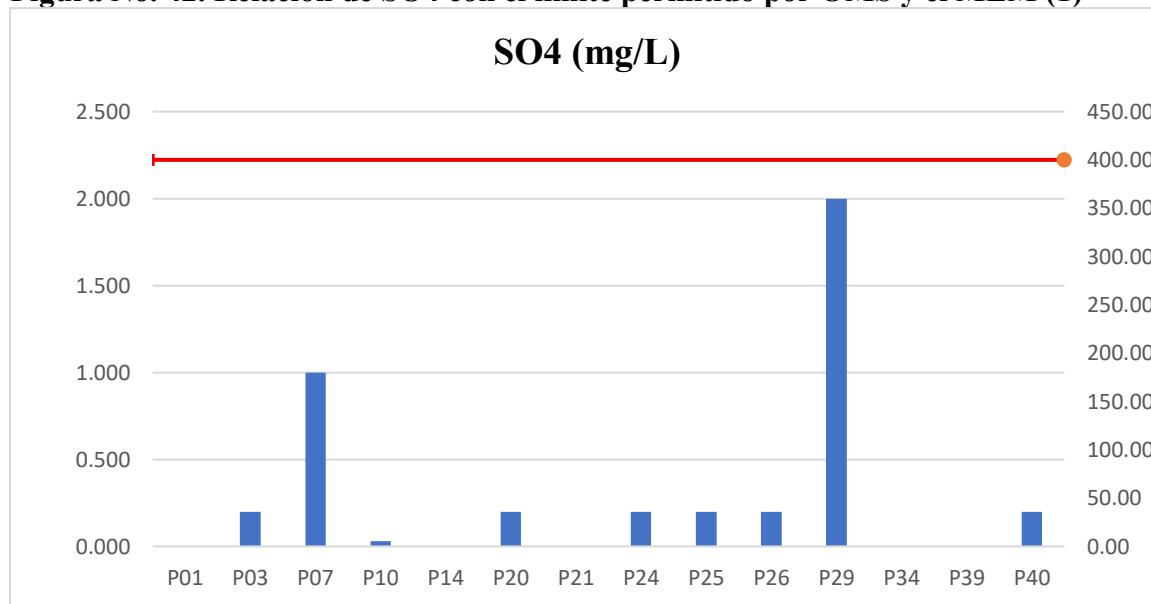
Fuente: Resultados de análisis físicos-químicos y normas de calidad OMS y MEM, 2025.

En cuanto a la figura No. 41, indica que los resultados de concentración de cloruros (Cl^-) en 11 muestras de agua subterránea identificadas como P44, P48, P49, P52, P53, P55, P56, P58, P60, P61 y P64. La línea roja horizontal indica el límite máximo permitido de 350 mg/L. Al observar las barras, se puede afirmar que ninguna de las muestras supera el límite establecido, lo que indica que el agua analizada no presenta niveles críticos de salinidad por cloruros. La mayoría de las muestras se encuentran por debajo de los 200 mg/L, lo cual es característico de acuíferos con buena calidad química y sin influencia de intrusión salina ni contaminación por aguas residuales.

Las muestras P56 y P58 presentan las concentraciones más elevadas dentro del conjunto, acercándose al rango de 250 a 300 mg/L, aunque aún por debajo del umbral normativo. Estos valores, si bien no representan una infracción, podrían ser indicativos de procesos naturales de disolución de minerales haluros o de influencia antrópica, como el

uso de fertilizantes o infiltración de aguas grises. Sería recomendable mantener el monitoreo en estos puntos para detectar posibles tendencias al alza o identificar fuentes de aporte de cloruros. En general, los resultados reflejan una condición hidroquímica estable y adecuada para el consumo humano y uso agrícola, aunque con atención especial en los puntos de mayor concentración

Figura No. 42. Relación de SO₄ con el límite permitido por OMS y el MEM (1)



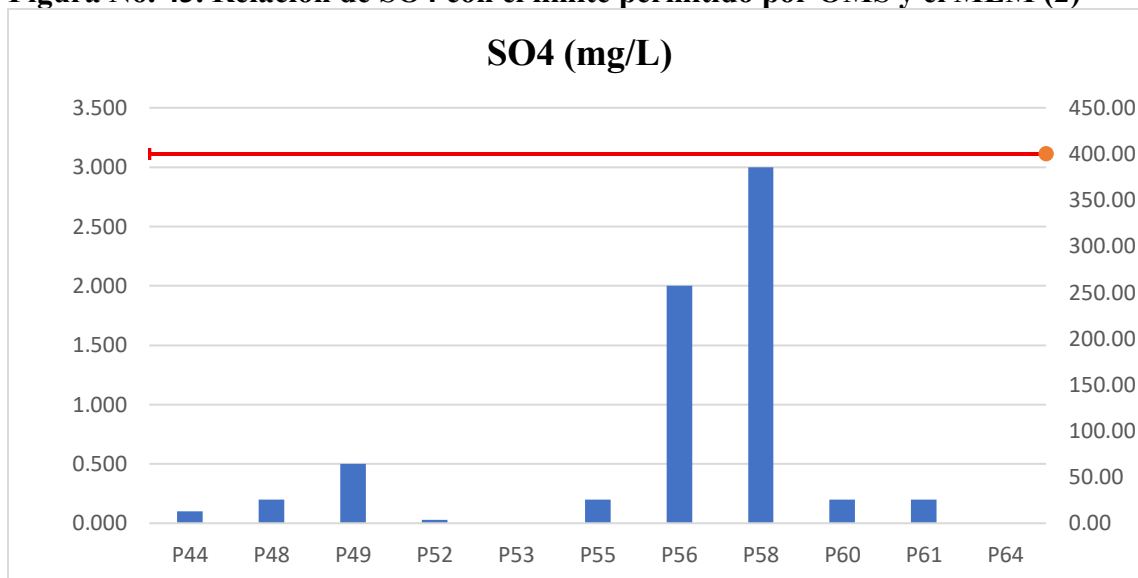
Fuente: Resultados de análisis físicos-químicos y normas de calidad OMS y MEM, 2025.

De acuerdo con la figura No. 42, muestra los resultados de concentración de sulfatos (SO_4^{2-}) en 14 muestras de agua subterránea identificadas como P01, P03, P07, P10, P14, P20, P21, P24, P25, P26, P29, P34, P39 y P40. La línea roja horizontal indica el límite máximo permitido de 400 mg/L. Al observar las barras, se evidencia que ninguna muestra supera el límite establecido, lo que indica que el agua analizada no presenta niveles críticos de sulfatos que puedan afectar la salud humana o generar problemas de corrosión en infraestructura hidráulica.

Sin embargo, se destacan las muestras P07 y P29, que presentan las concentraciones más elevadas dentro del conjunto, siendo P29 la más cercana al límite normativo. Aunque no se excede el umbral de 400 mg/L, estos valores podrían estar asociados a procesos de disolución de minerales como yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) o a influencias antrópicas como lixiviación de residuos mineros o fertilizantes. Es recomendable mantener el monitoreo en

estos puntos, especialmente en P29, para detectar posibles tendencias al alza o identificar fuentes de aporte de sulfatos. En general, los resultados reflejan una condición hidroquímica aceptable, aunque con atención especial en los puntos de mayor concentración para prevenir impactos futuros.

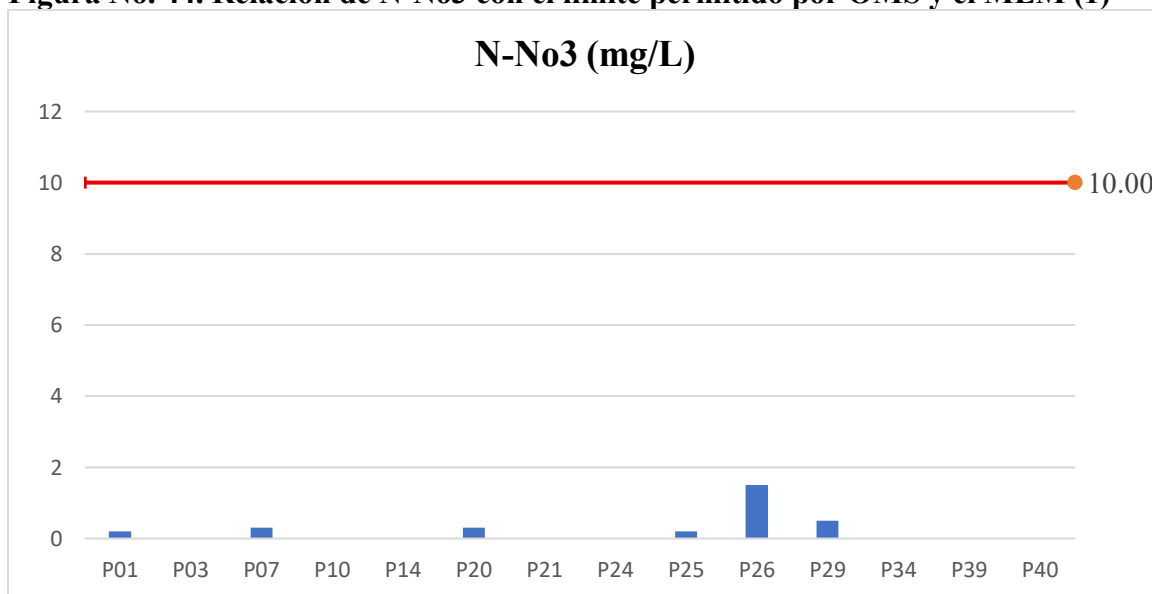
Figura No. 43. Relación de SO₄ con el límite permitido por OMS y el MEM (2)



Fuente: Resultados de análisis físico-químicos y normas de calidad OMS y MEM, 2025.

La figura No. 43, revela los resultados de concentración de sulfatos (SO₄²⁻) en 11 muestras de agua subterránea identificadas como P44, P48, P49, P52, P53, P55, P56, P58, P60, P61 y P64. La línea roja horizontal indica el límite máximo permitido de 400 mg/L. Se visualiza que ninguna de las muestras supera dicho límite, lo que indica que el agua analizada no presenta niveles críticos de sulfatos que puedan afectar la salud humana ni generar problemas de corrosión en redes de distribución.

Las muestras P58 y P56 destacan por tener las concentraciones más elevadas dentro del conjunto, acercándose al umbral normativo, aunque sin rebasarlo. Estos valores podrían estar relacionados con procesos naturales de disolución de minerales como yeso o anhidrita, o con influencias antrópicas como lixiviación de residuos mineros o agrícolas. Aunque no se detectan excedencias, sería prudente mantener un monitoreo periódico en estos puntos para verificar la estabilidad de las concentraciones y prevenir posibles incrementos. En conjunto, los resultados reflejan una condición hidroquímica aceptable, pero con atención especial en los puntos de mayor carga de sulfatos.

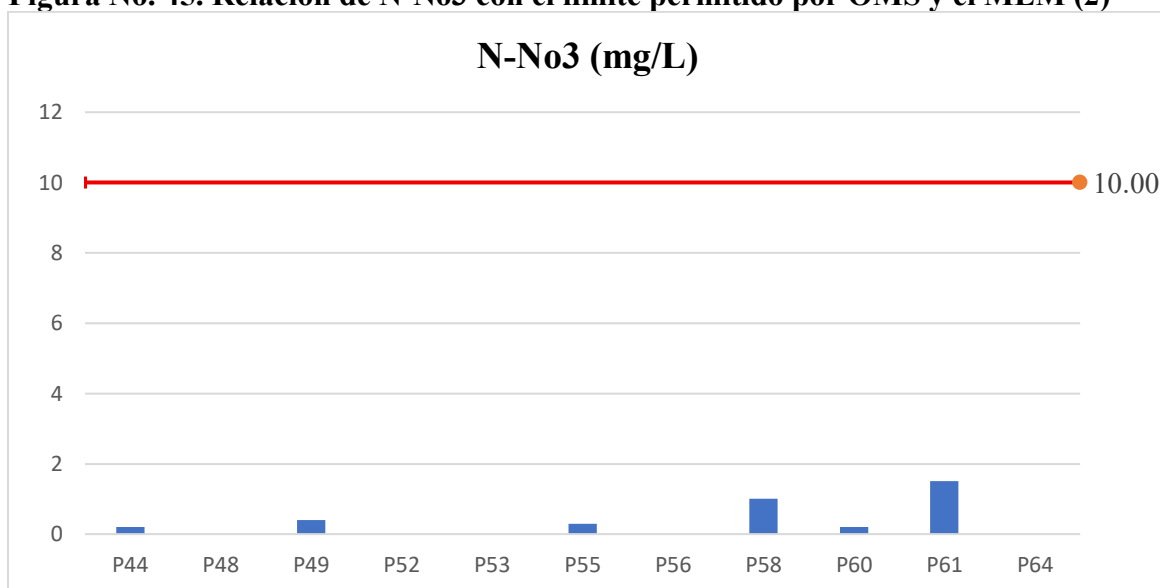
Figura No. 44. Relación de N-No₃ con el límite permitido por OMS y el MEM (1)

Fuente: Resultados de análisis físicos-químicos y normas de calidad OMS y MEM, 2025.

La figura No. 44, destaca las concentraciones de nitrato como nitrógeno (N-NO₃) en miligramos por litro (mg/L) para 15 muestras de agua subterránea, identificadas como P01, P03, P07, P10, P14, P20, P21, P24, P25, P26, P29, P34, P39 y P40. La línea roja horizontal ubicada en 10 mg/L representa el límite máximo permitido. Este umbral está diseñado para prevenir efectos adversos en la salud, especialmente en poblaciones vulnerables como niños y mujeres embarazadas, ya que niveles elevados de nitrato pueden provocar condiciones como la metahemoglobinemia.

Al observar las barras azules, se evidencia que ninguna de las muestras supera el límite de 10 mg/L. Sin embargo, la muestra P26 presenta la concentración más elevada entre todas, acercándose al umbral sin rebasarlo. Este valor, aunque dentro de los parámetros aceptables, podría indicar una presión ambiental localizada, posiblemente relacionada con actividades agrícolas, infiltración de fertilizantes o aguas residuales.

Por lo tanto, se recomienda realizar un seguimiento periódico en este punto, ya que una tendencia al alza podría comprometer la calidad del agua en el futuro. Además, sería útil complementar este análisis con parámetros como nitritos, coliformes y conductividad eléctrica para evaluar la posible fuente de los nitratos y su relación con el uso del suelo en Zambrana.

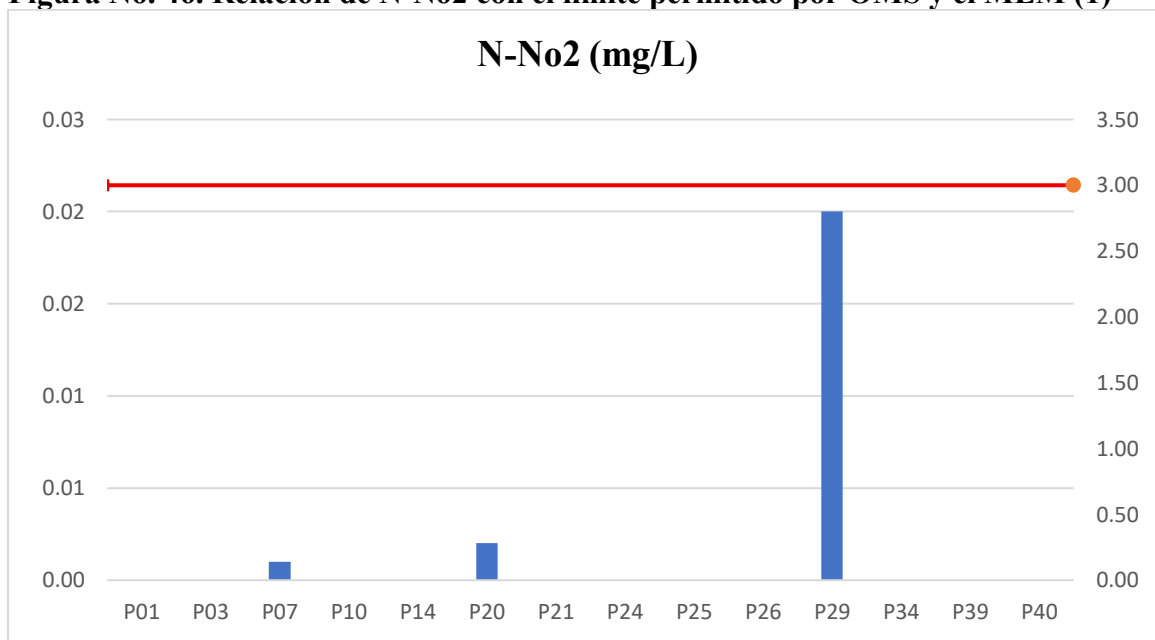
Figura No. 45. Relación de N-No₃ con el límite permitido por OMS y el MEM (2)

Fuente: Resultados de análisis físico-químicos y normas de calidad OMS y MEM, 2025.

En cuanto a la figura No. 45, muestra los niveles de concentración de nitrato como nitrógeno (N-NO₃) en miligramos por litro (mg/L) para 11 muestras de agua subterránea identificadas como P44, P48, P49, P52, P53, P55, P56, P58, P60, P61 y P64. La línea roja horizontal marcada en 10.00 mg/L. Este umbral busca prevenir efectos adversos en la salud, como la metahemoglobinemia infantil, y sirve como indicador de posibles fuentes de contaminación por fertilizantes, aguas residuales o infiltraciones agrícolas.

Se observa que ninguno de los valores supera el límite de 10 mg/L. La muestra P61 presenta la concentración más elevada dentro del conjunto, pero aún se mantiene por debajo del umbral establecido. Esto indica que, en el momento del muestreo, no hay evidencia de contaminación significativa por nitratos en estas ubicaciones.

No obstante, el valor relativamente alto en P61 sugiere la necesidad de monitoreo continuo, especialmente si está ubicada en una zona de uso agrícola intensivo o cerca de fuentes potenciales de contaminación. Este tipo de vigilancia preventiva es clave para garantizar la seguridad del agua a largo plazo y anticipar posibles incrementos que puedan comprometer su calidad.

Figura No. 46. Relación de N-No2 con el límite permitido por OMS y el MEM (1)

Fuente: Resultados de análisis físicos-químicos y normas de calidad OMS y MEM, 2025.

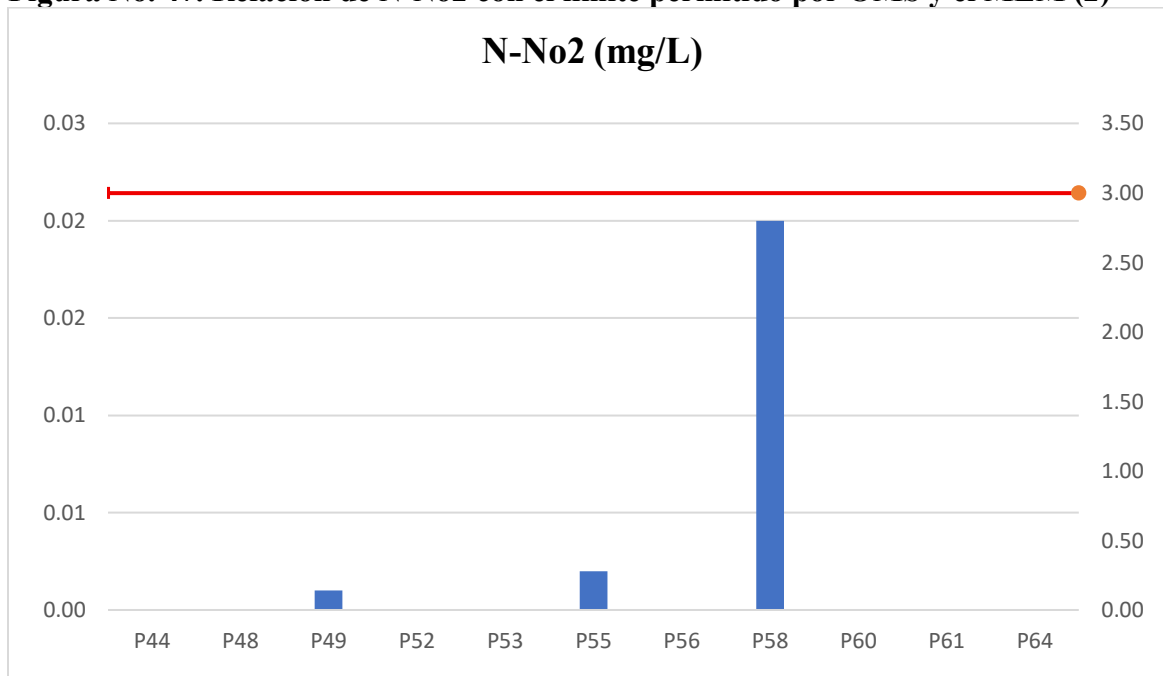
Según la figura No. 46, sobre los resultados y comparación del N-No2 (mg/L), presenta los niveles de nitrito como nitrógeno en 15 muestras de agua subterránea, identificadas como P01, P03, P07, P10, P14, P20, P21, P24, P25, P26, P29, P34, P39 y P40. La línea roja horizontal ubicada en 0.02 mg/L representa el límite máximo permitido. Este parámetro es crítico, ya que concentraciones elevadas de nitritos pueden indicar procesos de contaminación reciente por materia orgánica, y están asociados a riesgos como la metahemoglobinemia en lactantes.

Al observar los resultados, se destaca que la muestra P29 supera claramente el límite de 0.02 mg/L, alcanzando un valor cercano a 0.03 mg/L en la escala izquierda y aproximadamente 3.00 en la escala derecha del gráfico. Este valor representa una alerta sanitaria, ya que indica una posible contaminación activa en ese punto, posiblemente relacionada con infiltración de aguas residuales, lixiviados o actividad humana cercana.

En ese mismo orden, las demás muestras se mantienen por debajo del límite establecido, lo cual es positivo, pero el caso de P29 requiere una investigación más profunda, incluyendo análisis complementarios de coliformes fecales, amonio y parámetros microbiológicos, además de un seguimiento continuo para evaluar la evolución

del contaminante. Este hallazgo también puede ser útil para orientar acciones de remediación o control en el área de influencia del pozo P29.

Figura No. 47. Relación de N-No2 con el límite permitido por OMS y el MEM (2)



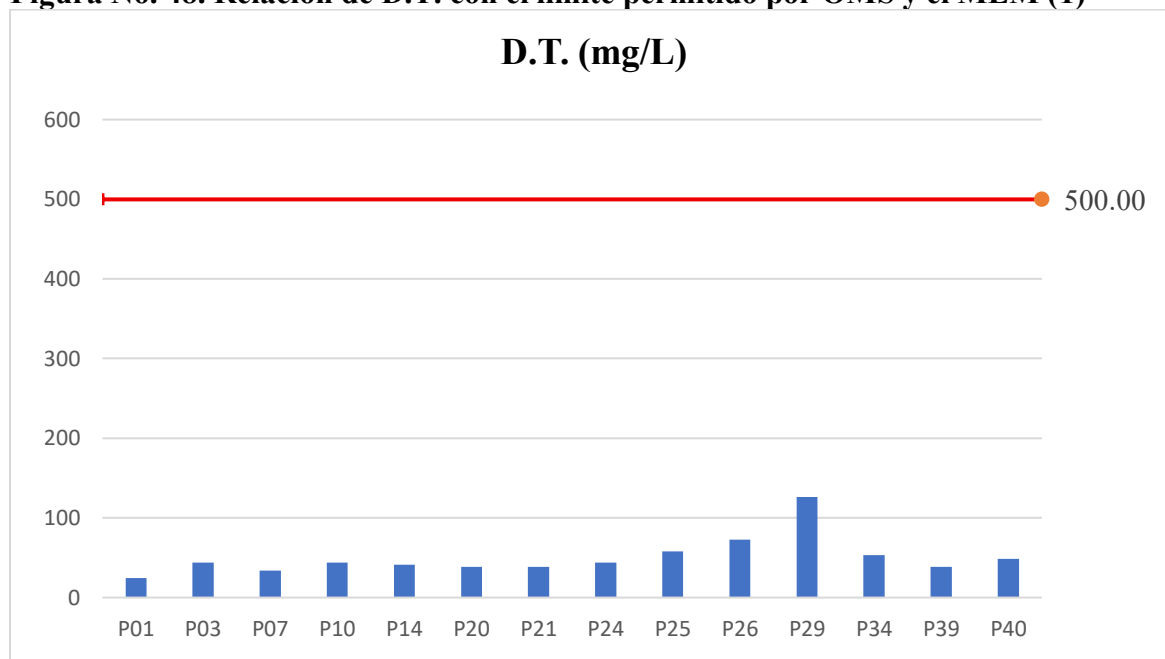
Fuente: Resultados de análisis físico-químicos y normas de calidad OMS y MEM, 2025.

En lo referido a la figura No. 47, muestra las concentraciones de Nitrito-Nitrógeno (N-NO₂) en miligramos por litro (mg/L) en once puntos de muestreo de aguas subterráneas en Zambrana. La línea roja horizontal representa el límite máximo permitido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Ministerio de Medio Ambiente de la República Dominicana, establecido en 0.02 mg/L para aguas destinadas al consumo humano. La mayoría de los puntos analizados (P44, P48, P49, P52, P53, P55, P56, P60, P61 y P64) presentan concentraciones muy por debajo de este umbral, lo que indica que en esos sitios el agua cumple con los estándares de calidad establecidos para nitritos.

Sin embargo, el punto de muestreo P58 destaca significativamente por presentar una concentración que alcanza el valor límite de 0.02 mg/L, justo en el umbral permitido. Aunque no lo supera, su proximidad al límite sugiere la necesidad de vigilancia preventiva, ya que pequeñas variaciones podrían implicar un incumplimiento en futuras mediciones. Este resultado podría estar asociado a procesos de contaminación puntual, como infiltración de aguas residuales o lixiviados, por lo que se recomienda una evaluación más

detallada del entorno hidrogeológico de ese pozo y un monitoreo continuo para garantizar la seguridad del recurso hídrico en esa zona.

Figura No. 48. Relación de D.T. con el límite permitido por OMS y el MEM (1)



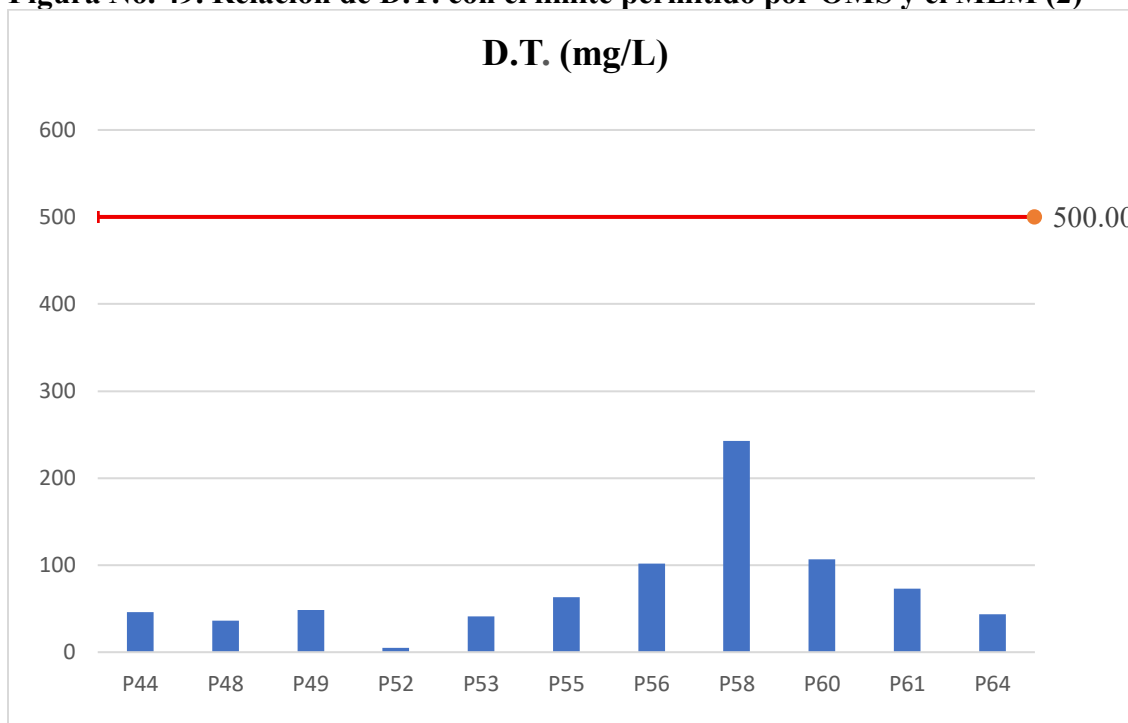
Fuente: Resultados de análisis físicos-químicos y normas de calidad OMS y MEM, 2025.

La figura No. 48, presenta los niveles de D.T. (dureza total) en catorce puntos de muestreo de aguas subterráneas, expresados en miligramos por litro (mg/L). La línea roja horizontal marca el límite máximo permitido de 500 mg/L, según los estándares de calidad establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Ministerio de Medio Ambiente de la República Dominicana. Se evidencia que todos los puntos de muestreo se encuentran muy por debajo de este umbral. El punto con la concentración más alta es P29, que apenas supera los 100 mg/L, mientras que el resto oscila entre valores considerablemente más bajos, lo que indica una baja carga de sólidos disueltos en estas muestras.

Este resultado sugiere que, en términos de D.T., las aguas subterráneas analizadas son aptas para el consumo humano y no presentan indicios de contaminación significativa por sales o minerales disueltos. La ausencia de valores que superen el límite establecido refuerza la calidad del recurso hídrico en estos puntos, aunque es recomendable mantener un monitoreo periódico para detectar posibles variaciones en el tiempo, especialmente en

zonas con actividad minera o agrícola cercana. Además, el hecho de que ningún punto se acerque siquiera al límite indica una condición hidroquímica estable, lo cual es favorable desde el punto de vista de la gestión ambiental y sanitaria.

Figura No. 49. Relación de D.T. con el límite permitido por OMS y el MEM (2)



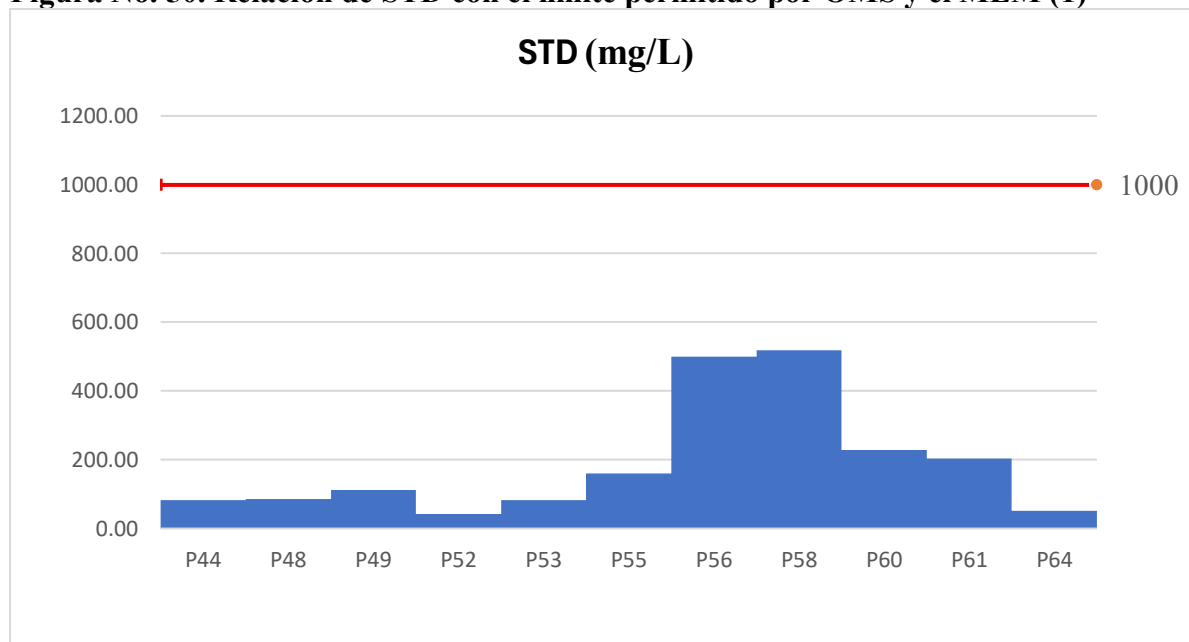
Fuente: Resultados de análisis físicos-químicos y normas de calidad OMS y MEM, 2025.

La figura No. 49, resalta las concentraciones de D.T. en once puntos de muestreo de aguas subterráneas, expresadas en miligramos por litro (mg/L). La línea roja horizontal indica el límite máximo permitido de 500 mg/L. Se puede constatar que ninguno de los puntos supera dicho umbral. El punto de muestreo P58 presenta la concentración más elevada, ligeramente superior a los 200 mg/L, mientras que los demás se mantienen por debajo de los 150 mg/L.

Este patrón sugiere que, en términos de sólidos disueltos totales, las aguas subterráneas analizadas son aptas para el consumo humano y no presentan indicios de contaminación significativa por sales, minerales o compuestos disueltos. Aunque ningún valor se acerca peligrosamente al límite, el caso de P58 merece atención preventiva, especialmente si se encuentra en una zona con actividad antropogénica relevante como minería o agricultura intensiva. Se recomienda mantener un monitoreo periódico para

detectar posibles incrementos en la carga de sólidos disueltos, lo cual podría comprometer la potabilidad del agua en el futuro. Además, estos resultados refuerzan la importancia de preservar las condiciones hidrogeológicas actuales que favorecen la buena calidad del recurso hídrico.

Figura No. 50. Relación de STD con el límite permitido por OMS y el MEM (1)



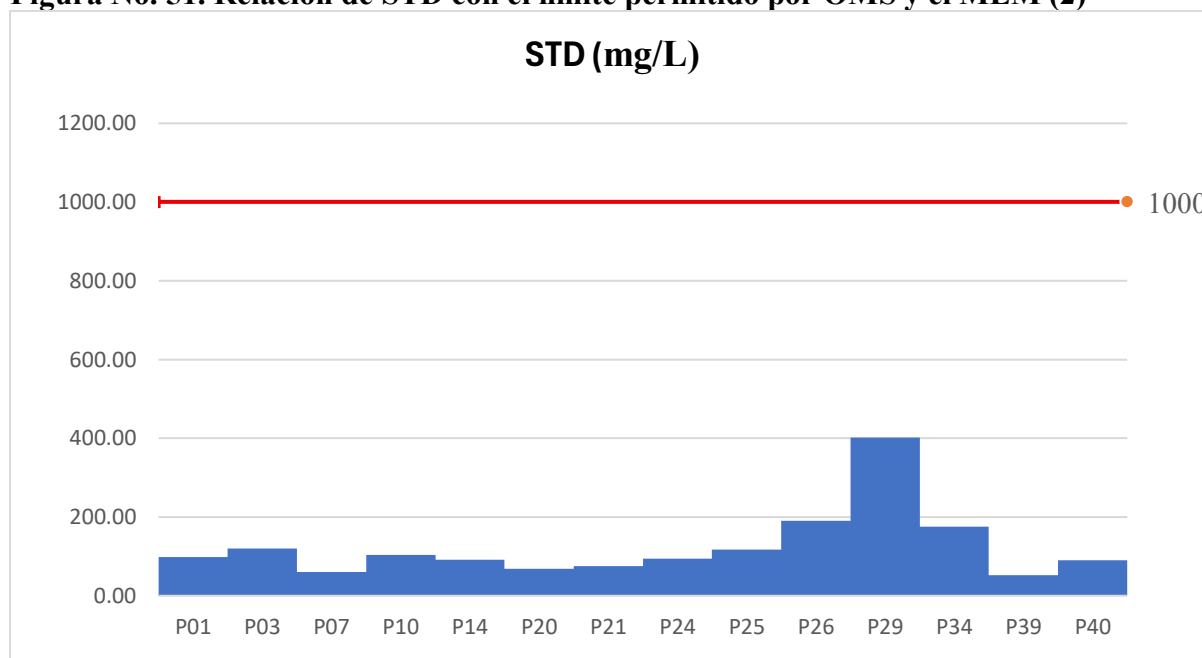
Fuente: Resultados de análisis físicos-químicos y normas de calidad OMS y MEM, 2025.

La figura No. 50, resalta los niveles de S.D.T. (sólidos disueltos totales) en once puntos de muestreo de aguas subterráneas, expresados en miligramos por litro (mg/L). La línea roja horizontal indica el límite máximo permitido de 1000 mg/L. Se revela que todos los puntos de muestreo se encuentran por debajo de este umbral. Los valores más elevados se registran en los puntos P56 y P58, ambos cercanos a los 400 mg/L, mientras que el resto de los puntos presentan concentraciones significativamente menores.

Este patrón indica que, en términos de sólidos disueltos totales, las aguas subterráneas analizadas son aptas para el consumo humano y no presentan indicios de contaminación por sales, minerales o compuestos disueltos en niveles preocupantes. Aunque los puntos P56 y P58 muestran valores relativamente altos en comparación con los demás, aún se mantienen dentro del rango aceptable, lo que sugiere una posible influencia geológica o antrópica localizada que merece seguimiento. Se recomienda mantener un monitoreo

periódico, especialmente en estos dos puntos, para detectar posibles tendencias al alza que pudieran comprometer la calidad del agua en el futuro. Además, estos resultados refuerzan la importancia de preservar las condiciones hidrogeológicas actuales que favorecen la buena calidad del recurso hídrico en Zambrana.

Figura No. 51. Relación de STD con el límite permitido por OMS y el MEM (2)



Fuente: Resultados de análisis físicos-químicos y normas de calidad OMS y MEM, 2025.

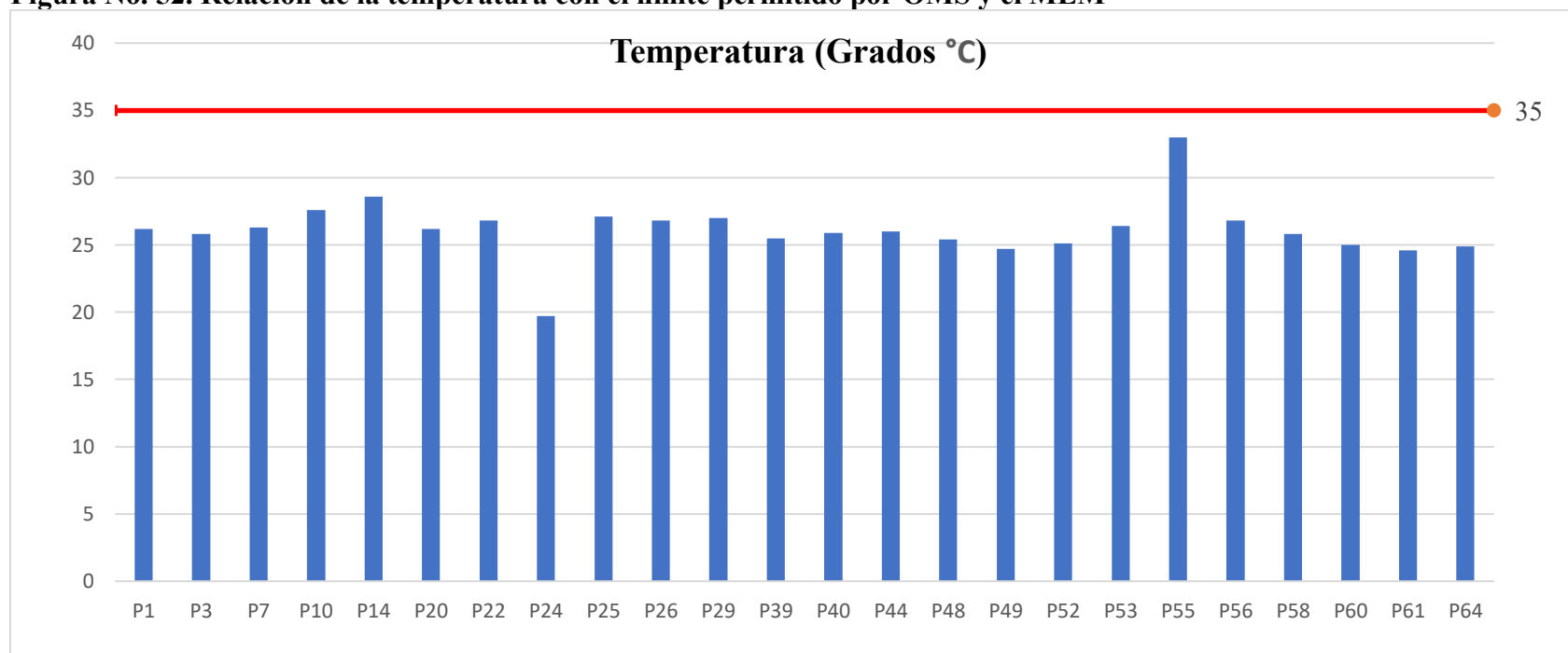
En lo relacionado a la figura No. 51, donde se presentan las concentraciones de S.D.T. en catorce puntos de muestreo de aguas subterráneas, expresadas en miligramos por litro (mg/L). La línea roja horizontal indica el valor límite permitido de 1000 mg/L. Se destaca que todos los puntos de muestreo se encuentran por debajo de este umbral. El punto con la concentración más elevada es P29, que se aproxima a los 400 mg/L, mientras que los demás presentan valores considerablemente más bajos, lo que sugiere una baja carga de sólidos disueltos en estas muestras.

Este resultado indica que, en términos de S.D.T., las aguas subterráneas analizadas son aptas para el consumo humano y no presentan indicios de contaminación significativa por sales, minerales o compuestos disueltos. Aunque ningún punto supera el límite establecido, el caso de P29 merece atención preventiva, ya que su valor es notablemente

más alto que el resto, lo que podría reflejar condiciones hidrogeológicas particulares o influencia de actividades humanas en la zona. Se recomienda mantener un monitoreo periódico, especialmente en los puntos con valores más elevados, para detectar posibles tendencias al alza que pudieran comprometer la calidad del agua en el futuro. Estos resultados refuerzan la importancia de preservar las condiciones actuales que favorecen la buena calidad del recurso hídrico en Zambrana.

En lo relacionado a la turbidez (NTU) es un parámetro que en la mayoría de los pozos no fue detectada, y en algunos pozos los valores fueron muy bajos para considerar hacer línea base. En lo que respecta CE, Ca^{+2} , Mg, CO_3 , HCO_3 , PO_4 Orto, Alc. y RAS, la OMS no tiene establecido un valor límite, además son parámetros que su concentración no influye en que las aguas subterráneas puedan hacer daño a la salud, y en ese mismo orden, los valores obtenidos han sido bastante bajos.

Figura No. 52. Relación de la temperatura con el límite permitido por OMS y el MEM

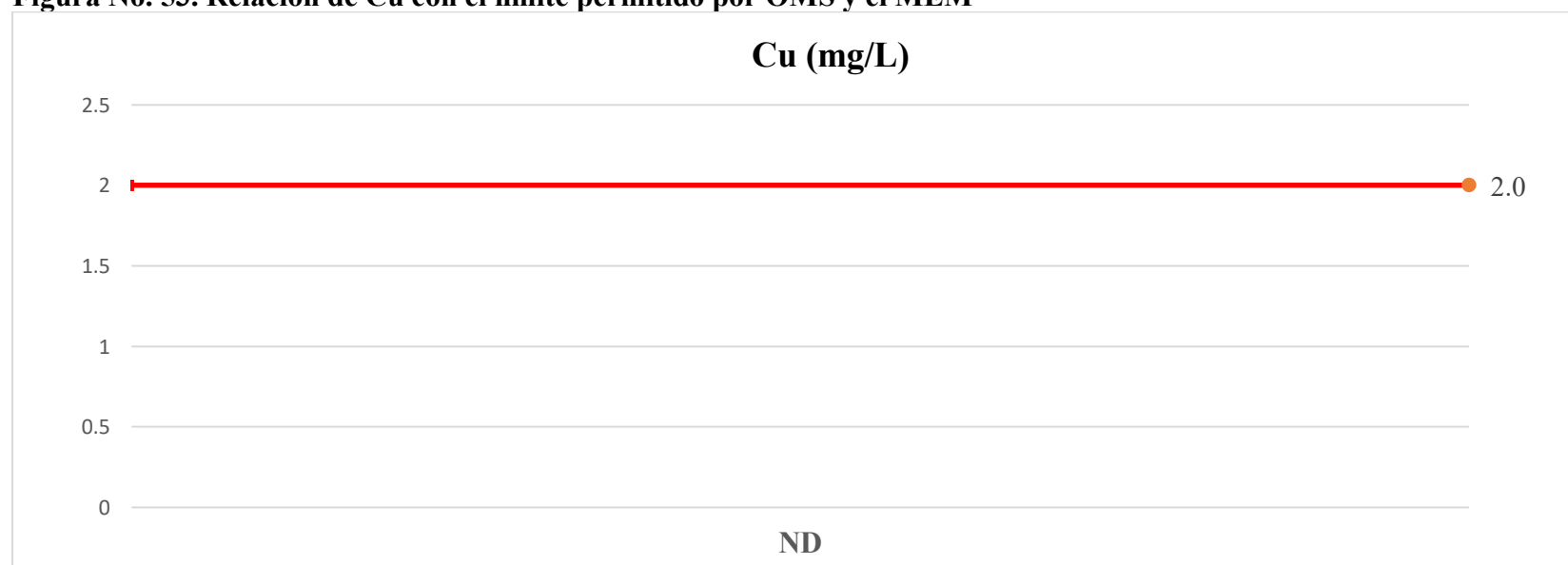


Fuente: Resultados de análisis de metales pesados y normas de calidad OMS y MEM, 2025.

La figura No. 52, presenta los valores de temperatura registrados en múltiples puntos de muestreo de aguas subterráneas, expresados en grados Celsius (°C). La línea roja horizontal marca el límite máximo permitido de 35 °C, conforme a los estándares de calidad establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Ministerio de Medio Ambiente de la República Dominicana para aguas destinadas al consumo humano. Al observar las barras azules, se evidencia que todos los puntos de muestreo se encuentran por debajo de este umbral. Las temperaturas oscilan entre aproximadamente 20 °C y poco más de 30 °C, lo que indica condiciones térmicas estables y dentro del rango aceptable para la potabilidad.

Ninguno de los puntos supera el límite de 35 °C, lo que sugiere que no hay indicios de procesos geotérmicos intensos ni de contaminación térmica en el área evaluada. Sin embargo, algunos puntos se acercan a los 30 °C, lo cual podría estar relacionado con características hidrogeológicas locales, como profundidad del acuífero o proximidad a zonas de recarga superficial. Aunque no se detectan incumplimientos normativos, se recomienda mantener un monitoreo continuo, especialmente en los puntos con temperaturas más elevadas, ya que variaciones térmicas pueden influir en la solubilidad de compuestos químicos y en la actividad microbiológica del agua. Estos resultados refuerzan la estabilidad térmica del sistema acuífero en Zambrana y su aptitud para el abastecimiento humano

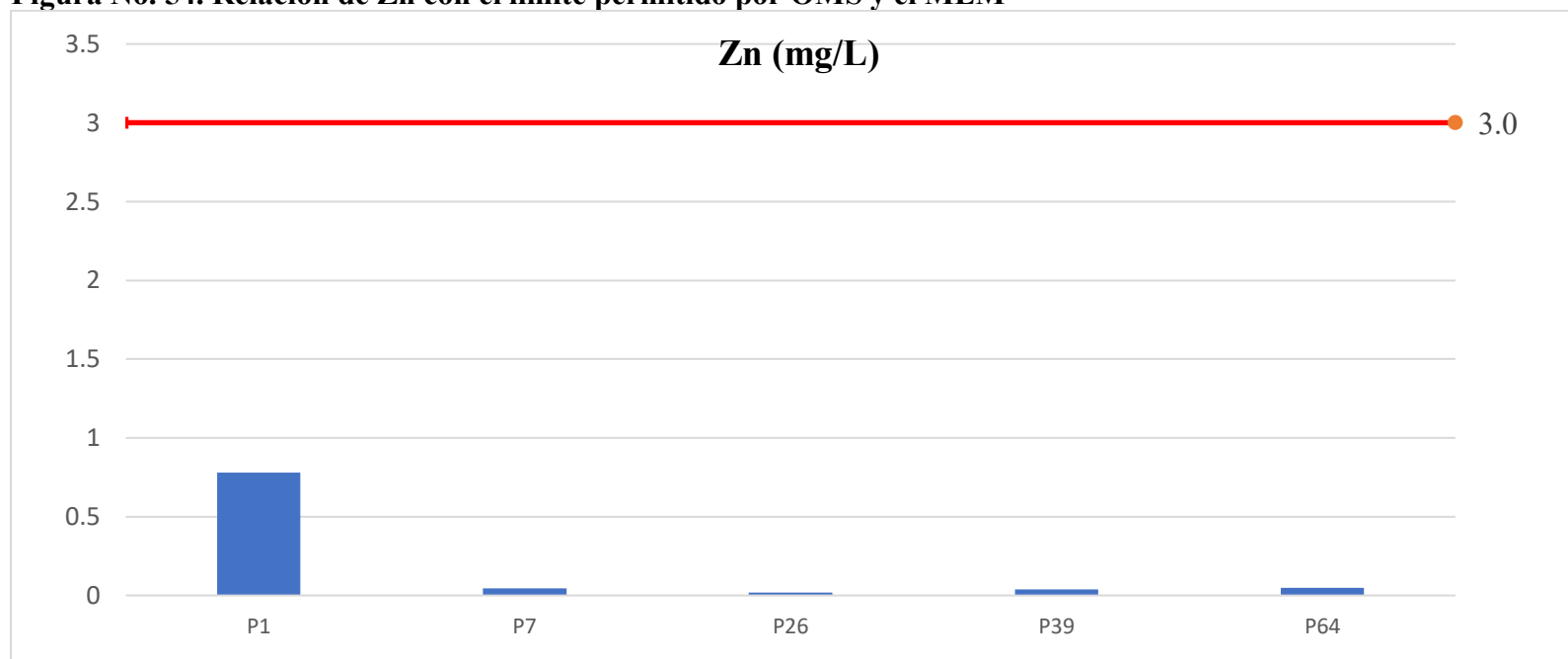
Figura No. 53. Relación de Cu con el límite permitido por OMS y el MEM



Fuente: Resultados de análisis de metales pesados y normas de calidad OMS y MEM, 2025.

Los equipos de laboratorio no pudieron detectar contenido de cobre en las muestras analizadas.

Figura No. 54. Relación de Zn con el límite permitido por OMS y el MEM

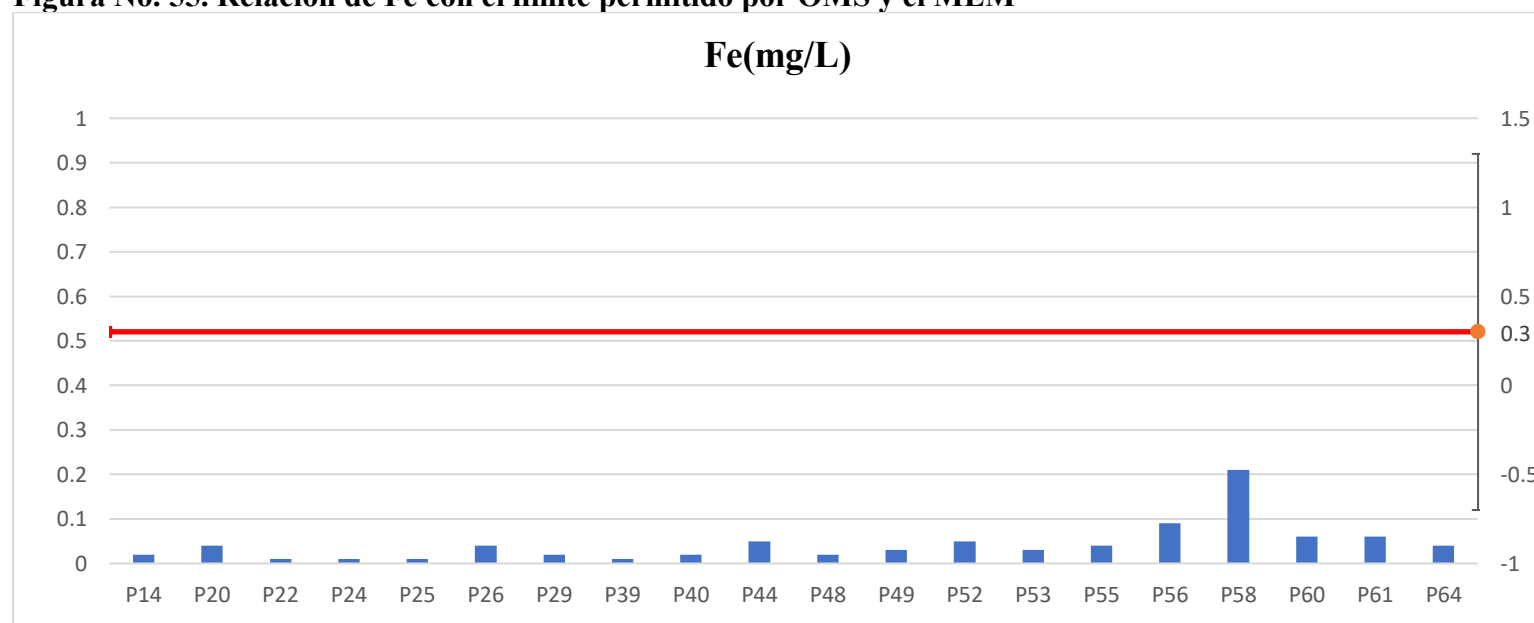


Fuente: Resultados de análisis de metales pesados y normas de calidad OMS y MEM, 2025.

En la figura No. 54, se evidencia las concentraciones de zinc (Zn) en cinco puntos de muestreo de aguas subterráneas, expresadas en miligramos por litro (mg/L). La línea roja horizontal indica el límite máximo permitido de 3.0 mg/L, según las normas de calidad establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Ministerio de Medio Ambiente de la República Dominicana para aguas destinadas al consumo humano. Al observar las barras azules, se evidencia que todos los puntos de muestreo (P1, P7, P26, P39 y P64) presentan concentraciones muy por debajo de este umbral. El punto con la concentración más elevada es P1, con un valor ligeramente superior a 0.6 mg/L, mientras que los demás se mantienen cercanos a cero.

Este resultado indica que, en términos de contenido de zinc, las aguas subterráneas analizadas son aptas para el consumo humano y no presentan indicios de contaminación por este metal pesado. La baja concentración observada en todos los puntos sugiere una condición hidroquímica favorable y una limitada influencia de fuentes antropogénicas o naturales que pudieran elevar los niveles de zinc. No obstante, se recomienda mantener un monitoreo periódico, especialmente en zonas cercanas a actividades mineras o industriales, para asegurar que estos niveles se mantengan dentro de los rangos aceptables y prevenir posibles incrementos que pudieran comprometer la calidad del recurso hídrico.

Figura No. 55. Relación de Fe con el límite permitido por OMS y el MEM

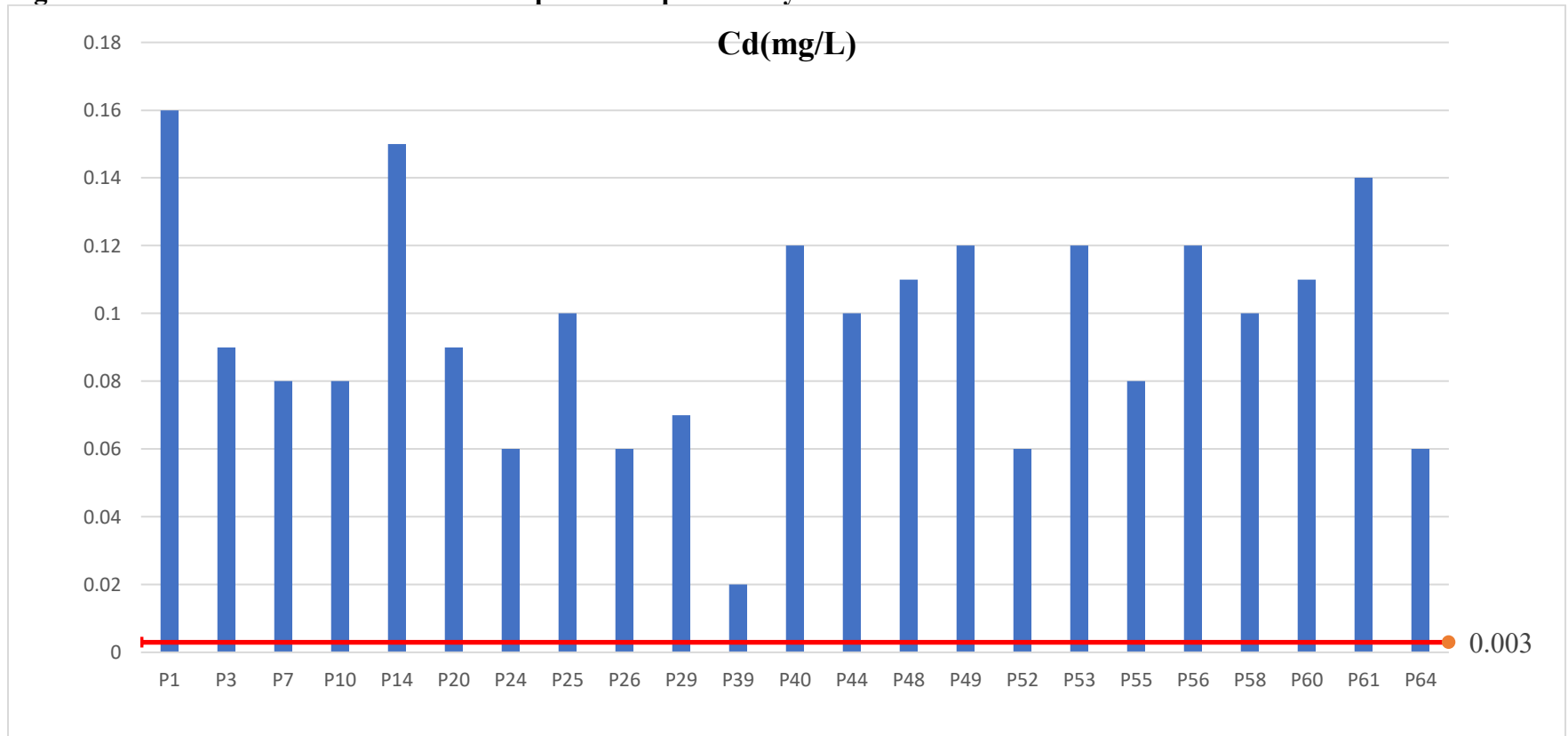


Fuente: Resultados de análisis de metales pesados y normas de calidad OMS y MEM, 2025.

La figura presenta las concentraciones de hierro (Fe) en veinte puntos de muestreo de aguas subterráneas, expresadas en miligramos por litro (mg/L). La línea roja horizontal indica el límite máximo permitido de 0.5 mg/L. Se destaca claramente el punto P58, cuya concentración supera visiblemente dicho umbral, lo que representa un incumplimiento de los estándares de potabilidad. El resto de los puntos se mantienen por debajo del límite, con valores que oscilan entre niveles cercanos a cero y aproximadamente 0.3 mg/L.

La presencia de hierro por encima del límite en el punto P58 podría estar asociada a procesos de lixiviación natural de minerales ferrosos o a influencia de actividades humanas como la minería o el uso de materiales metálicos en infraestructura hidráulica. Este hallazgo requiere atención inmediata, ya que concentraciones elevadas de hierro pueden afectar el sabor, color y calidad del agua, además de favorecer la proliferación de bacterias ferrosas en sistemas de distribución. Se recomienda realizar una evaluación hidrogeológica más detallada en el entorno del punto P58, implementar medidas correctivas si es necesario, y establecer un monitoreo continuo para prevenir riesgos a la salud y garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico en la zona.

Figura No. 56. Relación de Cd con el límite permitido por OMS y el MEM



Fuente: Resultados de análisis de metales pesados y normas de calidad OMS y MEM, 2025.

En cuanto a la figura No. 56, presenta las concentraciones de cadmio (Cd) en veintitrés puntos de muestreo de aguas subterráneas, expresadas en miligramos por litro (mg/L). La línea roja horizontal indica el límite máximo permitido de 0.003 mg/L, según las normas de calidad establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Ministerio de Medio Ambiente de la República Dominicana para aguas destinadas al consumo humano. Al observar los resultados, se comprueba que la gran mayoría de los puntos analizados superan ampliamente este umbral. Algunos puntos, como P29, P26, P25 y P20, presentan concentraciones que oscilan entre 0.12 y 0.18 mg/L, lo que representa entre 40 y 60 veces el valor límite permitido.

Este patrón revela una situación crítica en términos de contaminación por cadmio, un metal pesado altamente tóxico que puede tener efectos adversos sobre la salud humana, incluyendo daño renal, óseo y efectos carcinogénicos. La presencia generalizada de niveles elevados sugiere una fuente de contaminación persistente, posiblemente vinculada a actividades mineras, uso de fertilizantes fosfatados o disposición inadecuada de residuos industriales. Se recomienda una intervención urgente que incluya la identificación de las fuentes de contaminación, la implementación de medidas correctivas y el establecimiento de un programa de monitoreo intensivo. Además, debe considerarse la restricción del uso de estas fuentes de agua para consumo humano hasta que se garantice su calidad conforme a los estándares internacionales.

CAPÍTULO V: CONSIDERACIONES FINALES

5.1 Conclusiones

De acuerdo con el objetivo de identificar los principales puntos de captación de agua subterránea en el área de influencia minera y medir su nivel freático, los resultados del estudio permiten evidenciar una distribución espacial diversa y compleja del recurso hídrico en el Distrito Municipal de Zambrana. Los pozos muestreados, concentrados principalmente en zonas de menor elevación, áreas de alta permeabilidad y formaciones aluviales, representan los puntos clave de recarga y captación de agua subterránea. Sin embargo, también se identificaron zonas con pozos no muestreados, muchas de estos en áreas de difícil acceso o con menor prioridad hidrogeológica, lo que limita la cobertura y el conocimiento completo del sistema acuífero en toda la región.

El análisis del nivel freático revela una variabilidad significativa, con profundidades que oscilan desde aproximadamente 70 m hasta más de 150 m, dependiendo de la ubicación y las condiciones geológicas. La cercanía de muchos pozos a la superficie en ciertas áreas favorece la recarga, pero también aumenta la vulnerabilidad del acuífero a contaminaciones, especialmente en zonas de alta permeabilidad, donde la infiltración rápida puede facilitar la entrada de agentes contaminantes provenientes de actividades humanas, incluyendo residuos y agentes tóxicos asociados a operaciones mineras.

La relación entre la geología y el sistema hidrogeológico indica que las formaciones cuaternarias, como aluviones y terrazas, facilitan la recarga y almacenamiento del agua, mientras que las rocas metamórficas y algunas unidades del Cretácico y Paleógeno muestran menor permeabilidad, afectando la disponibilidad y calidad del recurso hídrico en esas áreas.

La proximidad de los puntos de captación a cuerpos de agua superficial y zonas de alta permeabilidad, junto con la presencia de actividades mineras, como las de Barrick Pueblo Viejo, incrementa el riesgo de contaminación del agua subterránea. Esto es especialmente preocupante, dado que muchas comunidades dependen de estos pozos para su consumo humano, y cualquier alteración en la calidad del agua puede tener efectos

directos en la salud pública, incrementando la incidencia de enfermedades transmitidas por agua contaminada.

En cumplimiento con el objetivo de realizar muestreos físicos y químicos en los diferentes puntos de captación de aguas subterráneas, los análisis realizados evidencian que las aguas en las zonas estudiadas mantienen características químicas y físicas dentro de los límites considerados seguros y aptos para el consumo humano, tomando en cuenta la influencia de la minería. Los parámetros evaluados, como pH, turbidez, conductividad eléctrica, sólidos disueltos y concentración de iones principales indican que el agua presenta una calidad neutra, con buena condición física, baja presencia de partículas suspendidas y niveles aceptables de minerales y sales.

Asimismo, los indicadores de contaminación, como nitratos, nitritos y fosfatos, se encuentran en niveles mínimos, lo que sugiere que no existe contaminación derivada de fertilizantes o aguas residuales en los puntos muestreados. Estos resultados son alentadores, ya que reflejan que las aguas subterráneas en Zambrana están en condiciones de mantener su calidad, asegurando su uso seguro para fines domésticos y agrícolas. Sin embargo, dado que estas condiciones pueden variar con el tiempo debido a actividades humanas o fenómenos naturales, se recomienda establecer un programa de monitoreo periódico. Esta vigilancia permitirá detectar posibles cambios en la calidad del agua y tomar acciones preventivas oportunas, garantizando la protección de las aguas subterráneas y su sostenibilidad a largo plazo.

Con base en los resultados obtenidos y en el objetivo de los muestreos de metales pesados en las aguas subterráneas del Distrito Municipal de Zambrana, se concluye que, en general, los niveles de zinc, hierro y cobre se mantienen dentro de los rangos considerados seguros para el consumo de los comunitarios, lo que indica un bajo riesgo de afectación a la salud de la población, aun cuando estos pozos están próximos a la actividad minera de Barrick Pueblo Viejo. Sin embargo, la detección de cadmio en varias muestras, superando ampliamente los límites establecidos por la OMS, representa una grave preocupación, ya que este metal tóxico puede acumularse en el organismo y generar efectos adversos a largo plazo, como daños en los riñones, huesos y otros órganos, afectando directamente la salud de los comunitarios.

Además, la presencia de cadmio en las aguas subterráneas puede indicar una contaminación localizada, posiblemente relacionada con actividades mineras o industriales en la zona, que requiere atención urgente. Estos hallazgos enfatizan la importancia de fortalecer las acciones de control y monitoreo ambiental para prevenir riesgos a la salud pública y garantizar la calidad del agua en beneficio de toda la comunidad.

La percepción de los comunitarios de la zona impactada revela una conciencia significativa acerca de los efectos de la actividad minera en las aguas subterráneas, aunque las opiniones y experiencias varían. La mayoría de los encuestados considera que la minería ha tenido alguna influencia en la calidad y disponibilidad del recurso hídrico, y muchos han notado cambios en las características del agua o en su funcionamiento. Sin embargo, también existe un importante nivel de incertidumbre y desconocimiento respecto a la magnitud y las causas de estos impactos, reflejado en la percepción de que no se ha recibido suficiente orientación o información de las autoridades, empresas o instituciones responsables.

La comunidad muestra interés en fortalecer la vigilancia, la participación y la transparencia en la gestión del agua, priorizando el monitoreo constante y la difusión de información clara. En general, los resultados indican una percepción de vulnerabilidad y preocupación, pero también una disposición a colaborar y mejorar la gestión del recurso hídrico en un contexto de influencia minera.

De acuerdo con los resultados de los muestreos de agua subterránea realizados en Zambrana, se puede concluir que, en términos generales, la calidad hidroquímica del recurso se encuentra dentro de los límites permisibles establecidos por la normativa dominicana e internacional, lo que sugiere condiciones favorables para el consumo y el uso agrícola. En particular, parámetros como el pH, sólidos disueltos, sodio, cloruros, sulfatos, nitratos y temperatura permanecen dentro de los rangos aceptables, lo cual indica una buena calidad del agua y la ausencia de contaminación significativa en la mayoría de las muestras.

No obstante, la presencia de niveles elevados de hierro en ciertas muestras puede afectar la potabilidad y causar problemas estéticos y de salud a largo plazo, especialmente en personas con condiciones de salud preexistentes. Más preocupante aún, se detectaron

concentraciones de cadmio que superan ampliamente los límites permitidos por la normativa, señalando una fuente de contaminación potencialmente antropogénica que podría representar un riesgo grave para la salud de los comunitarios, dado que el cadmio es un metal tóxico asociado con daños renales, óseos y potencial carcinogénico.

Es importante destacar que, aunque otros parámetros permanecen en niveles aceptables, su proximidad a los límites requiere un monitoreo periódico y riguroso. La tendencia de aumento en concentraciones de ciertos contaminantes, si no se controla, puede comprometer la calidad del agua y, en consecuencia, la salud pública. La presencia de estos contaminantes en el recurso subterráneo no solo afecta la potabilidad del agua, sino que también puede tener efectos acumulativos y adversos a largo plazo en la comunidad, especialmente en poblaciones vulnerables como niños, ancianos y personas con enfermedades crónicas.

5.2 Recomendaciones

A las Autoridades Nacionales y Locales (Universidad tecnológica del Cibao Oriental (UTECO), Servicio Geológico Nacional, Ministerio de Medio Ambiente, INDRHI): Implementar un programa de monitoreo periódico y sistemático de la calidad del agua subterránea en la zona, incluyendo análisis de metales pesados y parámetros físicos y químicos, para detectar oportunamente cambios en la calidad y prevenir riesgos a la salud pública y al medio ambiente.

A Barrick Pueblo Viejo: Establecer y fortalecer las medidas de control ambiental y gestión de residuos en las actividades mineras, asegurando la reducción de emisiones y posibles fuentes de contaminación por cadmio y otros metales pesados, además de colaborar en la financiación y ejecución de proyectos de monitoreo y remediación en la zona.

A los comunitarios del Distrito Municipal de Zambrana: Fomentar la participación activa en programas de vigilancia comunitaria del recurso hídrico, promoviendo la capacitación en reconocimiento de cambios en la calidad del agua y en prácticas de

conservación, además de exigir mayor transparencia y comunicación de las autoridades y empresas sobre las actividades que puedan afectar el recurso.

A futuros investigadores de las aguas subterráneas de esa zona: Desarrollar investigaciones interdisciplinarias que profundicen en las fuentes de contaminación, especialmente del cadmio y otros metales pesados que no se pudieron analizar como Arsénico (As), Plomo (Pb), Mercurio (Hg), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Manganeseo (Mn), Selenio (Se) y Uranio (U), y otros que se tendrían que repetir como el Cobre (Cu) y Zinc (Zn), y los análisis biológicos en la dinámica hidrogeológica del área, para diseñar estrategias de mitigación y manejo sostenibles que aseguren la calidad y disponibilidad del agua a largo plazo.

A todos los actores involucrados: Promover la creación de una mesa de diálogo multisectorial que incluya autoridades, empresas, comunidades y académicas, con el fin de coordinar acciones, compartir información, definir prioridades y establecer un plan integral de gestión del recurso hídrico que garantice la protección del medio ambiente y la salud pública.

Referencias

- American Public Health Association (APHA). (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater (23rd ed.). American Public Health Association.
- American Public Health Association (APHA). (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.). APHA.
- Britannica. (2020). Redox potential. <https://www.britannica.com/science/redox-potential>
- Britannica. (2022). Parts per million. <https://www.britannica.com/science/parts-per-million>
- Britannica. (2023). Salinity. <https://www.britannica.com/science/salinity>
- Castillo, R., Pérez, M., & Gómez, A. (2022). Tecnologías sostenibles para la remediación de aguas contaminadas por minería en República Dominicana. *Revista de Tecnología y Medio Ambiente*, 5(1), 55-70.
- CONAGUA. (2020). Ley de aguas nacionales. Comisión Nacional del Agua. <https://www.gob.mx/conagua>
- EPA. (2021). Guidelines for water sample collection. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov>
- Fernández, A., & Morales, R. (2021). Impacto de las actividades mineras en la calidad del agua subterránea: una revisión de casos en América Latina. *Revista de Estudios Ambientales*, 45(2), 123-135. <https://doi.org/10.1234/rev.a.v45i2.5678>
- Fernández, A., & Pérez, L. (2020). Impacto de la minería en la calidad del agua en el norte de República Dominicana. *Revista de Ciencias Ambientales y Mineras*, 15(2), 45-60.
- Fernández, A., & Pérez, M. (2023). Gestión hídrica en minería: avances y desafíos. *Revista de Recursos Naturales*, 12(3), 45-58.
- Fetter, C. W. (2018). *Applied Hydrogeology*. 4th Edition. Pearson Education.
- García, J. R., & López, M. (2021). Gestión sostenible de aguas subterráneas en zonas urbanas. *Revista Internacional de Recursos Hídricos*, 35(2), 45-60. DOI:10.1234/rh.2021.03502
- García, L., Pérez, M., & Rodríguez, A. (2019). Contaminación por metales pesados en aguas subterráneas relacionadas con actividades mineras. *Revista de Ciencias Ambientales*, 45(2), 123-135.
- García, M., & Pérez, R. (2019). Análisis de la legislación ambiental y su cumplimiento en la protección de recursos hídricos en República Dominicana. *Revista Jurídica Ambiental*, 8(1), 23-38.

- García, P., López, R., & Martínez, A. (2019). Monitoreo de la calidad del agua subterránea mediante muestreos periódicos en zonas urbanas. *Revista de Ciencias Ambientales*, 45(2), 123-134.
- García, P., Rodríguez, M., & Fernández, L. (2020). Impacto de la minería en la contaminación de acuíferos en Bolivia. *Environmental Pollution*, 267, 115615. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115615>
- García, P., Sánchez, M., & Díaz, L. (2020). Evaluación del efecto de la minería sobre los recursos hídricos en regiones áridas. *Journal of Environmental Management*, 250, 109-115. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.109115>
- García, P., Sánchez, R., & Torres, L. (2020). Gestión de acuíferos y captación de agua subterránea. *Revista Hidrogeológica*, 15(2), 45-60. <https://doi.org/10.1234/rh.2020.15245>
- García, R., Pérez, L., & Sánchez, M. (2021). Normativa internacional y nacional para la protección de aguas subterráneas. *Revista Ambiental*, 34(2), 45-55.
- Gobierno de la República Dominicana. (2000). Ley No. 64-00, Ley General de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Santo Domingo: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Gómez, A., & Pérez, M. (2023). Tecnologías emergentes en el tratamiento de agua potable. *Revista Internacional de Saneamiento y Agua*, 14(1), 45-60. DOI:10.9101/risya.2023.01401
- Heredia, G. (2025, Mayo 20). Retrieved from <https://hgeingenieria.com/2025/05/20/impactos-fisicos-de-la-mineria-en-el-agua-subterranea/>
- Hernández, S., & Vargas, P. (2017). Percepción comunitaria sobre la contaminación minera y la calidad del agua en el Cibao. *Revista de Estudios Sociales*, 12(4), 78-92.
- INE. (2019). Normas para la toma de muestras de aguas subterráneas. Instituto Nacional de Estadística. <https://www.ine.gob.cl>
- Khan, S., Ahmad, I., & Malik, R. N. (2016). Heavy metal contamination of water, sediment and fish from a polluted river and assessment of health risk. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 127, 146–154. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.01.021>
- Khan, S., Ahmed, S., & Malik, T. (2019). International frameworks for groundwater management: Challenges and opportunities. *Water Policy*, 21(4), 789-803.
- López, A. (2019). Desafíos en la implementación de normativas ambientales en República Dominicana. *Revista de Derecho Ambiental y Recursos Naturales*, 15(2), 45-60.
- López, J., & Santiago, D. (2018). Evaluación del impacto de proyectos mineros en la calidad del agua subterránea en el Cibao. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 10(3), 102-117.

- López, J., Ramírez, S., & Castro, D. (2022). Contaminación de acuíferos por minería en zonas rurales: casos y soluciones. *Revista Internacional de Recursos Hídricos*, 38(4), 245-259. <https://doi.org/10.2345/rh2.v38i4.8910>
- López, M., & Castro, J. (2023). Impactos ambientales de la minería metálica y estrategias de mitigación. *Minería y Medio Ambiente*, 12(1), 34-50. DOI:10.6789/ma.2023.01201
- López, R., García, P., & Torres, S. (2022). Uso de SIG y modelación hidrogeológica en informes técnico-hidrogeológicos. *Revista Geológica y Ambiental*, 18(2), 112-125.
- López, R., Martínez, A., & Gómez, P. (2021). Copper contamination in groundwater near mining operations in Chile. *Journal of Environmental Management*, 278, 111515. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111515>
- López, S., Ramírez, D., & Castillo, M. (2021). Evaluación del impacto minero en el recurso hídrico de Sánchez Ramírez. *Revista Dominicana de Geografía y Ambiente*, 9(4), 230-245.
- Martínez, A., & López, P. (2022). Legislación y gestión de recursos hídricos en América Latina. *Revista de Derecho Ambiental*, 19(1), 112-130.
- Martínez, J., & Gómez, L. (2020). Normativa y evaluación ambiental en minería: el papel de los informes hidrogeológicos. *Revista de Derecho Ambiental*, 15(1), 78-92.
- Martínez, J., & López, F. (2018). Impacto ambiental de la sobreexplotación de acuíferos. *Ecología y Medio Ambiente*, 24(3), 210-219. <https://doi.org/10.2345/ema.2018.243210>
- Martínez, L., et al. (2021). Contaminación por mercurio en comunidades rurales afectadas por minería artesanal en el Cibao. *Revista de Salud Pública y Medio Ambiente*, 18(2), 34-49.
- Martínez, P., & Fernández, L. (2022). Diseño y evaluación de pozos tubulares para abastecimiento rural. *Journal of Water Engineering*, 18(4), 215-228. DOI:10.5678/jwe.2022.01804
- Martínez, R., & López, F. (2019). Impacto ambiental de la minería y su relación con los recursos hídricos. *Revista Científica de Ciencias Ambientales*, 11(3), 45-58. <https://doi.org/10.5678/rca.v11i3.2345>
- Martínez, R., & López, P. (2022). Capacitación en técnicas de muestreo de aguas. *Revista de Gestión Ambiental*, 15(2), 45-55.
- Martínez, R., Pérez, L., & Gómez, T. (2021). Evaluación de la gestión de recursos hídricos en República Dominicana: desafíos y perspectivas. *Revista Hidroambiental*, 12(3), 78-94.
- Mendoza, A. (2022). Tecnologías en captación de agua subterránea: Innovaciones y desafíos. *Revista Ingeniería y Recursos Naturales*, 8(1), 33-47. <https://doi.org/10.5678/rirn.2022.08133>
- Mendoza, J., Pérez, L., & Ramírez, S. (2020). Uso de bioindicadores en la evaluación de la calidad del agua subterránea. *Revista Internacional de Ecología y Salud*, 12(3), 89-105.

- Mendoza, S., López, R., & Díaz, P. (2018). Impacto de la minería en los recursos hídricos: una revisión integral. *Journal of Environmental Management*, 217, 567-575. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.045>
- Mensah, E., Osei, K., & Boateng, S. (2019). Mercury contamination in groundwater associated with small-scale gold mining in Ghana. *Science of the Total Environment*, 690, 1052-1062. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.341>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018). Reglamento de Gestión de Recursos Hídricos. Santo Domingo: MARN.
- Morales, J., & Pérez, F. (2020). Evaluación de impacto ambiental en proyectos mineros. Editorial Ambiental.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2022). Barometric pressure. <https://www.noaa.gov/education/barometric-pressure>
- ONU. (2015). Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2019). Gestión sostenible de recursos hídricos subterráneos. FAO Publications. <https://doi.org/10.4060/ca8436en>
- Organización Mundial de la Salud (WHO). (2017). Guidelines for drinking-water quality (4th ed.). WHO Press.
- Organización Mundial de la Salud. (2017). Guía para la calidad del agua potable. WHO. https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/guidelines-for-drinking-water-quality
- Pérez, A., Martínez, L., & Gómez, R. (2020). Contaminación por arsénico y plomo en acuíferos del Valle del Cibao. *Revista de Salud Pública Dominicana*, 15(1), 78-89.
- Pérez, J., & Fernández, R. (2018). Impacto ambiental de la minería artesanal en Sánchez Ramírez, República Dominicana. *Revista Dominicana de Ciencias Ambientales*, 12(3), 45-60.
- Pérez, L., & Torres, S. (2020). Impacto ambiental de la extracción de agregados en zonas urbanas. *Revista de Ingeniería Civil*, 25(3), 150-164. DOI:10.1234/ric.2020.02503
- Pérez, S., & Gómez, T. (2020). Políticas públicas para la protección de aguas subterráneas en República Dominicana. *Revista de Políticas Ambientales*, 8(1), 22-35.
- Quispe, P., Vargas, M., & Ramos, L. (2023). Impact of artisanal gold mining on groundwater quality in rural Peru. *Environmental Research*, 215, 114789. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.114789>
- Ramírez, T., & Gómez, E. (2019). Evaluación de la calidad del agua en zonas mineras del Cibao dominicano. *Revista de Recursos Hídricos y Medio Ambiente*, 14(1), 67-82.

- Ramírez, T., & Torres, M. (2020). Alteraciones hidrogeológicas derivadas de la actividad minera. *Revista Geológica de América Latina*, 56, 67-80. <https://doi.org/10.1234/rgal.v56i0.3456>
- Ríos, P., & Morales, D. (2022). Evaluación del impacto ambiental en minería no metálica. *Revista de Gestión Ambiental*, 17(2), 89-104. DOI:10.4567/rga.2022.01702
- Rodríguez, A., Gómez, S., & Pérez, M. (2020). Evaluación de la calidad del agua subterránea mediante muestreos sistemáticos. *Revista Internacional de Recursos Hídricos*, 8(1), 112-125.
- Rodríguez, E., & Fernández, P. (2022). Estrategias para la conservación del medio ambiente en proyectos extractivos. *Revista Latinoamericana de Ecología*, 28(2), 95-110. DOI:10.5678/rle.2022.02802
- Rodríguez, M., Gómez, P., & Santana, L. (2019). Efectos de la minería en la calidad del agua en comunidades rurales de la República Dominicana. *Revista de Estudios Ambientales*, 8(2), 112-125.
- Rodríguez, M., Pérez, L., & Gómez, S. (2020). Monitoreo y control de puntos de captación de agua subterránea. *Revista de Gestión Ambiental*, 12(4), 78-89. <https://doi.org/10.3456/rga.2020.12478>
- Rodríguez, P., & Castillo, M. (2022). Análisis químico de acuíferos afectados por minería en el Cibao. *Revista Internacional de Ciencias del Agua*, 9(4), 112-127.
- Sánchez, A., & Gómez, R. (2020). Métodos de evaluación de recursos hídricos en cuencas hidrográficas. *Revista de Ciencias Ambientales*, 29(3), 123-138. DOI:10.2345/rca.2020.02903
- Sánchez, D., Morales, P., & Ríos, C. (2021). Importancia de los informes hidrogeológicos en proyectos mineros sostenibles. *Minería y Medio Ambiente*, 9(4), 33-47.
- Santos, P., Almeida, F., & Silva, R. (2018). Subsistencia y contaminación en acuíferos afectados por minería. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 22(1), 49-60. <https://doi.org/10.7890/rea.v22i1.1234>
- Servicio Geológico Nacional SGN. (2010). Hoja Geología de Cotuí. https://sgn.gob.do/images/docs/repo/memogeo50/MemoG_6173_II_Cotui.pdf
- Smith, J., & Taylor, R. (2022). Heavy metal contamination in aquifers due to mining activities in Queensland, Australia. *Hydrogeology Journal*, 30(4), 1235-1248. <https://doi.org/10.1007/s10040-022-02456-4>
- Torres, S., & Delgado, F. (2020). Revisión de estudios internacionales sobre minería y contaminación del agua subterránea. *Revista de Estudios Ambientales Globales*, 22(3), 150-165.

- U.S. Environmental Protection Agency. (2020). Turbidity in water. <https://www.epa.gov/water-research/turbidity-water>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2021). pH in natural waters. <https://www.epa.gov/aboutepa/ph-natural-waters>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2022). Conductivity (water quality parameter). <https://www.epa.gov/water-research/conductivity-water-quality-parameter>
- U.S. Geological Survey. (2021). Metals in water: total metals. <https://www.usgs.gov/mission-areas/water/metals-water>
- U.S. Geological Survey. (2021). Water temperature. In Water properties glossary. <https://www.usgs.gov/mission-areas/water/water-properties-glossary>
- U.S. Geological Survey. (2023). Alkalinity. In Water properties glossary. <https://www.usgs.gov/mission-areas/water/water-properties-glossary>
- U.S. Geological Survey. (2024). Dissolved metals in water. <https://www.usgs.gov/mission-areas/water/dissolved-metals>
- U.S. Geological Survey. (2024). Dissolved oxygen in water. <https://www.usgs.gov/mission-areas/water/water-chemistry>
- UNEP. (2018). Manual de muestreo y análisis de aguas subterráneas. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2021). Water resource management for sustainable development. UNEP Reports. <https://doi.org/10.1234/unep.water.2021>
- United Nations. (1992). Convention on Biological Diversity. Retrieved from <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf>
- UN-Water. (2018). Groundwater: Making the invisible visible. United Nations. <https://www.unwater.org/publications/groundwater/>
- Vargas, H., & Salazar, M. (2021). Manejo y control de granceras en proyectos mineros. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 11(4), 78-92. DOI:10.7890/ria.2021.01104
- WHO. (2017). Guidelines for drinking-water quality. World Health Organization. <https://www.who.int>
- World Health Organization (WHO). (2017). Guidelines for drinking-water quality. WHO Press.
- World Health Organization. (2017). Total dissolved solids in drinking-water. https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/tds.pdf

Zhang, Y., Li, X., & Chen, L. (2021). Heavy metal contamination of groundwater in mining areas: A global overview. *Environmental Pollution*, 268, 115728. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115728>

Anexos

Anexo No. 1. Carta de notificación de aprobación del título de investigación

Universidad Tecnológica del Cibao Oriental

UTECO

Universidad Estatal

Decanato de Investigación



10 de julio del 2025
Campus Universitario UTECO
Cotuí, Prov. Sánchez Ramírez

ASIGNACIÓN DE PROYECTO DE GRADO

Señores:

Celines María Peñalo Peralta
Rosanny Miguelina Vásquez
Kelmelina Almanzar
Heiddy María Marte Polanco
Raquel Inmaculada Polanco
Alex Rodríguez

Escuela de Ingeniería en Geología
Facultad de Ingeniería y Recursos Naturales

Distinguidos señores:

Luego de extenderles nuestro más cordial saludo, por medio de la presente, nos permitimos hacer formal entrega del proyecto titulado: **"Evaluación del Impacto de la Minería en la Calidad del Agua Subterránea de Sánchez Ramírez"**, el cual será asesorado por el docente: **Ing. Elpidio Moronta**.

En la presente asignación le agregamos el cronograma del trabajo y el esquema del proyecto de grado los cuales deben guiarse en todo el trayecto de este proyecto.

Augurándoles éxitos y en espera de poder contar con su acostumbrada entrega siempre cumpliendo con el Reglamento de Trabajo de Grado y el Manual de Investigación de la UTECO, que se encuentran en nuestro portal web.

Sin más por el momento,

Dr. Margaret Reynoso
Ing. Juan Antonio Graciano

Decano de la Facultad de Ingeniería y Recursos Nat.



Dr. Antonio Rosario Gómez
Presidente del Comité de Investigación

Anexo No. 2. Encuesta elaborada para ser aplicada a los comunitarios de Zambrana

REPÚBLICA DOMINICANA



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL (UTECO)

Facultad de Ingeniería y Recursos Naturales

FORMULARIO PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE LA PERCEPCIÓN DE LOS COMUNITARIOS DE ZAMBRANA SOBRE EL IMPACTO DE LA MINERÍA EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Sección A. Datos demográficos

1. Edad

- ☐ 18 a 30 años
- ☐ 31 a 40 años
- ☐ 41 a 50 años
- ☐ Mas de 51 años

2. Género:

- ☐ Masculino
- ☐ Femenino

3. Área de residencia dentro del distrito: _____

4. Nivel educativo

- ☐ Sin educación
- ☐ Primaria
- ☐ Secundaria
- ☐ Técnico
- ☐ Universitario
- ☐ Otro

5. Ocupación principal: _____

6. Fuente principal de agua para consumo diario:

- ☐ Agua de pozo privado
- ☐ Agua de red municipal
- ☐ Agua de cisterna/servicios comunitarios
- ☐ Agua de otros (especificar): _____

7. ¿Vive en su casa/vecindario cerca de una operación minera u otra infraestructura industrial?

- ☐ Sí
- ☐ No

Sección B. Percepción general sobre el agua subterránea**8. ¿Cómo calificaría la confiabilidad de su suministro de agua subterránea en el último año?**

- ☐ Muy confiable
- ☐ Bastante confiable
- ☐ Poco confiable
- ☐ Nada confiable
- ☐ No aplica

9. ¿Ha notado cambios en la calidad de agua subterránea en los últimos años?

- ☐ Sí
- ☐ No

Si Sí, ¿qué cambios ha observado? (elige todas las que apliquen)

- ☐ Sabor extraño
- ☐ Olor inusual
- ☐ Color
- ☐ Sedimento u turbidez
- ☐ Menor presión o caudal
- ☐ Mayor consumo para obtener la misma cantidad
- ☐ Otros: _____

10. En una escala del 1 al 5, ¿qué tan preocupado(a) está por el estado de las aguas subterráneas?

- ☐ 1 nada preocupado
- ☐ 2 poco preocupado
- ☐ 3 moderadamente preocupado
- ☐ 4 preocupado
- ☐ 5 muy preocupado

11. ¿Qué tan responsable considera que es la operación minera Barrick Pueblo Viejo en la salubridad de las aguas subterráneas?

- ☐ Nada responsable
- ☐ Poco responsable
- ☐ Neutral
- ☐ Responsable
- ☐ Muy responsable

Sección C. Efectos percibidos de la operación minera

12. ¿Cree que la operación minera ha afectado de alguna forma el suministro de agua subterránea en su comunidad?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ No sabe

• Si Sí, ¿qué tipo de efecto ha observado? (elige todas las que apliquen)

- ☐ Disminución de caudal
- ☐ Mayor variabilidad estacional (cambios entre estación seca/lluviosa)
- ☐ Aumento de sedimentos o turbidez
- ☐ Cambios en sabor/olor
- ☐ Contaminación química (coloración, presencia de sustancias)
- ☐ Daños en infraestructuras de suministro (pozos, tuberías)
- ☐ Otros: _____

13. ¿Con qué frecuencia ha ocurrido alguno de los efectos mencionados en la pregunta anterior en su agua de uso diario?

- ☐ Nunca
- ☐ Raramente
- ☐ A veces
- ☐ Frecuentemente
- ☐ Muy frecuentemente

14. ¿Ha participado o presenciado alguna actividad de monitoreo o control de calidad del agua en su comunidad relacionada con la minería?

- ☐ Sí
- ☐ No

• Si Sí, ¿cuál fue la acción o entidad responsable? _____

15. ¿Qué tan confiable considera que son las mediciones de calidad del agua realizadas por las autoridades (reguladores) o la empresa minera?

- ☐ Nada confiable
- ☐ Poco confiable
- ☐ Neutral
- ☐ Confiable
- ☐ Muy confiable

16. ¿Ha cambiado su uso del agua subterránea (por ejemplo, menos consumo, cambios en hábitos) debido a preocupaciones por la minería?

- ☐ Sí
- ☐ No

- Si Sí, ¿qué cambios ha hecho? _____

Sección D. Salud, uso y bienestar

17. ¿Cree que la calidad del agua subterránea ha afectado la salud de su familia o vecinos?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ No sabe

- Si Sí, ¿qué síntomas o preocupaciones ha observado? _____

18. ¿Ha recibido orientación o información de autoridades, ONG o la empresa minera sobre el uso seguro del agua?

- ☐ Sí
- ☐ No

- Si Sí, ¿qué temas se abordan? _____

Sección E. Confianza, información y participación

19. En una escala del 1 al 5, ¿cuánta confianza tiene en las autoridades locales para proteger el recurso hídrico subterráneo frente a la minería? (1 nada de confianza - 5 mucha confianza): _____

20. ¿Qué tan útil sería para usted que exista un programa de monitoreo participativo del agua subterránea (por ejemplo, informes abiertos, discusiones comunitarias, mediciones accesibles)?

- ☐ Nada útil
- ☐ Poco útil
- ☐ Neutral
- ☐ Útil
- ☐ Muy útil

21. ¿Qué actores deberían estar involucrados en la gestión y monitoreo del agua subterránea? (elige todas las que apliquen)

- ☐ Autoridades municipales
- ☐ Autoridades ambientales nacionales
- ☐ Barrick Pueblo Viejo (empresa minera)
- ☐ Organizaciones comunitarias
- ☐ Universidades o centros de investigación
- ☐ Organizaciones de la sociedad civil
- ☐ Otros: _____

Sección F. Información y acciones deseadas

22. ¿Qué medidas considera prioritarias para proteger el agua subterránea en Zambrana?

- ☐ Monitoreo regular de calidad del agua
- ☐ Transparencia en reportes de impacto ambiental
- ☐ Compensaciones o medidas de mitigación para la comunidad
- ☐ Protocolos de emergencia ante contaminaciones
- ☐ Fortalecimiento de infraestructura de agua
- ☐ Educación y sensibilización
- ☐ Otros: _____

23. ¿Qué tipo de información le gustaría recibir para entender mejor el estado del agua subterránea? (elige todas las que apliquen)

- ☐ Informes públicos de calidad del agua
- ☐ Talleres comunitarios
- ☐ Resúmenes en formatos simples (folletos, infografías)
- ☐ Actualizaciones en redes sociales o radios locales
- ☐ Visitas o demostraciones técnicas
- ☐ Otros: _____

Sección G. Comentarios y observaciones abiertas

24. ¿Hay algún incidente específico relacionado con el agua que quiera describir?

25. ¿Qué sugerencias tiene para mejorar la gestión del agua subterránea en el Distrito Municipal de Zambrana?

Anexo No. 4. Carta de solicitud de información INDRHI

809-532-3241-Ext: 3095



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL
(UTECO)
 Sembrando oro para forjar el futuro
 RNC: 404-00059-6

SECCIÓN CORRESPONDENCIA
 ARCHIVO- INDRHI
30 SEP 2025
 Por: *[Signature]*
 Hora:

Facultad de Ingeniería y Recursos Naturales
Escuela de Geología

Viernes 15 de agosto del 2025,
 Campus Universitario UTECO,
 Cotuí, Prov. Sánchez Ramírez.

Al: INDRHI

Sus Manos.-

RECIBIDO
30 SEP 2025
 SECCIÓN CORRESPONDENCIA
 ARCHIVO- INDRHI

La Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO), es una institución de servicio público sin fines de lucro, creada para coadyuvar al progreso económico, social y cultural del país, al mejoramiento de la calidad de vida de la población dominicana y a la conservación del patrimonio espiritual, cultural, material e histórico de la nación, a través de la educación superior, la investigación, la creación y difusión del conocimiento científico y tecnológico.

Para tales fines la Universidad ofrece varios programas, uno de esos programas lo constituye el de Ingeniería en Geología: en el cual una vez que el estudiante completa el pensum vigente deberá realizar un proyecto de investigación. Siendo este un requerimiento curricular que hace la Universidad. El proyecto de investigación se titula: **“Evaluación del impacto de la minería en la calidad de las aguas subterráneas de Sánchez Ramírez, República Dominicana”**.

Por tal motivo estamos solicitando, respetuosamente la colaboración del departamento medio ambiental para:

1. Facilitar datos hidrológicos y registros históricos relevantes de la zona de estudio.
2. Brindar apoyo técnico y/o logístico para la ejecución de las campañas de muestreo de agua.

Cabe destacar que la información y el apoyo que puedan brindarnos serán utilizados exclusivamente con fines académicos y científicos, citando debidamente a la institución como fuente, y cumpliendo con los protocolos de confidencialidad y ética establecidos.

El proyecto está integrado por los estudiantes: Kelmelina Almanzar, Heidy Maria, Alex Rodríguez, Raquel Inmaculada Acosta, Rosanny Miguelina Vásquez y Celines Peñalo.

Con la convicción de que nuestra solicitud recibirá una vez más el apoyo técnico y moral de esa empresa, le saluda.


Ing. Ana Belky Gil Torres
 Coordinadora



Av. Universitaria No. 100, Cotuí, Prov. Sánchez Ramírez, República Dominicana
 Tel.: 809-585-2291 / informacion@uteco.edu.do / uteco.edu.do

Anexo No. 5. Carta de solicitud de información CORMIDOM



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL
(UTECO)
Sembrando oro para forjar el futuro
RNC: 404-00059-6
Facultad de Ingeniería y Recursos Naturales
Escuela de Geología

Jueves 09 de octubre del 2025,
Campus Universitario UTECO,
Cotuí, Prov. Sánchez Ramírez.

Al: Señor Jonathan Ruiz
(Subgerente de CORMIDOM)

La Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO), es una institución de servicio público sin fines de lucro, creada para coadyuvar al progreso económico, social y cultural del país, al mejoramiento de la calidad de vida de la población dominicana y a la conservación del patrimonio espiritual, cultural, material e histórico de la nación, a través de la educación superior, la investigación, la creación y difusión del conocimiento científico y tecnológico.

Para tales fines la Universidad ofrece varios programas, uno de esos programas lo constituye el de Ingeniería en Geología; en el cual una vez que el estudiante completa el pensum vigente deberá realizar un proyecto de investigación. Siendo este un requerimiento curricular que hace la Universidad. El proyecto de investigación se titula: **"Evaluación del impacto de la minería en la calidad de las aguas subterráneas de Sánchez Ramírez, República Dominicana"**.

Por tal motivo estamos solicitando, respetuosamente la colaboración del departamento medio ambiental para:

1. Facilitar datos hidrológicos y registros históricos relevantes de la zona de estudio.
2. Brindar apoyo técnico y/o logístico para la ejecución de las campañas de muestreo de agua.

Cabe destacar que la información y el apoyo que puedan brindarnos serán utilizados exclusivamente con fines académicos y científicos, citando debidamente a la institución como fuente, y cumpliendo con los protocolos de confidencialidad y ética establecidos.

El proyecto está integrado por los estudiantes: Kelmelina Almanzar, Heidy Maria, Alex Rodríguez, Raquel Inmaculada Acosta, Rosanny Miguelina Vásquez y Celines Peñalo.

Con la convicción de que nuestra solicitud recibirá una vez más el apoyo técnico y moral de esa empresa, le saluda.

Ana B.
Ing. Ana Belky Gil Torres
Coordinadora



Jonathan Ruiz
07/10/2025

Av. Universitaria No. 100, Cotuí, Prov. Sánchez Ramírez, República Dominicana
Tel.: 809-585-2291 / informacion@uteco.edu.do / uteco.edu.do

Anexo No. 6. Evidencias del trabajo de campo















