

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

Trabajo de Grado

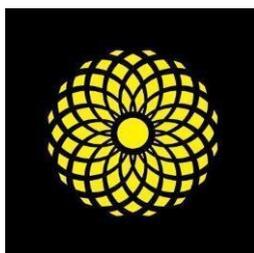
**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE
PARA CONSUMO HUMANO EN LA ZONA SURESTE
DE LA CIUDAD DE ITAUGUÁ DURANTE EL AÑO 2024**

INGRID VERÓNICA ORUÉ ARANDA

**Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad Nacional de Asunción, como requisito para aprobar la asignatura.**

SAN LORENZO – PARAGUAY

DICIEMBRE – 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

Trabajo de Grado

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE PARA
CONSUMO HUMANO EN LA ZONA SURESTE DE LA CIUDAD
DE ITAUGUÁ DURANTE EL AÑO 2024**

INGRID VERÓNICA ORUÉ ARANDA

Orientadora: **Prof. MSc. SONIA MABEL MOLINAS RUÍZ DÍAZ**

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la aprobación de la
asignatura

SAN LORENZO – PARAGUAY

DICIEMBRE – 2024

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE PARA CONSUMO
HUMANO EN LA ZONA SURESTE DE LA CIUDAD DE ITAUGUÁ
DURANTE EL AÑO 2024**

Autora: INGRID VERÓNICA ORUÉ ARANDA.

Orientadora: PROF. MSC. SONIA MABEL MOLINAS RUÍZ DÍAZ

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para como requisito para aprobar la asignatura.

Fecha de aprobación:

MESA EXAMINADORA DE TRABAJO DE GRADO

MIEMBROS:

Prof. MSc. Higinio Moreno Resquín

Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

Prof. MSc. Narciso Cubas Villalba

Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

Prof. MSc. Sonia Mabel Molinas Ruíz Díaz

Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

DEDICATORIA

A mis dos madres, a mi mamá Flora que me acompaña desde el cielo, a mi mami Margarita que siempre está a mi lado con su apoyo incondicional, y también a mí misma por mi esfuerzo y perseverancia.

AGRADECIMIENTOS

A mis dos madres, quienes siempre estuvieron a mi lado brindándome apoyo incondicional, a mi mamá Flora que me acompañó día a día y ahora me guía desde el cielo, a mi mami Margarita quien a pesar de la distancia me ofrece su amor y respaldo inquebrantables, fueron fundamentales en mi vida para llegar a esta etapa de mi vida.

A mis tías que son como unas hermanas para mí, Sofía y Marta, que no dejaron de alentarme en los últimos meses de este trayecto, proporcionándome las palabras exactas para avanzar. También a mis demás familiares que, de manera directa o indirecta me apoyaron durante este proceso.

A mi novio, Luis López, cuya insistencia, apoyo emocional, cariño y paciencia fueron mi base y punto de reinicio en los momentos más difíciles. Sin él, este logro hubiera sido más complicado de alcanzar.

A mis mejores amigas, Brenda Peralta y Bely Rodríguez, quienes me han acompañado desde el inicio de mi carrera, ellas que siempre me escucharon, con su apoyo constante, sus palabras confortantes, me ayudaron a sobrellevar los momentos dificultosos, y que de muchas formas me salvaron.

A mis amigas de la facultad, Verónica Benítez, Rocio Riveros y Claudia Ríos, mis amigas con quienes compartí tanto, les agradezco profundamente su tiempo, su apoyo y su amistad.

A mi gran amigo y futuro colega Benjamín Benítez quien hizo más llevadero este trayecto con su compañía, su tereré, sus palabras de aliento, y nuestras conversaciones llenas de risas. Gracias a él conocí a mi amigo Joel Benítez, quien me ayudó en la elaboración de los mapas de este trabajo, demostrando gran paciencia y disposición, más que agradecida.

A mis compañeros de carrera por sus buenas intenciones y buenos deseos hacia mi persona, en especial a Alma Paredes por sus palabras en un momento crucial que me motivó a la finalización de este trabajo.

Agradezco profundamente a los profesores del Departamento de Geología por compartir sus valiosas enseñanzas, dedicar su tiempo, y contribuir significativamente a mi formación profesional, en especial a la Prof. MSc. Sonia Molinas por su orientación durante la elaboración de este trabajo.

Finalmente, a los miembros de la Junta de Saneamiento de Itauguá por la predisposición y colaboración en brindarme todos los datos e información necesarios para llevar a cabo este trabajo de investigación.

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE PARA CONSUMO
HUMANO EN LA ZONA SURESTE DE LA CIUDAD DE ITAUGUÁ
DURANTE EL AÑO 2024**

Autora: INGRID VERÓNICA ORUÉ ARANDA.

Orientadora: PROF. MSC. SONIA MABEL MOLINAS RUÍZ DÍAZ

Resumen

La zona de investigación está ubicada en la Región Oriental del Paraguay, específicamente en el Departamento Central, en la zona sureste de la ciudad de Itauguá. El objetivo principal de este trabajo fue evaluar la calidad de agua potable destinada al consumo humano mediante los análisis físico-químicos y bacteriológicos de los pozos profundos pertenecientes a la Junta de Saneamiento de Itauguá. La metodología incluyó recopilación de información bibliográfica e interpretación de los resultados obtenidos, lo que permitió identificar los parámetros presentes en el agua y relacionarlos con posibles fuentes de contaminación. Para la evaluación se implementaron dos enfoques metodológicos: el método *POSCH (Proposed Overall Suitability for Consumption of Human Water)* utilizada para evaluar los parámetros físico-químicos y bacteriológicos y el método *POSH (Pollutant Origin Surcharge Hydraulically)* que permitió a identificar las fuentes contaminantes dentro del contexto hidrogeológico del área de estudio. Los resultados confirmaron que la calidad de agua potable en la zona sureste de la ciudad de Itauguá cumple con los estándares establecidos por la ERSSAN, según lo dispuesto en la Ley 1614/2000 y su Anexo III que establece los límites de calidad para el agua suministrada por los prestadores del servicio.

Palabras claves: Análisis físico-químico y bacteriológicos, Acuífero Patiño, Método POSH, Método POSCH

EVALUATION OF DRINKING WATER QUALITY FOR HUMAN CONSUMPTION IN THE SOUTHEAST AREA OF THE CITY OF ITAUGUÁ DURING THE YEAR 2024

Author: INGRID VERÓNICA ORUÉ ARANDA

Advisor: PROF. MSC. SONIA MABEL MOLINAS RUÍZ DÍAZ

Summary

The research area is located in the Eastern Region of Paraguay, specifically in the Central Department, in the southeastern part of the city of Itauguá. The main objective of this study was to evaluate the quality of drinking water intended for human consumption through physicochemical and bacteriological analyses of the deep wells managed by the Itauguá Sanitation Board. The methodology included gathering bibliographic information and interpreting the obtained results, which allowed for the identification of the parameters present in the water and their association with potential contamination sources. Two methodological approaches were implemented for the evaluation: the POSCH method (Proposed Overall Suitability for Consumption of Human Water), used to assess the physicochemical and bacteriological parameters, and the POSH method (Pollutant Origin Surcharge Hydraulically), which enabled the identification of contamination sources within the hydrogeological context of the study area. The results confirmed that the quality of drinking water in the southeastern part of the city of Itauguá meets the standards established by ERSSAN, as outlined in Law 1614/2000 and its Annex III, which defines quality limits for water supplied by service providers.

Keywords: Physicochemical and bacteriological analyses, Patiño Aquifer, POSH Method, POSCH Method

INDICE

| | |
|--|----------|
| I. INTRODUCCION | 1 |
| 1.1 Planteamiento del Problema | 2 |
| 1.2 Preguntas de Investigación | 2 |
| 1.3 Objetivos..... | 3 |
| 1.3.1 Objetivo General | 3 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 3 |
| 1.4 Justificación | 3 |
| 1.5 Hipótesis | 4 |
| 1.6 Variables | 4 |
| 1.6.1 Variable Independiente | 4 |
| 1.6.2 Variables Dependientes..... | 4 |
| II. MARCO TEÓRICO..... | 5 |
| 2.1 Definiciones básicas | 5 |
| 2.1.1 Calidad del agua: | 5 |
| 2.1.2 Evaluacion de la calidad de agua: | 5 |
| 2.1.3 Características Bacteriológicas: | 5 |
| 2.1.4 Fuente de contaminación de agua subterránea: | 6 |
| 2.1.5 Propiedades físicas del agua:..... | 7 |
| 2.1.6 Propiedades químicas del agua: | 8 |

| | | |
|--------------------------------------|--|-----------|
| 2.1.7 | Parámetros hidrogeológicos fundamentales:..... | 10 |
| 2.2 | Marco legal | 11 |
| 2.3 | Geología Local: | 17 |
| 2.3.1 | Ubicación: | 17 |
| 2.3.2 | Grupo Asunción: | 18 |
| 2.3.3 | Acuífero Patiño: | 18 |
| 2.3.4 | Antecedentes hidrogeológicos..... | 19 |
| 2.4 | Aspectos físicos del área de estudio: | 21 |
| 2.4.1 | Clima: | 21 |
| 2.4.2 | Geomorfología: | 21 |
| 2.4.3 | Hidrología: | 22 |
| 2.4.4 | Precipitaciones: | 23 |
| III. DISEÑO METODOLÓGICO..... | | 24 |
| 3.1 | Enfoque:..... | 24 |
| 3.2 | Nivel de investigación: | 24 |
| 3.3 | Área de estudio: | 25 |
| 3.3.1 | Localización: | 25 |
| 3.3.2 | Vías y medio de comunicación: | 26 |
| 3.4 | Población: | 27 |
| 3.5 | Muestra: | 27 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3.6 | Unidad de análisis:..... | 27 |
| 3.7 | Muestreo: | 27 |
| 3.8 | Instrumentos para la recolección de datos: | 27 |
| 3.9 | Procedimientos de análisis: | 28 |
| 3.9.1 | Trabajo de gabinete: | 28 |
| 3.9.2 | Trabajo de campo: | 28 |
| 3.9.3 | Elaboración de mapas: | 29 |
| IV. | ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS | 30 |
| 4.1. | Descripción: | 30 |
| 4.2 | Gráficos: | 64 |
| V. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 74 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 76 |
| | ANEXO | 80 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| 1. Mapa de ubicación del área de estudio | 17 |
| 2. Mapa Hidrográfico del distrito de Itauguá | 22 |
| 3. Precipitación anual del Dpto. Central | 23 |
| 4. Mapa de ubicación del área de estudio | 25 |
| 5. Mapa de vías de comunicación del distrito de Itauguá | 26 |
| 6. Ubicación de los pozos profundos en el área de estudio..... | 30 |
| 7. Mapa de puntos contaminantes directos y difusos en el área de estudio | 44 |
| 8. Mapa de puntos contaminantes directos y difusos en el área de estudio con respecto a los pozos..... | 45 |
| 9. Valor promedio del parámetro físico “Color” de todos los pozos anual en el año 2024..... | 64 |
| 10. Valor promedio del parámetro físico “Sabor y Olor” de todos los pozos en el año 2024..... | 64 |
| 11. Valor promedio del parámetro físico “Turbiedad” de todos los pozos en el año 2024..... | 65 |
| 12. Valor promedio del parámetro químico “pH” de todos los pozos en el año 2024. | 65 |
| 13. Valor promedio del parámetro “Conductividad” de todos los pozos en el año 2024..... | 66 |
| 14. Valor promedio del componente inorgánico “Calcio” de todos los pozos en el año 2024..... | 66 |
| 15. Valor promedio del parámetro inorgánico “Magnesio” de todos los pozos en el año 2024..... | 67 |
| 16. Valor promedio del parámetro químico “Cloro Libre Residual” de todos los pozos en el año 2024. | 67 |
| 17. Valor promedio del parámetro químico “Alcalinidad en Carbonato de Calcio” de todos los pozos en el año 2024..... | 68 |
| 18. Valor promedio del parámetro químico “Cloruro” de todos los pozos en el año 2024..... | 68 |

| | |
|---|----|
| 19. Valor promedio del parámetro químico “Dureza total en Carbonato de Calcio” de todos los pozos en el año 2024..... | 69 |
| 20. Valor promedio del parámetro químico “Nitrógeno Amoniacal” de todos los pozos en el año 2024. | 69 |
| 21. Valor promedio del parámetro químico “Sólidos totales disueltos” de todos los pozos en el año 2024. | 70 |
| 22. Valor promedio del parámetro químico “Nitrato” de todos los pozos en el año 2024..... | 70 |
| 23. Valor promedio del organismo “Bacteria Coliforme Fecal” de todos los pozos en el año 2024..... | 71 |
| 24. Valor promedio del organismo “Bacteria Coliforme Totales” de todos los pozos en el año 2024. | 71 |
| 25. Puntos contaminantes directos en el área de estudio | 72 |
| 26. Puntos contaminantes difusos en el área de estudio..... | 72 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| 1. Cuadro de parámetros y concentraciones, Anexo III, Ley 1614..... | 15 |
| 2. Cuadro de parámetros y concentraciones, Anexo III, Ley 1614..... | 14 |
| 3. Cuadro de parámetros y concentraciones. Anexo III Ley 1614..... | 16 |
| 4. Cuadro de parámetros y concentraciones. Anexo III Ley 1614..... | 16 |
| 5. Estimativa de la cantidad de recarga del Acuífero Patiño | 19 |
| 6. Características Hidrogeológicas del Acuífero Patiño | 20 |
| 7. Caudales y Niveles Estático medio (m.e.s)..... | 20 |
| 8. Características Hidroquímicas del Acuífero Patiño | 21 |
| 9. Pozos profundos de la JSI con sus coordenadas | 27 |
| 10. Promedio de todos los parámetros de todos los pozos en el año 2024. | 31 |
| 11. Promedio de todos los parámetros de todos los pozos en el año 2024. | 32 |
| 12. Promedio de todos los parámetros de todos los pozos en el año 2024. | 32 |
| 13. Índice de Impacto del Pozo Local..... | 34 |
| 14. Índice de Impacto del Pozo Potrero | 36 |
| 15. Índice de impacto del Pozo Nro. 7..... | 38 |
| 16. Índice de Impacto del Pozo Nro. 16..... | 40 |
| 17. Índice de Impacto del Pozo Nro. 28..... | 42 |
| 18. Clasificación de la Calidad de Agua | 48 |
| 19. Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Local. | 47 |
| 20. Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Local | 48 |
| 21. Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Local..... | 48 |
| 22. Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Potrero..... | 51 |
| 23. Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Potrero..... | 51 |
| 24. Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Potrero..... | 51 |
| 25. Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro. 7 | 51 |
| 26. Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro. 7. | 53 |
| 27. Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro. 7. | 54 |
| 28. Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro 14. | 54 |
| 29. Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro 14 | 56 |
| 30. Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro. 14 | 57 |

| | |
|--|----|
| 31. Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro. 16 | 59 |
| 32. Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro. 16 | 60 |
| 33. Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro. 16 | 60 |
| 34. Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro. 28 | 62 |
| 35. Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro. 28 | 63 |
| 36. Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro. 28 | 63 |

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Notas emitidas de la JSI por los resultados de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos a la ERSSAN 82

Anexo 2. Toma de las coordenadas de los pozos profundos que dispone la JSI 93

LISTA DE SIGLAS

| | |
|----------------|---|
| JSI: | Junta de Saneamiento de Itauguá |
| INE: | Instituto Nacional de Estadística |
| ERSSAN: | Ente Regulador de Servicios Sanitarios |
| DINAC: | Dirección Nacional de Aeronáutica Civil |
| POSCH: | Proposed Overall Suitability for Consumption of Human Water |
| POSH: | Pollutant Origin Surcharge Hydraulically |
| PL: | Pozo Local |
| PP: | Pozo Potrero |
| P7: | Pozo nro. 07 |
| P14: | Pozo nro. 14 |
| P16: | Pozo nro. 16 |
| P28: | Pozo nro. 28 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|-------------------|---|
| A.: | Aceptable |
| Adm.: | Admisible |
| Km ² : | kilómetros cuadrados |
| Mg/l: | miligramo por litro |
| UCV: | unidades de color verdadero |
| UNT: | unidades nefelométricas de turbiedad |
| UFC: | unidades formadoras de colonias |
| µs/cm: | micro siemens por centímetros |
| m: | metro |
| mm/año: | Milímetros al año |
| m ³ : | Metros cúbicos |
| min.: | Mínimo |
| máx.: | Máximo |
| K: | Permeabilidad |
| T: | Transmisividad |
| %≤p: | porcentaje de pozos inferior a la media |
| m.a.s: | metros debajo de la superficie |
| NE: | Nivel estático |
| ND: | Nivel dinámico |
| Comp. Inorg.: | Componente Inorgánicos |
| Caract.: | Características |

| | |
|--------------|-----------------------|
| Est. Serv.: | Estación de servicio |
| Fáb. - Ind.: | Fabricas o Industrias |
| Taller M.: | Taller Mecánico |
| C. Salud: | Centro de salud |

I. INTRODUCCION

El acceso al agua potable es fundamental para la vida y constituye un derecho humano esencial, indispensable para la salud y el bienestar de las personas. En la ciudad de Itauguá, la Junta de Saneamiento ubicada en el barrio Laurety de la zona sureste, es el responsable del suministro de agua potable para consumo humano en el área de estudio, y realiza monitoreos mensuales para evaluar su calidad. No obstante, persisten inquietudes sobre posibles fuentes de contaminación que, si no se gestionan adecuadamente, podrían comprometer la salud de la población.

Por ello, resulta crucial garantizar que el agua cumpla con los estándares de calidad establecidos por la legislación paraguaya, estipulado en la Ley 1614/2000 de la ERSSAN, denominada Reglamento de calidad en la Prestación del Servicio para Permisarios, que busca proteger este derecho esencial.

Este trabajo tiene como objetivo evaluar la calidad del agua potable en la zona sureste de Itauguá durante el año 2024 con énfasis en el riesgo de contaminación. A partir de los análisis físico-químicos y bacteriológicos realizados en los pozos profundos por la Junta de Saneamiento de Itauguá, se determinará si el agua cumple con los requisitos de seguridad establecidos. Se propondrá medidas para la mejora de gestión y el control del recurso hídrico, garantizando el acceso a agua segura para toda la comunidad.

1.1 Planteamiento del Problema

La calidad de agua potable es esencial para la salud de la población, ya que afecta directamente al bienestar general. En el área de estudio, el suministro de agua proviene de los pozos profundos que gestiona la Junta de Saneamiento de Itauguá. La falta de información sobre los parámetros físico-químicos y bacteriológicos, así como los riesgos asociados a la contaminación, puede generar una percepción de peligro entre la comunidad, lo que podría contribuir a problemas de salud pública, como enfermedades transmitidas por el agua, especialmente en los grupos vulnerables como niños y mujeres embarazadas.

Por lo tanto, es fundamental llevar a cabo un estudio exhaustivo de la calidad del agua potable destinada al consumo humano en el área de estudio. Esto no sólo permitirá verificar el cumplimiento de las normativas vigentes, sino también identificar posibles riesgos de contaminación que puedan comprometer la salud de la población durante el año 2024. Aunque es posible que los resultados se encuentren dentro de los rangos establecidos por la Ley 1614/2000 de la ERSSAN, es indispensable mantener un monitoreo continuo ya que cualquier desviación de estos parámetros podrían generar riesgos en la salud, lo que requiere la adopción de medidas preventivas para asegurar la inocuidad del agua y seguridad del recurso hídrico.

1.2 Preguntas de Investigación

- ¿Cuáles son los niveles promedios de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos en el agua potable para el consumo humano en los barrios Laurelty, Itauguá Guasú, Yvyrtay y Guasuvira ubicadas al Sureste de la ciudad de Itauguá en el periodo 2024 que dispone la Junta de Saneamiento de Itauguá?
- ¿Qué porcentaje de actividades contaminantes se han encontrado alrededor de los pozos profundos para abastecimiento humano que dispone la Junta de Saneamiento de Itauguá en el área de estudio en el año 2024?
- ¿Cuál es el porcentaje de cumplimiento de las muestras mensuales tomadas durante el año 2024 de los pozos profundos gestionados por la Junta de Saneamiento de Itauguá respecto a los parámetros establecidos por la Ley 1614/2000 de la ERSSAN en el área de estudio?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar la calidad de agua potable y los riesgos de contaminación en los pozos profundos destinados al consumo humano en la zona sureste de la ciudad de Itauguá en el periodo 2024 que dispone la Junta de Saneamiento de Itauguá.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar los niveles promedios de los parámetros físico-químico y bacteriológicos obtenidos de los pozos profundos que dispone la Junta de Saneamiento de Itauguá en el área de estudio durante el periodo enero a noviembre del año 2024.
- Estimar el índice total de actividades contaminantes cercanas a los pozos profundos del área de estudio, en un porcentaje relativo, que dispone la Junta de Saneamiento de Itauguá durante el periodo 2024.
- Constratar la calidad de agua potable para el consumo humano con respecto a la ley 1614/2000 establecida por la ERSSAN en la zona sureste de la ciudad de Itauguá en el 2024.

1.4 Justificación

La calidad de agua potable en la zona sureste de la ciudad de Itauguá constituye un aspecto fundamental para asegurar el bienestar de la población local, dado que el agua es un recurso esencial y un derecho humano primordial. Aunque la Junta de Saneamiento de Itauguá realiza mensualmente los análisis físico-químicos y bacteriológicos para evaluar los parámetros de calidad en esta área, es crucial mantener un monitoreo constante para evitar riesgos potenciales para la salud pública de la región.

El objetivo de esta investigación no es sólo identificar los parámetros presentes en el agua del área de estudio, sino también sensibilizar sobre los riesgos asociados a factores de contaminación y promoviendo un manejo sostenible de este recurso vital. La difusión de los resultados tiene como propósito involucrar activamente a la comunidad en la gestión del agua, impulsando una cultura de prevención y protección del recurso hídrico.

Además de abordar una necesidad urgente en el ámbito de la salud pública, este estudio busca fortalecer las capacidades locales para garantizar un acceso seguro y sostenible al agua potable, reafirmando su importancia como un derecho fundamental para todos los ciudadanos.

1.5 Hipótesis

La calidad de agua potable para el consumo humano en la zona sureste de la ciudad de Itauguá que provee la Junta de Saneamiento en el periodo 2024 se ajusta a las normativas de la ley 1614/2000 de la ERSSAN.

1.6 Variables

1.6.1 Variable Independiente

- Pozos profundos para el abastecimiento humano de agua potable
- Riesgos de contaminación
- Normativa de la calidad de agua

1.6.2 Variables Dependientes

- Calidad de agua
- Prevalencia de contaminantes
- Cumplimiento de la normativa

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Definiciones básicas

2.1.1 Calidad del agua:

El agua potable es aquella que puede consumirse a lo largo de toda la vida sin representar un riesgo importante para la salud, considerando las distintas vulnerabilidades que pueden tener las personas en cada etapa de su vida. El estudio de la calidad del agua destinada para el consumo humano es de primordial importancia, interviniendo en el mismo muchos factores que pueden afectarla, se denomina agua potable a aquella agua que puede ser consumido por el hombre sin peligro alguno para su salud, ello supone tener en cuenta las distintas características del agua, ya sean físicas, químicas y bacteriológicas (Custodio y Llamas, 1983)

2.1.2 Evaluación de la calidad de agua:

Según la OMS (2004) es el proceso de analizar y medir diversos parámetros físico-químico y bacteriológicos, a veces incluso biológicos, con el fin de determinar si cumple con los estándares y normativas establecidas para garantizar que es segura para el consumo humano, es fundamental para asegurar que el agua proporcionada a las comunidades no represente riesgos para la salud pública.

2.1.3 Características Bacteriológicas:

Los criterios de la calidad bacteriológica del agua se basan en la determinación de aquellos microorganismos que puedan afectar directamente a la salud del hombre o que, por su presencia, puedan señalar la posible existencia de otros. (Custodio y Llamas, 1983)

2.1.4 Fuente de contaminación de agua subterránea:

Se habla de contaminación ante cualquier alteración nociva de la calidad natural del agua subterránea por introducción de sustancias extrañas que afecten negativamente al ecosistema. Atendiendo al origen del vertido, la contaminación puede ser antropogénica, como consecuencia de las actividades humana, o, cuando estas no intervienen, natural. algunos cambios hidrológicos como por ejemplo la subida del nivel freático debido a un aumento de la recarga o a una disminución de bombeos o a inundaciones pueden afectar a la movilización de contaminantes y a la salud humana (Várela, 1993).

La American Society for Testing and Material (1991) menciona que, una corriente de agua puede contaminarse en forma directa o indirecta y las causas pueden ser: físicas, químicas y biológicas, pero no es muy común un caso que corresponda exclusivamente a una sola, por lo cual, las fuentes de contaminación pueden considerarse como puntuales y dispersas.

2.1.4.1 Fuentes puntuales:

Según Mackenzie y Misten (2005), indican que los contaminantes provenientes de estas fuentes tienden a ser continuas, lo cual lo hace fácil de identificar y monitorear, se tratan de aguas negras municipales, fabricas, aguas residuales de origen cloacal, flujos superficiales de desagües sanitarios y fluviales, lixiviación de los sitios de depósitos de desechos.

2.1.4.2 Fuentes difusas o no puntuales:

Son aquellas escorrentías provenientes de zonas urbanas o agrícolas, son caracterizadas por tener varios puntos de descarga, con frecuencia el agua contaminada pasa sobre la superficie del terreno o por drenajes naturales y llega a depositarse en los cuerpos de aguas más cercanas, gran parte de la contaminación sucede durante las lluvias. (Mackenzie y Misten, 2005).

Según Sosa y Galaviz (2019) mencionan que son difíciles de identificarlas y destacan a la agricultura industrializada como una importante fuente de contaminación por los deslaves de fertilizantes y otros químicos agrícolas utilizados en suelos de cultivos, que van hacia los ríos, arroyos y lagos.

2.1.5 Propiedades físicas del agua:

Según Custodio y Llamas (1983), se deben tener en cuenta las diferentes características del agua, ya sean físicas, químicas y bacteriológicas, etc. El agua al ser un solvente muy eficaz y que es capaz de contener todo tipo de sustancia se requieren métodos de evaluación precisos mediante técnicas analíticas. Los parámetros físico-químicos empleados en el estudio de la calidad de agua se describen de la siguiente manera:

2.1.5.1 Conductividad:

La conductividad eléctrica es la capacidad de la misma para transportar corriente eléctrica, este parámetro está relacionado con la concentración de sales en disolución, los cuales al disociarse origina iones capaces de transportar corriente eléctrica, la conductividad varía conforme a la variación de la temperatura. (Solís et al. 2017)

2.1.5.2 Temperatura:

La temperatura del agua es un parámetro muy importante debido a su efecto sobre las reacciones químicas, y la capacidad del agua para usos beneficiosos. Las aguas subterráneas tienen la temperatura muy poco variable, y responde a la media anual de las temperaturas atmosféricas del lugar, incrementado en el producto de la profundidad por el gradiente geotérmico, el cual afecta a la viscosidad del agua, capacidad de absorción de gases, etc. (Custodio y Llamas, 1983).

2.1.5.3 Densidad:

La densidad se define como la masa de un litro de agua y la misma varía con la temperatura y crece con la salinidad, puede informar para la estimación del contenido en sales minerales de las salmueras. (Custodio y Llamas, 1983)

2.1.5.4 Color:

En las aguas subterráneas el color en general está originado por materiales orgánicos de formaciones carbonosas o suelos vegetales. El agua pura en gran espesor es azulada. Si hay Fe puede tomar color rojizo, negro con Mn. Con SH₂ se produce color azulado y con ácidos húmicos amarillento. (Custodio y Llamas, 1983)

2.1.5.5 Olor - Sabor:

Las aguas subterráneas son inodoras, el sabor del agua es una determinación organoléptica subjetiva, de interés en agua potable. Las aguas con más de 300 ppm de Cl tienen gusto salado, las que tienen más de 400 ppm de SO₄ tienen gusto salado y amargo. (Custodio y Llamas, 1983)

2.1.5.6 Turbiedad:

La turbidez del agua es un indicador de la presencia de partículas coloidales y de material en suspensión que resulta muy fino, lo cual hace que su sedimentación y filtración sean complicadas. (Custodio y Llamas, 1983)

2.1.5.7 Materias en suspensión:

Se define como el contenido en materiales sedimentables que pueden ser retenidos por un filtro. En las aguas de origen subterráneo no tienen materia en suspensión, excepto en circulaciones kársticas o si se ha obtenido en una captación mal desarrollada en la que se producen arrastres. (Custodio y Llamas, 1983).

2.1.6 Propiedades químicas del agua:

2.1.6.1 pH:

La forma habitual para expresar la concentración de los iones de hidrógeno es el pH, el cual se define como el logaritmo negativo de la concentración de los iones de hidrógeno, la escala de este parámetro en un medio acuoso va hasta 14, en donde las soluciones ácidas están por debajo de 7 y las básicas por encima de 7, las concentraciones de iones de hidrógeno es un parámetro importante de calidad de agua. En donde aguas con $\text{pH} < 7$ suelen ser agresivas y $\text{pH} > 9$ son dificultosas a la flora. (Mihelcic y Zimmerman, 2012).

2.1.6.2 Dureza:

La dureza del agua se demuestra más corrientemente mediante la cantidad de jabón necesaria para producir espuma. La dureza podría llamarse la propiedad del agua para desperdiciar jabón, pues mientras los minerales que causan la dureza no se hayan eliminado al combinarse con el jabón, no se producirán espumas en el agua dura. El material removido por el jabón se evidencia por una escoria insoluble (Custodio y Llamas, 1983).

2.1.6.3 Sólidos totales disueltos:

Se denomina como la suma de todos los minerales, sales disueltas en el agua y metales que no pueden ser removidos por un filtro tradicional, y es un parámetro fundamental de indicador de calidad de agua. Los sólidos totales disueltos se pueden determinar a partir del residuo seco que queda de una muestra de agua que se haya dejado evaporar. También se puede calcular sumando las concentraciones determinadas por separado de todos los iones presentes en el agua, Los sólidos disueltos calculados serán por lo general ligeramente menores que el residuo dejado por la evaporación. (Sigler y Bauder, 2017)

2.1.6.4 Alcalinidad:

La alcalinidad se define como la capacidad que tiene el agua para neutralizar ácidos y resistir cambios en su pH. Esto significa que el agua con alta alcalinidad contiene sustancias, como bicarbonatos, carbonatos y, en menor medida, hidróxidos, que actúan como "amortiguadores" químicos, neutralizando la acidez cuando se agregan ácidos al sistema. (Custodio y Llamas ,1983)

2.1.6.5 Iones:

En el agua subterránea natural, la mayor parte de las sustancias disueltas está en forma iónica. Algunos de estos iones están casi siempre presentes y, al sumarlos, representan prácticamente la totalidad de los iones disueltos; a estos se les conoce como los iones fundamentales. Y estos son, para cationes: Sodio (Na^+), Calcio (Ca^{++}) y Magnesio (Mg^{++}) y aniones: Cloruro (Cl^-), Sulfato (SO_4^-) y Bicarbonato (CO_3H^-). (Custodio y Llamas ,1983).

2.1.6.6 Nitrato:

Es un compuesto químico que se forma a partir del ciclo natural del Nitrógeno, surge principalmente de la oxidación de compuestos como el amoníaco y se caracteriza por su alta solubilidad en el agua, es común encontrar este compuesto en fuentes de agua subterránea y superficial en donde existen descargas de origen doméstico y/o industrial, si la concentración de la misma es elevada en el agua potable puede ser perjudicial para la salud humana. (Custodio y Llamas ,1983).

2.1.6.7 Nitrógeno amoniacal:

El amonio es un ion monovalente positivo, de fórmula NH_4 , derivado del amoníaco por adición de unión hidrógeno. Las fuentes naturales de amonio son provenientes de los detritus de los peces (materia fecal, orina), los animales muertos, las hojas y otras partes de las plantas muertas y los restos de comida, al entrar en putrefacción originan, entre otras sustancias, es un gas con existencia propia, es venenoso, aún en bajas concentraciones, en tanto que el radical amonio sólo lo es en altas concentraciones (DIGESA, 2015).

2.1.6.8 Cloruro:

Se encuentran en el agua natural, estos proceden de la disolución de suelos y rocas que los contengan y que están en contacto con el agua. Otra fuente de cloruros es la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales a aguas superficiales, en forma de ión (Cl^-) es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua natural y residual. (DIGESA, 2015).

2.1.6.9 Cloro libre residual:

Es la cantidad de cloro presente en el agua en forma de ácido hipocloroso e hipoclorito que debe quedar en el agua de consumo humano para proteger de posible contaminación. (DIGESA, 2015)

2.1.7 Parámetros hidrogeológicos fundamentales:

2.1.7.1 Permeabilidad:

Es el parámetro que permite evaluar la capacidad de transmitir agua de una formación en función de la textura de la misma, sin relación con su estructura o forma geométrica. (González *et al.*, 2002)

2.1.7.2 Coeficiente de almacenamiento:

Representa la capacidad para liberar agua de un acuífero. Este se define como el volumen de agua que es capaz de liberar un prisma de base unitaria y de altura la del acuífero, cuando desciende 1m del nivel piezométrico. (González *et al.*, 2002)

2.1.7.3 Porosidad:

Es una propiedad de los materiales que se expresa como la proporción entre el volumen de los espacios vacíos que pueden contener aire o agua y el volumen total del material, el arreglo o la distribución de las partículas que las conforman una roca influye directamente en la formación de los poros, y, por ende, en el valor total. (Custodio y Llamas ,1983).

2.1.7.4 Transmisividad:

Se refiere a la cantidad de agua que puede atravesar una sección vertical del terreno, con un ancho unitario y una altura correspondiente al espesor del manto saturado bajo un gradiente hidráulico igual a uno y a una temperatura específica, se mide en unidades que combinan velocidad y longitud. (Custodio y Llamas ,1983).

2.1.7.5 Infiltración:

La infiltración es el proceso, en el cual el agua procedente de las precipitaciones, penetra en el suelo, a través de la superficie de la tierra y queda retenida por él, superada la capacidad del suelo, el agua desciende por la acción conjunta de las fuerzas capilares y de la gravedad y alcanza un nivel acuífero aumentando el volumen acumulado anteriormente (Custodio, 1983).

2.2 Marco legal

En el Paraguay la Ley N° 3239/07 de los Recursos Hídricos, también conocida como la Ley de Aguas, fue promulgada en el año 2007. Esta Ley consta de 13 capítulos y 56 artículos a través de los cuales se regula la gestión y el uso del agua en nuestro país. A pesar de la vigencia de esta Ley en nuestro país cabe destacar también que varias partes de dicha reglamentación resultan ser muy ambiguas y en este momento se está trabajando en una reglamentación más específica para poder aplicar esta Ley de la manera más eficiente posible.

CAPÍTULO I

Objetivo

Artículo 1°. - La presente Ley tiene por objeto regular la gestión sustentable e integral de todas las aguas y los territorios que la producen, cualquiera sea su ubicación, estado físico o su ocurrencia natural dentro del territorio paraguayo, con el fin de hacerla social, económica y ambientalmente sustentable para las personas que habitan el territorio de la República del Paraguay.

CAPITULO II

Principios

Artículo 3°. - La gestión integral y sustentable de los recursos hídricos del Paraguay se regirá por los siguientes Principios:

- a) Las aguas, superficiales y subterráneas, son propiedad de dominio público del Estado y su dominio es inalienable e imprescriptible.
- b) El acceso al agua para la satisfacción de las necesidades básicas es un derecho humano y debe ser garantizado por el Estado, en cantidad y calidad adecuada.
- c) Los recursos hídricos poseen usos y funciones múltiples y tal característica deberá ser adecuadamente atendida, respetando el ciclo hidrológico, y favoreciendo pre en primera instancia el uso para consumo de la población humana.
- d) La cuenca hidrográfica es la unidad básica de gestión de los recursos hídricos.
- e) El agua es un bien natural condicionante de la supervivencia de todo ser vivo y los ecosistemas que los acogen.
- f) Los recursos hídricos son un bien finito y vulnerable

CAPITULO VI

Derechos de uso y aprovechamiento de los recursos hídricos

Artículo 13.- Todo habitante de la República del Paraguay es sujeto de derecho de uso y aprovechamiento de los recursos hídricos con diversos fines, en armonía con las normas, prioridades y limitaciones establecidas en la presente Ley, con excepción a lo establecido en la Ley No 1614/00 "GENERAL DEL MARCO REGULATORIO Y TARIFARIO DEL SERVICIO PUBLICO DE PROVISION DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA REPUBLICA DEL PARAGUAY

En la tabla 1 se presenta el cuadro de parámetros y concentraciones establecidas por la ERSSAN en la ley 1614/2000 Anexo III, se visualiza los limites admisibles según la normativa a nivel país, los recomendados por la OMS, y la frecuencia de muestreo para cada parámetro.

Tabla 1: Cuadro de parámetros y concentraciones, Anexo III, Ley 1614

A-: Características o componentes que afectan a la aceptabilidad del Agua por parte del Consumidor (Calidad Organoléptica)

| PARÁMETROS | UNIDAD | LIMITE ADMISIBLE | LIMITE RECOMEND. (*) | FRECUENCIA DE MUESTREO |
|--------------------------------|--------|------------------|----------------------|------------------------|
| CARACTERÍSTICAS FÍSICAS | | | | |
| Color | UCV | 15 | ≤5 | Horaria |
| Sabor y olor | | Aceptable | Aceptable (4) | Horaria |
| Turbiedad (1) | UNT | 5 | <1 | Horaria |
| pH (3) | | 6,5 a 8,5 | 6,5 a 8,5 | Horaria |
| Conductividad | μs/cm | 1.250 | ≥400 | Diaria |

Fuente: Anexo III de la Ley 1614/2000 de la ERSSAN

En la tabla 2 se presenta el cuadro de parámetros y concentraciones establecidas por la ERSSAN en la ley 1614/2000 Anexo III, se visualiza los límites admisibles según la normativa a nivel país, los recomendados por la OMS, y la frecuencia de muestreo para cada parámetro.

Tabla 2: Cuadro de parámetros y concentraciones, Anexo III, Ley 1614

A-: Características o componentes que afectan a la aceptabilidad del Agua por parte del Consumidor (Calidad Organoléptica)

| COMPONENTES INORGÁNICOS | | | | |
|--|------|------|-------------|---------|
| Aluminio (Al) | Mg/l | 0,2 | 0,2 | Diaria |
| Calcio (Ca ⁺²) | mg/l | 100 | ≤100 | Diaria |
| Magnesio (Mg ⁺²) | mg/l | 50 | ≤30 | Diaria |
| Potasio (K ⁺¹) | Mg/l | 12 | ≤10 | Diaria |
| Cloro libre residual (2) | mg/l | 2,0 | 0,20 - 0,50 | Horaria |
| Alcalinidad en CaCO ₃ | mg/l | 250 | ≤120 | Horaria |
| Cloruro (Cl) | mg/l | 250 | ≤250 | Horaria |
| Dureza total en CaCO ₃ | mg/l | 400 | ≤250 | Diaria |
| Nitrógeno Amoniacal (NH ₄) | mg/l | 0,05 | ≤0,05 | Diaria |
| Sólidos Totales Disueltos (STD) | mg/l | 1000 | ≤1000 | Diaria |

Fuente: Anexo III de la Ley 1614/2000 de la ERSSAN

En dónde:

(*) Los límites recomendables son los establecidos en las Guías de la OMS.

(1) 95% del tiempo. De preferencia <1.

(2) Sujeto a la necesidad de la calidad bacteriológica en el punto de suministro del Usuario.

(3) 90% del tiempo. El prestador debe asegurar el suministro de agua no agresiva ni incrustante al Sistema de Distribución.

(4) No desagradable para la mayoría de los consumidores.

ABREVIATURAS: UCV: Unidades de Color Verdadero

UNT: Unidades Nefelométricas de Turbiedad

mg/l: miligramo por litro

µs/cm: micro siemens por centímetro

Prosiguiendo, en la tabla 3 se expone el cuadro de parámetros y concentraciones establecidas por la ERSSAN en la ley 1614/2000 Anexo III, en ella se pueden visualizar los límites admisibles según la normativa a nivel país, como también los recomendados por la OMS y la frecuencia de muestreo para cada parámetro.

Tabla 3: Cuadro de parámetros y concentraciones, Anexo III, Ley 1614

B-: Componentes que afectan la Salud

| PARAMETRO | UNIDAD | LIMITE ADMISIBLE | LIMITE RECOMEND. (*) | FRECUENCIA DE MUESTREO |
|--------------------------------|--------|------------------|----------------------|------------------------|
| COMPONENTES INORGÁNICOS | | | | |
| Arsénico (As) | mg/l | 0,5 | 0 | Mensual |
| Nitrato NO ₃ (1) | mg/l | 45 | 0 | Diaria |

Fuente: Anexo III de la Ley 1614/2000 de la ERSSAN

En dónde:

(*) Los límites recomendables son los establecidos en las Guías de la OMS.

(1) En caso de que no se pueda administrar agua con un contenido inferior de Nitratos, el Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social, debe autorizar el abastecimiento, pues los problemas que se derivarían de la falta de agua son evidentemente mayores. Además, debe advertirse a la población de no usar el agua para la preparación de la alimentación lactante.

ABREVIATURAS: mg/l: miligramo por litro

En la tabla 4, se observa el cuadro de parámetros y concentraciones establecidas por la ERSSAN en la ley 1614/2000 Anexo III, en ella se pueden visualizar los límites admisibles según la normativa a nivel país, como también los recomendados por la OMS y la frecuencia de muestreo para cada parámetro.

Tabla 4: Cuadro de parámetros y concentraciones. Anexo III Ley 1614
C-: Componentes bacteriológicos básicos

| | ORGANISMO | UNIDAD | LÍMITE ADMISIBLE | LÍMITE RECOMEND. (*) | FRECUENCIA DE MUESTREO | OBSERVACIÓN |
|--|-------------------|---------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------|
| | Bacterias Fecales | Coliformes | UFC/100ml | 0 | 0 | Diaria (1) |
| | Bacterias Totales | Coliformes | UFC/100ml | 3 | 0 | Diaria (2) |

Fuente: Anexo III de la Ley 1614/2000 de la ERSSAN

En dónde:

(*) Los límites recomendables son los establecidos en las Guías de la OMS.

(1) En el 98% de las muestras examinadas durante el año y se examinan suficientes muestras

(2) En el 95% de las muestras examinadas durante el año y se examinan suficientes muestras

ABREVIATURAS: UFC: Unidad Formadora de Colonia

2.3 Geología Local:

2.3.1 Ubicación:

En la figura 1 se observa el área de estudio que se encuentra localizada en el departamento central en la región oriental del Paraguay, a 30km de la capital del país, Asunción, se encuentra ubicada al noreste del departamento, siendo sus límites al norte: el Lago Ypacaraí y Areguá, al sur: Itá y Pirayú, al este: Ypacaraí, y al oeste: Capiatá y Julián Augusto Saldívar. La ciudad posee una superficie de 115km², pero, nuestra zona de estudio abarca un total de 22km², siendo esta un 20% del total.

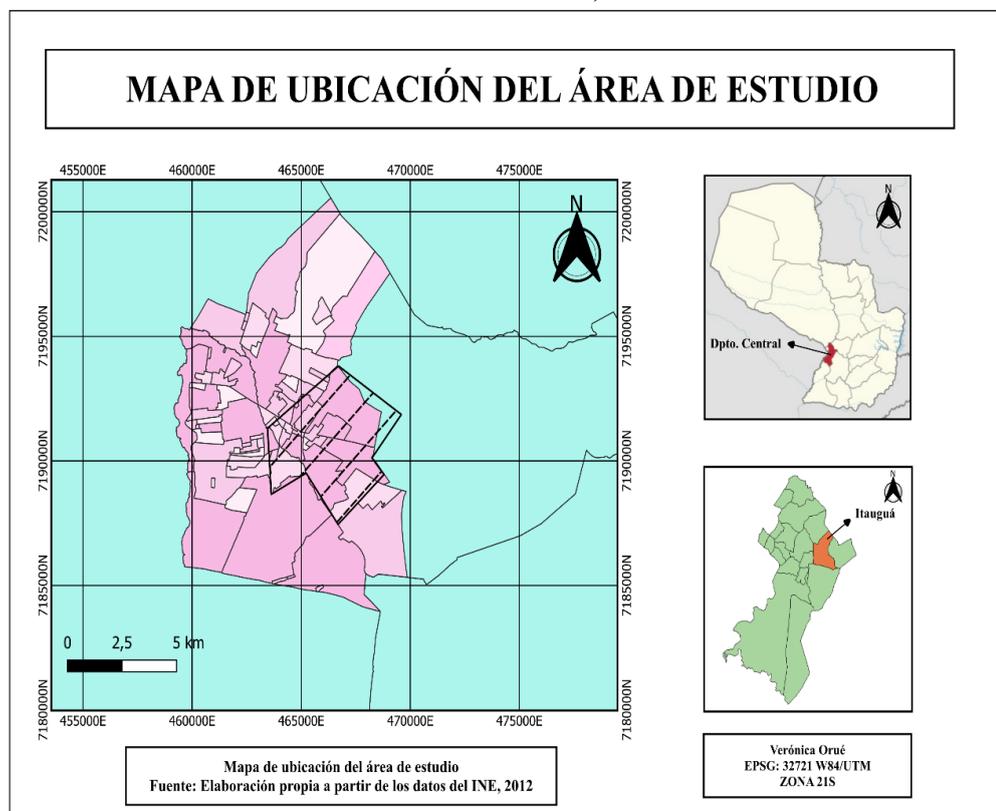


Figura 1: Mapa de ubicación del área de estudio
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del INE, 2012

2.3.2 Grupo Asunción:

El Grupo Asunción según la descripción del Texto explicativo Hoja Caacupé (1999), está distribuida de la siguiente manera, presenta una deposición caótica, sedimentación mal seleccionada en la base, debido a la rápida subsidencia de la estructura, predominantemente de origen fluvial. Se encuentra en forma discordante sobre los sedimentos paleozoicos del Grupo Caacupé y del Grupo Itacurubí. La litología se presenta con abundantes fragmentos y bloques de rocas de varios orígenes, formas y tamaño provenientes del complejo cristalino Precámbrico, de rocas sedimentarias del Paleozoico, magmáticas y sedimentarias del Mesozoico, todos depositados dentro de una matriz muy heterogénea compuesta de areniscas, arenisca arcillosa, y arcillas. Las areniscas inferiores de la unidad presentan granulometría gruesa en principio, pasando a finas, pueden contener horizontes conglomeráticos. En la parte superior las areniscas presentan granulometría más fina, con buena selección y redondez de sus granos. La composición mineralógica predominante es cuarzo. Seguido a la gran deposición de los sedimentos del Grupo Asunción, el ciclo tectónico Andino en el Paleógeno reactiva la estructuración anterior del Rift de Asunción, con la formación de nuevas direcciones, la cual permite el emplazamiento del magmatismo alcalino de edad terciaria en forma de stocks y diques en la estructura tectónica general, y dando lugar a la morfología actual.

2.3.3 Acuífero Patiño:

El acuífero Patiño de edad Cretácica, está constituida de sedimentos clásticos, que afloran desde Asunción y se extienden a lo largo del Rift de Asunción, en forma triangular, debido a su posición tectónica y sus diferentes interpretaciones pueden ser subdivididos en varias formaciones, por lo tanto, se agrupan como Grupo Asunción (Gómez, 1991). La composición litológica del Acuífero Patiño en general está constituida por conglomerados de cantos rodados con matriz arenosa, de color rojo, en la base; hacia la porción superior se halla constituida por areniscas de granulometría gruesa hasta media también de color rojo, en algunos casos se encuentran intercalaciones de arenas arcillosas y lentes arcillosos.

A las mismas se le atribuye una edad Cretácica superior bien definida ya que las areniscas contienen cantos de basaltos del Cretácico inferior. (Lahner, 2011) El acuífero no presenta una protección natural para evitar el ingreso de contaminantes, debido a la ausencia de capas impermeables superiores. Son numerosas las fuentes potenciales de contaminación por encontrarse en una zona densamente poblada. Otra problemática que acarrea el acuífero consiste en la salinización del agua subterránea, en ciertas áreas a lo largo del río Paraguay. Estas aguas saladas amenazan la calidad del agua dulce que se encuentra en el acuífero. Según Fúlfaro y Alvarenga (1986), sus afloramientos más arenosos están alrededor de Asunción y a lo largo de la depresión de Ypacaraí, pareciendo indicar que es relativamente fácil de obtener agua de esta formación, pero las experiencias en el campo demostraron que existen un fuerte control faciológico, el cual controlan el caudal explotable de este acuífero, por ello se recomienda un riguroso control geológico para el éxito de la perforación.

2.3.4 Antecedentes hidrogeológicos

Los antecedentes hidrogeológicos relevantes en el área, se han registrado a partir perforaciones de pozos tubulares profundos, desde 90 m, hasta 150 m de profundidad. Las perforaciones presentan experiencias de exploración y explotación de acuíferos en areniscas rojizas, de granulometría fina o gruesa, incluso conglomeráticos, la cual corresponde al Grupo Asunción. Villar (2010) Como consecuencia de la morfología del área, el Río Paraguay y otros cuerpos de aguas superficiales como el Lago Ypacaraí y el Río Salado, no se presentan en condiciones de recargar el Acuífero Patiño, esta proviene de precipitaciones locales por recarga directa, mientras que la descarga del agua subterránea es, por flujos subterráneos directamente al río Paraguay. En la tabla 5 se visualiza la estimativa de recarga al Acuífero Patiño según el texto explicativo del mapa hidrogeológico del Paraguay.

Tabla 5: Estimativa de la cantidad de recarga del Acuífero Patiño

| Acuífero | Superficie km ² | Infiltración % | Precipitación mm/año | Infiltración % | Infiltración total 10m ³ /año |
|----------|-------------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|---|
| Patiño | 2.010 | 1-2 | 1.400 | 14-28 | 28-56 |

Fuente: Texto explicativo del mapa Hidrogeológico del Paraguay (1989)

Las características hidrogeológicas que cuenta el Acuífero Patiño se describen en las tablas 6 y 7, respectivamente, de forma que estén representados en modelos estadísticos para el conocimiento sobre la media y variaciones en el acuífero.

Tabla 6: Características Hidrogeológicas del Acuífero Patiño

| Acuífero | Profundidad (m) | | | | | Espesor (m) | | | K | T |
|----------|-----------------|------|------|-----|-----|-------------|------|-------|-----|------|
| | media | min. | máx. | n | %≤p | media | min. | máx.. | m/d | m2/d |
| Patiño | 109 | 30 | 250 | 158 | - | 78 | 12 | 195 | 0,4 | 25,1 |

Fuente: Texto explicativo del mapa Hidrogeológico del Paraguay (1989)

K: Permeabilidad **T:** Transmisividad **%≤p:** porcentaje de pozos inferior a la media

Tabla 7: Caudales y Niveles Estático medio (m.e.s)

| Acuífero | Caudal m3/h | | | | Caudal específico | | | N.E medio | |
|----------|-------------|------|------|-----|-------------------|------|------|--------------|-------|
| | Media | min. | máx. | n | Media | min. | máx. | n | m.a.s |
| Patiño | 13.3 | 1.2 | 72.0 | 147 | 0.76 | 0.04 | 3.30 | 139 | 12.7 |

Fuente: Texto explicativo del mapa Hidrogeológico del Paraguay (1989)

m.a.s: metros debajo de la superficie **N.E:** Nivel estático

Las características hidroquímicas que dispone el Acuífero Patiño se observan en la tabla 8 representados en modelos estadísticos.

Tabla 8: Características Hidroquímicas del Acuífero Patiño

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------------------|-------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-------|-----------------|-----|------|-------|------|
| Acuífero Patiño | HCO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Cl ⁻ | NO ₃ ⁻ | Total | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Total | Residuo fijo | C.E | PH | S.A.R | Alc. |
| | 6.9 | 0.8 | 3.7 | 16.2 | 0.50 | 2.8 | 3.3 | 6.4 | 2.4 | 0.72 | 33 | - | 5.49 | - | 7.7 |

Fuente: Texto explicativo del mapa Hidrogeológico del Paraguay (1989)

C.E: Conductividad eléctrica **S.A.R:** Relación de absorción de Sodio **Alc.:** Alcalinidad

2.4 Aspectos físicos del área de estudio:

2.4.1 Clima:

De acuerdo al Plan Local de adaptación al Cambio Climático de la Municipalidad de Itauguá (2023), la ciudad se caracteriza por tener un clima subhúmedo húmedo megatérmico, donde la temperatura media anual de la zona es de 22 a 23 °C. Durante los meses de enero y Julio se registra una media de 28 a 29°C, registrándose ocasionales heladas de hasta 17 °C.

2.4.2 Geomorfología:

En el documento de Relato de Impacto Ambiental de Mbocayaty del Sur presentado por MSc. Ana Carolina Delgado en 2023, topográficamente Itauguá presenta áreas elevadas marcadas por los límites de la Cuenca del Lago Ypacaraí y con zonas bajas en el área que rodea el lago. Su costa en promedio cuenta con 140m con respecto al nivel del mar, siendo la elevación más marcada del Cerro Patiño con un total de 246m de altura.

2.4.3 Hidrología:

En el Relato de Impacto Ambiental de Mbocayaty del Sur, elaborado por MSc. Ana Carolina Delgado en 2023, Itauguá pertenece a la Cuenca del Lago de Ypacaraí de superficie total de 1100km², aunque la extensión costera en la ciudad de Itauguá es de 4km aproximadamente. El distrito cuenta con cauces tributarios de la misma, los arroyos principales son Jukyrimi, con los afluentes Mboi'y y el Pasopé, existen otros arroyos como el Yvyrtay, Lima, Estrella y Plata. En la Figura 2 se visualiza los arroyos principales de la ciudad.

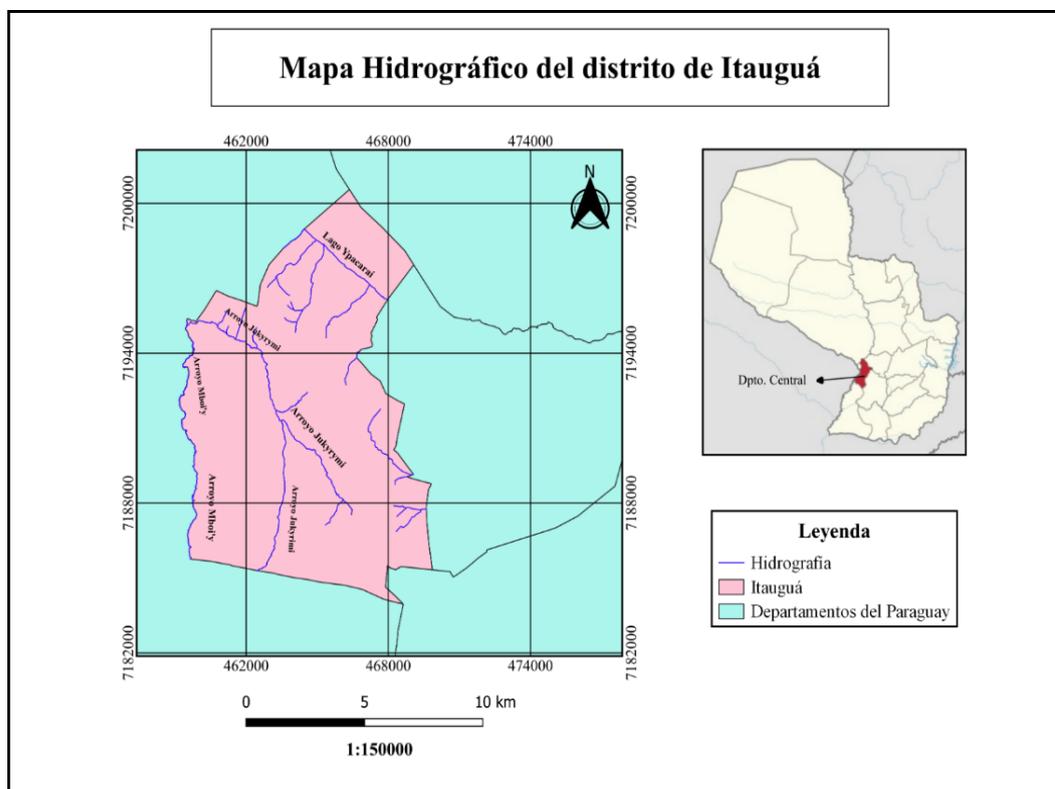


Figura 2: Mapa Hidrográfico del distrito de Itauguá
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del INE 2012

2.4.4 Precipitaciones:

Según la DINAC (2023) que se visualiza en la figura 3, el área de estudio tiene un estimado de pluvial anual de 1500 mm aproximadamente, la ciudad Itauguá enfrenta las amenazas relacionadas con la variabilidad climática, fenómenos como El Niño y La Niña que son períodos de lluvias y sequías intensas. Así también, sufre las producidas por la variación en la precipitación, el aumento en la temperatura global y el cambio en la temperatura local debidas al cambio climático.

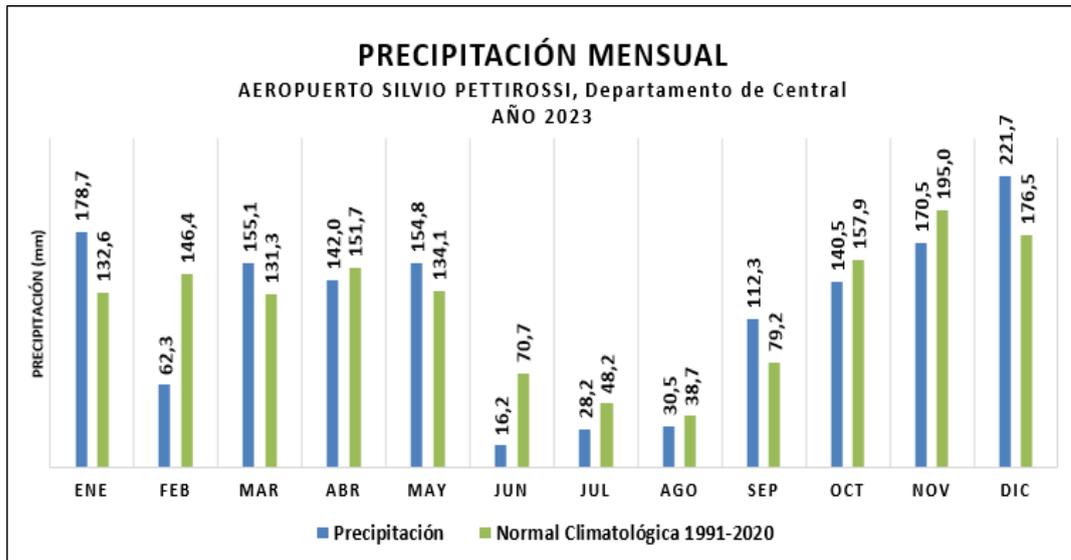


Figura 3: Precipitación anual del Dpto. Central
Fuente: Modificado de DINAC, 2023

III. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque:

El enfoque en este trabajo de investigación es cuantitativo, según lo definido por Hernández Sampieri *et al.* (2014), quienes explican que este tipo de enfoque se caracteriza por la recolección de datos, numéricos, el uso de análisis estadísticos y la búsqueda de patrones que permitan generalizar los resultados. En este caso, se evalúa la calidad de agua potable para el consumo humano en la zona sureste de la ciudad de Itauguá mediante los parámetros físico-químicos y bacteriológicos que dispone la JSI. Este enfoque permite obtener conclusiones basadas en datos medibles y respaldadas por métodos estadísticos buscando determinar la idoneidad del agua para el consumo humano.

3.2 Nivel de investigación:

El nivel de investigación de este trabajo es descriptivo, según la clasificación Hernández Sampieri *et al.* (2014), quienes definen este tipo de investigación como aquella que busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de un fenómeno. En este caso, se centra en analizar y describir la calidad de agua potable en la zona sureste de la ciudad de Itauguá, determinando si cumple con los estándares establecidos por Ley 1614/2000 de la ERSSAN. Este enfoque permite identificar y detallar las condiciones actuales de la calidad de agua sin intervenir en las variables estudiadas.

En relación al nivel de investigación de este trabajo, se utilizaron las metodologías *POSCH* y *POSH* para estructurar y sistematizar el análisis de los datos. La metodología *POSCH* se clasifica como un enfoque descriptivo y analítico, permite evaluar los parámetros físicos-químicos y bacteriológicos de la calidad de agua generando un índice global que clasifica su aptitud para el consumo humano, permitiendo describir el estado actual del recurso hídrico en términos cuantitativos y normativos. Por otra parte, la metodología *POSH* se clasifica como descriptiva y explicativa, su propósito es de identificar, localizar y clasificar las fuentes de contaminación en una zona de estudio. Contribuye a caracterizar tanto como a interpretar la influencia de los factores externos en la calidad del agua potable aportando una visión integral sobre los riesgos asociados en el área de estudio.

3.3 Área de estudio:

3.3.1 Localización: En la figura 4 se observa el área delimitada, abarca un total de 22km² de 115km² de la ciudad de Itauguá, ubicada a 30km de la capital Asunción. Se encuentra delimitada por las ciudades: Capiatá, Areguá, Ypacaraí e Ita. Los pozos abarcan los barrios los barrios Laurely, Itauguá Guasú, Yvyrtay y Guasuvira.

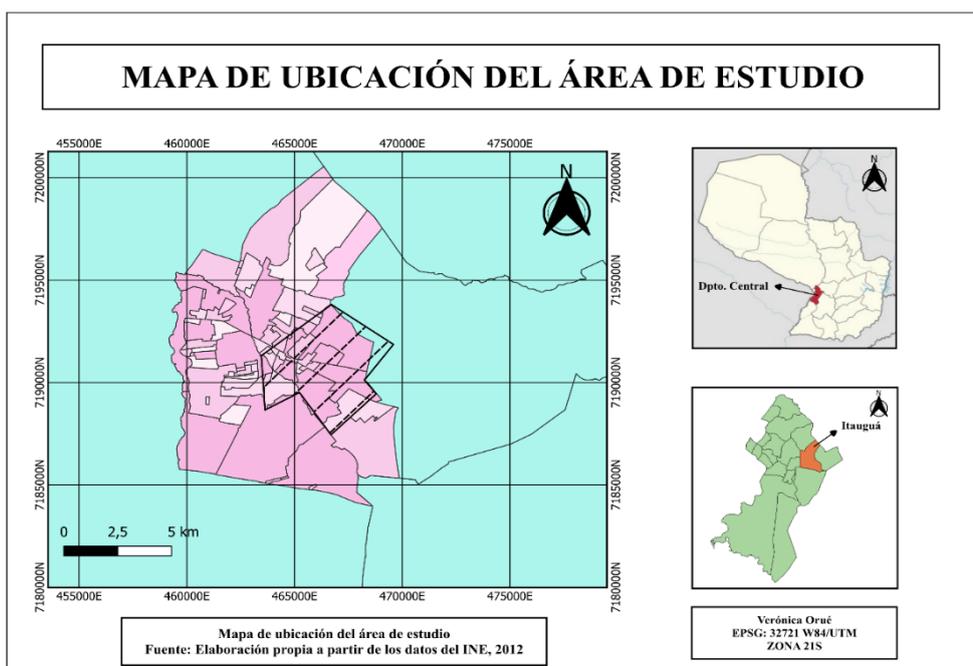


Figura 4: Mapa de ubicación del área de estudio
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la INE 2012

3.3.2 Vías y medio de comunicación:

En la figura 5 se representan las principales vías de la ciudad de Itauguá, siendo la principal vía de comunicación por medio de la Ruta Nacional PY02 “Mcal. José Félix Estigarribia”, el cual conecta a las ciudades aledañas como Capiatá e Ypacaraí, también la Av. Gral. Marcial Samaniego lleva a Itá y la Av. Patiño a la ciudad de Areguá. En cuanto a medios de comunicación por el distrito pasan distintos ómnibus de corta y larga distancia que circulan por la Ruta Nacional PY02 el cual permite el traslado de los pobladores a varias ciudades del país, y el municipio cuenta con un transporte de corta distancia siendo la línea 165 Ñanduti S.R.L e internos pertenecientes a la misma empresa.

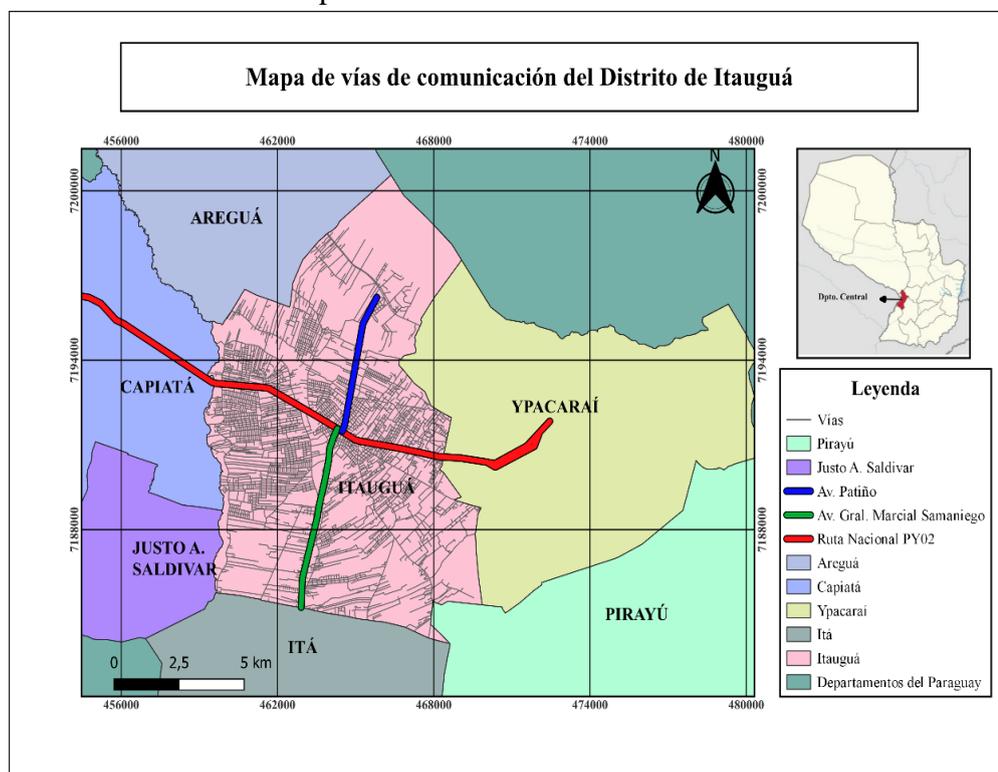


Figura 5: Mapa de vías de comunicación del distrito de Itauguá
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la INE 2012

3.4 Población:

La Junta de Saneamiento gestiona seis pozos profundos en el área de estudio, en la tabla 9 se observan las coordenadas de la ubicación de estos pozos. Los parámetros físico-químicos y bacteriológicos de las mismas han sido evaluados en esta investigación.

Tabla 9: Pozos profundos de la JSI con sus coordenadas

| Nombre | X | Y | COTA | Profundidad |
|--------------|--------|---------|------|-------------|
| POZO Local | 463857 | 7190248 | 136 | 130m |
| POZO Potrero | 464813 | 7189617 | 141 | 120m |
| POZO 07 | 467766 | 7191429 | 196 | 140m |
| POZO 28 | 467975 | 7190322 | 165 | 120m |
| POZO 14 | 467646 | 7188372 | 162 | 140m |
| POZO 16 | 467275 | 7191996 | 194 | 110m |

3.5 Muestra:

La muestra incluye un total de seis pozos profundos pertenecientes a la JSI, cuyos análisis físico-químicos y bacteriológicos se emplearán para alcanzar los objetivos planteados en este estudio.

3.6 Unidad de análisis:

La unidad de análisis constituye de seis pozos profundos que fueron perforados en nuestra zona de estudio pertenecientes a la JSI.

3.7 Muestreo:

El muestro utilizado en este trabajo de investigación corresponde a un diseño no probabilístico por conveniencia, ya que se emplean los datos provenientes de los análisis de agua realizados en los seis pozos profundos que dispone la JSI.

3.8 Instrumentos para la recolección de datos:

Los instrumentos utilizados durante esta investigación son netamente el análisis documental con el trabajo de gabinete y de campo.

3.9 Procedimientos de análisis:

3.9.1 Trabajo de gabinete:

La primera etapa de este proyecto de investigación se centró en la recopilación bibliográfica de información relevante sobre la zona de estudio, abarcando aspectos como las vías de acceso, características físicas, geología regional y local, así como la hidrología e hidrogeología con el objetivo de lograr una comprensión integral del área. Además, se utilizaron los datos físico-químicos y bacteriológicos proporcionados por la JSI correspondientes a los seis pozos bajo su gestión. Para la evaluación de estos datos y la identificación de riesgos contaminantes, se aplicaron la metodología *POSCH* y *POSH*, respectivamente. En el caso de la metodología *POSCH* se realizó un análisis de los parámetros físico-químico y bacteriológicos mediante el cálculo del promedio anual de cada uno de los seis pozos profundos, clasificando su idoneidad según los criterios establecidos en esta metodología, resultados que fueron representados en tablas que permitió determinar el Índice de Calidad de Agua, y gráficos para el promedio anual. Por otro lado, con la aplicación de la metodología *POSH* se identificaron posibles fuentes de contaminación alrededor de los pozos en el área de estudio, clasificando a las mismas en directas y difusas, este proceso permitió evaluar los riesgos asociados en la zona de estudio.

3.9.2 Trabajo de campo:

En este apartado se realizaron varias visitas a la Junta de Saneamiento de Itauguá, se llevó a cabo un recorrido por las seis ubicaciones de los pozos profundos donde se registraron las coordenadas geográficas de cada una, y fueron documentadas mediante registros fotográficos para complementar y respaldar la información recolectada, además, se obtuvieron los resultados de los análisis físico-químicos y bacteriológicos de los seis pozos en nuestra zona de estudio.

3.9.3 Elaboración de mapas:

Tras la recopilación de las coordenadas geográficas de los pozos en el área de estudio, se procedió a su ubicación inicial en la plataforma *Google Earth Pro*, posteriormente se generaron los mapas correspondientes, hidrográfico, ubicación del área de estudio, vías de accesos, mapas de los pozos, los puntos contaminantes clasificadas en directos y difusos, utilizando los *shapes* que dispone el INE y el *software Qgis* para la elaboración de los mismos, para garantizar una representación cartográfica precisa y profesional.

IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

4.1 Descripción:

Se realizó la evaluación de los análisis físico-químicos y bacteriológicos correspondientes a los seis pozos profundos que dispone la Junta de Saneamiento de Itauguá durante el año 2024. A partir de estos resultados se calculó el promedio anual por cada parámetro para cada pozo, estos pozos están localizados geográficamente y están representadas en la figura 6. La interpretación se realizó utilizando la metodología *POSCH* (*Proposed Overall Suitability for Consumption of Human Water*) con tablas y gráficos que se detallan más adelante, así como una ponderación que permitió determinar el Índice de Calidad de Agua.

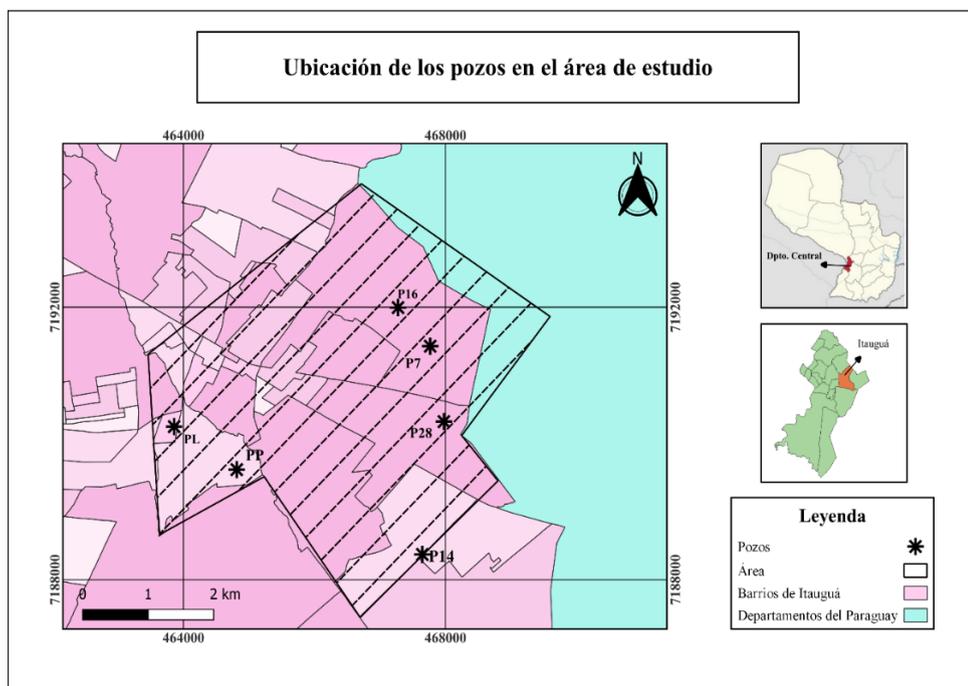


Figura 6: Ubicación de los pozos profundos en el área de estudio
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la INE 2012

Por otro lado, para identificar los puntos de riesgos contaminantes, se aplicó la metodología *POSH (Pollutant Origin Surcharge Hydraulically)*, que influye en la identificación de posibles fuentes contaminantes en la zona de estudio, la ponderación de su impacto y la clasificación de estos puntos en directos y difusos.

A continuación, en la tabla 10 se visualizan los valores promedios obtenidos en los análisis físico-químicos y bacteriológicos de los seis pozos profundos en nuestra área de estudio, en el periodo enero-noviembre en el año 2024.

Tabla 10: Promedio de todos los parámetros de todos los pozos en el año 2024.

| Parámetros | Unidad | Limite Adm. ERSSAN | PL | PP | P7 | P14 | P16 | P28 |
|-----------------------------------|--------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Características Físicas | | | | | | | | |
| Color (UCV) | UCV | 15 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 |
| Sabor y olor | | Aceptable | A. | A. | A. | A. | A. | A. |
| Turbiedad | UNT | 5 | 0,33 | 0,2 | 0,29 | 0,28 | 0,23 | 0,23 |
| pH | | 6,5 a 8,5 | 5,8 | 5,6 | 5,72 | 5,67 | 5,72 | 5,69 |
| Conductividad | µs/cm | 1.250 | 82,98 | 54,04 | 74,74 | 84,87 | 79,73 | 76,47 |
| Componentes Inorgánicos | | | | | | | | |
| Calcio (Ca ⁺²) | mg/l | 100 | 7,15 | 5,94 | 7,19 | 6,83 | 6,85 | 6,66 |
| Magnesio (Mg ⁺²) | mg/l | 50 | 1,89 | 1,99 | 1,88 | 1,87 | 1,97 | 2,37 |
| Cloro residual libre | mg/l | 2 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| Alc. en CaCO ₃ | mg/l | 250 | 18,09 | 17,45 | 17,27 | 17,36 | 16,59 | 17,81 |
| Cloruro (Cl) | mg/l | 250 | 11,92 | 11,77 | 11,4 | 11,55 | 11,41 | 12,09 |
| Dureza total en CaCO ₃ | mg/l | 400 | 25,96 | 23,33 | 26 | 25,3 | 25,63 | 26,81 |

| | | | | | | | | |
|--|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Nitrógeno Amoniacal (NH ₄) | mg/l | 0,05 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Sólidos Totales Disueltos (STD) | mg/l | 1000 | 41,5 | 27,02 | 37,37 | 42,26 | 36,24 | 38,48 |

Tabla 11: Promedio de todos los parámetros de todos los pozos en el año 2024.

| Comp. Inorgánico | Unidad | Límite Adm. ERSSAN | PL | PP | P07 | P14 | P16 | P28 |
|-------------------------|--------|--------------------|-------|-------|-------|-------|------|-----|
| Nitrato NO ₃ | mg/l | 45 | 12,62 | 10,97 | 12,61 | 12,63 | 13,5 | 13 |

Tabla 12: Promedio de todos los parámetros de todos los pozos en el año 2024.

| Organismo | Unidad | Límite Adm. ERSSAN | PL | PP | P07 | P14 | P16 | P28 |
|------------------------------|------------|--------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|
| Bacterias Coliformes Fecales | UFC/100 ml | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bacterias Coliformes Totales | UFC/100 ml | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

En las tablas 10, 11 y 12 se presentan los valores promedios obtenidos de los seis pozos profundos en el área de estudio en el periodo enero-noviembre en el presente año, donde, se evalúan los parámetros físico-químicos y bacteriológicos, estos datos la mayoría se ajustan a la norma establecida por la ERSSAN en la ley 1614/2000.

Sin embargo, se observa una ligera desviación con respecto a los niveles de pH en los seis pozos, los cuales no alcanzan el límite mínimo admisible, esto podría indicar que el agua consumo humano en la zona de estudio presenta una ligera acidez, las posibles causas se podría considerar la corrosión de las tuberías o equipos, o bien, el uso de cloro para la desinfección.

Aunque este parámetro no representa un riesgo directo para la salud de la comunidad, influye ligeramente en el sabor del agua, sin embargo, no tuvo un impacto significativo en su aceptabilidad.

En cuanto a los parámetros bacteriológicos, dispuestas en la tabla 12, es de importancia destacar que los valores promedios obtenidos dieron resultado cero (0) para cada pozo analizado, esto nos indica que no se detectaron presencia de bacterias coliformes fecales ni totales en las muestras tomadas en el periodo enero-noviembre del presente año, representando un resultado positivo que garantiza la seguridad del agua para el consumo humano en la comunidad. Estos resultados reflejan una adecuada gestión por parte de la JSI, incluyendo la protección efectiva de los pozos y la implementación de sistemas de tratamientos eficientes.

En las siguientes tablas 13 al 17, se implementó la metodología POSH, mediante la cual se identificaron los puntos de riesgos para cada pozo, exceptuando el pozo 14 ya que esta se encontraba apartada de los puntos de riesgos contaminantes considerados en este trabajo. Estos puntos de riesgo contaminantes se clasificaron en directos o difusos, asimismo se determinó la distancia de cada punto a los pozos y se asignó un peso porcentual obteniendo de ellas un valor normalizado que permitió calcular su ponderación. Los resultados obtenidos para cada pozo dieron un impacto bajo para cada pozo en el área de estudio, lo que respalda la seguridad del agua frente a riesgos externos asociados a actividades humanas.

Tabla 13: Índice de Impacto del Pozo Local

| Punto de Riesgo | Tipo Difuso/Directo | Distancia (m) | Ponderación (%) | Valor Normalizado | Ponderación obtenida |
|------------------|---------------------|---------------|-----------------|-------------------|----------------------|
| Est. Serv. 1 | Directo | 1000 m | 15% | 0,512 | 0,076 |
| Est. Serv. 2 | Directo | 1140 m | 15% | 0,441 | 0,066 |
| Est. Serv. 3 | Directo | 1350 m | 15% | 0,333 | 0,05 |
| Fáb. - Ind. 1 | Directo | 300 m | 15% | 0,871 | 0,130 |
| Fáb. - Ind. 2 | Directo | 500 m | 15% | 0,769 | 0,115 |
| Lavadero 1 | Directo | 170 m | 10% | 0,938 | 0,093 |
| Lavadero 2 | Directo | 660 m | 10% | 0,687 | 0,068 |
| Lavadero 3 | Directo | 770 m | 10% | 0,63 | 0,063 |
| Lavadero 4 | Directo | 780 m | 10% | 0,625 | 0,062 |
| Lavadero 5 | Directo | 1190 m | 10% | 0,584 | 0,058 |
| Lavadero 6 | Directo | 1300 m | 10% | 0,358 | 0,035 |
| Taller M. 1 | Directo | 50 m | 10% | 1 | 0,1 |
| Taller M. 2 | Directo | 1180 m | 10% | 0,42 | 0,042 |
| Taller M. 3 | Directo | 1190 m | 10% | 0,415 | 0,041 |
| Hospital | Directo | 1500 m | 10% | 0,256 | 0,025 |
| Cementerio | Directo | 780 m | 10% | 0,625 | 0,062 |
| Vivero 1 | Difuso | 530 m | 10% | 0,753 | 0,075 |
| Vivero 2 | Difuso | 880 m | 10% | 0,574 | 0,057 |
| Motel 1 | Difuso | 620 m | 5% | 0,707 | 0,035 |
| Motel 2 | Difuso | 680 m | 5% | 0,676 | 0,033 |
| Distancia min. | | 50 m | | | |
| Distancia máx. | | 2000 m | | | |
| Total de Impacto | | | | | 1,286 Bajo |

En la tabla 13 se observa a los puntos de riesgos contaminantes clasificadas en directos y difusos, la distancia que presenta con el pozo local con cada punto, siendo la distancia mínima de 50m y se una distancia máxima de 2000m alrededor del pozo, con la ponderación general asignada para cada indicador, se efectúa una normalización de valores por medio de una ecuación, donde se mide un factor de riesgo basado en la distancia entre un punto de riesgo y el pozo, se calcula como $Vn: 1 - \frac{\text{distancia real}}{\text{distancia máxima}}$, donde Vn representa el valor normalizado, que seguido a eso es multiplicado por el factor de ponderación correspondiente, siendo el porcentaje otorgado en decimal.

De ello se calcula el índice del impacto, que se obtiene con la sumatoria de todos los valores ponderados de todos los puntos de riesgos asociados a un pozo. Para la interpretación de los resultados del índice de impacto, se establece una clasificación basada en rangos específicos: Bajo impacto (0-40), Impacto moderado (41-60), Alto impacto (61-80), e Impacto muy alto (81-100). El Pozo Local el resultado final obtenido fue de 1,286 dándonos como clasificación de Impacto Bajo, indicando que tienen una influencia mínima sobre el pozo, lo que sugiere que el agua es segura frente a amenazas externas.

Tabla 14: Índice de Impacto del Pozo Potrero

| Punto de Riesgo | Tipo Difuso/Directo | Distancia (m) | Ponderación (%) | Valor N. | Ponderación Obtenida |
|------------------|---------------------|---------------|-----------------|----------|----------------------|
| Est. Serv. 1 | Directo | 570 m | 15% | 0,733 | 0,11 |
| Est. Serv. 2 | Directo | 1400 m | 15% | 0,307 | 0,046 |
| Est. Serv. 3 | Directo | 1800 m | 15% | 0,102 | 0,015 |
| Fáb. - Ind. 1 | Directo | 930 m | 15% | 0,548 | 0,082 |
| Fáb. - Ind. 2 | Directo | 930 m | 15% | 0,548 | 0,082 |
| Lavadero 1 | Directo | 1140 m | 10% | 0,441 | 0,044 |
| Lavadero 2 | Directo | 1200 m | 10% | 0,410 | 0,041 |
| Lavadero 3 | Directo | 1500 m | 10% | 0,256 | 0,025 |
| Lavadero 4 | Directo | 1800 m | 10% | 0,102 | 0,01 |
| Lavadero 5 | Directo | 1800 m | 10% | 0,102 | 0,01 |
| Taller M. 1 | Directo | 200 m | 10% | 0,923 | 0,092 |
| Taller M. 2 | Directo | 880 m | 10% | 0,574 | 0,057 |
| Taller M. 3 | Directo | 1000 m | 10% | 0,512 | 0,051 |
| Cementerio | Directo | 1200 m | 10% | 0,410 | 0,041 |
| Vivero 1 | Difuso | 1000 m | 10% | 0,512 | 0,051 |
| Vivero 2 | Difuso | 1700 m | 10% | 0,153 | 0,015 |
| Motel 1 | Difuso | 960 m | 5% | 0,533 | 0,026 |
| Motel 2 | Difuso | 970 m | 5% | 0,528 | 0,026 |
| Dist. mín. | | 50 m | | | |
| Dist. máx. | | 2000 m | | | |
| Total de Impacto | | | | | 0,822 Bajo |

En la tabla 14 se visualiza los puntos de riesgos contaminantes clasificadas en directos y difusos, la distancia que presenta con el pozo potrero con cada punto, se considera una distancia mínima de 50m y una distancia máxima de 2000m alrededor del pozo, con la ponderación general asignada para cada indicador, se efectúa una normalización de valores por medio de una ecuación, donde se mide un factor de riesgo basado en la distancia entre un punto de riesgo y el pozo, se calcula como $Vn: 1 - \frac{\text{distancia real}}{\text{distancia máxima}}$, donde Vn representa el valor normalizado, que seguido a eso es multiplicado por el factor de ponderación correspondiente, siendo el porcentaje otorgado en decimal.

De ello se calcula el índice del impacto, que se obtiene con la sumatoria de todos los valores ponderados de todos los puntos de riesgos asociados a un pozo. Para la interpretación de los resultados del índice de impacto, se establece una clasificación basada en rangos específicos: Bajo impacto (0-40), Impacto moderado (41-60), Alto impacto (61-80), e Impacto muy alto (81-100). Para el Pozo Potrero el valor obtenido fue de 0,822 que nos indica que los puntos de riesgos evaluados tienen una influencia mínima sobre el pozo, lo que sugiere que el agua es segura.

Tabla 15: Índice de impacto del Pozo Nro. 7

| Punto de Riesgo | Tipo | Distancia (m) | Ponderación (%) | Valor Normalizado | Índice de Impacto |
|------------------|---------|---------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| Est. Serv. 1 | Directo | 760 m | 15% | 0,635 | 0,095 |
| Est. Serv. 2 | Directo | 800 m | 15% | 0,615 | 0,092 |
| Est. Serv. 3 | Directo | 950 m | 15% | 0,538 | 0,08 |
| Est. Serv. 4 | Directo | 1000 m | 15% | 0,512 | 0,076 |
| Fáb. - Ind. 1 | Directo | 570 m | 15% | 0,733 | 0,11 |
| Fáb. - Ind. 2 | Directo | 600 m | 15% | 0,717 | 0,107 |
| Fáb. - Ind. 3 | Directo | 800 m | 15% | 0,615 | 0,092 |
| Fáb. - Ind. 4 | Directo | 1000 m | 15% | 0,512 | 0,076 |
| Fáb. - Ind. 5 | Directo | 1140 m | 15% | 0,441 | 0,066 |
| Lavadero 1 | Directo | 770 m | 10% | 0,63 | 0,063 |
| Lavadero 2 | Directo | 1600 m | 10% | 0,205 | 0,02 |
| Cementerio | Directo | 680 m | 10% | 0,676 | 0,067 |
| C. Salud | Difuso | 1400 m | 5% | 0,307 | 0,015 |
| Vivero 1 | Difuso | 1400 m | 10% | 0,307 | 0,03 |
| Vivero 2 | Difuso | 1800 m | 10% | 0,102 | 0,01 |
| Vivero 3 | Difuso | 1800 m | 10% | 0,102 | 0,01 |
| Cantera 1 | Difuso | 1350 m | 10% | 0,333 | 0,033 |
| Cantera 2 | Difuso | 1800 m | 10% | 0,102 | 0,01 |
| Motel | Difuso | 940 m | 5% | 0,543 | 0,027 |
| Dist. mín. | | 50 m | | | |
| Dist. máx. | | 2000 m | | | |
| Total de Impacto | | | | | 1,076 Bajo |

En la tabla 15 se observa los puntos de riesgos contaminantes clasificadas en directos y difusos, la distancia que presenta con el pozo potroto con cada punto, se considera una distancia mínima de 50m y una distancia máxima de 2000m alrededor del pozo, con la ponderación general asignada para cada indicador, se efectúa una normalización de valores por medio de una ecuación, donde se mide un factor de riesgo basado en la distancia entre un punto de riesgo y el pozo, se calcula como $Vn: 1 - \frac{\text{distancia real}}{\text{distancia máxima}}$, donde Vn representa el valor normalizado, que seguido a eso es multiplicado por el factor de ponderación correspondiente, siendo el porcentaje otorgado en decimal.

De ello se calcula el índice del impacto, que se obtiene con la sumatoria de todos los valores ponderados de todos los puntos de riesgos asociados a un pozo. Para la interpretación de los resultados del índice de impacto, se establece una clasificación basada en rangos específicos: Bajo impacto (0-40), Impacto moderado (41-60), Alto impacto (61-80), e Impacto muy alto (81-100). El Pozo Nro. 7 el resultado final obtenido para su índice de impacto es 1,086 que indica que los puntos de riesgos evaluados influyen de forma mínima sobre el pozo, lo que sugiere que el agua es segura para consumo humano.

Tabla 16: Índice de Impacto del Pozo Nro. 16

| Punto de Riesgo | Tipo Difuso/Directo | Distancia (m) | Ponderación (%) | Valor Normalizado | Índice de Impacto |
|------------------|---------------------|---------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| Est. Serv. 1 | Directo | 1200 m | 15% | 0,41 | 0,061 |
| Est. Serv. 2 | Directo | 1260 m | 15% | 0,379 | 0,056 |
| Est. Serv. 3 | Directo | 1300 m | 15% | 0,358 | 0,053 |
| Est. Serv. 4 | Directo | 1340 m | 15% | 0,338 | 0,05 |
| Fáb. - Ind 1 | Directo | 300 m | 15% | 0,871 | 0,13 |
| Fáb. - Ind 2 | Directo | 1000 m | 15% | 0,512 | 0,076 |
| Fáb. - Ind 3 | Directo | 1100 m | 15% | 0,461 | 0,069 |
| Fáb. - Ind 4 | Directo | 1250 m | 15% | 0,384 | 0,057 |
| Fáb. - Ind 5 | Directo | 1470 m | 15% | 0,271 | 0,04 |
| Fáb. - Ind 6 | Directo | 1870 m | 15% | 0,066 | 0,01 |
| Lavadero 1 | Directo | 1300 m | 10% | 0,358 | 0,035 |
| Lavadero 2 | Directo | 1430 m | 10% | 0,292 | 0,029 |
| Lavadero 3 | Directo | 1800 m | 10% | 0,102 | 0,01 |
| Cementerio | Directo | 1400 m | 10% | 0,307 | 0,03 |
| C. Salud | Difuso | 1250 m | 5% | 0,384 | 0,019 |
| Vivero 1 | Difuso | 860 m | 10% | 0,584 | 0,058 |
| Vivero 2 | Difuso | 900 m | 10% | 0,564 | 0,054 |
| Vivero 3 | Difuso | 1450 m | 10% | 0,282 | 0,028 |
| Vivero 4 | Difuso | 1460 m | 10% | 0,276 | 0,027 |
| Cantera 1 | Difuso | 1140 m | 10% | 0,441 | 0,044 |
| Cantera 2 | Difuso | 1900 m | 10% | 0,0512 | 0,005 |
| Motel | Difuso | 1600 m | 5% | 0,205 | 0,01 |
| Dist. Mín. | | 50 m | | | |
| Dist. Máx. | | 2000 m | | | |
| Total de Impacto | | | | | 0,953 Bajo |

En la tabla 16 se visualiza los puntos de riesgos contaminantes clasificadas en directos y difusos, la distancia que presenta con el pozo potroto con cada punto, se considera una distancia mínima de 50m y una distancia máxima de 2000m alrededor del pozo, con la ponderación general asignada para cada indicador, se efectúa una normalización de valores por medio de una ecuación, donde se mide un factor de riesgo basado en la distancia entre un punto de riesgo y el pozo, se calcula como $Vn: 1 - \frac{\text{distancia real}}{\text{distancia máxima}}$, donde Vn representa el valor normalizado, que seguido a eso es multiplicado por el factor de ponderación correspondiente, siendo el porcentaje otorgado en decimal.

De ello se calcula el índice del impacto, que se obtiene con la sumatoria de todos los valores ponderados de todos los puntos de riesgos asociados a un pozo. Para la interpretación de los resultados del índice de impacto, se establece una clasificación basada en rangos específicos: Bajo impacto (0-40), Impacto moderado (41-60), Alto impacto (61-80), e Impacto muy alto (81-100). Para el Pozo Nro. 16 se obtuvo un valor 0,953 indicando que los puntos de riesgos alrededor del pozo no presentan ninguna amenaza, dando a entender que el agua es segura para su consumo humano.

Tabla 17: Índice de Impacto del Pozo Nro. 28

| Punto de Riesgo | Tipo Difuso/Directo | Distancia (m) | Ponderación (%) | Valor Normalizado | Índice de Impacto |
|------------------|---------------------|---------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| Est. Serv. 1 | Directo | 540 m | 15% | 0,748 | 0,112 |
| Est. Serv. 2 | Directo | 580 m | 15% | 0,728 | 0,109 |
| Est. Serv. 3 | Directo | 980 m | 15% | 0,523 | 0,078 |
| Est. Serv. 4 | Directo | 1100 m | 15% | 0,461 | 0,069 |
| Fáb. - Ind 1 | Directo | 350 m | 15% | 0,846 | 0,126 |
| Fáb. - Ind 2 | Directo | 460 m | 15% | 0,789 | 0,118 |
| Fáb. - Ind 3 | Directo | 570 m | 15% | 0,733 | 0,11 |
| Fáb. - Ind 4 | Directo | 1350 m | 15% | 0,333 | 0,05 |
| Fáb. - Ind 5 | Directo | 1700 m | 15% | 0,153 | 0,028 |
| Lavadero 1 | Directo | 600 m | 10% | 0,748 | 0,074 |
| Lavadero 2 | Directo | 1900 m | 10% | 0,051 | 0,005 |
| Cementerio | Directo | 650 m | 10% | 0,692 | 0,069 |
| C. de Salud | Difuso | 1880 m | 5% | 0,061 | 0,003 |
| Vivero | Difuso | | | | |
| Cantera | Difuso | 1700 m | 10% | 0,153 | 0,015 |
| Motel | Difuso | 180 m | 5% | 0,933 | 0,04 |
| Distancia mínima | | 50 m | | | |
| Distancia Máxima | | 2000 m | | | |
| Total de Impacto | | | | | 1,001 Bajo |

En la tabla 17 se observa los puntos de riesgos contaminantes clasificadas en directos y difusos, la distancia que presenta con el pozo potroto con cada punto, se considera una distancia mínima de 50m y una distancia máxima de 2000m alrededor del pozo, con la ponderación general asignada para cada indicador, se efectúa una normalización de valores por medio de una ecuación, donde se mide un factor de riesgo basado en la distancia entre un punto de riesgo y el pozo, se calcula como $Vn: 1 - \frac{\text{distancia real}}{\text{distancia máxima}}$, donde Vn representa el valor normalizado, que seguido a eso es multiplicado por el factor de ponderación correspondiente, siendo el porcentaje otorgado en decimal.

De esto, se calcula el índice del impacto, que se obtiene con la sumatoria de todos los valores ponderados de todos los puntos de riesgos asociados a un pozo. Para la interpretación de los resultados del índice de impacto, se establece una clasificación basada en rangos específicos: Bajo impacto (0-40), Impacto moderado (41-60), Alto impacto (61-80), e Impacto muy alto (81-100). En el Pozo Nro. 28 se obtuvo un valor de impacto 1,001 indicando que es bajo el impacto alrededor del pozo, dando a entender que estos factores de riesgo contaminantes influyen de forma mínima sugiriendo que el consumo del agua es seguro para la población.

En la figura 7 están representados los puntos de riesgos contaminantes directos y difusos, siendo Industrias, Hospitales, Cementerios, Talleres Mecánicos, Estaciones de Servicios, Lavaderos, para los directos, y para los difusos las Canteras, Viveros, Centro de salud y Moteles.

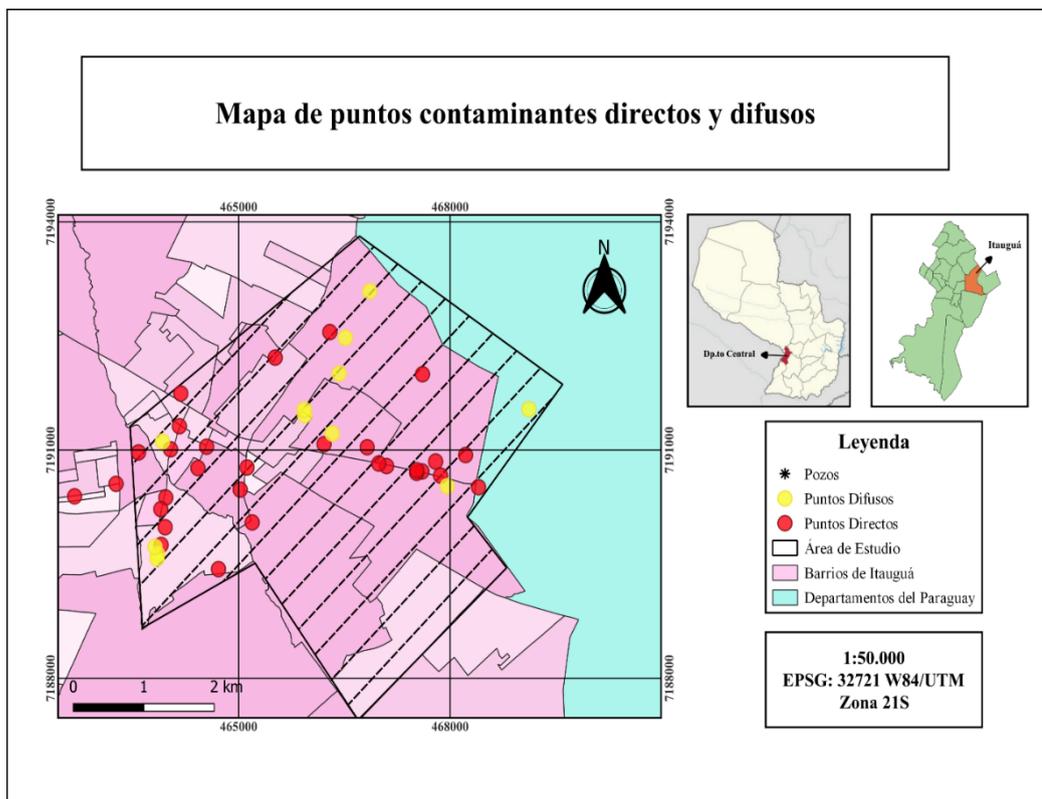


Figura 7: Mapa de puntos contaminantes directos y difusos en el área de estudio
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la INE 2012

En la figura 8 se visualiza la ubicación de los seis pozos con respecto a los puntos de riesgos contaminantes directos y difusos en el área de estudio.

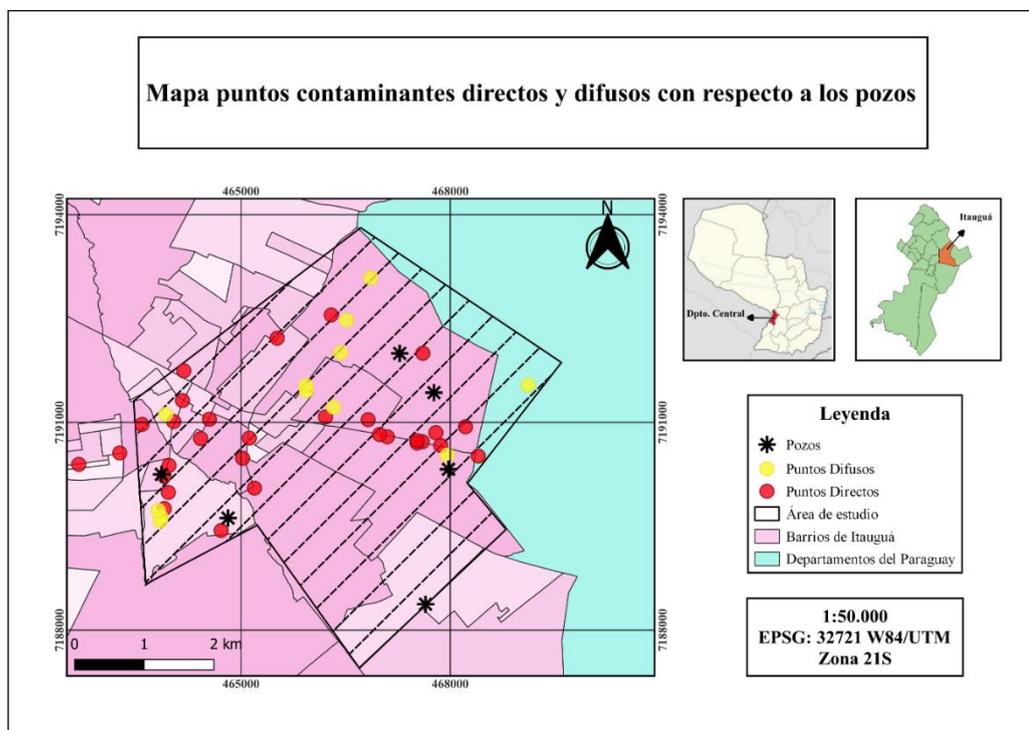


Figura 8: Mapa de puntos contaminantes directos y difusos en el área de estudio con respecto a los pozos

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la INE 2012

A continuación, en las tablas 18 al 37 se aplicó la metodología POSCH, utilizando los valores promedio de los análisis físico-químicos y bacteriológicos obtenidos para cada pozo, esta metodología permite calcular un Índice de Calidad del Agua mediante un proceso de normalización y ponderación de cada parámetro, considerando su relevancia como indicador para la calidad de agua potable destinada al consumo humano en el área de estudio. Los resultados muestran que los pozos evaluados se encuentran en el rango excelente para consumo humano ajustándose a las normas establecidas por la ERSSAN en la ley 1614/2000. La siguiente tabla se utilizará los rangos establecidos para cada pozo para su clasificación.

Tabla 18: Clasificación de la calidad de Agua

| Rango ICA | Calidad del Agua |
|-----------|----------------------|
| 80-100 | Excelente |
| 50-79 | Buena |
| 25-49 | Regular |
| 0-24 | No apta para consumo |

Las Tablas 19, Tabla 20 y Tabla 21, se disponen los datos correspondientes para el Pozo Local, incluyendo la ponderación de cada parámetro por medio de una valoración normalizada, conforme al método *POSCH*. En este análisis permite interpretar la calidad del agua para consumo humano, integrando los resultados físico-químicos y bacteriológicos dentro del esquema de evaluación propuesto, a fin de determinar si cumplen con los estándares establecidos para garantizar la seguridad del recurso hídrico. Primeramente, se calcula el valor normalizado para cada parámetro siendo $Vn: \left(1 - \frac{\text{valor medido}}{\text{límite admisible}}\right) \times 100$ y el resultado se multiplica por el porcentaje ponderado en decimal para obtener la ponderación final, y la suma de las mismas nos da el índice de calidad de agua que, para su interpretación de los resultados se clasifican en un rango específicos que se visualizan en la Tabla 18.

El Pozo Local dio como resultado un valor 81,91 entrando en el rango de excelente, atribuyendo que el agua que se consume en el área de estudio es apta y se ajustan a las normas establecidas por la ERSSAN.

Tabla 19: Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Local.

| Ponderación (%) | Parámetros | Unidad | Límite Admisible | Valor Obtenido | Valor Normalizado | Ponderación Obtenida |
|------------------------|-----------------------------------|--------|------------------|----------------|-------------------|----------------------|
| Características | | | | | | |
| Físicas | | | | | | |
| 5% | Color | UCV | 15 | <5 | 100 | 5 |
| 5% | Sabor y olor | | A. | A. | 100 | 5 |
| 5% | Turbiedad | UNT | 5 | 0,33 | 93,4 | 4,67 |
| 5% | pH | | 6,5 a 8,5 | 5,8 | 65 | 3,25 |
| 5% | Conductividad | µs/cm | 1.250 | 82,98 | 93,36 | 4,668 |
| Componentes | | | | | | |
| Inorgánicos | | | | | | |
| 2% | Calcio (Ca ⁺²) | mg/l | 100 | 7,15 | 98,85 | 1,857 |
| 2% | Magnesio (Mg ⁺²) | mg/l | 50 | 1,89 | 96,22 | 1,924 |
| 5% | Cloro Libre Residual | mg/l | 2 | 0,7 | 65 | 3,25 |
| 3% | Alcalinidad en CaCO ₃ | mg/l | 250 | 18,09 | 92,764 | 2,782 |
| 3% | Cloruro | mg/l | 250 | 11,92 | 95,232 | 2,856 |
| 3% | Dureza total en CaCO ₃ | mg/l | 400 | 25,96 | 93,51 | 2,805 |
| 5% | Nitrógeno Amoniacal | mg/l | 0,05 | 0,01 | 80 | 4 |
| 5% | Sólidos totales disueltos | mg/l | 1000 | 41,5 | 95,85 | 4,792 |

Tabla 20: Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Local.

| Ponderación (%) | Parámetros | Unidad | Límite Adm. | Valor Obt. | Valor normalizado | Ponderación Obtenida |
|-----------------|---|--------|-------------|------------|-------------------|----------------------|
| 20% | Componentes Inorgánicos Nitrato (NO ₃) | mg/l | 45 | 12,62 | 71,955 | 14,391 |

Tabla 21: Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Local.

| Ponderación (%) | Parámetros | Unidad | Límite Admisible | Valor Obtenido | Valor N. | Ponderación Obtenida |
|-----------------|--|-----------|------------------|----------------|----------|----------------------|
| 15% | Organismo Bacterias Coliformes Fecales | UFC/100ml | 0 | 0 | 100 | 15 |
| 10% | Bacterias Coliformes Totales | UFC/100ml | 3 | 0 | 100 | 10 |
| Total | | | | | | 81,91 |

En las Tablas 22, Tabla 23 y Tabla 24 disponen los datos correspondientes para el Pozo Potrero, incluyendo la ponderación de cada parámetro por medio de una valoración normalizada, conforme al método *POSCH*. En este análisis permite interpretar la calidad del agua para consumo humano, integrando los resultados físico-químicos y bacteriológicos dentro del esquema de evaluación propuesto, a fin de determinar si cumplen con los estándares establecidos para garantizar la seguridad del recurso hídrico. Primeramente, se calcula el valor normalizado para cada parámetro siendo $Vn: \left(1 - \frac{\text{Valor medido}}{\text{Límite admisible}}\right) \times 100$ y el resultado se multiplica por el porcentaje ponderado en decimal para obtener la ponderación final, y la suma de las mismas nos da el índice de calidad de agua que, para su interpretación de los resultados se clasifican en un rango específicos que se visualizan en la tabla 18.

El Pozo Potrero dio como resultado un valor 82,28 ubicándose en el rango de excelente, atribuyendo que el agua que se consume en el área de estudio es apta y se ajustan a las normas establecidas por la ERSSAN.

Tabla 22: Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Potrero

| Ponderación (%) | Parámetros | Unidad | Limite Admisible | Valor Obtenido | Valor Normalizado | Ponderación Obtenida |
|-------------------------|-----------------------------------|--------|------------------|----------------|-------------------|----------------------|
| Características Físicas | | | | | | |
| 5% | Color | UCV | 15 | <5 | 100 | 5 |
| 5% | Sabor y olor | | Aceptable | Aceptable | 100 | 5 |
| 5% | Turbiedad | UNT | 5 | 0,2 | 96 | 4,8 |
| 5% | pH | | 6,5 a 8,5 | 5,6 | 55 | 2,75 |
| 5% | Conductividad | μs/cm | 1.250 | 54,04 | 95,67 | 4,783 |
| Componentes Inorgánicos | | | | | | |
| 2% | Calcio (Ca ⁺²) | mg/l | 100 | 5,94 | 94,06 | 1,881 |
| 2% | Magnesio (Mg ⁺²) | mg/l | 50 | 1,99 | 96,02 | 1,924 |
| 5% | Cloro Libre Residual | mg/l | 2 | 0,7 | 65 | 3,25 |
| 3% | Alcalinidad en CaCO ₃ | mg/l | 250 | 17,45 | 93,02 | 2,79 |
| 3% | Cloruro | mg/l | 250 | 11,77 | 95,292 | 2,858 |
| 3% | Dureza total en CaCO ₃ | mg/l | 400 | 23,33 | 94,167 | 2,825 |
| 5% | Nitrógeno Amoniacal | mg/l | 0,05 | 0,01 | 80 | 4 |
| 5% | Sólidos totales disueltos | mg/l | 1000 | 27,02 | 97,298 | 4,864 |

Tabla 23: Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Potrero

| Ponderación (%) | Parámetros | Unidad | Limite Admisible | Valor Obtenido | Valor normalizado | Ponderación Obtenida |
|-----------------|---|--------|------------------|----------------|-------------------|----------------------|
| 20% | Componentes Inorgánicos Nitrato (NO ₃) | mg/l | 45 | 10,97 | 75,622 | 15,124 |

Tabla 24: Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Potrero

| Ponderación (%) | Parámetros | Unidad | Limite Admisible | Valor Obtenido | Valor Normalizado | Ponderación Obtenida |
|-----------------|--|-----------|------------------|----------------|-------------------|----------------------|
| 15% | Organismo Bacterias Coliformes Fecales | UFC/100ml | 0 | 0 | 100 | 15 |
| 10% | Bacterias Coliformes Totales | UFC/100ml | 3 | 0 | 100 | 10 |
| Total | | | | | | 82,28 |

Las Tabla 25, Tabla 26 y Tabla 27 disponen los datos correspondientes para el Pozo Nro. 7, incluyendo la ponderación de cada parámetro por medio de una valoración normalizada, conforme al método POSCH. En este análisis permite interpretar la calidad del agua para consumo humano, integrando los resultados físico-químicos y bacteriológicos dentro del esquema de evaluación propuesto, a fin de determinar si cumplen con los estándares establecidos para garantizar la seguridad del recurso hídrico. Primeramente, se calcula el valor normalizado para cada parámetro siendo $Vn: \left(1 - \frac{\text{Valor medido}}{\text{Límite admisible}}\right) \times 100$ y el resultado se multiplica por el porcentaje ponderado en decimal para obtener la ponderación final, y la suma de las mismas nos da el índice de calidad de agua que, para su interpretación de los resultados se clasifican en un rango específicos que se visualizan en la tabla 18.

El Pozo Nro. 7 dio como resultado un valor 82,05 ubicándose en el rango de excelente, atribuyendo que el agua que se consume en el área de estudio es apta y se ajustan a las normas establecidas por la ERSSAN.

Tabla 1 Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro. 7.

| Ponderación (%) | Parámetros | Unidad | Limite Admisible | Valor Obtenido | Valor Normalizado | Ponderación Obtenida |
|--------------------------------|-----------------------------------|--------|------------------|----------------|-------------------|----------------------|
| Características Físicas | | | | | | |
| 5% | Color | UCV | 15 | <5 | 100 | 5 |
| 5% | Sabor y olor | | Aceptable | Aceptable | 100 | 5 |
| 5% | Turbiedad | UNT | 5 | 0,29 | 94,2 | 4,71 |
| 5% | pH | | 6,5 a 8,5 | 5,72 | 61 | 3,05 |
| 5% | Conductividad | µs/cm | 1.250 | 74,74 | 94,02 | 4,701 |
| Componentes Inorgánicos | | | | | | |
| 2% | Calcio (Ca ⁺²) | mg/l | 100 | 7,19 | 92,81 | 1,856 |
| 2% | Magnesio (Mg ⁺²) | mg/l | 50 | 1,88 | 96,24 | 1,924 |
| 5% | Cloro Libre Residual | mg/l | 2 | 0,6 | 70 | 3,5 |
| 3% | Alcalinidad en CaCO ₃ | mg/l | 250 | 17,27 | 93,092 | 2,792 |
| 3% | Cloruro | mg/l | 250 | 11,4 | 95,44 | 2,863 |
| 3% | Dureza total en CaCO ₃ | mg/l | 400 | 26 | 93,5 | 2,805 |
| 5% | Nitrógeno Amoniacal | mg/l | 0,05 | 0,01 | 80 | 4 |
| 5% | Sólidos totales disueltos | mg/l | 1000 | 37,37 | 96,263 | 4,863 |

Tabla 2: Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro. 7.

| Ponderación (%) | Parámetros | Unidad | Límite Admisible | Valor Obtenido | Valor normalizado | Ponderación Obtenida |
|-------------------------|----------------------------|--------|------------------|----------------|-------------------|----------------------|
| Componentes Inorgánicos | | | | | | |
| 20% | Nitrato (NO ₃) | mg/l | 45 | 12,61 | 71,977 | 14,395 |

Tabla 3: Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro. 7.

| Ponderación (%) | Parámetros | Unidad | Límite Admisible | Valor Obtenido | Valor Normalizado | Ponderación Obtenida |
|-----------------|------------------------------|------------|------------------|----------------|-------------------|----------------------|
| Organismo | | | | | | |
| 15% | Bacterias Coliformes Fecales | UFC/100 ml | 0 | 0 | 100 | 15 |
| 10% | Bacterias Coliformes Totales | UFC/100 ml | 3 | 0 | 100 | 10 |
| Total | | | | | | 82,05 |

Las Tabla 28, Tabla 29 y Tabla 30 se disponen los datos correspondientes para el Pozo Nro. 14, incluyendo la ponderación de cada parámetro por medio de una valoración normalizada, conforme al método *POSCH*. En este análisis permite interpretar la calidad del agua para consumo humano, integrando los resultados físico-químicos y bacteriológicos dentro del esquema de evaluación propuesto, a fin de determinar si cumplen con los estándares establecidos para garantizar la seguridad del recurso hídrico. Primeramente, se calcula el valor normalizado para cada parámetro siendo $Vn: \left(1 - \frac{\text{Valor medido}}{\text{Límite admisible}}\right) \times 100$, y el resultado se multiplica por el porcentaje ponderado en decimal para obtener la ponderación final, y la suma de las mismas nos da el índice de calidad de agua que, para su interpretación de los resultados se clasifican en un rango específicos que se visualizan en la tabla 18.

El Pozo Nro. 14 dio como resultado un valor 81,91 ubicándose en el rango de excelente, atribuyendo que el agua que se consume en el área de estudio es apta y se ajustan a las normas establecidas por la ERSSAN.

Tabla 4 Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro 14

| Ponderación (%) | Parámetros | Unidad | Limite Admisible | Valor Obtenido | Valor Normalizado | Ponderación Obtenida |
|-------------------------|-----------------------------------|--------|------------------|----------------|-------------------|----------------------|
| Características Físicas | | | | | | |
| 5% | Color | UCV | 15 | <5 | 100 | 5 |
| 5% | Sabor y olor | | A. | A. | 100 | 5 |
| 5% | Turbiedad | UNT | 5 | 0,28 | 94,4 | 4,72 |
| 5% | pH | | 6,5 a 8,5 | 5,67 | 58,5 | 2,925 |
| 5% | Conductividad | µs/cm | 1.250 | 84,87 | 93,21 | 4,66 |
| Componentes Inorgánicos | | | | | | |
| 2% | Calcio (Ca ²⁺) | mg/l | 100 | 6,83 | 93,17 | 1,863 |
| 2% | Magnesio (Mg ²⁺) | mg/l | 50 | 1,87 | 96,26 | 1,925 |
| 5% | Cloro Libre Residual | mg/l | 2 | 0,6 | 70 | 3,5 |
| 3% | Alcalinidad en CaCO ₃ | mg/l | 250 | 17,36 | 93,056 | 2,791 |
| 3% | Cloruro | mg/l | 250 | 11,55 | 95,38 | 2,861 |
| 3% | Dureza total en CaCO ₃ | mg/l | 400 | 25,3 | 93,675 | 2,81 |
| 5% | Nitrógeno Amoniacal | mg/l | 0,05 | 0,01 | 80 | 4 |
| 5% | Sólidos totales disueltos | mg/l | 1000 | 42,26 | 95,774 | 4,788 |

Tabla 5 Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro. 14

| Ponderación (%) | Parámetros | Unidad | Límite Admisible | Valor Obtenido | Valor normalizado | Ponderación Obtenida |
|-------------------------|----------------------------|--------|------------------|----------------|-------------------|----------------------|
| Componentes Inorgánicos | | | | | | |
| 20% | Nitrato (NO ₃) | mg/l | 45 | 12,63 | 71,933 | 14,386 |

Tabla 30: Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro. 14

| Ponderación (%) | Parámetros | Unidad | Límite Admisible | Valor Obtenido | Valor Normalizado | Ponderación Obtenida |
|-----------------|--|------------|------------------|----------------|-------------------|----------------------|
| 15% | Organismo Bacterias Coliformes Fecales | UFC/100 ml | 0 | 0 | 100 | 15 |
| 10% | Bacterias Coliformes Totales | UFC/100 ml | 3 | 0 | 100 | 10 |
| Total | | | | | | 81,91 |

Las Tabla 31, Tabla 32 y Tabla 33 se disponen los datos correspondientes para el Pozo Nro. 16, incluyendo la ponderación de cada parámetro por medio de una valoración normalizada, conforme al método *POSCH*. En este análisis permite interpretar la calidad del agua para consumo humano, integrando los resultados físico-químicos y bacteriológicos dentro del esquema de evaluación propuesto, a fin de determinar si cumplen con los estándares establecidos para garantizar la seguridad del recurso hídrico. Primeramente, se calcula el valor normalizado para cada parámetro siendo $Vn: \left(1 - \frac{\text{Valor medido}}{\text{Límite admisible}}\right) \times 100$ y el resultado se multiplica por el porcentaje ponderado en decimal para obtener la ponderación final, y la suma de las mismas nos da el índice de calidad de agua que, para su interpretación de los resultados se clasifican en un rango específicos que se visualizan en la Tabla 18.

El Pozo Nro. 16 dio como resultado un valor 81,92 ubicándose en el rango de excelente, atribuyendo que el agua que se consume en el área de estudio es apta y se ajustan a las normas establecidas por la ERSSAN.

Tabla 31: Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro. 16

| Ponderación (%) | Parámetros | Unidad | Limite Admisible | Valor Obtenido | Valor Normalizado | Ponderación Obtenida |
|-------------------------|-----------------------------------|--------|------------------|----------------|-------------------|----------------------|
| Características Físicas | | | | | | |
| 5% | Color | UCV | 15 | <5 | 100 | 5 |
| 5% | Sabor y olor | | Aceptable | Aceptable | 100 | 5 |
| 5% | Turbiedad | UNT | 5 | 0,23 | 99,77 | 4,98 |
| 5% | pH | | 6,5 a 8,5 | 5,72 | 61 | 3,05 |
| 5% | Conductividad | µs/cm | 1.250 | 79,73 | 93,62 | 4,681 |
| Componentes Inorgánicos | | | | | | |
| 2% | Calcio (Ca ⁺²) | mg/l | 100 | 6,85 | 93,15 | 1,863 |
| 2% | Magnesio (Mg ⁺²) | mg/l | 50 | 1,97 | 96,06 | 1,921 |
| 5% | Cloro Libre Residual | mg/l | 2 | 0,6 | 70 | 3,5 |
| 3% | Alcalinidad en CaCO ₃ | mg/l | 250 | 16,59 | 93,364 | 2,8 |
| 3% | Cloruro | mg/l | 250 | 11,41 | 95,436 | 2,863 |
| 3% | Dureza total en CaCO ₃ | mg/l | 400 | 25,63 | 93,592 | 2,807 |
| 5% | Nitrógeno Amoniacal | mg/l | 0,05 | 0,01 | 80 | 4 |
| 5% | Sólidos totales disueltos | mg/l | 1000 | 36,24 | 96,376 | 4,818 |

Tabla 32: Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro. 16

| Ponderación (%) | Parámetros | Unidad | Límite Admisible | Valor Obtenido | Valor normalizado | Ponderación Obtenida |
|-------------------------|----------------------------|--------|------------------|----------------|-------------------|----------------------|
| Componentes Inorgánicos | | | | | | |
| 20% | Nitrato (NO ₃) | mg/l | 45 | 13,5 | 70 | 14 |

Tabla 33: Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro. 16

| Ponderación (%) | Parámetros | Unidad | Límite Admisible | Valor Obtenido | Valor Normalizado | Ponderación Obtenida |
|-----------------|------------------------------|-----------|------------------|----------------|-------------------|----------------------|
| 15% | Organismo Bacterias | UFC/100ml | 0 | 0 | 100 | 15 |
| 10% | Coliformes Fecales Bacterias | UFC/100ml | 3 | 0 | 100 | 10 |
| Total | Coliformes Totales | | | | | 81,92 |

Las Tabla 34, Tabla 35 y Tabla 36 disponen los datos correspondientes para el Pozo Nro. 28, incluyendo la ponderación de cada parámetro por medio de una valoración normalizada, conforme al método *POSCH*. En este análisis permite interpretar la calidad del agua para consumo humano, integrando los resultados físico-químicos y bacteriológicos dentro del esquema de evaluación propuesto, a fin de determinar si cumplen con los estándares establecidos para garantizar la seguridad del recurso hídrico. Primeramente, se calcula el valor normalizado para cada parámetro siendo $Vn: \left(1 - \frac{\text{Valor medido}}{\text{Límite admisible}}\right) \times 100$, y el resultado se multiplica por el porcentaje ponderado en decimal para obtener la ponderación final, y la suma de las mismas nos da el índice de calidad de agua que, para su interpretación de los resultados se clasifican en un rango específicos que se visualizan en la Tabla 18.

El Pozo Nro. 28 dio como resultado un valor 82 ubicándose en el rango de excelente, atribuyendo que el agua que se consume en el área de estudio es apta y se ajustan a las normas establecidas por la ERSSAN.

Tabla 34: Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro. 28

| Ponderación (%) | Parámetros | Unidad | Límite Admisible | Valor Obtenido | Valor Normalizado | Ponderación Obtenida |
|--------------------------------|-----------------------------------|--------|------------------|----------------|-------------------|----------------------|
| Características Físicas | | | | | | |
| 5% | Color | UCV | 15 | <5 | 100 | 5 |
| 5% | Sabor y olor | | Aceptable | Aceptable | 100 | 5 |
| 5% | Turbiedad | UNT | 5 | 0,23 | 99,77 | 4,98 |
| 5% | pH | | 6,5 a 8,5 | 5,69 | 59,5 | 2,975 |
| 5% | Conductividad | µs/cm | 1.250 | 76,47 | 93,88 | 4,694 |
| Componentes Inorgánicos | | | | | | |
| 2% | Calcio (Ca ⁺²) | mg/l | 100 | 6,66 | 93,34 | 1,866 |
| 2% | Magnesio (Mg ⁺²) | mg/l | 50 | 2,37 | 95,26 | 1,905 |
| 5% | Cloro Libre Residual | mg/l | 2 | 0,6 | 70 | 3,5 |
| 3% | Alcalinidad en CaCO ₃ | mg/l | 250 | 17,81 | 92,876 | 2,786 |
| 3% | Cloruro | mg/l | 250 | 12,09 | 95,164 | 2,854 |
| 3% | Dureza total en CaCO ₃ | mg/l | 400 | 26,81 | 93,297 | 2,798 |
| 5% | Nitrógeno Amoniacal | mg/l | 0,05 | 0,01 | 80 | 4 |
| 5% | Sólidos totales disueltos | mg/l | 1000 | 38,48 | 96,152 | 4,807 |

Tabla 35: Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro. 28

| Ponderación (%) | Parámetros | Unidad | Límite Admisible | Valor Obtenido | Valor normalizado | Ponderación Obtenida |
|-------------------------|---------------------------------|---------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Componentes Inorgánicos | | | | | | |
| 20% | Nitrato (NO₃) | mg/l | 45 | 13 | 71,11 | 14,22 |

Tabla 36: Índice de Calidad de Agua (ICA) del Pozo Nro. 28

| Ponderación (%) | Parámetros | Unidad | Límite Admisible | Valor Obtenido | Valor Normalizado | Ponderación Obtenida |
|------------------------|--|---------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 15% | Organismo Bacterias Coliformes Fecales | UFC/100ml | 0 | 0 | 100 | 15 |
| 10% | Bacterias Coliformes Totales | UFC/100ml | 3 | 0 | 100 | 10 |
| Total | | | | | | 82 |

4.2 Gráficos

La figura 9 representa el parámetro físico color, con los valores promedios obtenidos en los seis pozos profundos se visualizan en la misma, y el límite admisible por la ERSSAN.

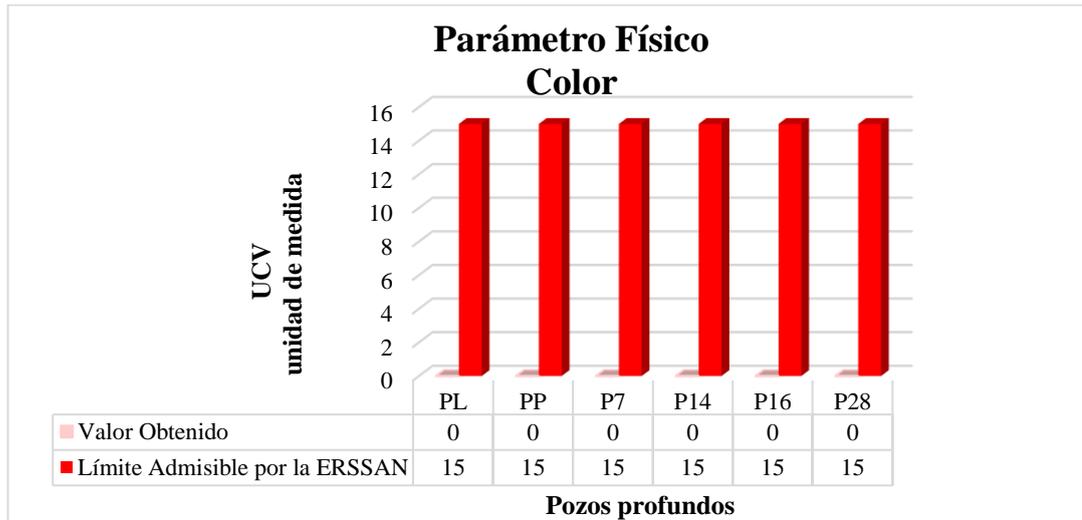


Figura 9: Valor promedio del parámetro físico “Color” de todos los pozos anual en el año 2024.

En la figura 10 se visualiza el parámetro físico sabor y olor, con los valores promedios obtenidos en los seis pozos profundos, y el límite admisible por la ERSSAN.



Figura 10: Valor promedio del parámetro físico “Sabor y Olor” de todos los pozos en el año 2024

En la figura 11 se visualiza el parámetro físico turbiedad, con los valores promedios obtenidos en los seis pozos profundos, y el límite admisible por la ERSSAN.

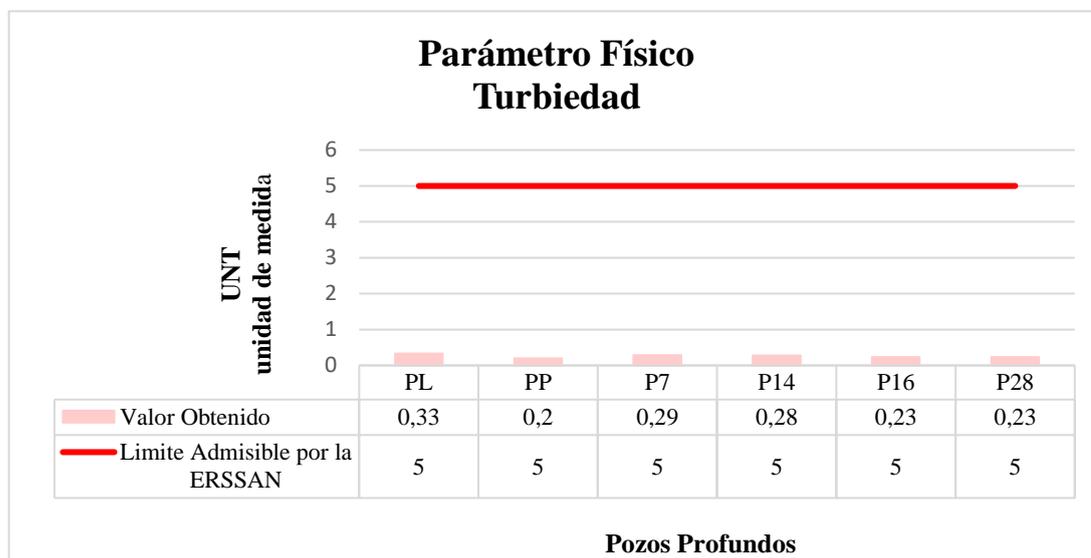


Figura 11: Valor promedio del parámetro físico “Turbiedad” de todos los pozos en el año 2024.

En la figura 12 se visualiza el parámetro químico pH, con los valores promedios obtenidos en los seis pozos profundos, y el límite admisible por la ERSSAN.

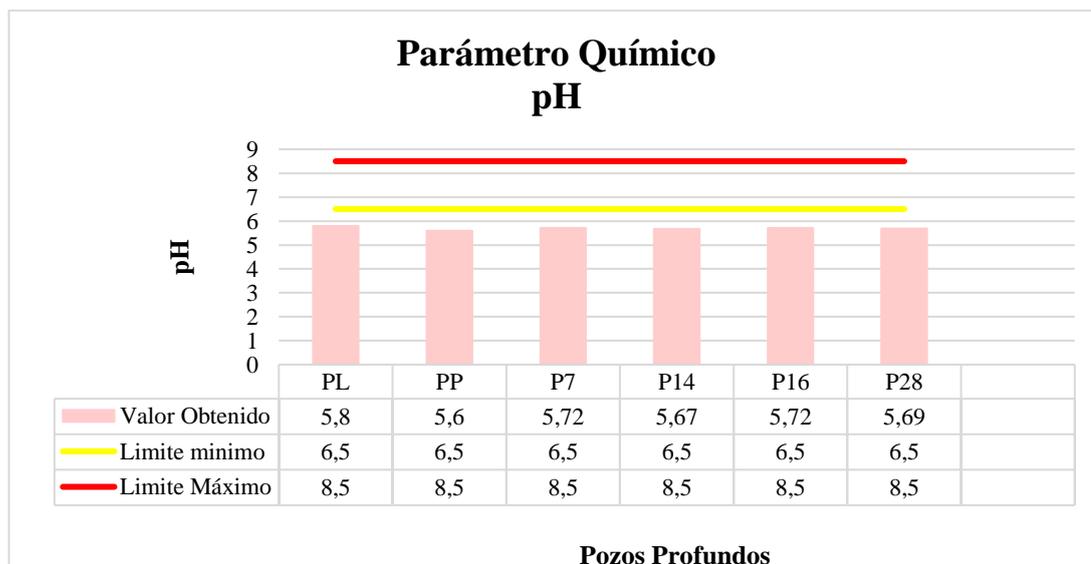


Figura 12: Valor promedio del parámetro químico “pH” de todos los pozos en el año 2024.

En la figura 13 se visualiza el parámetro químico conductividad, con los valores promedios obtenidos en los seis pozos profundos, y el límite admisible por la ERSSAN.

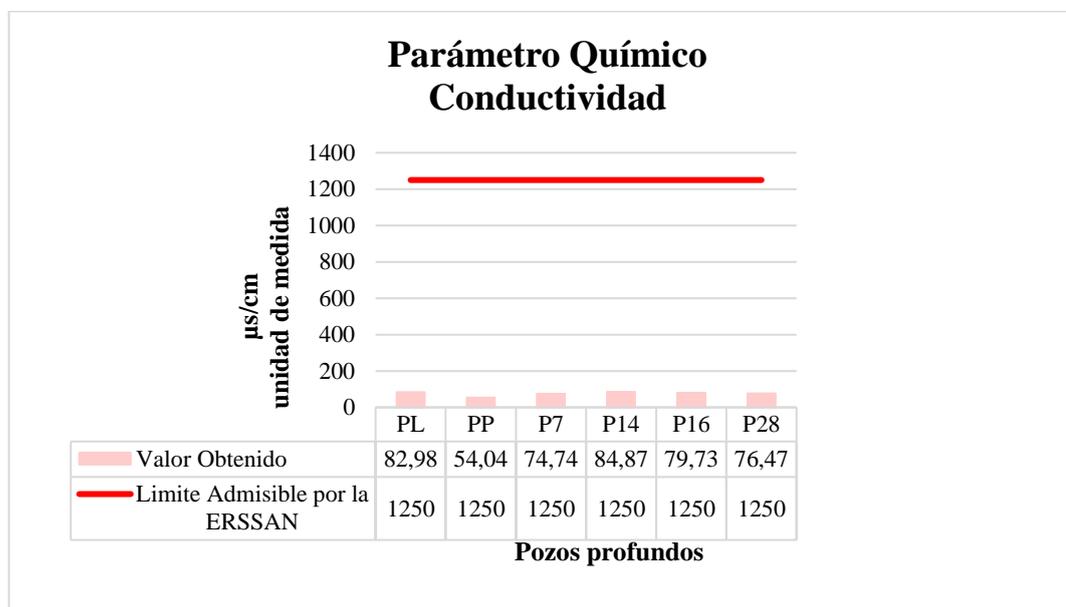


Figura 13: Valor promedio del parámetro “Conductividad” de todos los pozos en el año 2024.

En la figura 14 se visualiza el parámetro químico calcio, con los valores promedios obtenidos en los seis pozos profundos, y el límite admisible por la ERSSAN.

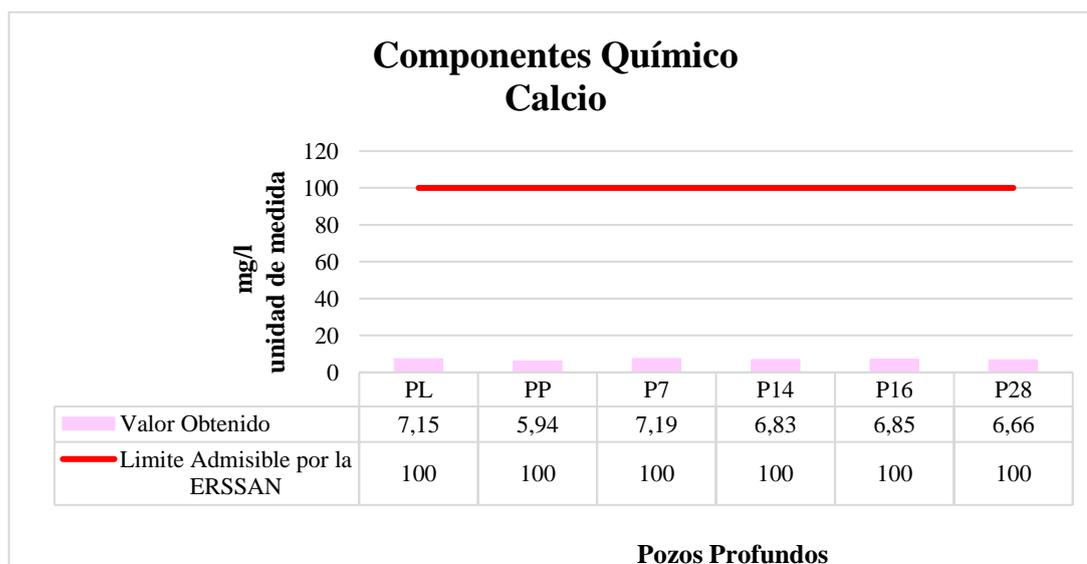


Figura 14: Valor promedio del componente inorgánico “Calcio” de todos los pozos en el año 2024.

En la figura 15 se visualiza el parámetro químico magnesio, con los valores promedios obtenidos en los seis pozos profundos, y el límite admisible por la ERSSAN.

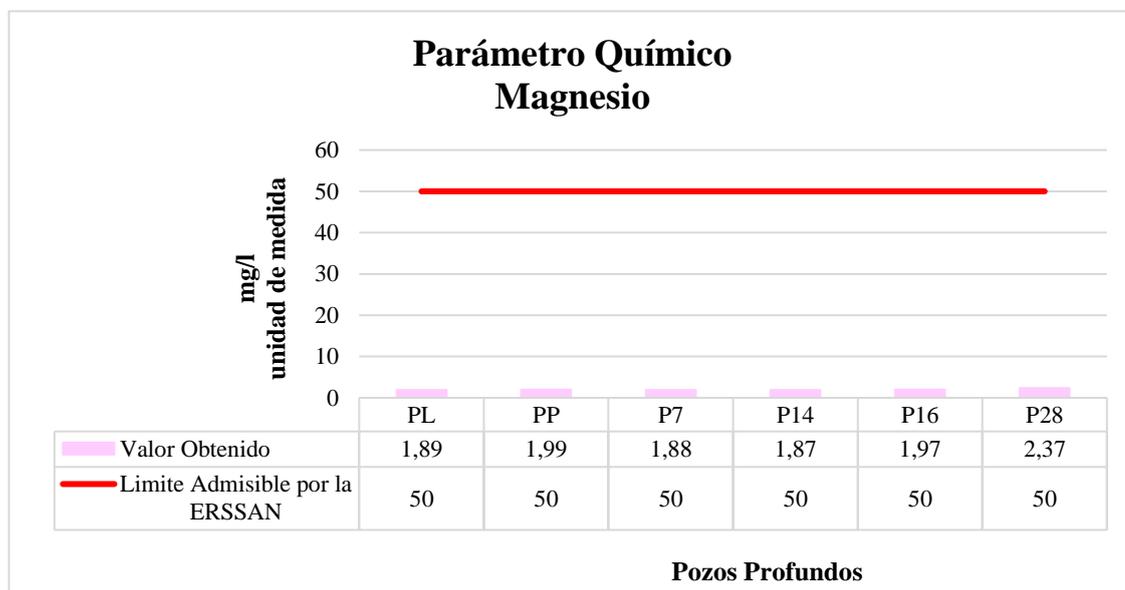


Figura 15: Valor promedio del parámetro inorgánico “Magnesio” de todos los pozos en el año 2024.

En la figura 16 se visualiza el parámetro químico calcio, con los valores promedios obtenidos en los seis pozos profundos, y el límite admisible por la ERSSAN.

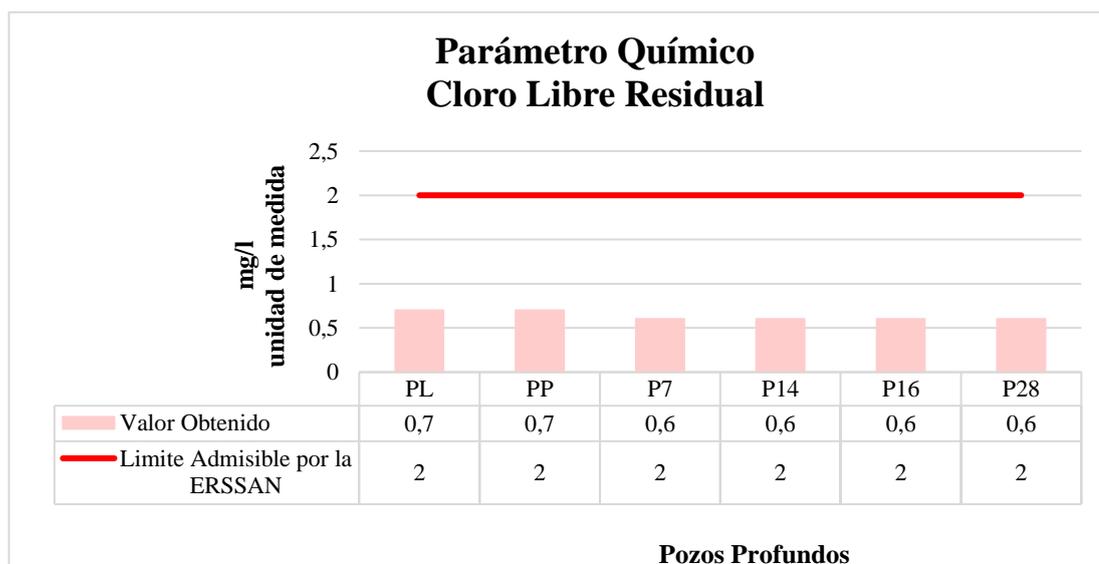


Figura 16: Valor promedio del parámetro químico “Cloro Libre Residual” de todos los pozos en el año 2024.

En la figura 17 se visualiza el parámetro químico alcalinidad en carbonato de calcio, con los valores promedios obtenidos en los seis pozos profundos, y el límite admisible por la ERSSAN.

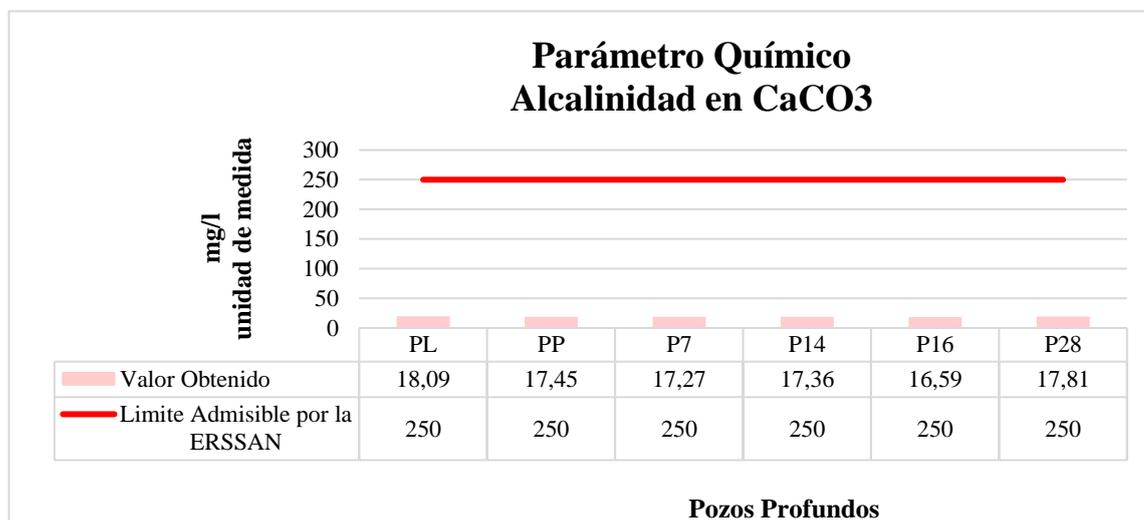


Figura 17: Valor promedio del parámetro químico “Alcalinidad en Carbonato de Calcio” de todos los pozos en el año 2024.

En la figura 18 se visualiza el parámetro químico cloruro, con los valores promedios obtenidos en los seis pozos profundos, y el límite admisible por la ERSSAN.

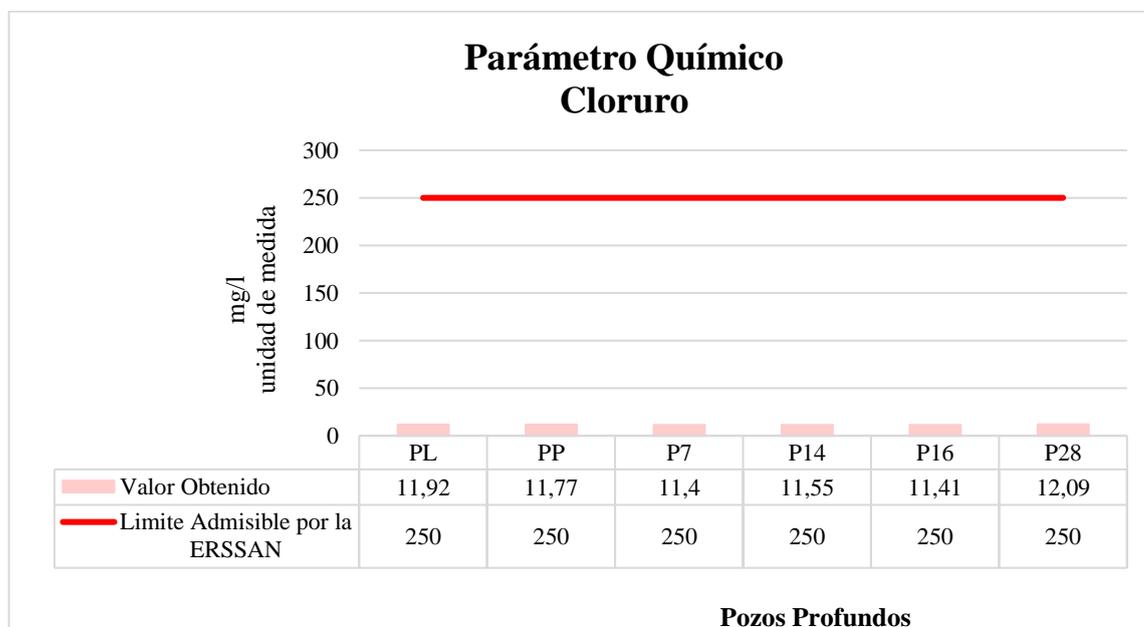


Figura 18: Valor promedio del parámetro químico “Cloruro” de todos los pozos en el año 2024.

En la figura 19 se visualiza el parámetro químico dureza total en carbonato de calcio, con los valores promedios obtenidos en los seis pozos profundos, y el límite admisible por la ERSSAN.

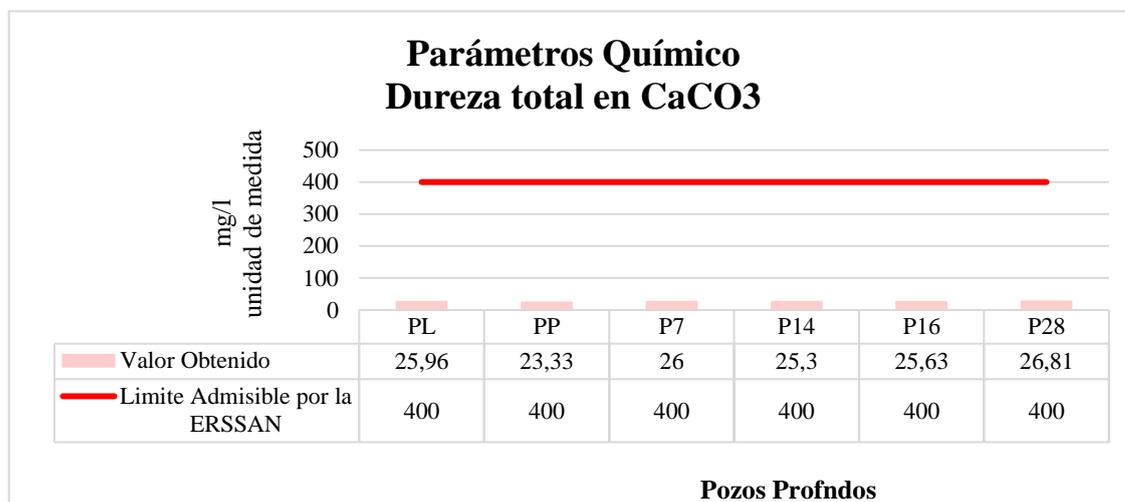


Figura 19: Valor promedio del parámetro químico “Dureza total en Carbonato de Calcio” de todos los pozos en el año 2024.

En la figura 20 se visualiza el parámetro químico nitrógeno amoniacal, con los valores promedios obtenidos en los seis pozos profundos, y el límite admisible por la ERSSAN.

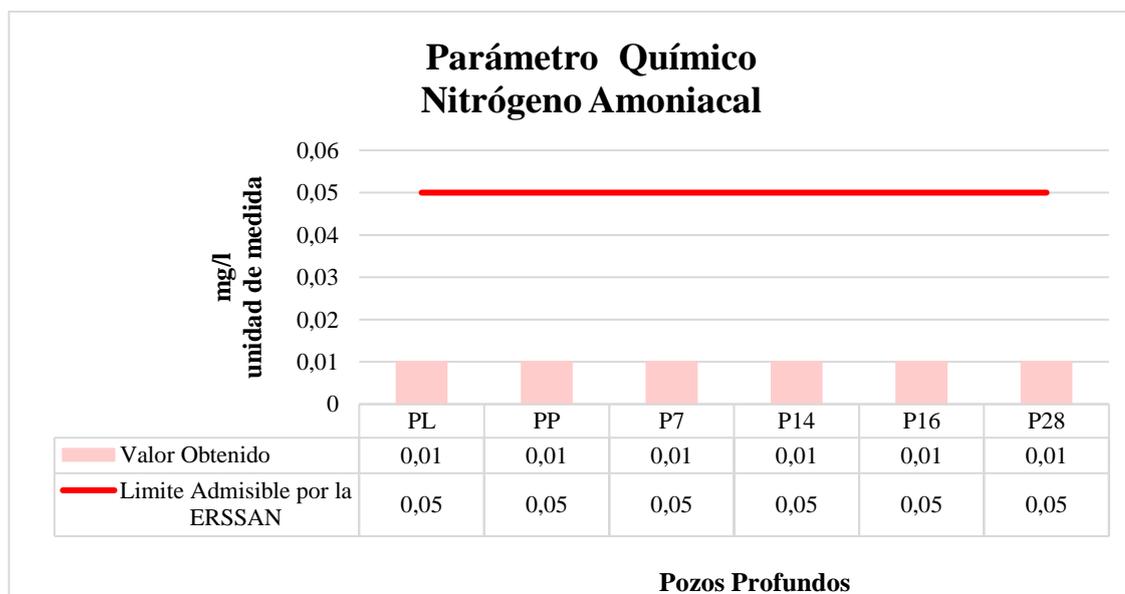


Figura 20: Valor promedio del parámetro químico “Nitrógeno Amoniacal” de todos los pozos en el año 2024.

En la figura 21 se visualiza el parámetro químico sólidos totales disueltos, con los valores promedios obtenidos en los seis pozos profundos, y el límite admisible por la ERSSAN.

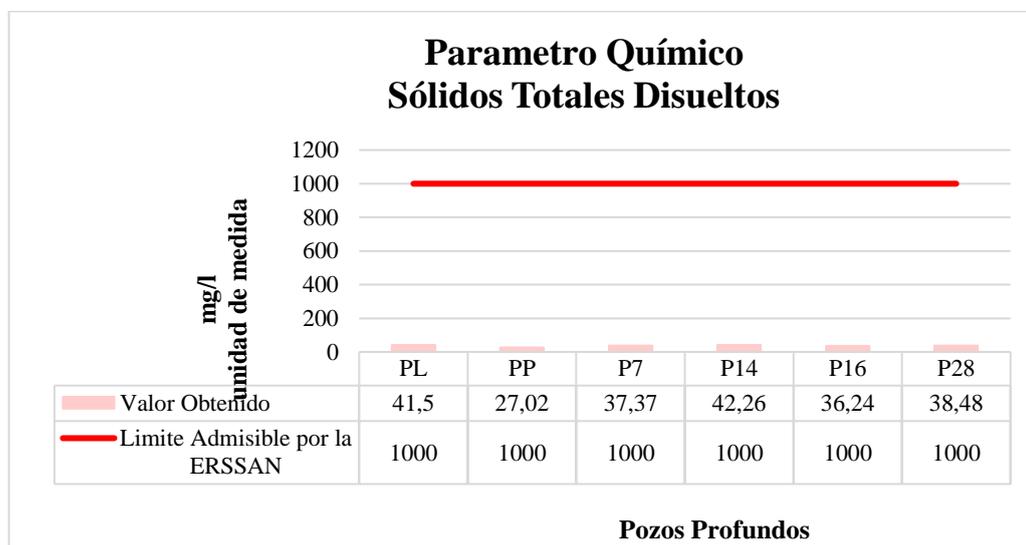


Figura 21: Valor promedio del parámetro químico “Sólidos totales disueltos” de todos los pozos en el año 2024.

En la figura 22 se visualiza el parámetro químico Nitrato, con los valores promedios obtenidos en los seis pozos profundos, y el límite admisible por la ERSSAN.

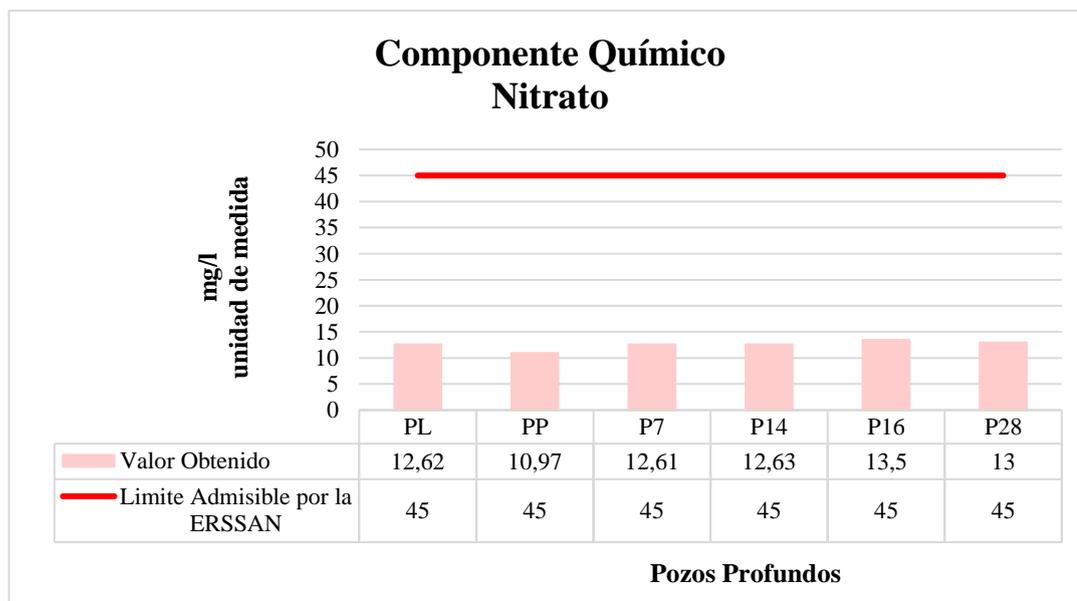


Figura 22: Valor promedio del parámetro químico “Nitrato” de todos los pozos en el año 2024.

En la figura 23 se visualiza el parámetro bacterias coliformes fecales, con los valores promedios obtenidos en los seis pozos profundos, y el límite admisible por la ERSSAN.

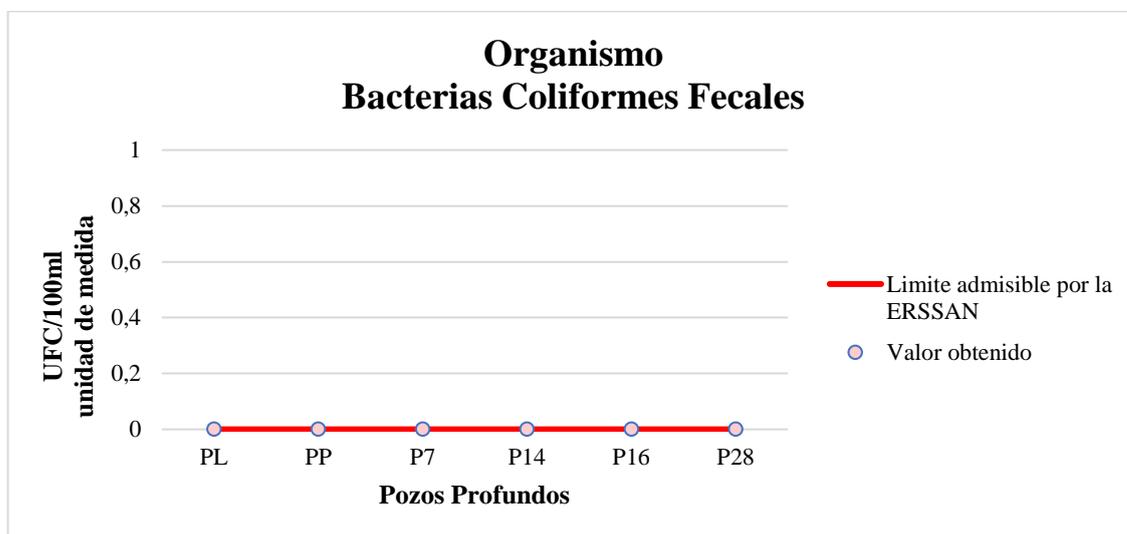


Figura 23: Valor promedio del organismo “Bacteria Coliforme Fecal” de todos los pozos en el año 2024.

En la figura 24 se visualiza el parámetro bacterias coliformes totales, con los valores promedios obtenidos en los seis pozos profundos, y el límite admisible por la ERSSAN.

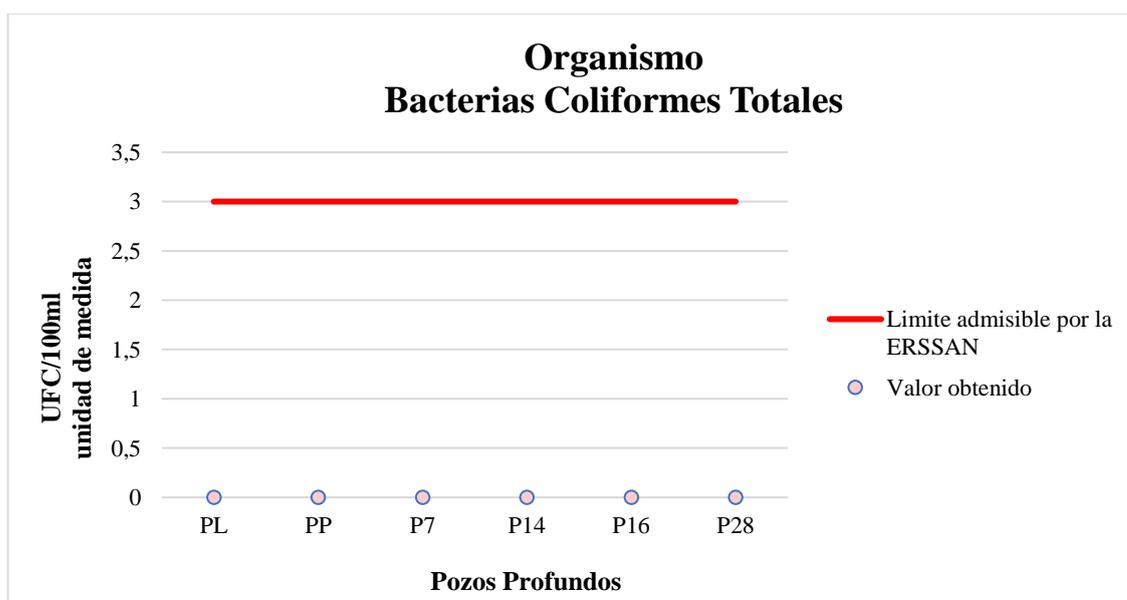


Figura 24: Valor promedio del organismo “Bacteria Coliforme Totales” de todos los pozos en el año 2024.

En la figura 25 se visualizan los puntos contaminantes directos localizadas en el área de estudio dando un total de 6 puntos de riesgo.

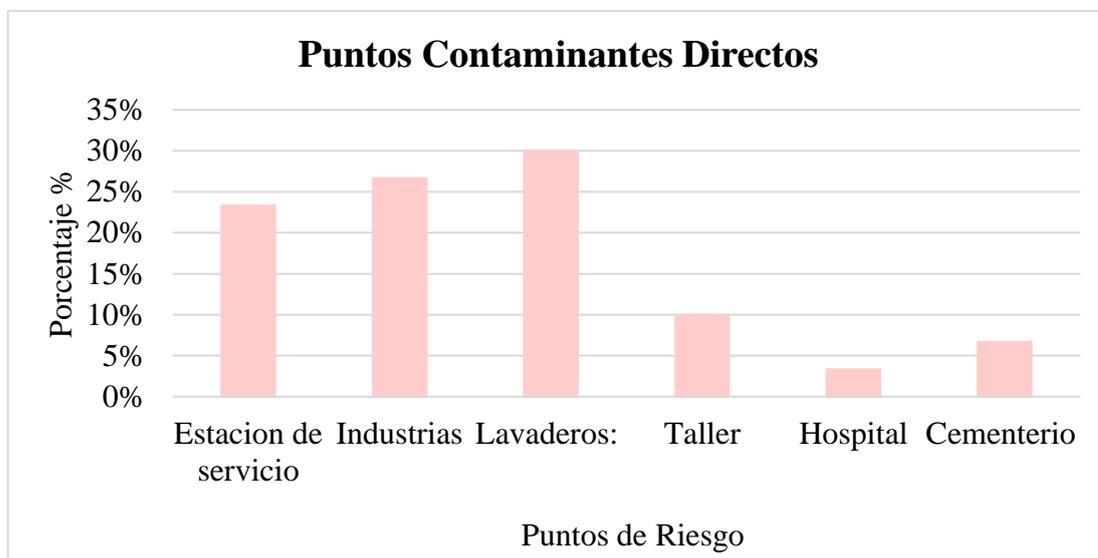


Figura 25: Puntos contaminantes directos en el área de estudio

En la figura 26 se visualizan los puntos contaminantes difusos localizadas en el área de estudio dando un total de 4 puntos de riesgo.

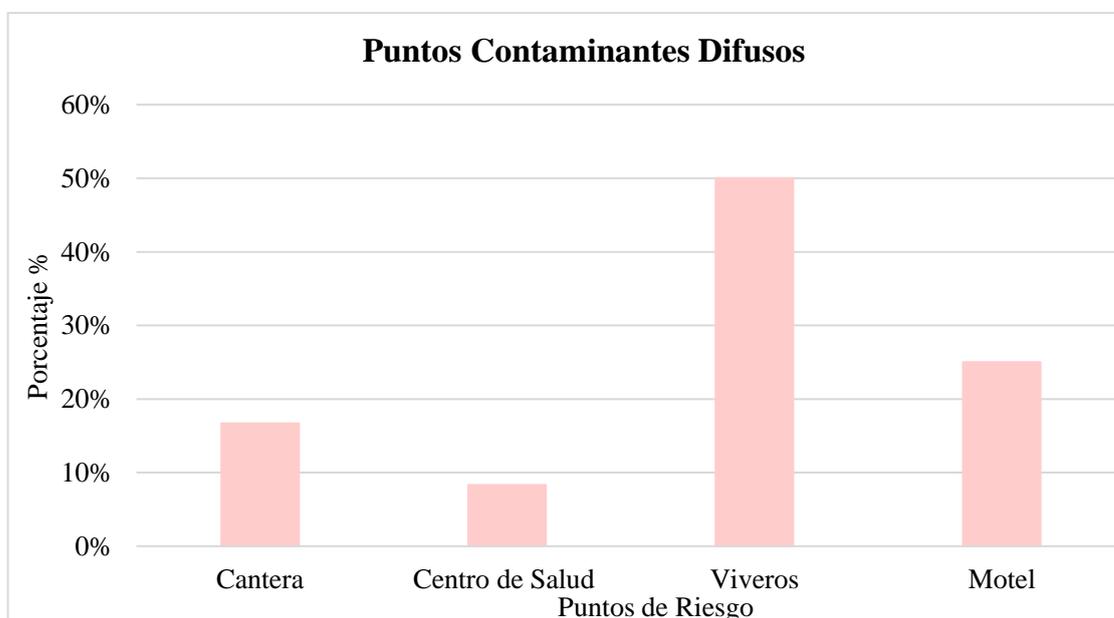


Figura 26: Puntos contaminantes difusos en el área de estudio

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La aplicación de la metodología *POSCH* permitió integrar los valores promedio obtenidos en los parámetros físico-químicos y bacteriológicos durante el año 2024 en el área de estudio, generando un índice global que facilita la clasificación de la calidad del agua potable para el consumo humano, este enfoque evidencia que la calidad de agua en todos los pozos evaluados es excelente para el consumo humano.

Mediante el uso del método *POSH*, se identificaron y clasificaron cuantitativamente los puntos críticos de riesgo alrededor de los pozos, los resultados obtenidos destacan la necesidad de mantener un monitoreo constante y la implementación de estrategias de mitigación, con el objetivo de preservar la inocuidad del agua potable en la zona de estudio.

A partir de las ponderaciones obtenidas, se estimó que en un 85% es el total de las actividades contaminantes cercanas a los pozos profundos, sin embargo, se reconoce la posibilidad de que existan puntos contaminantes no identificados en el área, lo que subraya la importancia de ampliar los estudios futuros para cubrir potenciales fuente de riesgo.

5.2 Recomendaciones

Con el objetivo de evitar impactos negativos a futuro es recomendable el monitoreo continuo y sistemático de los parámetros físico-químico y bacteriológicos del agua potable, con especial énfasis en aquellos cercanos a los límites máximos admisibles establecidos por la normativa vigente de la ERSSAN.

Se podría realizar investigaciones adicionales para evaluar la vulnerabilidad del Acuífero Patiño frente a actividades antropogénicas en crecimiento, considerando las condiciones hidrogeológicas locales como los cambios en el uso del suelo en el área de estudio.

Diseñar e implementar estrategias de mitigación y regulación en relación al uso del agua potable, fomentar la educación y sensibilización a la comunidad sobre la importancia de proteger las fuentes de agua potable. Usar como base este trabajo de investigación para estudios más amplios y profundos sobre calidad de agua potable y en otras áreas geográficas con características similares.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- American Society for Testing and Materials. (1991). *Manual de aguas para usos industriales*. Tercera Edición. Editorial Limusa. México.
- Biblioteca y Archivo Central del Congreso de la Nación. (s.f.) *Ley N° 3239 /07 DE LOS RECURSOS HIDRICOS DEL PARAGUAY*. Recuperado de <https://www.bacn.gov.py/leyes-paraguayas/2724/de-los-recursos-hidricos-del-paraguay>.
- Custodio, E., Llamas, M. (1983). *Hidrología Subterránea*. Segunda Edición. Ed. Omega S.A., Barcelona- España.
- Davis, S., Wiest, R. (1971). *Hidrogeología*. Editorial Ariel S.A. Barcelona- España.
- Delgado, A. (2023). Relatorio de Impacto Ambiental Proyecto “Loteamiento” Matrícula N.º 34866/L06 Padrón N.º 27145. Recuperado de: file:///C:/Users/verow/Downloads/3140_2022_RIMA-LPI_S_A_-_ITAUGUA_241219_135827.pdf
- DINAC. (2023). *Anuario Climatológico*. Recuperado de: https://www.meteorologia.gov.py/wp-content/uploads/2024/06/anuario_climatologico_2023_DSC.pdf
- DIGESA. (2015). *Parámetros Organolépticos*. Recuperado de: http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%201.pdf
- Dionisi, A., (1999). *Mapa Geológico de la República del Paraguay: Hoja Caacupé 5470*. MOPC, BGR. Esc. 1:100000. Texto Explicativo. Asunción-Paraguay.

- Eckel, E. B. (1959). *Geology and Mineral Resources of Paraguay- A Reconnaissance*. Geological Survey Professional Paper 327.
- Fúlfaro, V. J. (1996). *Geología del Paraguay Oriental*. Recuperado de: <https://www.geologiadelparaguay.com.py/Geolog%C3%ADa-del-Paraguay-Oriental.pdf>
- Godoy, E., (1991). *Acuíferos Potenciales del Paraguay. 1er. Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay*. Asunción, Paraguay.
- Gómez, D., (1991). *Consideraciones morfoestructurales y estratigráficas de la anti forma de Asunción y su relación con la exploración de aguas subterráneas. 1er. Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay*. Casa de la Cultura, Asunción. Paraguay.
- González, L., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Editorial Pearson Educación. Madrid- España.
- Harrington, H. (1950). *Geología del Paraguay Oriental*. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Contribuciones Científicas Serie E Geología. Buenos Aires- Argentina.
- Kerns, W.R. (1977). *Public Policy on Groundwater Quality Protection. Proceedings of a National Conference*. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
- Lahner, L., (2011). *Geología de la Región Central del Paraguay Oriental Fanerozoico*. Texto Explicativo.
- Mackenzie, D; Masten, S. (2005). *Ingeniería y ciencias ambientales*. Primera Edición. Editorial McGraw Hill. México.
- Mihelcic, J.; Zimmerman, J. (2012). *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, sustentabilidad, diseño*. Primera edición. Alfaomega Grupo Editor, S.A. México.

Municipalidad de Itauguá. (2023). *Plan Local de Adaptación al Cambio Climático*. Recuperado de: <http://dncc.mades.gov.py/wp-content/uploads/2024/08/Itaugua.pdf>

Organización Mundial de la Salud. (2004). *Guías para la calidad del agua potable* (3ª ed.). Ginebra: OMS.

Orué, D. (1996). *Síntese da geologia do Paraguai Oriental, com ênfase para o magmatismo alcalino asociado*. Tesis de Maestría. Recuperado de: <https://www.geologiadelparaguay.com.py/tesis.htm>.

Proyecto PAR 83/005. (1986). *Mapa Geológico del Paraguay*. PNUD – MDN, Mapa Escala 1:1.000.000. Texto Explicativo.

Sampieri, H., Fernández, C., Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Sexta Edición. Editorial McGraw Hill. México.

SENASA (Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental, PY). (2007). *Geología del área del Acuífero Patiño*. Publicación Técnica N° 2.2.

Silger, W.; Bauder, J. (2017). *Alcalinidad, pH, Sólidos Disueltos Totales*. Recuperado de: https://region8water.colostate.edu/pdfs/we_espanol/alkalinity_ph_tds%202012-11-15-sp.pdf

Solís, Y.; Zúñiga, L.; Mora, D. (2017). *La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica*. Recuperado de: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822018000100035

- Sosa, C.; Galaviz, I. *Fuentes difusas y puntuales de contaminación. Calidad de agua superficiales y subterráneas*. (2019). Universidad Autónoma de Campeche. México. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/337605934_Fuentes_difusas_y_puntuales_de_contaminacion_Calidad_de_aguas_superficiales_y_subterranas
- TAC. (1979). *URANIUM EXPLORATION IN PERMO-CARBONIFEROUS SEQUENCE SOUTH OF LATITUDE 25°: RESULTS AND RECOMMENDATIONS*. Recuperado de: <https://www.ssme.gov.py/vmme/images/anschutzreport/>
- Várela Sánchez, M. (1993) *Calidad y contaminación de las aguas subterráneas. Jornadas sobre las aguas subterráneas*. Real Academia de Ciencias. Madrid-España. Preprint.
- Villanueva, M.; Iglesias, A. (1984). *Pozos y Acuíferos*. Editor: Instituto Geológico y Minero de España. Madrid- España.
- Villar, F. (2010). *Hidrogeología del Paraguay*. San Lorenzo- Paraguay.

ANEXOS

Anexo 1: Notas emitidas por la JSI para la ERSSAN de los resultados de los análisis físico-químicos y bacteriológicos de los seis pozos en el periodo enero-noviembre en el año 2024.

Mes de Enero



Mes de Febrero

JUNTA DE SANEAMIENTO DE ITAUGUA
Eficiencia, Calidad y Transparencia
Ruta Mariscal Sarantingo, Itauguá - Paraguay
Teléfono: (0294) 220.418 - Telefax: (0294) 221.860 www.jsitaugua.org.py

Itauguá, 08 de Febrero de 2024.-

Señora
Dra. Cristina Muñoz
Presidenta del ERSSAN
Presente

ENTE REGULADOR DE SERVICIOS SANITARIOS
ERSSAN
MESA DE ENTRADA
Nota N° Fecha **09 FEB 2024**
Exp. N° **893 - 100**

Nadia Rodas
Asistente Técnico
ERSSAN

Nos dirigimos a Usted en nombre y representación de la Junta de Saneamiento de Itauguá, a fin de remitirle los resultados de los análisis Físico, Químico y Bacteriológico de los pozos propiedad de la Institución, realizados por el **Dr. Carlos Antonio López** (Especialista en Tratamiento de Aguas potable- residual- industrial- análisis. Registro profesional N° 447) Según el resultado de las muestras analizadas, estas cumplen con las normas de calidad para permisionarios del ERSSAN, cuadro de parámetros y concentraciones; Anexo III, Ley 1614.-

RECIBIDO
09 FEB 2024
MESA DE ENTRADA
ERSSAN

Sin otro motivo le saludamos.-

Atentamente

Sra. Eusebia León de Y.
Secretaria

Sr. Juan Gabriel León
Presidente

Entendamos Resultados Originales

Mes de Abril

JSI JUNTA DE SANEAMIENTO DE ITAUGUA
Eficiencia, Calidad y Transparencia
Ruta Marcial Samaniego, Itauguá - Paraguay
Teléfono: (0294) 220.418 - Telefax: (0294) 221.860 www.jsitaugua.org.py

Itauguá, 09 de abril de 2024.-

Señora
Dra. Cristina Muñoz
Presidenta del ERSSAN
Presente

RECIBIDO
09 ABR 2024
MESA DE ENTRADA
ERSSAN

Nos dirigimos a Usted en nombre y representación de la Junta de Saneamiento de Itauguá, a fin de remitirle los resultados de los análisis Físico, Químico y Bacteriológico de los pozos propiedad de la Institución, realizados por el **Dr. Carlos Antonio López** (Especialista en Tratamiento de Aguas potable- residual- industrial- análisis. Registro profesional N° 447) Según el resultado de las muestras analizadas, estas cumplen con las normas de calidad para permisionarios del ERSSAN, cuadro de parámetros y concentraciones; Anexo III, Ley 1614.-

REGULADOR DE SERVICIOS SANITARIOS
ERSSAN
MESA DE ENTRADA
Fecha: 09 ABR 2024
893-102
Adro A. Meza M.
Unidad de Atención al Público
ERSSAN

Sin otro motivo le saludamos.-

Atentamente

JSI JUNTA DE SANEAMIENTO DE ITAUGUA

Sra. Eusebia León de Y.
Secretaria

Sr. Juan Gabriel León
Presidente

Adjuntamos Resultados Originales de los Análisis.-

Mes de Mayo

JSI JUNTA DE SANEAMIENTO DE ITAUGUÁ
Eficiencia, Calidad y Transparencia
Ruta Marcial Saraniego - Itauguá - Paraguay
Teléfono: (0294) 220 418 - Telefax: (0294) 221 660 www.jsitaugua.org.py

Itauguá, 10 de mayo de 2024.-

**Señora
Dra. Cristina Muñoz
Presidenta del ERSSAN
Presente**

RECIBIDO
10 MAY 2024
MESA DE ENTRADA
ERSSAN

Nos dirigimos a Usted en nombre y representación de la Junta de Saneamiento de Itauguá, a fin de remitirle los resultados de los análisis Físico, Químico y Bacteriológico de los pozos propiedad de la Institución, realizados por el **Dr. Carlos Antonio López** (Especialista en Tratamiento de Aguas potable- residual- industrial- análisis. Registro profesional N° 447) Según el resultado de las muestras analizadas, estas cumplen con las normas de calidad para permisionarios del ERSSAN, cuadro de parámetros y concentraciones; Anexo III, Ley 1614.-

**REGULADOR DE SERVICIOS SANITARIOS
ERSSAN
MESA DE ENTRADA**
Fecha: 10 MAY 2024
893-103
Lic. Vanessa Invernizzi
Jefe
Departamento de Producción Docum:
ERSSAN

Sin otro motivo le saludamos.-

Atentamente

Sra. Eusebia León de Y. Secretaria

JSI JUNTA DE SANEAMIENTO DE ITAUGUÁ

Sr. Juan Gabriel León Presidente

Adjuntamos Resultados Originales de los Análisis.-

Mes de Junio

JSI JUNTA DE SANEAMIENTO DE ITAUGUA
Eficiencia, Calidad y Transparencia
Ruta Marcial Saraniego, Itauguá - Paraguay
Teléfono: (0294) 220418 - Telefax: (0294) 221 860 www.jsitaugua.org.py

RECIBIDO
07 JUN 2024
MESA DE ENTRADA
ERSSAN

Itauguá, 07 de junio de 2024.-

Señora
Dra. Cristina Muñoz
Presidenta del ERSSAN
Presente

ENTE REGULADOR DE SERVICIOS SANITARIOS
ERSSAN
MESA DE ENTRADA
Nota N° Fecha 07/06/24
Exp. N° 893-104
Lic. Vanessa Invernizzi
Secretaria
Firma

Nos dirigimos a Usted en nombre y representación de la Junta de Saneamiento de Itauguá, a fin de remitirle los resultados de los análisis Físico, Químico y Bacteriológico de los pozos propiedad de la Institución, realizados por el **Dr. Carlos Antonio López** (Especialista en Tratamiento de Aguas potable- residual- industrial- análisis. Registro profesional N° 447) Según el resultado de las muestras analizadas, estas cumplen con las normas de calidad para permissionarios del ERSSAN, cuadro de parámetros y concentraciones; Anexo III, Ley 1614.-

Sin otro motivo le saludamos.-

Atentamente

Sra. Eusebia León de Y. Secretaria
Sr. Juan Gabriel León Presidente

Adjuntamos Resultados Originales de los Análisis.-

Mes de Julio

JSI JUNTA DE SANEAMIENTO DE ITAUGUA
Eficiencia, Calidad y Transparencia
Ruta Marcial Samaniego - Itauguá - Paraguay
Teléfono: (0294) 220 418 - Telefax: (0294) 221 860 www.jsitaugua.org.py

Itauguá, 09 de julio de 2024.-

**Señora
Dra. Cristina Muñoz
Presidenta del ERSSAN
Presente**

RECIBIDO
10 JUL 2024
MESA DE ENTRADA
ERSSAN

Nos dirigimos a Usted en nombre y representación de la Junta de Saneamiento de Itauguá, a fin de remitirle los resultados de los análisis Físico, Químico y Bacteriológico de los pozos propiedad de la Institución, realizados por el **Dr. Carlos Antonio López** (Especialista en Tratamiento de Aguas potable- residual- industrial- análisis. Registro profesional N° 447) Según el resultado de las muestras analizadas, estas cumplen con las normas de calidad para permisionarios del ERSSAN, cuadro de parámetros y concentraciones; Anexo III, Ley 1614.-

Sin otro motivo le saludamos.-

**ULADOR DE SERVICIOS SANITARIOS
ERSSAN
MESA DE ENTRADA**
Fecha **10 JUL 2024**
293-105
Lic. Felicitá Vargas
Firma

Atentamente

JSI JUNTA DE SANEAMIENTO DE ITAUGUA

Sra. Eusebia León de Y. Secretaria

Sr. Juan Gabriel León Presidente

Adjuntamos Resultados Originales de los Análisis.-

Mes de Agosto

JSI JUNTA DE SANEAMIENTO DE ITAUGUA
Eficiencia, Calidad y Transparencia
Ruta Marcial Samaniego - Itauguá - Paraguay
Teléfono: (0294) 220 418 - Teletax: (0294) 221 860 www.jsitaugua.org.py

RECIBIDO
09 AGO 2024
MESA DE ENTRADA
ERSSAN

Itauguá, 07 de agosto de 2024.-

Señora
Dra. Cristina Muñoz
Presidenta del ERSSAN
Presente

ENTE REGULADOR DE SERVICIOS SANITARIOS
ERSSAN
MESA DE ENTRADA
Nota N° Fecha 09 AUG 2024
Exp. N° 893 - 106
Adrie A. Meza M.
Unidad de Atención al Público
ERSSAN

Nos dirigimos a Usted en nombre y representación de la Junta de Saneamiento de Itauguá, a fin de remitirle los resultados de los análisis Físico, Químico y Bacteriológico de los pozos propiedad de la Institución, realizados por el **Dr. Carlos Antonio López** (Especialista en Tratamiento de Aguas potable- residual- industrial- análisis. Registro profesional N° 447) Según el resultado de las muestras analizadas, estas cumplen con las normas de calidad para permisionarios del ERSSAN, cuadro de parámetros y concentraciones; Anexo III, Ley 1614.-

Sin otro motivo le saludamos.-

Atentamente

Sra. Eusebia León de Y
Secretaria

Sr. Juan Gabriel León
Presidente

Adjuntamos Resultados Originales de los Análisis.-

Mes de Septiembre

JSI JUNTA DE SANEAMIENTO DE ITAUGUA
Eficiencia, Calidad y Transparencia
Ruta Marcial Samaniego, Itauguá, Paraguay. www.jsitaugua.org.py
Teléfono: (0294) 220 418 • Telefax: (0294) 221 860

Exp: 893-107

RECIBIDO
09 SEP 2024
MESA DE ENTRADA
ERSSAN

Itauguá, 09 de setiembre de 2024.-

ENTE REGULADOR DE SERVICIOS SANITARIOS
ERSSAN
MESA DE ENTRADA
Nota N° Fecha: 09/09/24
Exp. N° 893-107
Nadia Rodas
Asistente Técnica
ERSSAN

Señora
Dra. Cristina Muñoz
Presidenta del ERSSAN
Presente

Nos dirigimos a Usted en nombre y representación de la Junta de Saneamiento de Itauguá, a fin de remitirle los resultados de los análisis Físico, Químico y Bacteriológico de los pozos propiedad de la Institución, realizados por el **Dr. Carlos Antonio López** (Especialista en Tratamiento de Aguas potable- residual- industrial- análisis. Registro profesional N° 447) Según el resultado de las muestras analizadas, estas cumplen con las normas de calidad para permisionarios del ERSSAN, cuadro de parámetros y concentraciones; Anexo III, Ley 1614.-

Sin otro motivo le saludamos.-

Atentamente

Eusebia León de Y.
Sra. Eusebia León de Y.
Secretaria

Juan Gabriel León
Sr. Juan Gabriel León
Presidente

Adjuntamos Resultados Originales de los Análisis.-

Mes de Octubre

JSI JUNTA DE SANEAMIENTO DE ITAUGUA
Eficiencia, Calidad y Transparencia
Ruta Marcial Saraniego, Itauguá, Paraguay
Teléfono: (0294) 220 418 • Telefax: (0294) 221 860 www.jsitaugua.org.py

RECIBIDO
11 OCT 2024
MESA DE ENTRADA
ERSSAN

Itauguá, 09 de octubre de 2024.-

ENTE REGULADOR DE SERVICIOS SANITARIOS
ERSSAN
MESA DE ENTRADA
Nota N° Fecha **11 OCT 2024**
Exp. N° **893-108**
Nadia Rodas
Asistente Técnica
ERSSAN

**Señora
Dra. Cristina Muñoz
Presidenta del ERSSAN
Presente**

Nos dirigimos a Usted en nombre y representación de la Junta de Saneamiento de Itauguá, a fin de remitirle los resultados de los análisis Físico, Químico y Bacteriológico de los pozos propiedad de la Institución, realizados por el **Dr. Carlos Antonio López** (Especialista en Tratamiento de Aguas potable- residual- industrial- análisis. Registro profesional N° 447) Según el resultado de las muestras analizadas, estas cumplen con las normas de calidad para permissionarios del ERSSAN, cuadro de parámetros y concentraciones; Anexo III, Ley 1614.-

Sin otro motivo le saludamos.-

Atentamente

E. León de Y.
Sra. Eusebia León de Y.
Secretaria


Juan Gabriel León
Sr. Juan Gabriel León
Presidente

Mes de Noviembre

DR. CARLOS MONTES - POTABLE-RESIDUAL-INDUSTRIAL - PISCINAS - REGISTRO PROFESIONAL N° 447
ESPECIALISTA EN GESTION AMBIENTAL

ANALISIS DE AGUA
 PRESTADOR: JUNTA DE SANEAMIENTO ITAUGUA
 PROCEDENCIA: POZO PROFUNDO
 DISTRITO: ITAUGUA
 DEPARTAMENTO: CENTRAL
 FECHA: 21-10-2024
 HORA: 08:40

A -: Características o componentes que afectan a la aceptabilidad del Agua por parte del Consumidor (Calidad Organoléptica).

| PARAMETROS | UNIDAD | LIMITE ADMISIBLE | LIMITE (*) RECOMEND. | POZO LOCAL |
|---|--------|------------------|----------------------|------------|
| CARACTERÍSTICAS FISICAS | | | | |
| Color | UCV | 15 | ≤5 | <5 |
| Sabor y olor (4) | | Aceptable | Aceptable | Aceptable |
| Turbiedad (1) | UNT | 5 | <1 | 0.26 |
| PH (Pozos) (3) | | 6,5 a 8,5 | 6,5 a 8,5 | 5.70 |
| Conductividad | μ s/cm | 1.250 | ≥400 | 80.8 |
| COMPONENTES INORGANICOS | | | | |
| Calcio (Ca ²⁺) | mg/l | 100 | ≤100 | 6.1 |
| Magnesio (Mg ²⁺) | mg/l | 50 | ≤30 | 2.0 |
| Cloro libre Residual (2) | mg/l | 2,0 | 0,2-0,5 | 0.7 |
| Alcalinidad (M) en (CaCO ₃) | mg/l | 250 | ≤120 | 19.0 |
| Cloruro (Cl) | mg/l | 250 | ≤250 | 10.5 |
| Dureza Total en (CaCO ₃) | mg/l | 400 | ≤250 | 23.8 |
| Nitrógeno Amoniacal (NH ₄) | mg/l | 0,05 | ≤0,05 | 0.01 |
| Sólidos Totales Disueltos (STD) | mg/l | 1000 | ≤1000 | 40.4 |

(*) Los límites recomendables son los establecidos en las Guías de la OPS/OMS.
 (1) 95% del tiempo. De preferencia <1.
 (2) Sujeto a la necesidad de la calidad bacteriológica en el punto de suministro al Usuario.
 (3) 90% del tiempo. El Prestador debe asegurar el suministro de agua no agresiva ni incrustante al Sistema de Distribución.
 (4) No desagradable para la mayoría de los consumidores.

ABREVIATURAS:
 UCV = Unidades de Color Verdadero
 UNT = Unidades Nefelométricas de Turbiedad
 mg/l = Miligramo por litro
 μ s/cm = Micro siemens por centímetro

B -: Componentes que afectan a la Salud.

| PARAMETRO | UNIDAD | LIMITE ADMISIBLE | LIMITE (*) RECOMEND. | POZO LOCAL |
|-----------------------------------|--------|------------------|----------------------|------------|
| 1. COMPONENTES INORGÁNICOS | | | | |
| Nitrato (NO ₃) (2) | mg/l | 45 | 0 | 15.0 |

(*) Los límites recomendables son los establecidos en las Guías de la OPS/OMS.
 (2) En caso que no se pueda suministrar agua con un contenido inferior de Nitratos, el Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social, debe autorizar el abastecimiento, pues los problemas que se derivarían de la falta de agua son evidentemente mayores. Además, debe advertirse a la población de no usar el agua para la preparación de la alimentación del Lactante.

ABREVIATURAS:
 mg/l = miligramo por Litro
 μ g/l = microgramo por Litro

DOCTOR SEMIDEI 310 - TEL: 021-298-819 -CEL: 0981-141-833
 EMAIL: ca.lopez1306@hotmail.com
 ASUNCION-PARAGUAY

11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
 BIDO
 NOV 2024
 ENTRADA
 SSAN

Anexo 2: Toma de coordenadas de los seis pozos

Pozo Local: Toma de coordenadas



Pozo Potrero: Toma de coordenadas



Pozo Nro. 7: Toma de coordenadas



Pozo Nro. 14: Toma de Coordenadas



Pozo Nro. 16: Toma de coordenadas



Pozo 28: Toma de coordenadas

