

Universidad Central de Venezuela.
Facultad de Ciencias.
Escuela de Química.



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

“Estudio de la calidad de agua de afluentes al humedal costero Laguna de Tacarigua, Edo Miranda. Venezuela.”

Trabajo Especial de Grado presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela, por la **Br. Albani Lucia González López.**, como requisito para optar al título de Licenciada en Química Opción Básica.

Caracas, Octubre de 2013.

ACTA

Los abajo firmantes, designados por la Universidad Central de Venezuela, como integrantes del jurado examinador del Trabajo Especial de Grado titulado: **“Estudio de la calidad de agua de afluentes al humedal costero Laguna de Tacarigua, Edo Miranda. Venezuela”**, presentado por la Br. Albani Lucia González López, certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por nuestra Magna Casa de Estudios para optar al título de Licenciado en Química.

Prof. Ramón L. Montero
(Tutor)

Prof. Nora Malaver
(Jurado)

Prof. Luis Gómez
(Jurado)

Dedicatoria

Dedicada a la memoria de mi papí, quien nos dejó un dolor tan inmenso y profundo al irse repentinamente de nuestro lado, no sin antes enseñarme hasta el último momento que en la vida debemos ser trabajadores, luchadores, responsables, constantes y por sobre todas las cosas, me enseñó a ser humilde.

Tu ausencia física no me impide saber que aun estando en el cielo sigues cuidándome y que estas orgulloso de mí. Por eso siempre te llevare en mis pensamientos y sobretodo en mi corazón.

Te amo mucho papí.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco infinitamente a Dios, por siempre cuidarme y guiarme, por darme la fuerza de voluntad para culminar todas mis metas y en especial por no abandonarme cuando más lo he necesitado.

Agradezco enormemente a quien fue, es y seguirá siendo mi segunda casa, la mejor universidad de todas, mi amada Universidad Central de Venezuela. Gracias por brindarme la oportunidad de tener la mejor formación académica hasta convertirme en una profesional, por ayudarme a vencer las sombras.

Gracias a mi familia, por ser pieza fundamental para lograr esta y todas mis metas, en especial gracias a:

Mi mami Carmen, por darme la vida, permitirme crecer con todo su amor e inculcarme valores. Por apoyarme y guiarme en todo momento por el camino correcto hasta alcanzar todas mis metas. A mi papi Juan, a quien extraño inmensamente. Gracias por tomarme en tus brazos y ayudarme a forjar como profesional y como persona, sé que tenías muchas expectativas sobre mí y no te defraudare papi. No existen palabras para decirles cuan agradecida y orgullosa estoy de ustedes, ambos son las personas más importantes para mí en el mundo. LOS AMO!

A mis 8 hermanos: Jhonny, Francisco, Etelvina, Anabel, Juan, Pedro, Richard y Edith. Por darme fortaleza y creer ciegamente en mí, siendo mis principales admiradores. Ciertamente cada uno de ustedes tiene su particularidad, pero todos tienen algo maravilloso en común, son especiales para mí por ser mis hermanos mayores, mi mayor ejemplo a seguir, me siento muy orgullosa de ustedes! Los amo.

A mis sobrinos Nany, Junis, Richell, Dana y Mariangel, pero en particular les agradezco a mis sobrinos Miguel Ignacio y Juan Andrés, por ser la lucecita que le da vida a la casa, por distraerme en los momentos de mayor estrés con sus sonrisas y sus llantos. Los quiero mucho.

Quiero agradecer especialmente a Maycohol, por acompañarme en los momentos más tristes para mí durante este año, por tu constante actitud de aliento, por tu infinita paciencia, demostrando siempre que confías y crees en mí pese a todo. Por recordarme que el tiempo de Dios es perfecto y enseñarme que vivir es más que respirar...Eres un hombre excelente, estoy feliz de estar a tu lado, siendo algo más que un gran equipo... Te amo mi May favorito.

Agradezco a mis amigas Yurvic, Anelisse, Sandra y Luisana, por brindarme su apoyo incondicional en todo momento, por sus valiosos consejos, por los buenos momentos vividos dentro y fuera de la Uni! A ustedes chicas les debo un montón, las quiero mucho.

A mi amigo Alberth, excelente estudiante y compañero, por su gran ayuda en el inicio de mi carrera, a Luis, por siempre estar pendiente de mí, apoyándome y al Sr Oswi por sus constantes palabras de aliento y sus valiosos consejos. Se les quiere mucho.

Agradezco enormemente a mi tutor Ramón Montero pues su ayuda ha sido totalmente invaluable para mí. Por acompañarme en este camino para culminar mi carrera, con profesionalismo y mucho cariño; desde el momento de la salida de campo hasta en las correcciones finales he contado con su gran apoyo. Gracias profe.

En especial agradezco a Jecsi, por escucharme, comprenderme y guiarme, por sus valiosos consejos, por creer en mí. Te quiero mucho.

Al Proyecto PDD “VEN/SGP/PO4/Y3/RAF/15. **“Escenarios potenciales de afectación del cambio climático sobre el componente biótico y abiótico del ecosistema lagunar PNLT: Estrategias que contribuyan al desarrollo sostenible del sistema lagunar, en beneficio de la comunidad de Tacarigua de la Laguna”**”, en especial a su coordinadora Nora Malaver, por la atención, interés e información brindada durante este Trabajo Especial de Grado.

Muchísimas gracias a la profesora María del Pino, por su amabilidad y ayuda prestada durante la salida de campo.

Gracias al Instituto de Ciencias de la Tierra (ICT) por brindarme los recursos necesarios para poder realizar este Trabajo Especial de Grado, en especial al personal que labora en el laboratorio de hidrogeoquímica, Sr Fernando Ramos por su hospitalidad y amabilidad en todo momento, así como también agradezco a Luis Vilchez y a Franco por toda la ayuda brindada. Sin tener el apoyo del Instituto y sin ustedes no hubiese sido posible culminar con éxito mi trabajo experimental

Al excelente grupo de prepas con el cual tuve la oportunidad de compartir en el Laboratorio de Instrumental Analítico: Gloria, Claudia, Rafael, Jean, Javier, Miguel, Norelia y Niwdy. Todos aportamos un granito de arena a nuestra querida UCV.

Agradezco a la familia Torres Sánchez, sobre todo al Sr Víctor Q.E.P.D y a la abuelita Cecilia y al quien me ha brindado su amor y apoyo en todo momento. A ustedes millones de gracias.

A la Sra Yelen por toda la ayuda prestada durante mis estudios y a Miguel Torres, por su gran apoyo, sus consejos y enseñanzas pero en particular te agradezco mucho el dejarme como reflexión que: La mejor carrera es aquella que se recorre dejando en el camino huellas uno al lado del otro, no pisando las huellas de los demás.

Agradezco a Alexis, por ayudarme en el trascurso de la carrera, por facilitar mis estudios y el de muchos compañeros con su colaboración y hospitalidad, así como también agradezco a mi madrina Nebetse. Gracias!

A Gala, por ser mi más fiel compañera, estando presente en todo momento, acompañándome exclusivamente en los días de trasnocho y estrés.

Gracias a todos mis compañeros y amigos, que no menciono, pero que estuvieron presentes, apoyándome de algún modo y que al igual que el resto hicieron posible este logro.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, fue realizado en algunos afluentes que drenan al humedal costero Laguna de Tacarigua, estado Miranda, con el propósito de estudiar la calidad química y microbiológica de estas aguas. Además se realizó una caracterización química que permite tener una visión acerca de los procesos que controlan la composición de estos cuerpos de aguas superficiales y por último se clasificó de acuerdo a su calidad, según el Decreto 883 (Gaceta oficial 5021, 1995). Para ello, fueron analizadas once (11) muestras captadas en diversos ríos, caños y quebradas. Cabe destacar que el muestreo fue realizado en el mes de agosto de 2011, a través de una campaña llevada a cabo por el Instituto de Ciencias de la Tierra, el Instituto de Zoología Tropical y debe resaltarse que el presente Trabajo Especial de Grado forma parte del Proyecto PPD: VEN/SGP/OP4/Y3/RAF/15, financiado por el PNUD.

En busca de cumplir con los objetivos planteados, se realizó el muestreo de las aguas en los diversos ríos, caños y quebradas, simultáneo a la determinación de los parámetros fisicoquímicos: conductividad, temperatura y pH. Para la determinación de las especies iónicas Na^+ y K^+ fue empleada la técnica analítica de Espectroscopia de Emisión Atómica con llama, el Mg^{2+} se determinó por Espectroscopia de Absorción Atómica con llama, mientras que el resto de las especies Ca^{2+} , Si y los elementos traza Al, B, Ba, Fe, Li, Mn, Ni y Sr se determinaron por espectroscopia de emisión atómica con fuente de plasma inductivamente acoplado. Por su parte, el HCO_3^- fue determinado mediante una titulación potenciométrica, empleando el método de Gran, mientras que los aniones Cl^- , SO_4^{2-} y NO_3^- fueron cuantificados por cromatografía iónica.

Los resultados obtenidos fueron validados por medio del balance iónico, en el cual el 100% de las muestras presenta un error menor al $\pm 10\%$ BI, además se calculó la relación de la conductividad ideal y la conductividad medida en campo, así como la relación de aniones y cationes.

En líneas generales puede señalarse que, gracias a los métodos de validación fue factible demostrar que los datos son precisos, de calidad y por consiguiente de total confiabilidad para efectuar el tipo de interpretaciones que se pretenden desarrollar en un estudio de esta índole.

En cuanto a la determinación de las especies químicas mayoritarias y minoritarias, la tendencia alcanzada indicó que en los puntos donde la conductividad y la salinidad de las muestras fueron bajas, la concentración de iones en solución fue menor, mientras que en las zonas donde las concentraciones de ambos parámetros fue elevada, se obtuvo una alta concentración de iones minoritarios y mayoritarios en solución, por lo que existe una buena correlación en los resultados obtenidos.

A fin de facilitar la interpretación de los resultados obtenidos, se emplearon algunas herramientas entre las cuales destacan el análisis estadístico no paramétrico mostrado a través de las cajas gráficas, el diagrama de Piper, y finalmente las relaciones interiónicas. Por su parte, el diagrama de Piper permitió identificar cinco (5) tipos principales de agua en las once (11) muestras analizadas identificadas como: Bicarbonatadas sódicas cálcicas ($\text{Na}^+\text{-Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$) en un 63% de la población total de las muestras, el tipo Bicarbonatadas sódicas magnésicas ($\text{Na}^+\text{-Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^-$) en un 8%, las Cloruradas sódicas potásicas ($\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-Cl}^-$) en el 8% de las muestras, el tipo Cloruradas sódicas cálcicas ($\text{Na}^+\text{-Ca}^{2+}\text{-Cl}^-$) en el 8% de las muestras y finalmente el agua tipo Cloruradas sódicas magnésicas ($\text{Na}^+\text{-Mg}^{2+}\text{-Cl}^-$) en el 8% de las muestras restantes.

Por otra parte, este trabajo de investigación permitió inferir que las principales fuentes de origen de estas especies se asocian a la intrusión marina, mediante la mezcla de agua de mar con agua dulce, así como también a los aerosoles marinos y la actividad antrópica realizada en las zonas aledañas a los afluentes estudiados, entre otros posibles orígenes.

En relación al análisis microbiológico, comparando el límite establecido por la EPA con los resultados obtenidos en las seis (6) muestras en estudio, se puede inferir que todas se encuentran muy por encima del límite establecido por esta agencia ambiental. Esto indica que todas las muestras captadas en los afluentes de la Laguna de Tacarigua presentan contaminación fecal tanto humana como animal de vieja data y de acuerdo a la normativa internacional, ninguna de estas muestras puede considerarse de calidad para ser usadas como protección de comunidades hidrobiológicas, recreación de contacto total, riego de hortalizas, entre otros usos.

Con respecto a la clasificación de las once (11) muestras analizadas, según la normativa nacional vigente, de acuerdo al Decreto 883 (Gaceta oficial 5021, 1995) el 36% de las muestras se clasificó como aguas tipo 1 o de excelente calidad, cuyos usos se asocian a la fuente de abastecimiento doméstico, contacto total, riego, entre otros; mientras que el 64% restante de las muestras se clasificó como aguas clase 4 o aceptables, destinadas a la armonía paisajística, el comercio y navegación o la industria.

Por último, es importante destacar que este tipo de análisis y clasificación es la primera que se realiza sobre estos afluentes muestreados y analizados, pues anteriormente a este momento no se habían efectuado análisis de este tipo en esta zona, lo que puede dar paso a futuras investigaciones en estos afluentes de la Laguna de Tacarigua.

Palabras claves: Calidad de Agua, Laguna de Tacarigua, Parámetros Físicoquímicos, Parámetros Microbiológicos.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo general	4
2.2 Objetivos específicos	4
3. MARCO TEÓRICO	6
3.1 Agua	6
3.2 Ciclo Hidrológico del agua	6
3.2.1 Evaporación	7
3.2.2 Transpiración	7
3.2.3 Evapotranspiración	7
3.2.4 Condensación	7
3.2.5 Precipitación	7
3.2.6 Infiltración	8
- Escorrentía sub-superficial o hipodérmica	8
- Escorrentía subterránea	8
3.2.7 Escorrentía superficial	8
3.3 Clasificación de las aguas	9
3.3.1. Según su origen	9
- Aguas Superficiales	10
a) Lagos	10
b) Mares y Océanos	10
c) Manantiales	11
d) Humedales	11
e) Ríos	15
- Aguas Subterráneas	19
- Tipos de agua subterránea	19
3.3.2. Según su composición química	21

- Principales constituyentes químicos	22
- Origen de las especies químicas	22
- Diagramas donde se representan la clasificación de las aguas naturales según su composición química	28
3.3.3 Clasificación según su uso	30
3.4 Calidad del agua	32
a) Parámetros organolépticos	33
b) Parámetros físicos	33
c) Parámetros químicos	35
d) Parámetros microbiológicos	39
4. ANTECEDENTES	48
4.1 Internacionales	48
4.2 Nacionales	53
5. ÁREA DE ESTUDIO	61
6. METODOLOGÍA	69
6.1. Etapa de pre-campo	70
6.2. Etapa de campo	74
6.3. Etapa de post-campo	82
7. RESULTADOS	96
7.1 Precisión de los análisis.....	97
7.2 Validación de los resultados	100
7.3 Caracterización química	108
7.4 Caracterización hidrogeoquímica.....	130
7.5 Calidad de agua.....	135
7.6 Relaciones interiónicas	152
7.7 Uso del agua según su calidad	159
8 CONCLUSIONES.....	165
9. RECOMENDACIONES	168
10 REFERENCIAS	169

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Distribución global del agua	6
Figura 2 Ciclo hidrológico del agua	9
Figura 3 Tipos de humedales según Ramsar	14
Figura 4 Tipos de ríos	18
Figura 5 Distribución de las especies químicas en el diagrama de Piper	28
Figura 6 Diagrama de Piper	30
Figura 7 Coliformes fecales.....	42
Figura 8 Enterococos fecales.....	43
Figura 9 Vibrio spp	44
Figura 10 Laguna de Tacarigua, ubicación y subdivisiones.....	63
Figura 11 Afluentes de la laguna de Tacarigua.....	65
Figura 12 Esquema general de trabajo	67
Figura 13 Esquema de la etapa de Pre-campo	70
Figura 14 Esquema de la etapa de Pre-campo.....	72
Figura 15 Mapa de ubicación de los puntos muestreados	75
Figura 16 Esquema de la etapa de post-campo	77
Figura 17 Material de microbiología	78
Figura 18 Equipos para el procesamiento microbiológico de las muestras.....	79
Figura 19 Frascos de activación para especies Vibrio	80
Figura 20 Etapa de campo, recolección de muestras	81
Figura 20 Metodología de campo para la determinación de microbiología	82
Figura 21 Bureta Jencons	83
Figura 22 Equipo de filtración para sólidos suspendidos	84
Figura 23 Sólidos suspendidos de las muestras analizadas	85
Figura 24 Espectrofotómetro Perkin Elmer	86
Figura 25 Equipo ICP-OES	87
Figura 26 Cromatógrafo iónico.....	89

Figura 27 Proceso de digestión de las muestras para DQO	90
Figura 28 Titulación del exceso de dicromato (DQO)	91
Figura 29 Esquema de la etapa de post-campo.....	92
Figura 30 Metodología empleada en la etapa de post-campo	93
Figura 31 Indicadores microbiológicos de calidad.....	94
Figura 32 Colonias para especies Vibrio y bacterias heterótrofas.....	95
Figura 33 Representación gráfica del error porcentual de balance iónico.....	101
Figura 34 Relación entre aniones y cationes sin las muestras 3 y 10.....	103
Figura 35 Relación entre aniones y cationes c.....	104
Figura 36 Relación entre la conductividad ideal y la medida en campo sin las muestras 3 y 10	106
Figura 37 Relación entre la conductividad ideal y la medida en campo para todas las muestras.....	107
Figura 38 Caja gráfica para el parámetro pH	110
Figura 39 Caja gráfica para el parámetro conductividad	112
Figura 40 Caja gráfica para el parámetro sólidos suspendidos.....	114
Figura 41 Caja gráfica para el parámetro SiO ₂	115
Figura 42 Caja gráfica para las especies catiónicas	117
Figura 43 Caja gráfica para las especies aniónicas	123
Figura 44 Caja gráfica para el parámetro SDT	130
Figura 45 Diagrama de Piper para las muestras analizadas.....	133
Figura 46 Parámetros microbiológicos de las muestras analizadas.....	151
Figura 47 Relación interiónica Na ⁺ /Cl ⁻	153
Figura 48 Relación interiónica Ca ²⁺ /HCO ₃ ⁻	154
Figura 49 Relación interiónica Ca ²⁺ /SO ₄ ²⁻	155
Figura 50 Relación interiónica Sr/Ca ²⁺	156
Figura 51 Relación de los afluentes con la Laguna.....	163
APENDICE	179

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de humedales	12
Tabla 2 Constituyentes más importantes de las aguas naturales	21
Tabla 3 Valores representativos de la composición de las aguas naturales	22
Tabla 4 Tipos de agua según usos asociados	31
Tabla 5 Parámetros utilizados en los índices fisicoquímicos de calidad de aguas....	32
Tabla 6 Tipos de agua según la concentración de STD	34
Tabla 7 Clasificación de las aguas según su contenido de carbonato de calcio	36
Tabla 8 Escala de clasificación de la calidad del agua, con base en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	38
Tabla 9 Escala de clasificación de la calidad del agua, con base en la demanda química de oxígeno (DQO)	39
Tabla 10 Comparación de calidad de agua superficial y subterránea	45
Tabla 11 Parámetros establecidos para la calidad de las aguas	46
Tabla 12 Parámetros fisicoquímicos de los ríos	47
Tabla 13 Localización de los puntos de muestreo.....	74
Tabla 14 A Parámetros de precisión de los análisis.....	98
Tabla 14 B Parámetros de precisión de los análisis.....	134
Tabla 15 Tipo de agua según el diagrama de Piper.....	143
Tabla 16 Concentraciones de elementos traza y DQO	150
Tabla 17 Estatus de calidad de agua de los afluentes de la Laguna de Tacarigua según las especies microbiológicas determinadas	157
Tabla 18 Clasificación de las aguas según la relación $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$	158
Tabla 19 Clasificación de las aguas según la relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$	161
Tabla 20 Intervalo de resultados obtenidos comparados con la normativa nacional	165
Tabla 21 Clasificación de las aguas según su calidad de acuerdo al Decreto 883 ..	162

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural renovable que se encuentra en la naturaleza en diversos estados físicos. Es esencial para muchos aspectos de la vida cotidiana, bien sea para consumo, aseo, uso doméstico e industrial, además de ser imprescindible en el ecosistema.

En la actualidad existe una gran crisis pues la cantidad y calidad de este vital líquido no son las mismas de épocas anteriores. A nivel global, la calidad de agua se modifica por la influencia de múltiples actividades socioeconómicas y naturales que están relacionadas con el uso para el cual se adquiere dicha agua. Uno de los principales problemas relacionado con la calidad de agua lo constituye la eutrofización, que es el resultado de un aumento en los niveles de nutrientes, los cuales afectan sustancialmente los usos del agua.

En relación a lo anterior, las mayores fuentes de estos nutrientes que drenan hacia los cuerpos de agua superficial y subterránea provienen de la escorrentía agrícola y de las aguas residuales domésticas, que a su vez constituyen una fuente de contaminación microbiana, de efluentes industriales, emisiones a la atmósfera procedentes de la combustión de combustibles fósiles y de los incendios forestales.

No obstante, los lagos son especialmente susceptibles a los impactos negativos de eutrofización, debido a su complejo dinamismo, con un período de residencia en el agua relativamente largo, así como al hecho que concentran a los contaminantes procedentes de las cuencas de drenaje. De allí surge la necesidad de monitorear y controlar la calidad de las aguas que fluyen hacia los ríos, lagos y mares, para que sea posible evitar la contaminación de los mismos.

En este sentido, el estudio de la Calidad de Agua de los Afluentes que drenan a la Laguna de Tacarigua es importante, pues conlleva a determinar y conocer si aspectos como la salinidad, carga de sedimentos y presencia de microorganismos que ingresan a la laguna, poseen las concentraciones adecuadas para garantizar tanto la conservación del hábitat de las especies allí presentes como del agua allí almacenada.

En relación a lo anterior, las aguas que desembocan en la Laguna de Tacarigua poseen un fuerte impacto sobre la biodiversidad de este ecosistema acuático, conduciendo en algunos casos a la perturbación de la calidad del agua de la laguna, esto como consecuencia de la influencia que ejerce el crecimiento continuo de la población, la industrialización y producción de alimentos a nivel agrícola, pecuario, porcino, avícola, entre otros, en los alrededores de dichos afluentes. Estos procesos al no ser controlados adecuadamente y a tiempo, pueden alterar significativamente la calidad de esta agua y como resultado, perjudicar el ecosistema de la Laguna de Tacarigua.

Es por ello que a través del proyecto de pequeñas donaciones, auspiciado por el PNUD y en el contexto del proyecto “escenarios potenciales de afectación del cambio climático sobre el componente biótico y abiótico del ecosistema lagunar PNLT. Estrategias que contribuyan al desarrollo sostenible del sistema lagunar, en beneficio de la comunidad de Tacarigua de la Laguna“ se plantea el estudio que permite conocer la calidad del agua de los afluentes de la Laguna de Tacarigua, en función de su composición física y química, así como también de su composición microbiológica; a su vez se pretende estudiar cuáles son los tipos de agua presentes y cuál es el uso que se le puede dar a los afluentes de la Laguna de Tacarigua, en función de su calidad. De esta forma se evaluará si la calidad de estos afluentes se encuentra dentro de los parámetros establecidos en el Decreto 1508 (Gaceta Oficial, 2005) concernientes a los “Tipos de Agua según su uso”, lo que permitirá alertar a los organismos competentes y a la comunidad que vive en zonas aledañas a estos ríos caños y quebradas.

Esto con el propósito de contribuir con el proceso de concientización de la población que vienen llevando a cabo entes gubernamentales y algunas ONGs en la conservación de este importante ecosistema de nuestro país.

Finalmente, es importante señalar que este tipo de estudio no ha sido implementado en los afluentes que drenan hacia el complejo lagunar Laguna de Tacarigua, lo que podría incentivar y dar paso otros trabajos de investigación en esta zona, con miras a la conservación, preservación y uso racional de los diferentes ríos y caños que desembocan en este importante humedal costero y a su vez para preservar y dar un uso razonable a estos afluentes.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Estudiar la calidad del agua de los afluentes que drenan hacia el parque nacional Laguna de Tacarigua, en función de su composición química y microbiológica para evaluar su impacto sobre este humedal costero.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los ríos, caños y quebradas que drenan hacia el parque nacional Laguna de Tacarigua, a través de la medición de los parámetros fisicoquímicos, temperatura, pH, conductividad, salinidad y DQO (demanda química de oxígeno).
- Determinar la alcalinidad de las muestras recolectadas a través del método de Gran.
- Identificar la composición química de las aguas de los afluentes de la Laguna de Tacarigua en función de la determinación de la concentración de los iones mayoritarios Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , sílice disuelta (SiO_2) así como la presencia de elementos trazas Al, Ba, B, Fe, Li, Mn, Ni y Sr.
- Determinar la concentración de sólidos disueltos totales (SDT) y sólidos suspendidos (SS) en cada una de las muestras de agua.
- Identificar y clasificar los tipos de agua presentes en la zona de estudio según su composición química, de acuerdo a su concentración de iones mayoritarios, por medio del diagrama de Piper.

- Establecer la calidad microbiológica de las muestras de agua a través de la determinación y cuantificación de indicadores de calidad como coliformes totales y fecales presentes en las muestras, así como enterococos, bacterias heterótrofas y la especie vibrio spp.
- Clasificar los tipos de agua presentes en la zona de estudio por su composición química y microbiológica según el decreto 883 (Gaceta oficial 5021, 1995) para asociarles un uso específico, bien sea fuente de abastecimiento doméstico, agua de riego, contacto parcial o total, armonía paisajística, entre otros usos.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 El agua

El agua es uno de los recursos naturales que mayor importancia reviste para la sociedad y el medio ambiente, ya que es un elemento necesario para el funcionamiento de los ecosistemas, la supervivencia de la población y la producción agropecuaria e industrial. ^[1]

El agua cubre las tres cuartas partes del planeta, encontrándose en la naturaleza bajo diversas formas y características, teniendo cada una de ellas su función dentro del gran ecosistema del planeta. El 97% no es utilizable de forma directa para el consumo humano pues constituye los mares y océanos; mientras que solo el 3 % es agua dulce. ^[2]

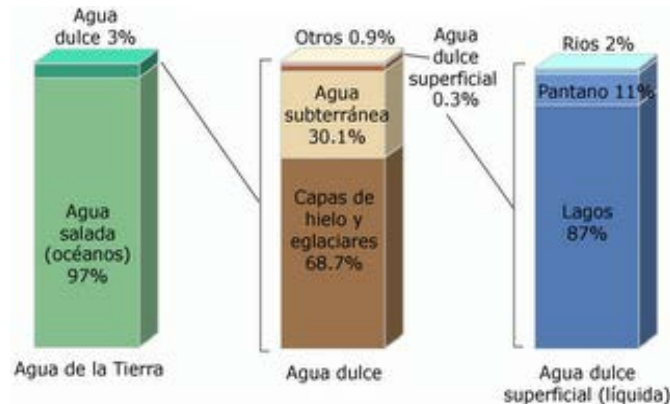


Figura 1 Distribución global del agua ^[3]

En la figura 1 se observa la representación esquemática de la distribución del agua dulce y salada en el planeta tierra.

3.2 Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es la circulación de las masas de aguas en diferentes estados físicos interconvertibles entre sí, que se da entre el ambiente y los seres vivos. Este ciclo se produce por la influencia de la fuerza de gravedad y la energía solar. ^[4]

El proceso general implica que el sol proporciona la energía suficiente para evaporar el agua, la cual asciende en forma de vapor a la atmósfera hasta llegar a las nubes, donde se condensa y por acción de la gravedad el agua desciende en forma de lluvia, nieve o granizo y luego al llegar al suelo, se genera la escorrentía superficial y subterránea. ^[5]

En el ciclo hidrológico son reconocidas diferentes fases a saber: evaporación, transpiración, evapotranspiración, condensación, precipitación, infiltración y escorrentía.

3.2.1 Evaporación es el proceso que ocurre cuando las moléculas de agua de una superficie libre o del suelo, adquieren mediante la acción de radiación solar, la energía suficiente para escapar del estado líquido y pasar al estado gaseoso. ^[6]

3.2.2 Transpiración es el proceso físico – biológico por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso, a través del metabolismo de las plantas, para luego ser liberada a la atmósfera como vapor de agua. ^[7]

3.2.3 Evapotranspiración es la combinación de dos procesos separados en los que el agua se transforma en vapor por evaporación del agua de suelos, mares lagos y por otra parte, mediante la transpiración de las plantas. Este término es sólo aplicado a una determinada área de terreno cubierto por vegetación. ^[8]

3.2.4 Condensación se trata del cambio de estado del agua, de la fase de vapor a la fase líquida (en forma de gotas). ^[2]

3.2.5 Precipitación es cualquier agua meteórica recogida sobre la superficie terrestre, incluyendo la lluvia, el granizo y la nieve. También es considerado el rocío y la escarcha, que en algunas regiones constituyen una pequeña pero apreciable parte de la precipitación total. ^[9]

3.2.6 Infiltración este término se refiere a la capacidad de absorción del agua procedente de una precipitación dada, por parte de los suelos. La proporción de infiltración en relación con la cantidad de lluvia varía con la temperatura del suelo y su contenido de agua (humedad).^[6]

Es importante señalar que el agua que se infiltra en los suelos, puede volver a la superficie como manantiales o por el contrario, percolar hacia el subsuelo realizando pequeños o grandes recorridos de larga duración hacia el mar, ríos y lagos entre otros, en atención a lo cual el agua infiltrada puede fluir como escorrentía sub-superficial o hipodérmica y como escorrentía subterránea.

- Escorrentía sub-superficial o hipodérmica

Es un flujo lateral, de poco tiempo de contacto, que es expuesto rápidamente a la superficie.^[9]

- Escorrentía subterránea

Proviene de la infiltración ocurrida desde la superficie que alcanza la zona saturada y que continúa su recorrido debajo de la superficie, frecuentemente es de mediano a largo plazo, esto dependiendo del tipo de formación geológica a través de la cual percola.^[9]

3.2.7 Escorrentía superficial el agua que proveniente de las precipitaciones no es ni evaporada ni infiltrada, transcurre por la superficie del suelo y finalmente fluye a los ríos, arroyos y otras masas de agua.^[9]

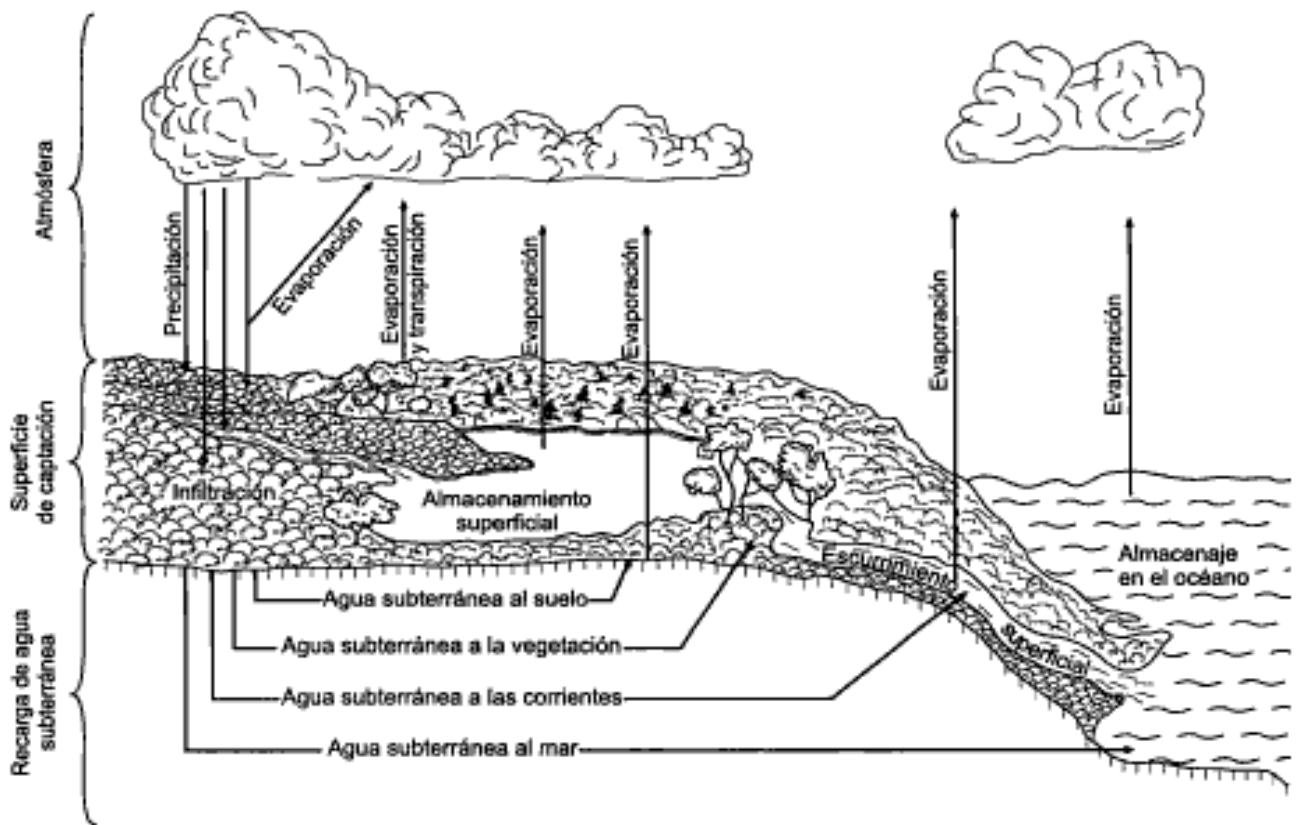


Figura 2. Ciclo hidrológico ^[10]

La figura 2 representa de forma esquemática todos los procesos involucrados en el sistema del ciclo hidrológico. ^[10]

3.3 Clasificación de las aguas

Las aguas pueden clasificarse atendiendo a características y propiedades tales como su origen, composición química y uso.

3.3.1 Clasificación según su origen

Considerando que casi en su totalidad las aguas provienen del ciclo hidrológico del agua, estas se pueden clasificar como superficiales y subterráneas.

- Aguas superficiales

Son aquellas que provienen de las precipitaciones, no se infiltra ni regresan a la atmósfera por evaporación. En este grupo también son consideradas aquellas aguas que provienen de manantiales o que se originan como fuente de descarga de las aguas subterráneas. [11]

Las aguas superficiales son cuerpos de aguas que incluyen tanto a las aguas naturales como a las artificiales, que consideran los cauces de corrientes naturales continuos y discontinuos, así como los lechos de los lagos, lagunas y embalses. [4]

Las aguas superficiales se presentan en el planeta en forma de lagos, mares, océanos, manantiales, humedales y ríos.

a) Lagos

Son cuerpos de agua dulce o salada, de profundidad y dimensiones variables, que se encuentran en depresiones de la superficie terrestre con diferentes orígenes. La mayoría de los lagos tienen una vida media corta, consecuencia de la erosión y sedimentación. En general, a excepción de ciertos casos, el agua de los lagos es constantemente intercambiada, abastecida por arroyos, escurrimientos, ríos, aguas subterráneas, lluvias y pierden agua a través de la evaporación, infiltración y salidas por ríos y canales. [12]

b) Mares y océanos

Son cuerpos de agua salada que ocupan las grandes depresiones de la tierra, rodeando los continentes. Esta agua cubre el 71% de la superficie y tienen grandes profundidades. [12]

c) Manantiales

Son un flujo natural de agua proveniente del subsuelo desde un solo punto o por un área pequeña. Pueden aparecer en tierra firme o manifestarse en ríos, lagunas, lagos o mares. Los manantiales tienden a ser permanentes o intermitentes, cuyo origen podría estar asociado al agua de lluvia que se infiltra o ser de origen ígneo o metamórfico. Si alcanza importantes niveles de profundidad, puede originar manantiales de agua caliente. ^[13]

El caudal de los manantiales depende de la estación del año y del volumen de las precipitaciones. Los manantiales de filtración se secan a menudo en periodos de precipitación escasa; sin embargo, algunos tienen un caudal abundante y constante que proporciona un importante suministro de agua local. La composición del agua de los manantiales varía según la naturaleza del suelo o de la formación geológica a través de la cual percolan. ^[13]

d) Humedales

La convención Ramsar (1971) define a los humedales como “una zona de la superficie terrestre que está temporal ó permanentemente inundada, regulada por factores climáticos y en constante interrelación con los seres vivos que la habitan”.

Según el artículo 1, en el párrafo 1 de la convención, se consideran a los humedales como "las extensiones de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina, cuya profundidad en marea baja no exceda los 6 metros “[14].

Un humedal es todo aquel sistema natural que posee suelos saturados o cubiertos por agua dulce, salada o mezclas de ambas, de manera temporal o permanente, esto incluye lagos, ríos, lagunas, esteros y marismas. ^[15]

Posee especies animales, vegetales o de otros grandes grupos afines y característicos a este medio, también denominadas especies hidrófilas. ^[16]

Clasificación de los humedales

Existen diversos criterios para clasificar los humedales, bien sea en función de los objetivos que se persiguen o de los estudios en los que estén basados; sin embargo, el sistema adoptado por el Convenio de Ramsar (1971), clasifica los humedales con un carácter estratégico, ya que abarcan prácticamente cualquier tipo de humedal permitiendo tener una cobertura a nivel mundial.

En la tabla 1 se aprecia la clasificación que asignó RAMSAR a los diversos humedales

Tabla 1 Clasificación de humedales ^[14]

Tipo de Humedal	Ejemplos
<p>Marinos y costeros: Los ecosistemas marinos costeros están localizados en un ecotono (componentes ecológicos en tensión), que está afectado por los efectos de los procesos que los crea y por su dinamismo. Esto debido a que están expuestos a eventos de inundaciones, sequías, tormentas, mareas, cambios en la intensidad de los vientos y una diversidad y variabilidad de cambios climáticos ^[15]. Estos procesos ocasionan un régimen de salinidad bastante fluctuante, así como un gran aporte de sedimentos y materia orgánica hacia el interior de los humedales costeros.</p>	<p>Aguas marinas, lechos marinos submareales, arrecifes de coral, costas marinas rocosas, playas de arena, estuarios y bajos intermareales de lodo, de arena o con suelos salinos; así como pantanos y esteros (zonas inundadas), humedales arbolados, lagunas costeras saladas que incluye lagunas de agua entre salobre y salada con por lo menos una relativamente angosta conexión al mar y lagunas costeras de agua dulce.</p>

<p>Continenciales: Son aquellas que representan las diversas formas en las cuales puede encontrarse distribuida el agua en un continente.</p>	<p>Deltas interiores, ríos o arroyos permanentes, ríos o arroyos estacionales, lagos permanentes de agua dulce, lagos permanentes salinos y alcalinos, pantanos, esteros o charcos permanentes salinos, pantanos o charcos permanentes de agua dulce, pantanos estacionales de agua dulce sobre suelos inorgánicos, turberas, humedales de montaña, humedales de la tundra y humedales boscosos de agua dulce, pantanos con vegetación arbustiva, turberas arboladas, bosques inundados turbosos, manantiales de agua dulce, oasis, humedales geotérmicos, sistemas hídricos subterráneos en karst o en cuevas.</p>
<p>Artificiales: Son sistemas de depuración naturales caracterizados por su simplicidad de operación, bajo o nulo consumo energético, baja producción de residuos, bajo impacto ambiental sonoro y una buena integración al medio ambiente rural. Son sistemas pasivos de depuración constituidos por lagunas poco profundas con plantas propias de zonas húmedas y en los que los procesos de descontaminación son ejecutados simultáneamente por componentes físicos, químicos y biológicos ^[17].</p>	<p>Estanques de acuicultura, estanques artificiales con menos de 8hectáreas, zonas de riego, tierras agrícolas inundadas estacionalmente, zonas de explotación de sal en áreas de almacenamiento de agua, excavaciones, plantas de tratamiento de aguas servidas, canales de transportación, canales de drenaje y zanjas.</p>

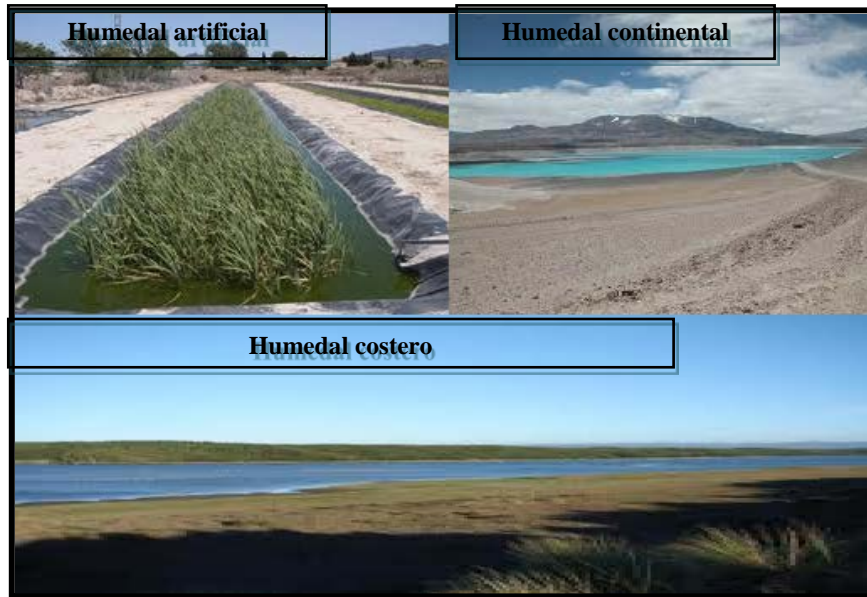


Figura 3 Tipos de humedales ^[14]

En la figura 3 se pueden observar tres de los tipos de humedales característicos a saber; el humedal artificial ubicado en el canal de fitodepuración Murcia España; humedal continental ejemplificado por Laguna Verde, Chile y humedal costero representado por Luna Reloca en Chile.

Importancia de los humedales

Los humedales constituyen una excelente fuente de agua para uso doméstico, industrial y agrícola. Asimismo, proveen alimento y medicinas a las poblaciones humanas y a la vida silvestre y acuática, incluyendo nutrientes que sirven de sustento a las actividades pesqueras de importancia ^[18]

Dentro del ciclo hidrológico, los humedales juegan un rol crítico en el mantenimiento de la calidad ambiental y regulación hídrica entre otras, así como en las funciones de mitigación de impactos por inundaciones, absorción de contaminantes, retención de

sedimentos, recarga de acuíferos, proveyendo hábitats para animales y plantas, incluyendo un número representativo de especies amenazadas y en vías de extinción. [16]

Los humedales son importantes desde el punto de vista ecológico y socioeconómico, por sus múltiples funciones, valores y atributos, los cuales son esenciales para la sociedad en conjunto. Estos ambientes son un elemento vital dentro del amplio mosaico de ecosistemas con que cuenta un país, constituyéndose por su oferta de bienes y prestaciones de servicios ambientales, en un renglón importante de la economía nacional, regional y local. [16]

e) Ríos

Son una corriente natural de agua que fluye con continuidad. Posee un caudal determinado, rara vez constante a lo largo del año, pueden desembocar en el mar, en un lago o en otro río. [19]

La principal fuente de agua de los ríos es el agua de lluvia. Esta contiene bajas concentraciones de especies disueltas. En general, la composición de las aguas de los ríos depende del tipo de suelo o de roca con la cual interactúan, destacando por su importancia el tiempo y la ubicación geográfica; sin embargo, en orden de abundancia las principales especies químicas presentes son HCO_3^- , Ca^{2+} , NO_3^- , SiO_2 (sílice disuelta), SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} y K^+ [20].

Clasificación de los ríos

Los ríos pueden ser clasificados atendiendo a su período de actividad y geomorfología.

Según el período de actividad y dependiendo de las características absolutas del caudal, pueden ser distinguidos varios tipos de ríos a saber: perennes, estacionales, transitorios y alóctonos.

Los ríos perennes están formados por cursos de agua localizados en regiones de lluvias abundantes con escasas fluctuaciones a lo largo del año. Sin embargo, incluso en las áreas donde llueve muy poco, pueden existir ríos con caudal permanente si existe una alimentación freática; es decir, de aguas subterráneas suficiente.

La mayoría de los ríos pueden experimentar cambios estacionales y diarios en su caudal, debido a las fluctuaciones de las características de la cobertura vegetal, de las precipitaciones y de otras variaciones del tiempo atmosférico como la nubosidad, insolación, evaporación o más bien, evapotranspiración, entre otras. ^[21]

Los ríos estacionales y ramblas son característicos de zonas con clima tipo mediterráneo, en donde existen estaciones muy diferenciadas, con inviernos húmedos y veranos secos o viceversa. Suelen originarse con mayor frecuencia en zonas de montaña que en las zonas de llanura. ^[21]

Los ríos transitorios son típicos de zonas con clima desértico o seco, el caudal puede no recibir precipitaciones durante años. Esto es debido a la poca frecuencia de las tormentas en zonas de clima de desierto. Pero cuando existen descargas de tormentas, que muchas veces son torrenciales, los ríos surgen rápidamente y a gran velocidad. Reciben el nombre de wadis o uadis, con cauces casi siempre secos, que pueden llegar a tener crecidas violentas y muy breves. ^[21]

Los ríos alóctonos son aquellos cuya zona de alimentación se ubica en la cabecera y en el resto de su extensión, no recibe afluentes debido a que atraviesa zonas áridas. Frecuentemente tienen extremos ciegos. ^[11]

Según la geomorfología, esta clasificación está basada en la geometría que adopta la corriente, por lo que estos ríos se pueden sub-clasificar en tres tipos básicos: rectilíneo,

meándrico y anastomosado. Los parámetros utilizados para esta sub-clasificación son la sinuosidad y multiplicidad.

Los ríos tipo rectilíneo se caracterizan por una sinuosidad baja y multiplicidad uno, es decir, un único canal. Son muy inestables, tendiendo a evolucionar a otros tipos de río. Tienen caudal de alta energía y gran capacidad erosiva. ^[21]

Los sistemas de corrientes anastomosado presentan canales múltiples, con gran capacidad de transporte y sedimentación. Tienen menor energía que las corrientes rectilíneas, por lo que, al encontrarse con obstáculos, tienden a modificar su trayectoria adecuándose al relieve y a los sedimentos en el fondo del cauce, siendo la deposición en el fondo de sedimentos de granulometría heterogénea durante la época de aguas bajas, la principal responsable de la división del cauce en los canales anastomosados. A medida que se van estabilizando las islas de sedimentos, puede llegar a desarrollarse en ellas una vegetación, aprovechando la dotación de agua que proporciona el propio río. A veces estos ríos pueden contener corrientes con gran capacidad de división. ^[21]

El río tipo meándrico tiene sinuosidad alta y canal único, con gran serpenteo y curvas acentuadas en su cauce. En su etapa intermedia, donde el río llega a los valles su curso se hace lento, erosionando la tierra hacia los lados; el río fluye de un lado a otro formando curvas a las que se les da el nombre meandro. ^[21]



Figura 4 Tipos de ríos

En la figura se observan algunos tipos de ríos, el río estacional, río meandrónico, ubicado en Chile; río anastomosado representado por el río Paraná y el río transitorio Zarpadiel, ubicado en España.

Importancia de los ríos

Los ríos son uno de los recursos naturales más valiosos del planeta, del cual se extraen una gran variedad de aportes a los ecosistemas, así como también a la economía, sociedad y a la cultura en general. Los ríos son en su mayoría bien aprovechados, por lo cual algunas de las utilidades que de ellos se extraen, es que son una importante fuente de agua para las industrias agrícolas y ganaderas, además son muy usados en las distintas actividades domésticas. ^[22]

Los ríos de caudales fuertes permiten la producción de energía hidroeléctrica que abastece a la población. Los embalses suministran agua potable, esto a través de plantas de tratamiento, a distintas ciudades. En los ríos se promueve la cría y pesca. Existe un potencial turístico en la vistosidad y grandeza de los paisajes geográficos, donde los ríos constituyen un elemento principal; aunado a ello, en atención a su magnitud y caudal, los ríos podrían constituirse en una vía de comunicación entre distintos lugares. [22]

- Aguas subterráneas

Son aguas que se infiltran desde la superficie penetrando en el suelo y subsuelo, saturando los poros o grietas de las rocas, eventualmente acumuladas encima de capas impermeables formando un reservorio subterráneo. [4]

El volumen del agua subterránea es mucho más importante que la masa de agua retenida en lagos o circulante, y aunque menor al de los mayores glaciares, las masas más extensas pueden alcanzar millones de km². En general, mantiene una temperatura muy similar al promedio anual en la zona, por ello, en las regiones árticas, puede helarse. [23]

Las aguas subterráneas pueden ser clasificadas en atención a su origen como connata, juvenil, magmática, marina, metamórfica, meteórica, volcánica y plutónica.

Las aguas connatas son aguas atrapadas durante los procesos de formación de rocas impermeables en épocas geológicas remotas, que por el efecto de los movimientos tectónicos o en excavaciones mineras se pone al descubierto. Esta agua generalmente presenta una elevada concentración de sales. También puede señalarse que se trata de aquella que resulta de una acumulación que tuvo lugar en el pasado geológico, y que en el presente no recibe realimentación alguna. [12]

El agua juvenil se origina como consecuencia de la consolidación de los magmas eruptivos, situados a mayor profundidad de la superficie. ^[12]

El agua magmática es sinónimo de agua juvenil, es decir, agua que se eleva desde un magma subterráneo. ^[11]

Agua Marina es referida al agua del océano que ha invadido en tiempos recientes las rocas y sedimentos no consolidados con las cuales está en contacto directo. Esta agua es similar en composición a la de mar, quizás con mayor dureza y composición isotópica similar. ^[6]

El Agua metamórfica es el agua que está o ha estado en contacto con las rocas durante su metamorfismo. ^[6]

Agua meteórica es cualquier agua de la superficie de la tierra procedente de la precipitación atmosférica. ^[11]

Agua volcánica es aquella que se genera por fenómenos de vulcanismo de poca profundidad. ^[12]

Agua plutónica es aquella originada en el interior de los magmas a grandes profundidades, probablemente en el orden de varios kilómetros. ^[6]

3.3.2 Clasificación según su composición química

La composición química de las aguas superficiales y subterráneas está controlada por factores como la precipitación atmosférica, geología, geomorfología, mineralogía del acuífero y por los procesos geoquímicos que ocurren en los mismos; así como por las actividades antrópicas.

La interacción de estos factores, puede traer como consecuencia la existencia de distintos tipos de agua, según sea la concentración de las especies químicas presentes.

[24]

- Composición química según especies mayoritarias

En el agua natural dulce, los constituyentes químicos están presentes por lo general en forma iónica, es decir como sales casi totalmente disociadas. Con menor frecuencia se presentan en forma molecular, parcialmente disociadas o como iones complejos de sustancias orgánicas o inorgánicas [25].

En la tabla 2 se presentan las especies químicas que se encuentran por lo general en las aguas naturales, clasificadas según la concentración de las especies químicas.

Tabla 2 Constituyentes más importantes de las aguas naturales [25]

Componentes Mayoritarios (Mayor a 5mg/L)			Componentes Minoritarios (10 - 0,01 mg/L)		Componentes Trazas (menor a 0,1 mg/L)		
Cationes	Aniones	Otros	Cationes	Aniones	Cationes	Aniones	Otros
Na ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₂	K ⁺	NO ₃ ⁻	Al ³⁺	PO ₄ ³⁻	Ar
Ca ²⁺	Cl ⁻	SiO ₂	Fe ⁺²	CO ₃	Ti ⁴⁺	Br ⁻	Sb
Mg ²⁺	SO ₄		Sr ⁺²	NO ₂ ⁻	Co ²⁺	I ⁻	Cr
			NH ₄ ⁺	F ⁻	Pb ²⁺	NO ₂ ⁻	Pb
					Ni ²⁺	S ⁻	Zn
					As ²⁺ y Mn ²⁺	OH ⁻	Hg

Las especies químicas disueltas pueden tener un amplio intervalo de concentración. En ese sentido, atendiendo a la concentración de los sólidos disueltos totales (SDT) las aguas pueden clasificarse como dulces, salobres, saladas y salmueras. Las aguas dulces naturales tienen menos de 1000 mg.L^{-1} , las aguas salobres hasta 5000 mg.L^{-1} , las aguas marinas unos 35000 mg.L^{-1} . Un litro de agua ('salmuera') puede llegar a contener hasta unos 300 gramos de sales disueltas.

Por su parte, en la tabla 3 se muestran algunos valores de ciertos cationes y aniones que componen estos diversos tipos de agua.

Tabla 3 Valores representativos de la composición de las aguas naturales ^[25]

Aniones	Agua de lluvia (mg/L)	Agua de mar (mg/L)	Agua subterránea (mg/L)
Cloruro	0 – 20	2000	10 – 250
Sulfato	0 – 10	3000	10 – 300
Bicarbonato	0 – 20	120	50 – 350
Nitrato	0 – 5	1	0 – 300
Bromuro	0	65	0 – 2
Cationes		Agua de mar	Agua subterránea
Sodio		10000	5 – 150
Calcio		400	10 – 250
Magnesio		1200	1 – 75
Potasio		400	1 – 10
Estroncio		13	0 – 1
Otras Características		Agua de mar	Agua subterránea
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)		45000	100 – 200

- Origen de las principales especies químicas en el agua

Las diferencias en la composición química de las aguas es consecuencia de distintos factores y procesos que actúan sobre las mismas.

A continuación se realizará una breve exposición de las características principales de los constituyentes que se encuentran en mayor proporción en el agua natural.

a) Calcio (Ca^{2+})

Suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales debido a su amplia difusión en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. En rocas sedimentarias aparece fundamentalmente en forma de carbonatos (calcita, aragonito y dolomita) o sulfatos (yeso y anhidrita). El intercambio iónico entre calcio y otros cationes (sodio fundamentalmente), retenidos en la superficie de minerales con los que entra en contacto el agua, se potencia notablemente en terrenos arcillosos de baja permeabilidad.

La concentración de calcio varía ampliamente en las aguas subterráneas. Concentraciones entre 10 y 250 mg/L son frecuentes en aguas dulces mientras que en aguas de terrenos con abundante yeso pueden llegar a 600 mg/L, y en salmueras hasta 50.000 mg/L. [26]

b) Magnesio (Mg^{2+})

Es menos abundante que el calcio en aguas naturales, procede de la disolución de rocas carbonatadas (dolomías y calizas magnesianas), evaporitas y de la alteración de silicatos ferromagnésicos, así como de agua marina.

Los procesos de intercambio iónico influyen también en las concentraciones de magnesio que están presentes en aguas subterráneas. En ellas, el magnesio es retenido con preferencia al calcio en suelos y rocas. Dicho elemento se encuentra también en la clorofila, en diferentes compuestos organometálicos, en materia orgánica y es un elemento esencial para los seres vivos.

En aguas naturales el contenido de ion magnesio no suele sobrepasar los 40mg/L. En terrenos calcáreos pueden rebasarse los 100 mg/L y en terrenos evaporíticos pueden alcanzarse valores de 1000 mg/L. ^[26]

c) Sodio (Na^+)

El sodio es liberado por la meteorización de silicatos tipo albita y la disolución de rocas sedimentarias de origen marino y depósitos evaporíticos en que se presenta fundamentalmente como NaCl. Una fuente importante de sodio la constituyen los aportes de agua marina en regiones costeras, tanto por intrusión marina como por infiltración del agua de lluvia a la que se incorpora desde el mar.

Las sales de sodio son altamente solubles y tienden a permanecer en solución ya que no se producen entre ellas reacciones de precipitación, como ocurre en el caso del calcio. Sin embargo, el sodio puede ser adsorbido en arcillas de elevada capacidad de cambio catiónico y puede ser intercambiado con calcio provocando una disminución de la dureza de las aguas. La presencia de sodio en aguas naturales es muy variable pudiendo alcanzar hasta 120.000 mg/l en zonas evaporíticas; sin embargo, raramente sobrepasa 100 ó 150 mg/l en aguas dulces normales. ^[26]

d) Potasio (K^+)

Procede de la meteorización de los feldespatos y ocasionalmente de depósitos de evaporitas, en particular de sales tipo silvina (KCl) o carnalita (KCl MgCl₂).

El potasio tiende a ser fijado irreversiblemente en procesos de formación de arcillas y de adsorción en la superficie de minerales con alta capacidad de intercambio iónico.

En aguas naturales no suele sobrepasar los 10 mg/L, a excepción de algunas salmueras. En ocasiones, las altas concentraciones pueden ser indicio de contaminación por vertidos de aguas residuales. ^[26]

e) *Bicarbonatos (HCO_3^-)*

El anhídrido carbónico se disuelve en el agua en función de su presión parcial. Una parte permanece en disolución en forma de gas mientras otra reacciona con el agua para dar ácido carbónico que se disocia parcialmente para dar iones carbonato y bicarbonato.

La disolución de calizas y dolomías, potenciada por el aporte de CO_2 y/o ácidos orgánicos o inorgánicos, es otra de las fuentes principales de carbonatos y bicarbonatos.

Aunque con velocidades de incorporación al agua mucho menores, la hidrólisis de silicatos es otro de los mecanismos que da lugar a la formación de estos iones.

En aguas con pH inferior a 8, la especie carbonatada dominante es el ión bicarbonato. En estas aguas la concentración suele variar entre 50 y 400 mg/L, aunque puede alcanzar valores de hasta 800 mg/L. ^[26]

f) *Cloruro (Cl)*

A excepción de las evaporitas y rocas de origen marino, las rocas por lo común presentan escasa proporción de cloruros. Sin embargo, dada la elevada solubilidad de sus sales, éstos pasan rápidamente a la fase acuosa pudiendo alcanzar concentraciones muy altas. El agua de lluvia puede ser una fuente importante de ion cloruro, especialmente en zonas próximas a la costa, disminuyendo rápidamente tierra adentro. El ion cloruro no forma sales de baja solubilidad, no se oxida ni se reduce en aguas naturales, no es adsorbido significativamente ni entra a formar parte de procesos bioquímicos, lo que le da un carácter de trazador casi ideal. ^[26]

La concentración de cloruros en aguas naturales es muy variable, desde menos de 10 mg/l a más de 3000 mg/L. En salmueras naturales, próximas a la saturación de NaCl, puede llegar a casi 200.000 mg/L. El agua de mar contiene alrededor de 20.000 mg/L.

g) Sulfatos (SO_4^{2-})

El sulfato se encuentra presente por lo general en las aguas naturales. La mayor parte de los compuestos sulfatados se originan a partir de la oxidación de las menas de sulfato, la presencia de esquistos y la existencia de residuos industriales. El sulfato es uno de los principales constituyentes disueltos de la lluvia y se combina con Ca^{2+} y Mg^{2+} , los dos componentes más comunes de la dureza del agua.

El nivel máximo de sulfato sugerido por la organización Mundial de la Salud en las Directrices para la Calidad del Agua Potable, establecidas en Génova, 1993, es de 500 mg/L.

En cuanto a las directrices de la Unión Europea son más recientes, 1998, completas y estrictas que las de la OMS, sugiriendo un máximo de 250 mg/L de sulfato en el agua destinada al consumo humano^[26]

h) Nitrato (NO_3^-)

Los nitratos pueden estar presentes en el agua bien como resultado de la disolución de rocas que los contengan, lo que ocurre raramente, o por la oxidación bacteriana de materia orgánica.

Sin embargo el origen de los nitratos en el agua no siempre es claro. Son relativamente estables pero pueden ser fijados por el terreno o ser reducidos a nitrógeno o amonio en ambientes reductores.

A menudo son indicadores de contaminación alcanzando entonces elevadas concentraciones y presentando, por regla general, una estratificación clara con predominio de las concentraciones más elevadas en la parte superior de los acuíferos libres.

El tipo de contaminación a que es debida su presencia en el agua está relacionado con las actividades urbanas, industriales y ganaderas, y muy frecuentemente, con carácter no puntual, con las prácticas de abonados intensivos inadecuados con compuestos nitrogenados.

Puesto que las plantas sólo pueden aprovechar el nitrógeno en forma de nitratos, el tipo de fertilizante aplicado condiciona la proporción de nitrógeno utilizable por las mismas y, en consecuencia, la cantidad no aprovechada por ellas que se infiltra hacia el acuífero. La concentración de nitrato en el agua de infiltración depende, pues, del tipo de fertilizante y, además, de la frecuencia, cantidad y modo de aplicación así como del nitrógeno orgánico o inorgánico ya existente en el suelo, así como de su permeabilidad, grado de humedad, etc. [26]

i) Sílice disuelta (SiO_2)

Procede mayoritariamente del proceso de meteorización a través de la hidrólisis de feldspatos y silicatos en general. El cuarzo o la sílice amorfa, de baja solubilidad, no son fuentes significativas de esta especie química en el agua. Aunque la sílice disuelta suele representarse como SiO_2 , en la mayoría de las aguas naturales, aparece como H_4SiO_4 . Por lo general, el valor de SiO_2 en agua subterránea sobrepasa los 3-8 mg/L. [19]

- Diagramas donde se representan la clasificación de las aguas naturales según su composición química

Existen diversas herramientas que permiten clasificar las aguas según su composición química, entre las cuales está el diagrama de Piper.

Diagrama de Piper

Piper en 1944 desarrolló un sistema de clasificación de las aguas superficiales y subterráneas en función de la composición química de las mismas, a partir de la concentración de las especies iónicas dominantes. ^[27]

Este sistema emplea una representación gráfica que está formada por dos triángulos equiláteros, donde se representan respectivamente, la composición aniónica y catiónica del agua en función del porcentaje en meq/L y un campo central romboidal en el que se representa la composición del agua deducida a partir de aniones y cationes. ^[25]

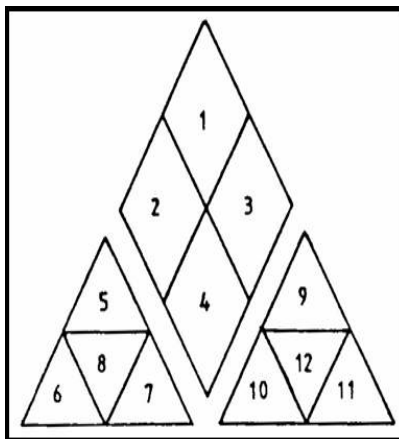


Figura 5 Distribución de las especies químicas en el diagrama de Piper ^[27].

En la figura 3 se aprecia la distribución de las especies químicas según su composición en el diagrama en Piper, los números asignados a cada triángulo y rombo corresponden a:

Área	Tipo de Agua	Área	Tipo de Agua
1	Sulfatadas y cloradas, cálcicas y magnésicas	7	Sódicas
2	Bicarbonatadas cálcicas y magnésicas	8	Magnésicas, cálcicas y sódicas
3	Cloruradas y sulfatadas sódicas	9	Sulfatadas
4	Bicarbonatadas sódicas	10	Bicarbonatadas
5	Magnésicas	11	Cloruradas
6	Cálcicas	12	Sulfatadas, bicarbonatadas y cloruradas

En este tipo de diagrama se puede reflejar las variaciones causadas por mezclas de aguas, precipitaciones, disoluciones, procesos de intercambio iónico, etc., y permite establecer de forma directa el tipo de agua en relación a las facies hidroquímicas. ^[25]

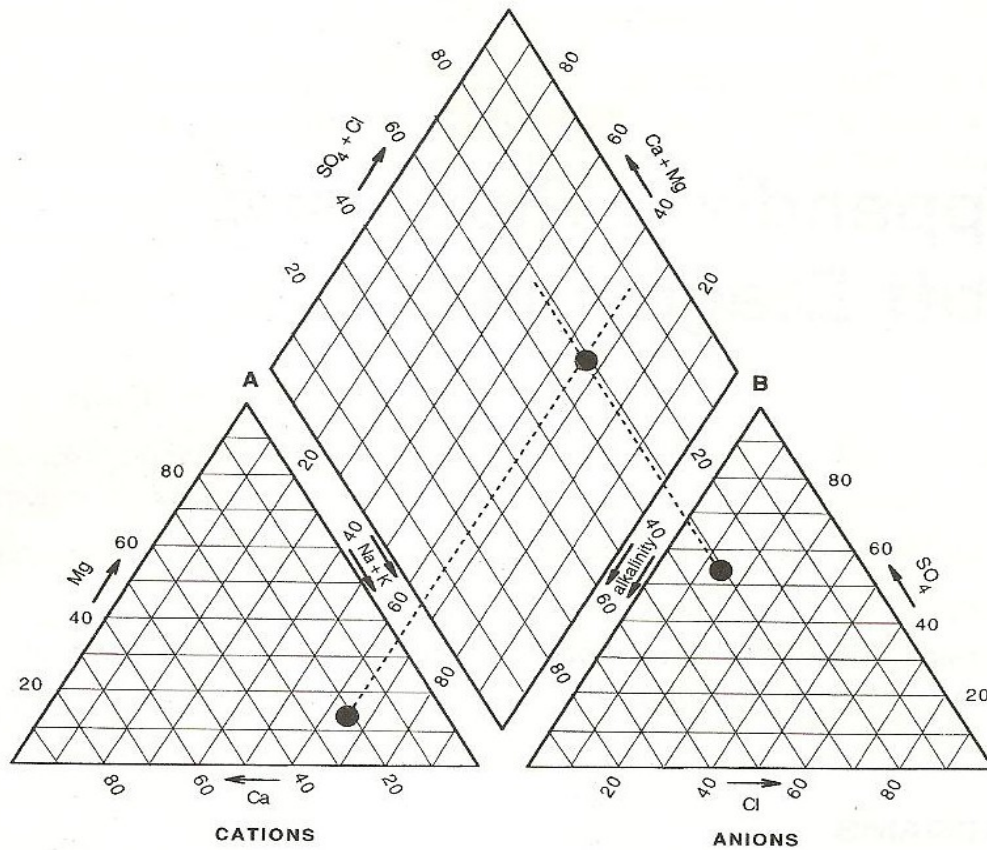


Figura 6 Diagrama de Piper. [25]

En la figura 6 se muestra un ejemplo de la representación esquemática de las especies químicas en el diagrama de Piper.

3.3.3 Clasificación de las aguas según su uso

El decreto 883 Publicado en Gaceta Oficial N° 5021 versión obtenida después de Consulta Pública el 15 de febrero de 2005; "Normas que controlan la calidad de aguas", [28]. Se establece la normativa para la clasificación y calidad de los cuerpos de agua y vertidos en el territorio nacional. Dicha normativa permite clasificar las aguas de acuerdo a sus usos asociados, dividiéndola en cuatro clases, tal como se muestra a continuación en la tabla 4.

Tabla 4 Tipos de agua según usos asociados ^[28]

Tipo de Agua	Usos Asociados
Excelente o Clase 1	Fuente de abastecimiento previo acondicionamiento para uso doméstico, protección de las comunidades hidrobiológicas, recreación de contacto total, riego de hortalizas y legumbres consumidas en crudo y frutas sin remoción de piel, riego de cultivos arbóreos, cereales y de forraje, cría natural o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana; abrevadero de animales; armonía paisajística; comercio y navegación; industrial
Muy buena ó clase 2	Fuente de abastecimiento previo acondicionamiento para uso doméstico, protección de las comunidades hidrobiológicas, recreación de contacto total, riego de hortalizas y legumbres consumidas en crudo y frutas sin remoción de piel, riego de cultivos arbóreos, cereales y de forraje, cría natural o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana; abrevadero de animales; armonía paisajística; comercio y navegación; industrial.
Buena ó clase 3	Fuente de abastecimiento previo acondicionamiento para uso doméstico, recreación de segundo contacto, riego de cultivos arbóreos, cereales y de forraje, cría natural o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana; abrevadero de animales; armonía paisajística; comercio y navegación; industrial.
Aceptable o clase 4	Armonía paisajística; comercio y navegación; industrial.

3.4 Calidad de un cuerpo de agua

Según Decreto Presidencial 1508 Gaceta Oficial N° 5021, 2005 en su artículo 3 indica que calidad de agua es la evaluación de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas naturales que determinan su composición, utilidad al hombre y demás seres vivos ^[29]. Para evaluar la calidad de un determinado cuerpo de agua se comparan los valores medidos de la concentración de un parámetro fisicoquímico o biológico, con los patrones de calidad establecidos en una norma de acuerdo con criterios de uso del agua. Tales parámetros se muestran a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 5 Parámetros utilizados en los índices fisicoquímicos de calidad de aguas ^[29]

Parámetros organolépticos	Color		
	Turbidez		
	Olor		
	Sabor		
Parámetros físicos	Sólidos Totales (residuo seco)	Sólidos suspendidos (sedimentables y no sedimentables)	
		Sólidos filtrables (coloidales y disueltos)	
	Temperatura		
Conductividad			
Parámetros químicos	Salinidad		
	Dureza		
	pH		
	Alcalinidad		
	Acidez		
	Oxígeno disuelto		
	Materia orgánica		
	DBO (demanda biológica de oxígeno)		
	DQO (demanda química de oxígeno)		
	COT (carbono orgánico total)		
	Bionutrientes (N,P)		
	Otros compuestos	Metales pesados	
		Aniones y cationes	
		Sustancias indeseables	
Sustancias tóxicas			

Parámetros microbiológicos	Indicadores	Coliformes (totales y fecales)
		Estreptococos fecales
		Enterococos fecales

3.4.1 Parámetros organolépticos

Los parámetros organolépticos son el conjunto de descripciones de las características físicas que tiene la materia en general, según las pueden percibir nuestros sentidos, como por ejemplo su sabor, textura, olor y color, entre otros.

Su estudio es importante en las ramas de la ciencia en que es habitual evaluar inicialmente las características de la materia sin instrumentos científicos. ^[30]

3.4.2 Parámetros físicos

Los parámetros físicos están constituidos por los sólidos disueltos totales, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, temperatura y conductividad.

- Sólidos disueltos totales (SDT)

Están constituidos por las sales minerales que el agua disuelve cuando entra en contacto con los minerales de la corteza terrestre. Los sólidos disueltos incrementan la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica, por lo que se relaciona con la conductividad. ^[31]

La cantidad de sólidos disueltos en aguas subterráneas es alta en comparación con las superficiales. ^[6] Según la concentración de sólidos disueltos totales, las aguas destinadas a uso doméstico e industrial deben contener en la mayor parte de los casos menos de 1000mg/L. Las aguas destinadas a usos agrícolas deben contener menos de 3000 mg/L.

Sin embargo, la clasificación definitiva de la calidad química del agua en relación con sus diferentes usos, debe estar basada en la concentración particular de cada ión y no en la suma total de sólidos disueltos.

En la tabla 6 se muestra los diferentes rangos de concentración de sólidos disueltos totales presentes en diversos tipos de agua

Tabla 6 Tipos de agua según la concentración de STD ^[6]

Clasificación	Concentración de STD en mg/L
Agua dulce	0 – 1.000
Agua salobre	1.000 – 10.000
Agua salada	10.000 – 100.000
Salmuera	> 100.000

- Sólidos sedimentables

Están formados por partículas más densas que el agua, que se mantienen dispersas dentro de ella en virtud de la fuerza de arrastre causada por el movimiento o turbulencia de la corriente. Por esta razón sedimentan rápidamente por acción de la gravedad cuando la masa de agua se mantiene en reposo.

Cuanto mayor es la turbulencia del agua, mayor es su contenido de sólidos sedimentables y mayor también, el tamaño y la densidad de las partículas que son arrastradas por el agua. De esta forma los sólidos sedimentables son una medida indirecta de la turbulencia del cuerpo de agua de donde proceden las muestras.

Los ríos y canales con gran corriente, a diferencia de los cuerpos de agua relativamente estáticos, como los lagos y estanques, tienden a dar altos valores de sólidos sedimentables. ^[32]

- Sólidos suspendidos

Están formados por partículas que se mantienen dispersas en el agua en virtud de su naturaleza coloidal. Estos sólidos no sedimentan por gravedad cuando el agua está en reposo, tal como sí ocurre en los sólidos sedimentables. Esto se debe a que las partículas coloidales poseen carga eléctrica semejante, propiedad que las mantiene en suspensión por repulsión electrocinética.

Los sólidos suspendidos determinan en gran parte el color aparente del agua y la profundidad hasta la cual penetra la luz del sol; es decir, la franja aeróbica y fotosintética de un reservorio o cuerpo de agua. Por lo tanto, los sólidos suspendidos están estrechamente relacionados con la turbidez del agua. ^[32]

- La temperatura

Es una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia. ^[33]

- La conductividad

Mide la capacidad que tiene una sustancia para conducir la corriente eléctrica. Las sales disueltas en el agua aumentan su conductividad, por lo tanto, este parámetro es una medida indicativa de las sales inorgánicas disueltas en el agua. ^[33]. Este parámetro es a su vez, proporcional a la carga, tamaño y concentración de las especies iónicas en solución.

3.4.3 Parámetros químicos

Los parámetros químicos determinados en las aguas son la alcalinidad, la dureza, pH, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno (DQO), entre otros.

- Alcalinidad

Es la medida de la capacidad que presenta el agua como neutralizadora de ácidos. Esta característica depende de la concentración de los carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) e hidróxidos (OH^-), los cuales remueven los iones H^+ y disminuyen la acidez del agua, es decir, aumentan el valor de pH. Medir la alcalinidad es importante para determinar la capacidad del agua de neutralizar los contaminantes ácidos provenientes de la lluvia o de los desechos municipales e industriales. ^[34]

- Dureza

Representa la suma de las sales de calcio y magnesio que contiene el agua; asimismo también puede incluir sales de aluminio, hierro, manganeso, estroncio y cinc. La dureza puede ser temporal, que corresponde a carbonatos y bicarbonatos o permanente, que corresponde a cloruros, sulfatos y nitratos. ^[34]

En la tabla 7 se aprecia la clasificación del agua según su concentración de carbonato de calcio.

Tabla 7 Clasificación de las aguas según su contenido de carbonato de calcio ^[34]

Contenido de CaCO_3 en mg/L	Clasificación del agua
> 15	Muy blanda
15 - 20	Blanda
50 - 100	Dureza media
100 - 200	Dura
< 200	Muy Dura

- Salinidad

No tiene unidad de medida, es una importante propiedad de las aguas naturales e industriales.

Se concibió inicialmente como la determinación de la masa de sales disueltas en una masa dada de solución. Sin embargo, en la actualidad para determinar la salinidad se suelen utilizar métodos indirectos que incluyen la medida de una propiedad física como la conductividad. [35]

- pH

Es una medida de la acidez o naturaleza básica (alcalina) de una solución. Es también una medida del balance de los iones de hidrógeno [H+] y los iones hidroxilo negativo [HO-] en el agua. Los valores de pH van de 0 a 14, considerándose neutral el valor de 7. El agua que contiene más iones de hidrógeno es ácida con valores menores a 7, mientras que el agua que tiene más iones hidroxilo es básica cuyos valores mayores a 7. [34]

- Oxígeno disuelto (OD)

Es la cantidad de oxígeno que está disuelto en el agua, esencial para las aguas en condiciones aceptables. Su nivel de concentración puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua, de manera que un nivel alto de oxígeno disuelto indica que el agua es de mejor calidad. Si las concentraciones de oxígeno disuelto son demasiado bajas, algunos peces y otros organismos no podrán sobrevivir. [34]

El oxígeno proviene del intercambio con la atmósfera y como producto de la fotosíntesis, llevada a cabo por las plantas acuáticas y algas. La concentración de oxígeno disuelto depende de la temperatura. El agua más fría puede disolver más oxígeno en ella que el agua más caliente; asimismo, una diferencia en los niveles de OD puede ser aparente a diferentes profundidades del agua, si hay un cambio significativo en la temperatura de la misma. [36]

- Demanda biológica de oxígeno (DBO)

Es una medida de la cantidad de oxígeno consumido durante la degradación bioquímica de la materia orgánica, esto mediante procesos biológicos aerobios, principalmente por bacterias y protozoarios. Representa por lo tanto, una medida indirecta de la concentración de materia orgánica e inorgánica degradable o transformable biológicamente. ^[34]

En la tabla 8 se muestra la clasificación del agua en función de la demanda química de oxígeno.

Tabla 8 Escala de clasificación de la calidad del agua, con base en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). ^[34]

DBO	Criterio	Descripción
Menor o igual a 3 mg/L	Excelente	No contaminada
Mayor a 3 mg/L y menor o igual a 6 mg/L	Buena calidad	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable
Mayor de 6 mg/L y menor o igual a 30 mg/L	Aceptable	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.
Mayor de 30 mg/L y menor o igual a 120 mg/L	Contaminada	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal
Mayor a 120 mg/L	Fuertemente contaminada	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.

- Demanda química de oxígeno (DQO)

Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer químicamente la materia orgánica e inorgánica. Este parámetro se utiliza para medir la cantidad total de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales. . [34]

En la tabla que se muestra a continuación se clasifica la calidad del agua en función de la demanda química de oxígeno presente.

Tabla 9 Escala de clasificación de la calidad del agua, con base en la demanda química de oxígeno (DQO). [34]

DQO	Criterio	Descripción
Menor o igual a 10 mg/L	Excelente	No contaminada
Mayor a 10 mg/L y menor o igual a 20 mg/L	Buena calidad	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable
Mayor de 20 mg/L y menor o igual a 40 mg/L	Aceptable	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.
Mayor de 40 mg/L y menor o igual a 200 mg/L	Contaminada	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal
Mayor a 200 mg/L	Fuertemente contaminada	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.

3.4.4 Parámetros microbiológicos

Todos los organismos que se encuentran en el agua son importantes en el momento de establecer el control de calidad de la misma, sin considerar si tienen su medio natural de vida en el agua o pertenecen a poblaciones transitorias introducidas por el ser humano; si su crecimiento lo propician los nutrientes presentes en el escurrimiento natural y en aguas residuales municipales o lo frenan las sustancias procedentes de la

actividad agrícola e industrial y si tienen la capacidad de intoxicar a las personas y a los animales. [37]

Se debe conocer la forma de los patógenos hídricos y determinar su presencia y origen, la magnitud y oscilación de su número, el curso de su ciclo vital y el índice de su supervivencia.

Entre otros factores que pueden influir en la presencia de estos microorganismos se puede destacar que la acidez disminuye el contenido de microorganismos; la materia orgánica aumenta el contenido de microorganismos; el exceso de oxígeno disuelto disminuye los microorganismos anaeróbicos; las sales, si son abundantes, producen que el agua sea casi estéril; si existe poca cantidad de sales se estimula el desarrollo bacteriano; la temperatura puede aumentar o disminuir el contenido bacteriano; la turbidez hace que el contenido bacteriano pueda aumentar, ya que los rayos U.V. no manifiestan su acción. [37]

Entre los parámetros microbiológicos determinados en las aguas, con el propósito de conocer su calidad están las bacterias coliformes, los coliformes totales, coliformes fecales, enterococos fecales y vibrio spp.

- Bacterias coliformes

Los coliformes reagrupan ciertas especies bacterianas pertenecientes a la familia *Enterobacteriaceae*, de morfología bacilar, gram negativas, aerobias o anaerobias facultativas, oxidasa negativa, no esporuladas que fermentan la lactosa con producción de ácido a 37 °C entre 24 – 48 horas. [38]

Estas bacterias representan aproximadamente el 10% de los microorganismos intestinales del ser humano y otros animales, por lo que se han usado ampliamente

como organismos indicadores. Pierden viabilidad en el agua dulce a menor velocidad que la mayoría de los patógenos bacterianos intestinales. ^[39] Cuando estas bacterias entéricas indicadores “foráneas” no se detectan en un volumen específico de agua (100 mL), el agua se considera potable, adecuada para beber o para consumo humano. ^[38]

Es importante señalar que a pesar de que los coliformes son indicadores con los que comúnmente se mide la calidad del agua, en muchas ocasiones, estos no son completamente satisfactorios para este propósito. ^[40]

- Coliformes totales

Bacterias gram-negativas que fermentan la lactosa entre 35-37 °C con producción de ácido, gas y aldehídos en 24 o 48 horas.

Los coliformes totales incluyen varios géneros, que pueden ser de origen fecal o de vida libre. En condiciones adecuadas, pueden multiplicarse en presencia de material orgánico.

Algunas de estas especies se asocian a desechos vegetales o pueden ser habitantes comunes del suelo o de las aguas superficiales. ^[40]

- Coliformes fecales

Son coliformes termorresistentes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas, cuyas propiedades son similares a los coliformes totales. Su hábitat normal es el tracto intestinal y pueden crecer a 44,5 °C. ^[38] La medición de coliformes fecales, constituye un mejor indicador de la contaminación por parte de la materia de origen fecal.

Si bien la especie predominante es *Escherichia Coli*, que es exclusivamente de origen fecal, cepas de las especies *Klebsiella pneumoniae* y *Enterobacter* pueden también estar presentes en el agua contaminada por materia fecal. [40]

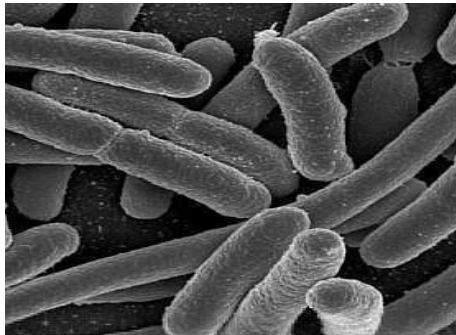


Figura 7 Coliformes fecales

En la figura 7 puede apreciarse la vista microscópica de los coliformes fecales

- Enterococos fecales

Son bacterias anaeróbicas o aerobias facultativas, conocidas como bacterias del ácido láctico. Se agrupan en cadenas y forman parte de la microbiota normal del tracto gastrointestinal del hombre y los animales homeotérmicos Aunque no poseen esporas sobreviven bastante tiempo en aguas contaminadas. [41]

Todos los enterococos presentan alta tolerancia a condiciones ambientales adversas altas o bajas temperaturas, deshidratación, salinidad y luz solar, entre otros, por lo que se suelen emplear para determinar la contaminación fecal en aguas de baño marítimas, pues son las que mejor soportan esas condiciones de salinidad.

Los enterococos son abundantes en heces de animales, por lo que son muy utilizadas en zonas donde la cría de ganado es prolífera. [37]

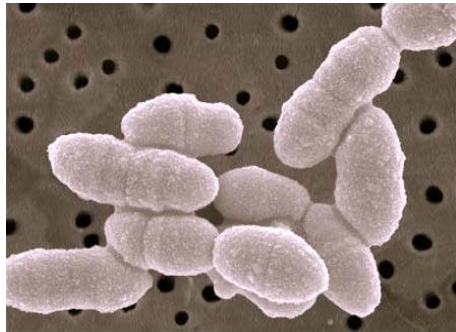


Figura 8 Enterococos fecales

- Vibrio spp

Son gram negativas, facultativamente anaeróbicas, motrices, en forma de bastón curvilíneo, con un único flagelo polar. ^[39]

El género comprende al menos doce especies patógenas para los seres humanos, ocho de las cuales pueden causar o estar asociados con enfermedades transmitidas por alimentos contaminados de origen marino. La mayoría de las enfermedades transmitidas por alimentos son causadas por *vibrio cholerae*, *Vibrio parahaemolyticus* o *Vibrio vulnificus*.

El Vibrio es una bacteria anaerobia facultativa, de metabolismo fermentativo; en ese sentido pueden fermentar, entre otros sustratos, la glucosa ^[42].

En las regiones de clima tropical y templado, las especies de vibrio que causan enfermedades están presentes naturalmente en el medio marino, costero y estuarino (salobre), por lo general son muy abundantes en los estuarios.

Las especies de vibrio patógenas, en particular *V. cholerae*, también pueden recuperarse de las cuencas de agua dulce de los estuarios, donde además pueden introducirse por contaminación fecal.

La presencia de estas bacterias no suele guardar relación con el número de coliformes fecales; sin embargo, es posible encontrar una correlación positiva entre la contaminación fecal y los niveles de *V. cholerae* en zonas donde ocurren brotes de cólera. También se ha demostrado en varias partes del mundo, que existe una correlación positiva entre la temperatura del agua y el número de vibrio. [43]

Específicamente en zonas costeras, se ha detectado que la presencia y el aumento de especies vibrio, tiene una relación directa con el aumento de la salinidad, originado por la excesiva evaporación y la poca precipitación pluvial que existe en las zonas tropicales durante el verano. [44]

En la figura 9 se observa la vista microscópica de los vibrios



Figura 9 Vibrio spp

3.4.5 Parámetros de la Calidad de Agua

Para efectos del estudio que se va a desarrollar en el presente trabajo de investigación, es importante considerar la calidad de las aguas según ciertos parámetros. En la tabla que se muestra a continuación se muestra una comparación de la calidad de aguas superficiales y subterráneas.

En la tabla 10 se comparan ciertos criterios de calidad entre el agua superficial y subterránea

Tabla 10 Comparación de calidad de agua superficial y subterránea. ^[29]

Parámetro	Agua superficial	Agua subterránea
Temperatura	Varía con estación	Constante
Turbidez y sólidos suspendidos	Varía y suele ser alta	Baja o nula
Contenido mineral	Varía (suelo, lluvia...)	Constante y niveles altos
Fe, Mn y divalentes	Algo	Siempre alto
Dióxido de carbono	Poco	Siempre algo
Oxígeno disuelto	Saturación (sin contaminación)	Bajo, requiere aireación
Amonio	Sólo en agua contaminada	En aumento
Sulfuro de hidrógeno	Nada	Normalmente algo
Sílice	Niveles moderados	Ausente
Nitrato	Ausente	En aumento
Organismos vivos	Puede tener altos niveles	Normalmente nada

Atendiendo al artículo 11 del decreto 883, algunos parámetros físicos, químicos y biológicos pueden ser utilizados como criterios para definir el agua en función de su uso como agua de calidad excelente o clase 1; agua de calidad muy buena o clase 2; agua de calidad buena o clase 3 y agua de calidad aceptable o clase 4.

En ese sentido, en la tabla 11 se presentan los límites e intervalos que las caracteriza para cada especie química y parámetro microbiológico.

Tabla 11 Parámetros establecidos para la calidad de las aguas. ^[28]*(Decreto Presidencial 1508, versión 2005)*

Parámetro	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
Calcio (mg/L)	200	200	200	>200
Sodio (mg/L)	140	140	140	>140
Carbonatos (mg/L)	<5	5	5	>5
Cloruros (mg/L)	300	250	250	>250
Hierro (mg/L)	1	1	5	5
Magnesio (mg/L)	70	70	70	>70
Manganeso (mg/L)	0,1	0,2	0,2	>0,2
Zinc (mg/L)	5	5	5	5
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	3,8-10,5
Sulfatos (mg/L)	340	340	340	>340
Potasio (mg/L)	<20	20	20	>20
Nitritos + Nitratos (mg/L)	10	10	-----	-----
Oxígeno Disuelto (mg/L)	>5	>5	>5	>2
Sólidos disueltos totales(mg/L)	1300	1300	1300	-----
Coliformes totales (UFC/100ml)	1000 UFC	1000 UFC	1000 UFC	2000 UFC
Coliformes fecales (UFC/100ml)	75 UFC	100 UFC	100 UFC	-----
Enterococos(UFC/100ml)	25 UFC	35 UFC	-----	-----

En el mismo orden de ideas, la tabla 12 muestra algunos valores de los parámetros de calidad típicos, procedentes del análisis de agua bruta dulce procedente de la comparación entre aguas de ríos.

Tabla 12 Parámetros fisicoquímicos de los ríos ^[29]

Parámetro	Río (curso alto)	Río (curso bajo)
pH	6	7,5
Sólidos totales (mg/L)	50	400
Alcalinidad (mg/L)	20	175
Dureza (mg/L)	10	200
Color (UC)	70	40
Turbidez (NTU)	5	50
Coliformes totales (en 100 ml)	20	2000

4. ANTECEDENTES

En esta sección son citados algunos trabajos que estudian la calidad de agua tanto a nivel nacional como internacional. Esto con el propósito de comprender el comportamiento de los parámetros de calidad fisicoquímica y microbiológica, así como factores que controlan la composición química de dichas aguas.

4.1 Internacionales

Las referencias internacionales que se muestran a continuación, están enfocadas en el estudio y caracterización de aguas de ríos, embalses, playas y humedales en el contexto fisicoquímico y microbiológico.

4.1.1 Lehmann y Rode (2000) ^[45] estudiaron un conjunto de muestras colectadas semanalmente en el río Elba en Magdeburgo, entre los años 1984 y 1996, con el propósito de investigar los cambios en el metabolismo de la calidad del agua desde la reunificación alemana en 1990. Estos investigadores emplearon modelos estadísticos como ARIMA, para analizar las tendencias de los parámetros de calidad, lo que permitió estimar el comportamiento estacional y de largo plazo del agua. Como resultado, Lehmann y Rode señalan que la tendencia y el comportamiento estacional de casi todos los indicadores esenciales de la calidad del agua, son muy diferentes en los períodos antes y después de 1990, esto se evidencia en la disminución de la contaminación orgánica y de ciertos nutrientes debido a la reducción de las emisiones de aguas residuales. ^[45]

4.1.2 Scott y Mallin (2001) ^[46] estudiaron el impacto de la tala de árboles sobre la calidad de agua de la cuenca pantano de Goshen, ubicado al sureste de Carolina del Norte, en un período de 2 años y medio.

El muestreo se realizó antes, durante y después de la tala del bosque el cual sufría procesos de inundación por precipitaciones durante los meses de mayo a septiembre del año 1998. Los resultados obtenidos por Scott y Mallín (2001) indican que después de la tala, el agua contiene significativamente mayor cantidad de sólidos suspendidos, nitrógeno total, fósforo total, y coliformes fecales; mientras que la concentración del oxígeno disuelto fue menor durante un período de 15 meses. Esta disminución en el flujo de oxígeno disuelto, probablemente puede ser consecuencia de una carga en la DBO de la materia orgánica liberada y como producto de la perturbación del bosque; además, no se observó un cambio estadísticamente significativo en el pH. En conclusión, estos investigadores señalan que la tala de árboles trae consigo un impacto negativo en la calidad de las aguas. [46]

4.1.3 Brainwood et al. (2004) [47] estudiaron la variación temporal de la calidad de agua en los embalses de granjas en Raglan Australia, con la finalidad de evaluar el impacto que tiene la agricultura sobre estos recursos de agua. Estos investigadores determinaron los parámetros indicadores de calidad pH, salinidad, conductividad, oxígeno disuelto y especies mayoritarias, durante un período de un año. Los resultados obtenidos por Brainwood et al, señalan que la hidrología y calidad del agua de las presas agrícolas son controlados por el intercambio de agua y solutos de las tierras altas adyacentes. Los mecanismos de transferencias de agua y solutos incluyen la precipitación, la escorrentía, la evapotranspiración y los flujos sub-superficiales.

El estudio realizado por estos investigadores les permitió determinar que los fosfatos se relacionaron principalmente con las fluctuaciones de las aguas subterráneas; el nitrógeno en forma de iones de amonio, con la escorrentía urbana y los nitratos resultantes de las tormentas en la escorrentía de pastos. Ellos concluyeron que la agricultura tiene efectos directos e indirectos en la calidad de aguas superficiales y subterráneas, siendo una de las principales actividades que causan la degradación de las mismas. [47]

4.1.4 Rivera et al. (2004) ^[48] establecieron la calidad de agua de los ríos Cautín e Imperial que conforman la cuenca hidrográfica del río Imperial ubicada en la IX Región de la Araucanía-Chile. La caracterización fisicoquímica y microbiológica se efectuó fijando diez estaciones de muestreo. Los resultados muestran que las aguas de estos ríos no presentan problemas fisicoquímicos, de acuerdo a las normas chilenas oficiales.

Desde el punto de vista microbiológico, se determinó un recuento alto de bacterias coliformes totales en algunas estaciones de muestreo, lo cual les da el carácter de no aptas para actividades con contacto directo y para el riego de verduras y frutas que se desarrollan a ras del suelo. Rivera et al (2004) señalan que se puede predecir que una disminución del caudal de los ríos en el estiaje, provocará la mayor modificación del ecosistema, situación que se hace más crítica por la falta de un plan de manejo integral adecuado para la región estudiada. ^[48]

4.1.5 Shibata et al. (2004) ^[49] realizaron diversas mediciones de la calidad microbiológica del agua en dos playas, Hobie Beach y la playa de Crandon, en el condado Miami-Dade, Florida, EE.UU., a través de múltiples indicadores microbianos con el propósito de evaluar las correlaciones entre los microbios, así como para la identificación de posibles fuentes de contaminación. Los microbios indicadores elegidos para este estudio *enterococos*, *escherichia coli*, *coliformes fecales*, *coliformes totales* y *C. perfringens* fueron evaluados a través de tres campañas de muestreo diferentes.

Estas campañas incluyeron mediciones diarias en cuatro localidades, durante un mes en temporada de lluvias y un mes en la estación seca. Los resultados obtenidos indican que la concentración de microorganismos indicadores en aguas marinas recreativas es muy variable en el tiempo y el espacio. En algunos casos se observaron correlaciones entre los microbios indicadores; sin embargo, las variaciones en las concentraciones de los mismos no varían constantemente, lo que sugiere que los niveles de microorganismos indicadores observados en los sitios de muestreo no se debieron simplemente a la dilución de aguas residuales.

Estos investigadores indican que los resultados sugieren más bien que puede haber una fuente adicional de los microbios. [49]

4.1.6 Graniel y Carrillo (2006) [50] estudiaron la calidad de agua del río Zanatenco en el estado de Chiapas, México, con el objetivo de evaluar la calidad del agua del Río Zanatenco. Considerando el nivel de contaminación del agua y los requerimientos o tratamientos necesarios para consumo humano, se muestrearon once puntos en el cauce del río en noviembre del 2003. Los resultados obtenidos por estos investigadores muestran que algunos elementos traza mostraron altas concentraciones que rebasaron el límite permitido en la NOM-127-SSA1-1994, como el Cadmio y el Cromo. Graniel y Carrillo señalan que esto se puede deber al uso de fertilizantes fosforosos o fosfatados, así como a la presencia de formaciones ígneas metamórficas o también a la existencia de partículas en el aire que se transportan largas distancias desde las zonas donde se realizan actividades industriales.

A través de este estudio también se detectó hierro aunque en concentraciones que no rebasan el límite de la NOM; no obstante, Graniel y Carrillo (2006) enfatizan que si se incrementan las concentraciones de este elemento podrían causar problemas de salud en los consumidores de esta agua. En conclusión, en base a los resultados de este estudio y considerando el Índice de Calidad del Agua (ICA), estos investigadores señalan que el río Zanatenco se encuentra contaminado; asimismo apuntan que tal hecho puede ser atribuido al desarrollo urbano, al drenaje sanitario y fluvial de las principales poblaciones cercanas, a la ineficiencia de las fosas sépticas, a la defecación al aire libre, al depósito de basura a cielo abierto y al uso sin control de fertilizantes, herbicidas y pesticidas en la agricultura, por lo que esta agua no debe usarse para consumo humano, y de utilizarse, se requiere de un tratamiento de agua que reduzcan las sustancias contaminantes. [50]

4.1.7 Ouyang et al. (2006) [51] realizaron una evaluación de las variaciones estacionales en la calidad de aguas superficiales.

Para ello, midieron y determinaron los parámetros fisicoquímicos temperatura, conductividad, pH, alcalinidad, salinidad, turbidez, carbono orgánico total, oxígeno disuelto y demanda biológica de oxígeno en el río St. Johns, Florida, USA, durante los años 1998 y 2001. Con el propósito de cumplir con los objetivos propuestos, los investigadores recolectaron 22 muestras, durante cada estación climática, procurando que cada una de ellas fuese homogénea y representativa del cambio que podría sufrir. Los resultados obtenidos demuestran que un parámetro que es importante en la contribución a la variación de la calidad del agua durante una temporada, puede no serlo para otra estación, exceptuando al carbono orgánico disuelto y a la conductividad eléctrica, que siempre fueron los parámetros más relevantes en su contribución a las variaciones de la calidad del agua por las cuatro estaciones. ^[51]

4.1.8 PNUMA (2010) ^[52] en la publicación *Clearing the Waters*, aborda la urgente necesidad de controlar la contaminación y preservar la calidad del agua alrededor del mundo. Dicha publicación señala que la calidad del agua influye sobre la salud humana, la cantidad de agua, los medios de vida, la actividad económica y el cambio climático. Los nuevos contaminantes, el crecimiento demográfico y la urbanización suponen un nuevo factor estresante adicional para la calidad de este vital recurso. Esta publicación cuantifica los distintos aspectos relacionados con la calidad del agua y utiliza estudios de caso para ilustrar tanto los problemas como las soluciones. ^[52]

4.1.9 PNUMA (2010) ^[53] en el informe *Sick Water* identifica las principales amenazas y consecuencias tanto para la salud humana como para los ecosistemas, de una gestión inadecuada de las aguas residuales y de la degradación de los sistemas de tratamiento del agua. El informe presenta también las oportunidades en las que unas respuestas políticas y de gestión apropiadas en el corto y largo plazo pueden activar el empleo, favorecer los medios de subsistencia, mejorar la salud pública y de los ecosistemas y contribuir con una adecuada e inteligente gestión del agua. ^[53]

4.2 Nacionales.

A continuación se presentan diversos estudios a nivel nacional, relacionados con los análisis de calidad de agua, realizados tanto en la laguna de Tacarigua, como en otros sectores del país, que son de interés para llevar a cabo el presente trabajo de investigación.

4.2.1 Cauwet G. (1988) ^[54] determinó la distribución y acumulación de la materia orgánica en la laguna tropical costera, laguna de Tacarigua mediante el análisis de diversos parámetros como salinidad, pH, potencial redox, oxígeno disuelto y carbono orgánico total, medidos en muestras recolectadas en la laguna durante agosto de 1979 y diciembre de 1980. Este investigador encontró que existe una gran acumulación de materia orgánica que varía a través de toda la laguna, debido a que la geografía de la misma no es simétrica. Cauwet G. (1988) indica que este resultado se debe a la presencia de manglares que acumulan gran cantidad de partículas suspendidas y por la baja renovación de masas de agua en la laguna, lo que da paso a la disminución de oxígeno disuelto, que a su vez conduce al aumento de materia orgánica en los sedimentos. ^[54]

4.2.2 Conde (1996) ^[55] realizó un estudio del perfil de la laguna tropical estuarina, laguna de Tacarigua. Esta investigación la orientó a caracterizar y explicar aspectos relacionados con las condiciones geológicas, geomorfológicas, hidrográficas, climáticas, edáficas y de vegetación, así como en su expresión de recursos naturales y de riesgos ambientales, para establecer las características más relevantes de la laguna de Tacarigua. Entre otras cosas, el autor señala que los patrones hidrológicos en la laguna siguen un curso anual de características moduladas por la descarga variable de los afluentes, el clima es considerado como húmedo-subhúmedo y la zona de vida se clasifica como bosque seco tropical, la temperatura del agua fluctúa periódicamente y todos los días con valores entre 24-30°C y en cuanto a la fauna un total de 136

especies acuáticas se han reportado, además de la presencia de diversas aves como el flamingo, y el pelicano. Todas estas características son las que describen el comportamiento y capacidad de la laguna de Tacarigua como recurso natural. [55]

4.2.3 Isava (1996) [56] considerando la importancia que tienen los microorganismos en los ecosistemas acuáticos, atendiendo además su gran versatilidad, adaptación y resistencia a condiciones extremas, realizó la caracterización de la comunidad bacteriana asociada a la interface agua-sedimento, con el fin de obtener un número significativo de grupos funcionales indicadores de la calidad ambiental de la Laguna de Tacarigua. Este autor realizó el análisis de los diferentes tipos de sedimentos y de los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH, salinidad, oxígeno disuelto, transparencia, profundidad, y temperatura, los cuales inciden sobre la distribución de los microorganismos y en el ciclaje de nutrientes. El estudio se realizó entre los meses de marzo de 1994 y abril de 1995, con un total de 11 salidas, agrupadas en cuatro periodos estacionales asignados de acuerdo a criterios establecidos durante este tiempo para el Complejo Lagunar Laguna de Tacarigua en particular, estos son; máxima sequía (cierre de la boca); entrada de lluvias, máximo pico de lluvias (apertura de la boca) y salida de lluvias

Los resultados de su investigación señalan que existen una marcada influencia de los parámetros fisicoquímicos sobre la distribución y frecuencia de los microorganismos asociados a la interface agua-sedimento. De los parámetros fisicoquímicos estudiados, determinó que la salinidad y el oxígeno disuelto fueron los más determinantes en la calidad ambiental del complejo lagunar. Por otro lado, indica que el tipo de sedimento predominante es arcilloso-limoso hacia la zona central de la laguna, lo cual está directamente relacionado con la acumulación de materia orgánica aportada por el bosque de manglar y afluentes, mientras que en los sectores cercanos a la barra litoral y la zona oriental de la laguna, predominan los sedimentos arenosos. La disponibilidad de N, P y MO en los sedimentos depende de la actividad microbiológica, tipo de

sedimento y ciclaje de estos elementos dentro del ecosistema. Los resultados generados a partir de esta investigación, permitieron señalar sobre las condiciones en las que se encuentra este ecosistema, mostrando una aceleración marcada en el proceso de evolución característico de las lagunas costeras ^[56]

4.2.4 Calzadilla (2002-2003) ^[57] realizó un monitoreo de la formación deltaica en el humedal costero tropical laguna de Tacarigua utilizando imágenes aeroespaciales y sistemas de información geográfica (SIG). En esta investigación se analizó desde el punto de vista cuantitativo y espacial, el crecimiento del delta del río Guapo a través del cálculos de indicadores numéricos (área y rata de crecimiento) así como indicadores espaciales (dirección del crecimiento) y tendencias. Calzadilla (2002-2003) obtuvo como resultado que el crecimiento del delta que ha sufrido el humedal por el desvío del río Guapo ha causado numerosos cambios ambientales en la laguna, específicamente en el sector el Guapo. Entre otras variaciones ha originado el incremento de la carga sedimentaria y turbidez de las aguas, así como cambios en la salinidad y disminución en la profundidad de la laguna. ^[57]

4.2.5 Ayala (2006) ^[58] determinó la calidad química de las aguas subterráneas en la región Santa Ana de la península de Paraguaná. Los resultados fueron contrastados con los datos obtenidos en 1973, aportados por el Ministerio del Ambiente. Los datos cedidos fueron el inventario de los pozos existentes, así como los valores de los parámetros fisicoquímicos, conductividad, pH y la concentración de las especies químicas como Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} y HCO_3^- , determinadas en las aguas extraídas de los pozos reportados. Ayala determinó que solo el 6% de las muestras analizadas pueden ser consideradas de buena calidad, aptas para el consumo humano de acuerdo al decreto 883. El 94% restante de las muestras tienen altas concentraciones de sodio y cloruro, considerándose de baja calidad. El uso de herramientas como el diagrama de Piper, permitió caracterizar geoquímicamente las

aguas del sector, encontrándose que la mayoría de las muestras eran aguas del tipo $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$ con ciertas excepciones que eran del tipo $\text{Ca}^{2+}\text{-Cl}^-$ y $\text{Mg}^{2+}\text{-Cl}^-$.

Estos resultados obtenidos por Ayala son asociados a los procesos de evaporación, la interacción del agua con los sedimentos de origen marino, la mezcla de paleoaguas marinas y la posible intrusión de aguas de mar provocada por la sobreexplotación de pozos. ^[58]

4.2.6 Michel (2006) ^[59] realizó un estudio de la evolución hidrogeoquímica de las aguas subterráneas de la cuenca La fuente-Parachí, isla de Margarita. En este estudio fueron caracterizados 21 pozos de agua y 2 manantiales a los cuales se midieron los parámetros fisicoquímicos pH, potencial redox (Eh), conductividad, temperatura y alcalinidad. También se determinaron las especies mayoritarias Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} y NO_3^- y sílice disuelta (SiO_2) empleando técnicas de absorción y emisión atómica, cromatografía iónica y espectrofotometría UV-Visible.

Los resultados obtenidos por Michel (2006) fueron validados mediante un balance de carga; mientras que la interpretación de los resultados se caracterizó mediante el diagrama de Piper, poniéndose en evidencia la evolución hidrogeoquímica de esta agua por la presencia de aguas bicarbonatadas magnésicas, cloruradas magnésicas y cloruradas sódicas, provenientes de la disolución de sales y su mezcla con aguas probablemente antiguas. ^[59]

4.2.7 Navas (2006) ^[60] atendiendo al proceso de eutrofización progresiva y a la contaminación por diversos agentes externos de origen entrópicos en la laguna de Tacarigua, realizó un estudio de los aspectos ecológicos relacionados con el efecto de la perturbación sobre la presencia de VIB en el camarón blanco, así como en el agua y en sedimento por medio de la caracterización de dichas especies bacterianas.

Para ello, realizó dos muestreos entre enero y marzo de 2006 de aguas, sedimentos y cangrejos en dicha laguna.

Navas (2006), indica que en la zona del Guapo, considerado como uno de los 5 ambientes de la laguna, fue donde se detectó la mayor cantidad de coliformes fecales y totales, lo que permitió determinar que es una de las zonas de la laguna más afectada por actividades domésticas; aunado a ello, en esta zona se detectaron VIB en el agua; mientras que en las zonas El Cazote y Laguna Arenas, fue donde se presentó la mayor cantidad de BHET como especies VIB en el agua, en los sedimentos y en los tejidos de los cangrejos. La abundante presencia de estas especies en ese sector, podría indicar que la salinidad y la materia orgánica disponibles son los que posiblemente pueden afectar la abundancia y distribución de las especies VIB. ^[60]

4.2.8 Ferreira (2007) ^[24] realizó un estudio sobre la caracterización geoquímica de las aguas subterráneas del sector Monte Oscuro – Caño el Diablo y la zona central del sistema de riego del río Guárico, estado Guárico. Para ello, Ferreira (2007) midió los parámetros fisicoquímicos conductividad, pH, potencial redox y temperatura de las 26 muestras captadas. Posteriormente determinó la concentración de los iones mayoritarios Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} y HCO_3^- , a través de técnicas de absorción y emisión atómica, cromatografía iónica y espectrofotometría UV-Visible. Los resultados obtenidos fueron validados mediante el balance iónico, además de emplear otras herramientas como las cajas gráficas y el diagrama de Piper para el análisis de los resultados. Ferreira (2007) logró determinar, según su comparación con el decreto 883, que la calidad de agua de 16 muestras es considerada como excelente, mientras que las 10 muestras restantes son clasificadas como aceptables. Por lo tanto, estas aguas pueden ser destinadas para el uso de actividades industriales, de comercio y navegación, así como actividades de armonía paisajística.

En cuanto a la caracterización geomorfológica, Ferreira (2007) determinó que existen dos tipos de agua en la zona de estudio, las bicarbonatadas magnésicas $\text{Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ y las bicarbonatadas sódicas $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$. Ferreira indicó que los resultados obtenidos pueden ser producto de los procesos de interacción agua-roca, que involucra la disolución de silicatos, aluminosilicatos y carbonatos, así como el intercambio iónico y el aporte atmosférico. ^[24]

4.2.9 Cabrera y Fernández (2008) ^[61] estudiaron el proceso de transporte y sedimentación del delta de San Ignacio, laguna de Tacarigua. Dicho estudio se realizó mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG) y programas estadísticos con el propósito de conocer la relación que existe entre las precipitaciones y la producción de sedimentos. También efectuaron la comparación de la geometría deltaica que exhibe el delta de San Ignacio en diferentes fuentes aerofotogramétricas y cartográficas. Como resultado Cabrera y Fernández (2008) obtuvieron que la relación entre la precipitación y el acarreo de sedimentos en la cuenca de la quebrada San Ignacio es directamente proporcional, por lo tanto cualquier variación entre las intensidades de las lluvias se traducirá en una alteración de la producción y transporte de sedimentos. ^[61]

4.2.10 Jiménez (2009) ^[62] Estudio los factores y procesos que determinan la calidad química de las aguas subterráneas del sector sur-central del área Junín de la Faja Petrolífera del Orinoco.

Para ello analizó 31 muestras de agua en las cuales se midieron los parámetros fisicoquímicos pH, conductividad y determinaron las concentraciones de especies mayoritarias Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} y HCO_3^- , a través de diferentes técnicas analíticas. Los datos fueron examinados mediante el uso de diversas herramientas gráficas como el diagrama de Piper, las cajas gráficas y la distribución espacial.

Jiménez (2009) encontró que la composición de las aguas puede estar controlada por factores como interacción agua-roca, intercambio iónico, actividades antrópicas, entre otras y que la calidad química de las aguas según el decreto 883 entran en la categoría de buenas a excelente, con ciertas excepciones. ^[62]

4.2.11 Díaz (2012) ^[63] Determinó la calidad del agua, en 16 estaciones de muestreo dentro de las cinco lagunas internas del Parque Nacional Laguna de Tacarigua conocidas como: el Guapo, Placer, Laguna Grande, Cazote, Laguna Arena y en el sector la boca. Por tal motivo, Díaz realizó mediciones In situ de los parámetros temperatura, conductividad, pH, salinidad, turbidez y profundidad; además efectuó un análisis de las especies mayoritarias Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} y HCO_3^- , elementos trazas e indicadores de calidad microbiológica. Los datos fueron examinados mediante el uso del diagrama de Piper y el análisis de componentes principales.

Los resultados obtenidos en este análisis indican que el comportamiento de cada parámetro estudiado varía en los diferentes sectores de la Laguna, lo cual puede ser atribuido al aporte de los diversos afluentes en algunas estaciones y a la constante intrusión de aguas marinas en otras. Por otra parte, de acuerdo a la clasificación del diagrama de piper se obtuvo que un 69% de las muestras son clasificadas como aguas cloruradas-sódicas; un 19% como aguas cloruradas-sódicas-magnésicas y un 12% cloruradas-magnésicas. De acuerdo a la clasificación por el Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021, 1995. Normativa Nacional) algunos tipos de agua pueden considerarse como aguas tipo 4. En cuanto a los indicadores microbiológicos, los valores obtenidos indican que en la Laguna existe la presencia de microorganismos vibrio que son causantes de enfermedades gastrointestinales al ingerir alimentos o aguas contaminadas, provenientes de este ecosistema.

Finalmente, Díaz señala que la Laguna de Tacarigua es un ecosistema natural muy dinámico, que al pasar de los años se ha vuelto muy frágil, debido a los diversos factores internos como externos, que ponen en riesgo no solo la vida de un gran cantidad de especies cuyo refugio son los diversos ambientes de la Laguna, sino la salud y bienestar de los habitantes de las poblaciones cercanas ^[63]

5. ÁREA DE ESTUDIO

5.1 Información General

El Parque Nacional Laguna de Tacarigua, fue declarado Parque Nacional el 13 de febrero de 1974 según decreto N° 1607, publicado en Gaceta Oficial N° 30.337 el 22 de febrero de 1974, debido a sus excepcionales valores biológicos (algunos de ellos amenazados), paisajísticos y económicos, dado que la pesca ha sido tradicionalmente, la actividad económica más importante para la población local. Por otra parte, la laguna también fue incluida en la lista Ramsar de humedales de importancia internacional (sitio Ramsar) en 1996. ^[64]

5.2 Ubicación y superficie

El Parque Nacional Laguna de Tacarigua está ubicado en el Estado Miranda, al centro norte de Venezuela, adyacente al poblado de Tacarigua y a unos 150 Km., al este de Caracas. El área se enmarca entre las coordenadas de latitud norte 10°11'30" - 10°20'20" y de longitud oeste 65°41'10" - 65°57'20". Comprende una laguna costera permanente cuya superficie abarca 78 Km² y con profundidades de 1 a 1,4 m. La laguna está separada del mar por una restinga o barrera litoral de 300 -1.000 m de ancho y 28,8 km de longitud, la cual se forma por la acción de la corriente marítima que recorre el litoral en dirección este-oeste y se conecta al Mar Caribe por medio de una pequeña boca estacional. ^[64]

Los límites del área de influencia de este sistema lagunar costero son los siguientes: al norte limita con el área costera entre la desembocadura del río Cúpira (este de la laguna) hasta la desembocadura del río Chico (oeste de la laguna). En el sur de la laguna los límites son las cuencas del río Guapo y Cúpira, incluyendo las sub-cuencas de los caños Pirital, San Ignacio, San Nicolás y las quebradas Chaguaramal y Arenas, al este la laguna limita con el río Cúpira.y al oeste con el río Guapo ^[65]

La laguna de Tacarigua se divide en cinco sub-ambientes diferentes, de acuerdo a variables fisicoquímicas, topográficas y a la naturaleza de sus sedimentos a saber, El Guapo, El Placer, Laguna Grande, Cazote y Laguna Arenas. ^[66]

5.2.1 El Guapo es la zona más occidental de la laguna y la de mayor influencia de las aguas dulces provenientes del río guapo. Su salinidad se mantiene casi siempre muy por debajo del 16% y su profundidad se ubica entre 0,24 y 1,70 m.

Esta zona está expuesta a un fuerte proceso de acumulación de sedimentos arrastrados por el río Guapo, además transporta las aguas que derivan de actividades domésticas, agrícolas y turísticas de la población humana adyacente a dicho río.

5.2.2 El Placer es una región que está situada a continuación de la conexión de la Laguna con el mar, sufriendo el efecto directo de la cuña salina que penetra con la marea. Su profundidad puede variar 0,60-1,50 m y la salinidad marina puede ser de 33 y 37 %, ^[66]

5.2.3 Laguna Grande es un área que recibe la influencia del caño san Nicolás por lo que su salinidad suele parecerse en ocasiones a la del sector Guapo. Es una zona con amplias diferencias en la profundidad variando entre 0,9 a 4,5 m. Esta última conocida como en sector Caño Hondo, está marcadamente rodeada por bosques de mangle. ^[66]

5.2.4 El Cazote: es el extremo más oriental de la Laguna afectada por la quebrada arenas. La profundidad oscila entre 0,70 y 1,50 m aunque por lo general es una zona bastante homogénea con profundidades cercanas a 1,10 m. La salinidad suele estar alrededor del 12 %. Esta zona está poco influenciada por actividad antropica. ^[66]

5.2.5 Laguna Arenas es la región de la laguna que está en contacto con la barra de arena que la separa del mar, presenta una profundidad entre 0,60 y 1,20 m y su salinidad por lo general es alta, cercana al 27 %.^[66]

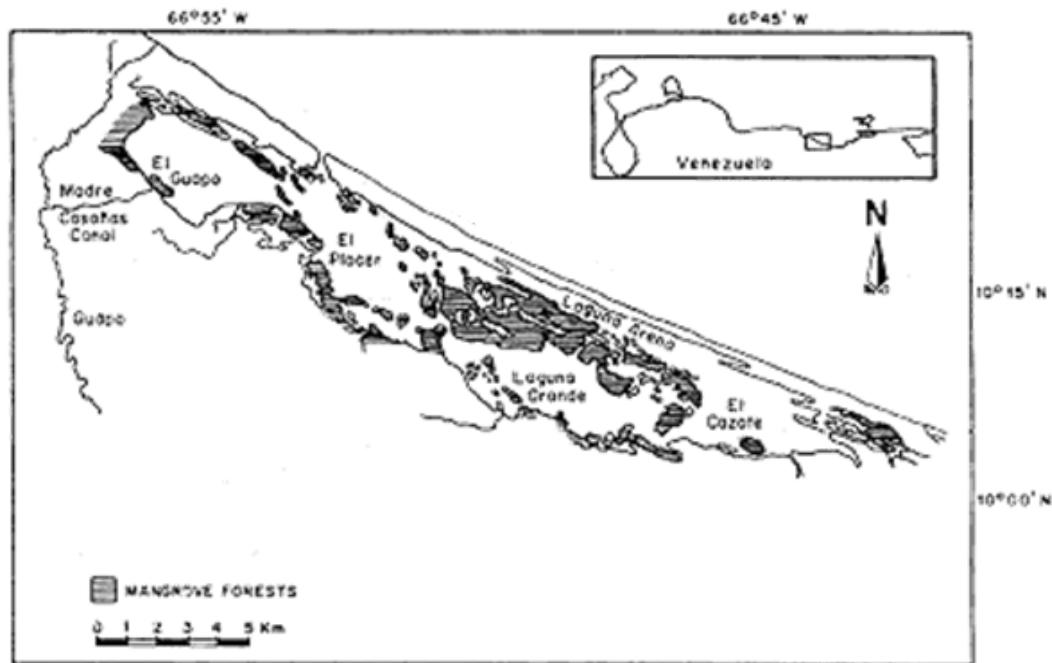


Figura 10 Laguna de Tacarigua, ubicación y subdivisiones ^[56]

En la figura 10 se muestra la ubicación geográfica de la laguna de Tacarigua y los sub-ambientes que la conforman

5.3 Afluentes de la laguna de Tacarigua

La zona de estudio de principal interés para desarrollar el presente trabajo son los afluentes de la laguna de Tacarigua. Es bien conocido que por la carretera nacional entre los ríos Cúpira y Guapo existen alrededor de 30 puentes y pozos de agua con cauces definidos, los cuales en la medida que van entrando en este sector de la planicie de Barlovento se difuminan hasta llegar a la laguna de Tacarigua por escorrentía. El trazado de la vía se localiza en la base de la serranía donde nacen aproximadamente la mayoría de los cursos que drenan a la laguna. ^[55]

Entre otros cauces, la laguna se nutre de agua dulce, principalmente de los afluentes Río Guapo, aunque también de otros como el Caño Madre Casañas, Caño Pirital, Caño San Nicolás, Caño Manatí, Quebrada San Ignacio y la Quebrada Chaguaramal. ^[57]

Lamentablemente la información concerniente a estos afluentes se encuentra muy limitada, pues se han realizado pocos estudios de los mismos o algunos de ellos no han sido publicados. Sin embargo, a continuación se realiza una breve descripción de algunos de los afluentes más importantes de la laguna de Tacarigua

5.3.1 El río Guapo es el afluente de mayor importancia para la laguna y también es el que ha ocasionado los mayores problemas de sedimentación de la misma. Nace en la fila de la serranía del interior a unos 1000 m de altura. Este río recibe como afluentes al río Aragua y Río Chico. Aunque es un curso de corto recorrido, su caudal es muy importante ya que en su tramo alto y medio recibe abundantes precipitaciones. En su tramo bajo hacía la llanura aluvial, divaga formando meandros debido a la poca pendiente del terreno que disminuye la fuerza de arrastre y estimula la deposición antes de su desembocadura. Parte de las aguas de este río van a la laguna de Tacarigua. El curso del río Guapo fue desviado por la construcción de un canal, con el fin de encausar el río y aliviar las inundaciones a la población de Río Chico, por lo que se crea el Canal Madre Casañas. ^[55]

5.3.2 El Canal Madre Casañas es un caño artificial que fue construido entre los años 1964-1965. Desemboca directamente al suroeste de la laguna de Tacarigua, contando con una longitud aproximada de 5,7 Km y un ancho aproximado de 40 metros; aguas abajo se construyeron dos diques marginales de protección de 2,5 m de altura cada uno. Posterior a la construcción de este caño se ha producido una acelerada sedimentación que ha dado como resultado la formación de un delta y la consiguiente pérdida del área lagunar. El caño Madre Casañas tiene una pendiente de fondo mayor a la del río Guapo y cae directamente a la laguna sin pasar por ningún meandro que

retenga los sedimentos produciéndose altas tasas de sedimentación y de erosión aguas abajo de las márgenes del caño, aportando grandes cantidades de sedimentos y la formación de deltas. [65]

5.3.3 La Quebrada San Ignacio junto al río Guapo, son los principales tributarios de la laguna de Tacarigua. Tiene su cauce bien definido hasta su desembocadura. En la misma se observa la presencia y crecimiento de un delta incipiente que para el año 1985 tenía una superficie de aproximadamente 3 Has.

Esta quebrada tiene una superficie de 28,71 Km², se ubica entre el sureste del sector Laguna Grande de la laguna de Tacarigua y al noreste de la serranía del Interior central, específicamente entre los 10°31'41" y 10°08'08" de latitud norte y los 65°46'54" y 65°49'14" de latitud oeste. [64]

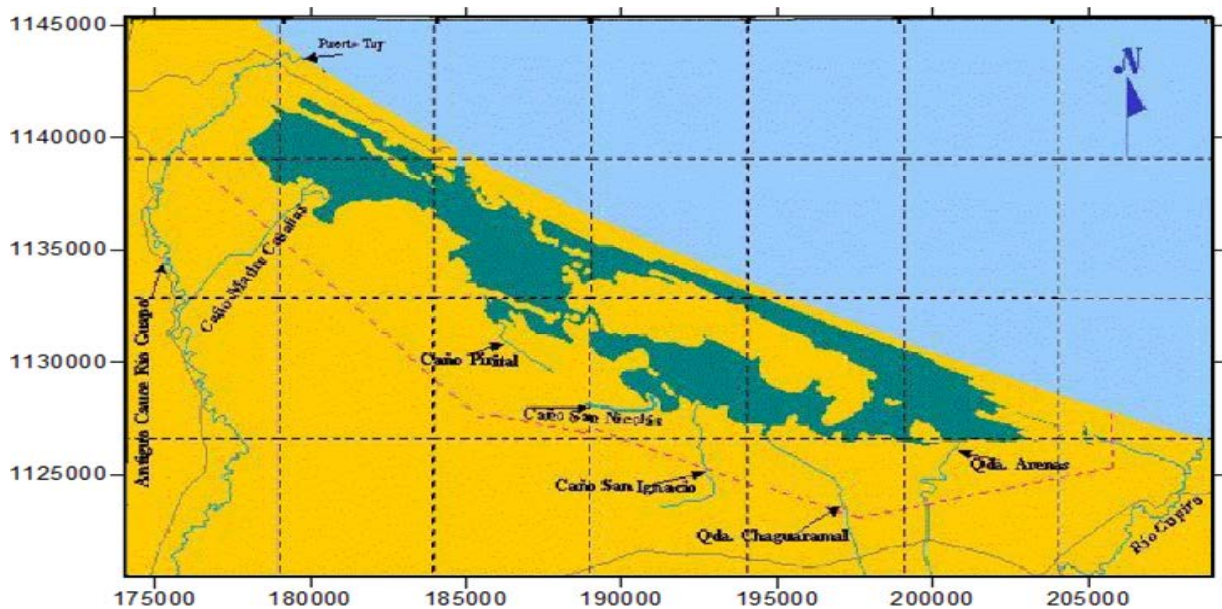


Figura 11 Afluentes de la laguna de Tacarigua [60]

En la figura 11 se observan algunos afluentes de la laguna de Tacarigua como lo son el río Guapo, caño madre casañas, la quebrada san Ignacio, quebrada Chaguaramal, caño Pirital y quebrada Arenas.

5.4 Aspectos relevantes

5.4.1 Biodiversidad El complejo lagunar Laguna de Tacarigua comprende tres ecosistemas principales; entre ellas se puede señalar una laguna salobre de poca profundidad, una zona de bosques secos y una restinga o barrera de playa arenosa.

La laguna de Tacarigua es uno de los estuarios más productivos en la costa venezolana. Está dominada por bosques de manglares, donde se pueden encontrar cuatro de las siete especies de mangles presentes en el país. En las planicies aluviales al sur de la laguna, los bosques secos son de carácter secundario de 10 a 15 metros de altura en el dosel y árboles emergentes de hasta 20 metros.

En el sector de Madre Casañas, la vegetación predominante es herbácea, mientras que la vegetación en la barra costera, es principalmente de hierbas halófilas.

En la Laguna de Tacarigua anidan cuatro especies de tortugas marinas. Otras 15 especies de reptiles y anfibios, 52 de peces, 17 de crustáceos y 4 de moluscos han sido también reportadas para el parque. Un registro reciente no publicado del ornitólogo Jiménez, ha llevado esta cifra a 212 especies de aves.

Se pueden observar más de 20 especies de mamíferos, entre ellos el venado maticán, el murciélago pescador, el zorro cangrejero, los monos capuchinos y araguatos, el roedor más grande del mundo, el chigüire y el cunagaro. ^[64]

5.4.2 El clima es cálido y húmedo con una temperatura que oscila entre 24,8 y 27,5 °C y una media anual de 26 °C. La precipitación media anual es de 1.000 mm. Hay una estación lluviosa de junio a diciembre, período durante el cual ocurre el aporte del 85 % de la precipitación anual. El mes más lluvioso es noviembre con 169,5 mm y el más seco es marzo con 14,3 mm. Por la ubicación y orientación de su zona costera (285°), el parque se encuentra fuertemente influenciado por los vientos alisios del noreste. ^[57]

5.4.3 Geología El origen geológico de la Laguna de Tacarigua es relativamente reciente. La zona ocupada por el parque se encuentra dentro de la depresión de Barlovento, una planicie aluvial de gran extensión que se ha venido formando con los depósitos provenientes de la cordillera de la costa en los últimos dos a cuatro millones de años.

La barra costera que separa al parque del mar, se originó durante la transgresión del caribe en el Holoceno, aunque hoy en día continúan depositándose las arenas que la cubren. ^[65]

5.4.5 Habitantes

En los alrededores de la Laguna de Tacarigua se ubican varios centros poblados, de los cuáles sólo el poblado Las Lapas se encuentra dentro de la poligonal del parque. El centro poblado más importante del área circundante es Tacarigua de la Laguna, capital de la parroquia del mismo nombre. Los demás centros son El Cristo, El Guapo, San Fernando del Guapo, Las Lapas, Caño Arenas, Casañas, Los Cerritos, Los Cerros, Herrera - La Palmita, Río Chico, Santa Bárbara, El Silencio, Buenos Aires, Chaguaramal, Cúpira, Machurucuto, Palmarito, Palo Blanco, Quebrada Arenas y Santa Cruz, la mayor parte de los cuales pertenecen al municipio Páez. ^[65]

5.4.5 Actividades económicas cercanas a la zona de interés

La laguna de Tacarigua se encuentra en una zona de gran desarrollo turístico, pesquero y agrícola en el Estado Miranda. La mayoría de los problemas en el parque se relacionan con la intensa actividad humana en sus alrededores, que afectan el ecosistema. Entre otras actividades las más practicadas son:

- La pesca

Es la principal actividad económica del pueblo de Tacarigua y la principal fuente de empleo para sus habitantes. La pesca predominante es la pesca artesanal en la laguna. No se lleva a cabo ninguna pesca de relevancia a mar abierto, aunque esta actividad ha venido incrementándose relativamente debido a la disminución de recursos en la laguna. La pesca en la laguna se lleva a cabo principalmente en los centros poblados ubicados en las márgenes de la misma, a saber: Tacarigua de la Laguna, Las Lapas, San Ignacio. ^[65]

- El turismo

La actividad turística en el parque nacional Laguna de Tacarigua es en cierta forma precaria, desaprovechada. Las visitas al parque son derivadas en buena medida del turismo de playa de las zonas adyacentes (Río Chico, Higuero, Paparo) y de turistas extranjeros que acuden con propósito de realizar ecoturismo. Estos últimos se dedican a la pesca deportiva (sábalo) o la observación de aves. ^[64]

6. METODOLOGÍA

La metodología experimental que se llevó a cabo para desarrollar esta investigación comprendió esencialmente tres etapas a saber: pre-campo, campo y post-campo o laboratorio, (figura 12):

La primera es la etapa de pre-campo, la cual abarcó la evaluación inicial de la zona de estudio, así como la preparación del material y reactivos para la salida de campo (figuras 13, 14); la segunda, fue la etapa de campo que consistió en el traslado a la zona de estudio y la recolección de muestras en algunos afluentes de la Laguna de Tacarigua, simultánea a la medición “in situ” de ciertos parámetros fisicoquímicos. Asimismo, en esta etapa se realizó el procesamiento, sembrado e incubación de las muestras captadas para determinar los indicadores microbiológicos de calidad de agua (figuras 19, 20). La tercera etapa correspondiente a post-campo o laboratorio, comprendió la determinación de las concentraciones de especies catiónicas y aniónicas, elementos traza, demanda química de oxígeno (DQO), así como también alcalinidad y sólidos disueltos totales (SDT), (figuras 24, 25). Por otra parte, se efectuó el recuento de indicadores microbiológicos de calidad de agua, bacterias heterótrofas y especies *Vibrio*. Finalmente se llevó a cabo el proceso de ordenamiento y tratamiento de datos.

La figura 12 presenta las etapas seguidas en la metodología aplicada en este estudio.

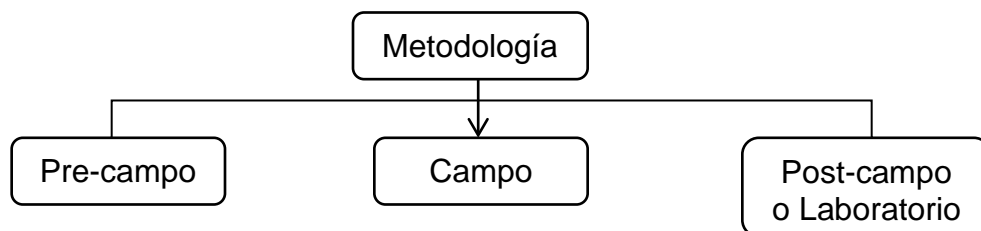


Figura 12 Metodología general seguida en este estudio

A continuación se describe de manera más específica cada una de las etapas seguidas en esta investigación.

6.1 Etapa de pre-campo

Para llevar a cabo satisfactoriamente esta fase, fue necesario dividirla en sub-etapas. Una de ellas consistió en la revisión bibliográfica de las investigaciones previamente realizadas en los afluentes de la Laguna de Tacarigua, sin embargo, fue escasa la información que se pudo recopilar al respecto ya que anteriormente no se han efectuado análisis en estos ríos, caños y quebradas, lo cual limita la comparación de los resultados obtenidos con estudios preliminares realizados en esta área, esto a su vez justifica la importancia de esta investigación, ya que podría servir de apoyo para futuras investigaciones en la zona de interés. Asimismo, se evaluó y propuso la logística de la salida de campo, así como la ubicación de los puntos de muestreo en algunos afluentes de la Laguna de Tacarigua, para lo cual se seleccionaron aquellos ríos, caños y quebradas que están en los alrededores de la Laguna de Tacarigua y drenan hacia ella, teniendo en cuenta la posibilidad de acceder fácilmente a los puntos a ser muestreados.

A continuación se muestra un esquema que resume esta sub-etapa.

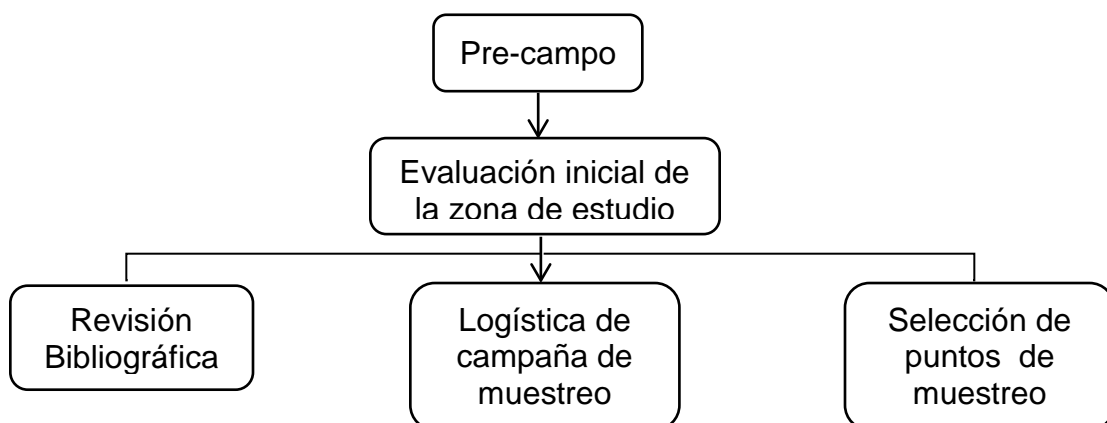


Figura 13 Etapa de Pre-Campo

La otra sub-etapa comprendió el tratamiento adecuado de los envases para la captación y preservación de las muestras, además de la preparación de medios de enriquecimiento selectivo para el análisis microbiológico y calibración de equipos tales como la sonda multiparámetro, potenciómetro y GPS para llevar a cabo el muestreo.

Con respecto al acondicionamiento del material para recolectar las muestras se realizó un tratamiento previo, el cual consistió en curar los envases de polietileno de 1000 mL con una solución de ácido nítrico (HNO_3) al 10% (v/v) por un período de 24 horas; con la finalidad de evitar la adsorción de los metales en las paredes de cada uno de los envases, posteriormente, los recipientes se lavaron con agua destilada y desionizada, lo que permitió su utilización en el proceso de captación de las muestras de agua destinadas para el análisis de especies catiónicas, sílice disuelta y elementos traza; mientras que, para la determinación de los aniones y alcalinidad, se utilizaron envases de polietileno de 1000 mL, los cuales se lavaron únicamente con abundante agua destilada y desionizada.

Por otra parte, para la determinación de la demanda química de oxígeno (DQO), se emplearon envases de vidrio con tapa de 500 mL previamente lavados con abundante agua destilada y desionizada.

En cuanto al análisis microbiológico, se dispuso de envases de vidrio de 500 mL de capacidad, boca ancha y de rosca con tapa, previamente esterilizados en los cuales fueron recolectadas las muestras.

En el esquema presentado en la figura 14, se resume el tratamiento que se realizó en los envases durante la etapa de pre-campo.

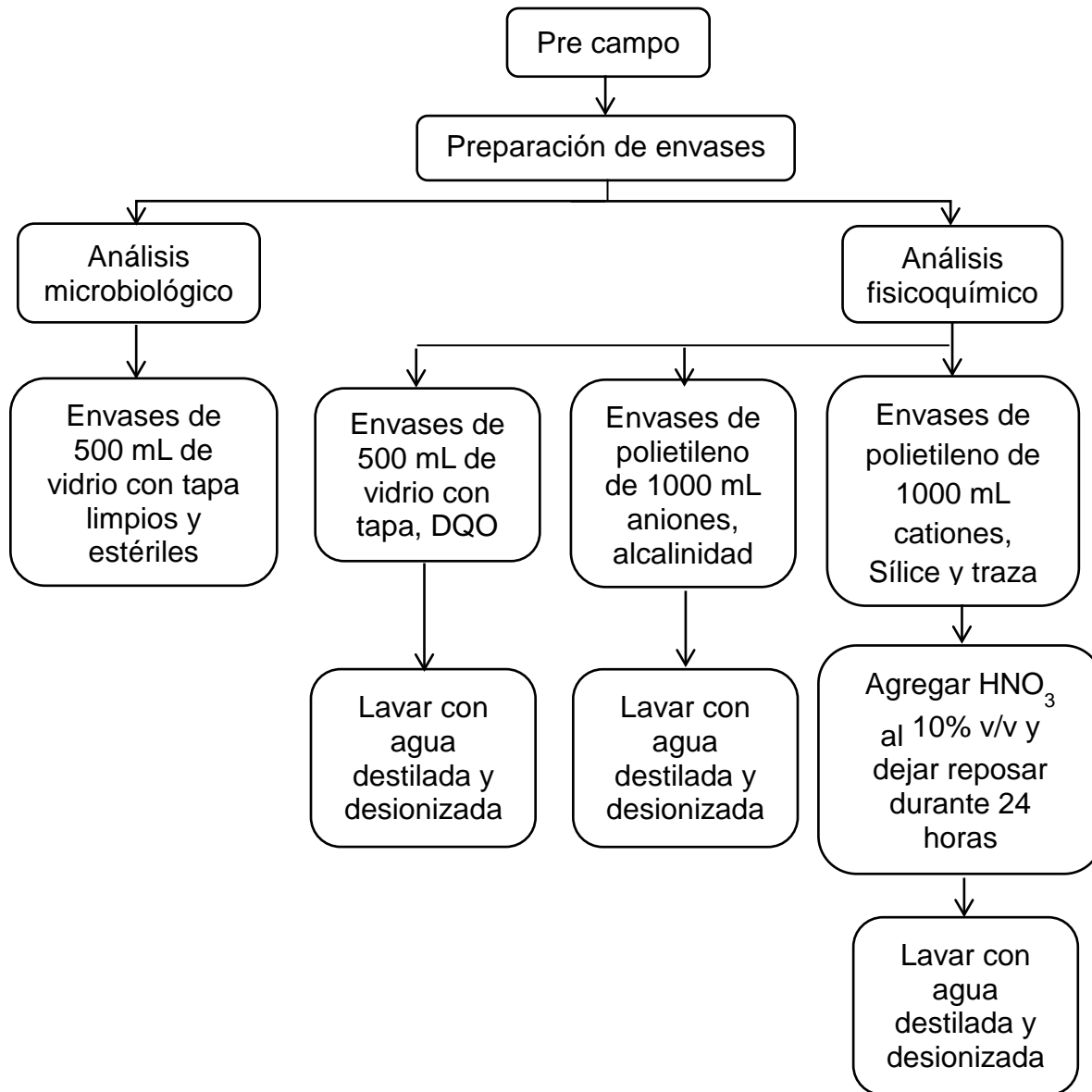


Figura 14 Etapa de pre-campo

En este orden de ideas, para llevar a cabo el aislamiento e identificación de los microorganismos de interés, durante la etapa de pre-campo se procedió a preparar y organizar los reactivos necesarios para el tratamiento de las muestras a saber: solución salina al 8,5% (NaCl 8,5%) la cual se empleó para la dilución de las muestras, caldo tioglicolato o tripticasa de soya y ácido nítrico (HNO₃) al 10%.

También se prepararon las placas que contenían medios de crecimiento específico o selectivo, con la finalidad de sembrar las diluciones de las muestras, para cada microorganismo a determinar, tales como coliformes totales (CT) y fecales (CF) con el medio líquido “Coliblu”, el cual viene preparado comercialmente; para enterococos (ENT) con el medio “Agar Bilis Esculina”; para bacterias Heterótrofas (BHET) con el medio Agar de Crecimiento PCA “Plate Count Agar” y para las especies Vibrio con un medio conocido como TCBS que contiene Tiosulfato, Citrato, Sales Biliares y Sacarosa. Además, para la determinación de las especies Vibrio se organizó para cada muestra, 100 mL de caldo tioglicolato en frascos de dilución con tapa para activar estos microorganismos en la etapa de campo.

Este material fue suministrado por el Laboratorio de Microbiología Ambiental del Instituto de Zoología y Ecología Tropical.

Con la finalidad de lograr exitosamente la recolección de los diferentes tipos de muestras durante la salida campo, se ordenaron todos los materiales de laboratorio y equipos de campo necesarios para realizar el muestreo, tratamiento y transporte de las muestras de agua, así como también se identificaron cada uno de los envases con el nombre del punto de muestreo, número de muestra, análisis a realizar y fecha para poder tener trazabilidad de la investigación.

6.2 Etapa de campo

La etapa de campo consistió en la captación de las muestras de agua en 11 puntos ubicados en los afluentes de la Laguna de Tacarigua, durante los días 2, 3 y 4 de agosto de 2011. El recorrido fue realizado por carretera, bajo condiciones climáticas propias de zonas costeras, caracterizadas por días soleados y despejados, salvo ciertas excepciones en las cuales precipitó levemente antes de captar la muestra.

La tabla 13 contiene información general de los sitios donde fueron captadas las muestras para llevar a cabo este trabajo de investigación.

Tabla 13 Localización de los puntos de muestreo

Fecha de recolección	Nº de Muestra	Código de la Muestra	Nombre de la muestra
02/08/2011	1	MASPGU-01	El Guapo
02/08/2011	2	MASPGU-02	El Guapo
03/08/2011	3	MASPBU-03	Caño El Burro
03/08/2011	4	MASPSB-04	Caño Santa Bárbara
03/08/2011	5	MASPLP-05	Caño Amarillo, Las Lapas
03/08/2011	6	MASPMC-06	Caño Madre Casañas
03/08/2011	7	MASPLG-07	Quebrada Lagunon
03/08/2011	8	MASPSI-08	Quebrada San Ignacio
03/08/2011	9	MASPCH-09	Quebrada Chaguaramal
04/08/2011	10	MASPVC-10	Puente Villa Cruz
04/08/2011	11	MASPRCH-11	Río Chico

En el siguiente mapa se ilustra la ubicación de los puntos muestreados para llevar a cabo este análisis, en el cuadro anterior se muestra el nombre de cada punto.

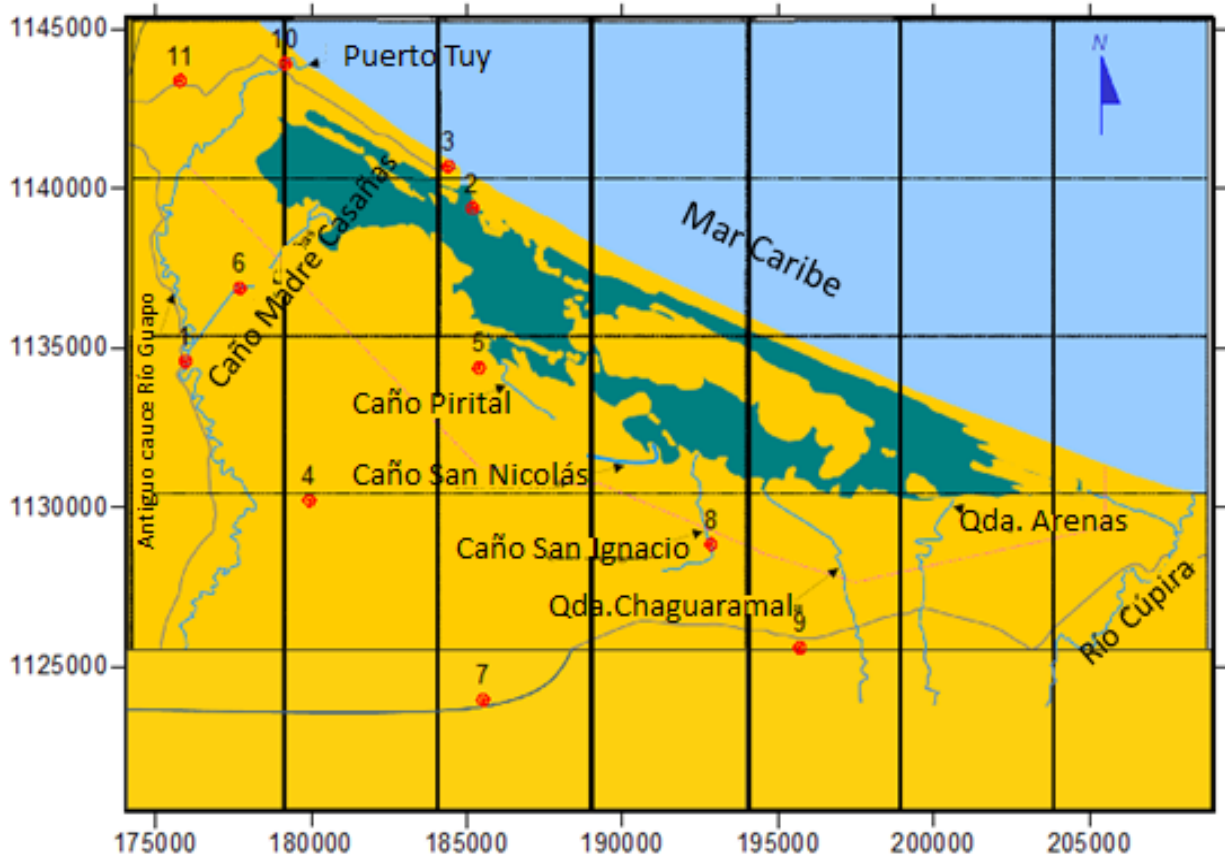


Figura 15 Mapa de ubicación de los puntos muestreados

El procedimiento mediante el cual se captaron y preservaron las muestras de agua, se llevó a cabo atendiendo a las recomendaciones dadas por la APHA (2000).

En el momento en que se recolectaron las muestras para realizar la determinación de aniones y alcalinidad, se procedió a curar los envases previamente acondicionados, se llenó el recipiente con el agua muestreada y luego las muestras se preservaron a una temperatura menor a 5°C, en una cava con hielo.

En el caso de las muestras de agua para análisis de cationes, elementos traza y sílice, se curó el envase con el agua a muestrear, se llenó el envase y se preservaron las muestras recolectadas en una cesta a temperatura ambiente. Estas condiciones se mantuvieron durante la captación y traslado de las muestras, hasta el lugar donde serían procesadas.

Para la determinación de la demanda química de oxígeno, (DQO), cada frasco se sumergió en los distintos sitios muestreados e inmediatamente se procedió a agregar 1 mL de ácido sulfúrico concentrado, ($H_2SO_4(c)$) para obtener un pH menor a 2. La muestra se mantuvo cerrada y refrigerada hasta realizar el análisis respectivo. ^[69].

En relación a la recolección de muestra para los análisis microbiológicos, el frasco de vidrio fue llenado en sentido contrario a la corriente del agua, dejando un espacio vacío para facilitar la agitación u homogenización de las mismas, en el momento de iniciar el análisis. Se procuró, en la medida de lo posible, que las muestras fueran captadas hacia el centro del canal de los ríos, caños y quebradas; una vez almacenadas se mantuvieron refrigeradas hasta su posterior análisis, proceso que se desarrolló durante la etapa de campo, en un tiempo que no excediera las 8 horas después de haber captado las muestras, esto para evitar el aumento o disminución de los microorganismos en estudio.

En este sentido, debe resaltarse que el análisis microbiológico se realizó en esta etapa, en un lugar conformado por una mesa de trabajo, filtros, bombas de vacío, bombona de gas, mechero a gas, mechero de alcohol al 70%, material de vidrio estéril, estufa portátil, placas, caldos, membranas y fósforos. Este sitio fue acondicionado de la forma más estéril posible, con una atmósfera aséptica.

Es necesario señalar que, para la determinación de los microorganismos de interés, todos los materiales utilizados durante el tratamiento de las muestras fueron previamente esterilizados y preparados para su uso exclusivo, dependiendo del análisis microbiológico a ser realizado.

Una vez adaptado el espacio de trabajo, se procedió a llevar a cabo las diluciones, esto debido a que se tenía la sospecha que las muestras de agua contenían una gran cantidad de microorganismos, seguido de las filtraciones, siembras e incubaciones.

En figura 16 se puede apreciar el material empleado para el análisis microbiológico de las muestras.

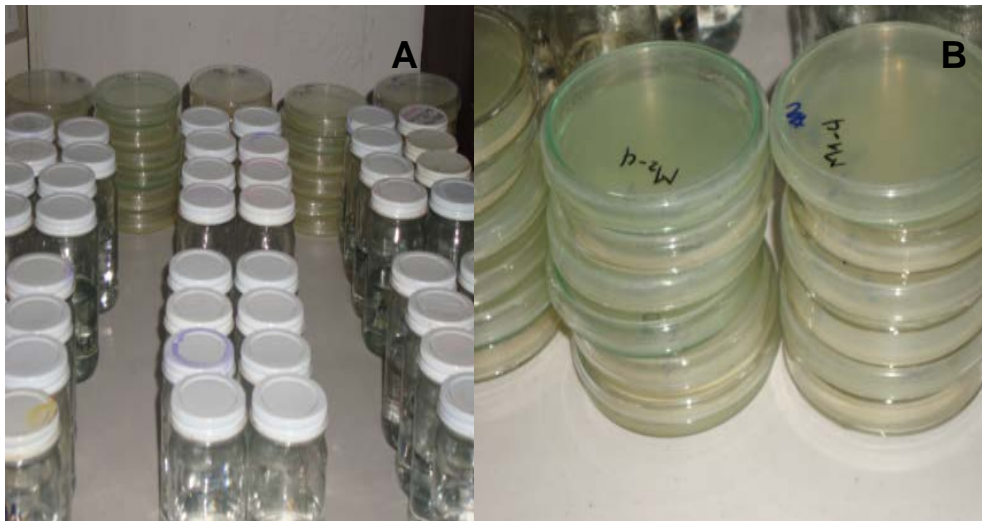


Figura 16 Material ubicado en zona estéril; **A** con estos frascos se llevó a cabo la dilución de las muestras recolectadas. **B** Placas rotuladas para la siembra de microorganismos de interés.

Para determinar los indicadores microbiológicos coliformes totales, (CT), coliformes fecales, (CF), y enterococos (ENT), se utilizó el método de membrana filtrante, el cual consistió en filtrar 100 mL de cada una de las diluciones de la muestra, (en las mejores condiciones de esterilidad posibles), a través de una membrana filtro Millipore de 0,45 μ m (figura 17).

Posteriormente, se tomó y colocó la membrana en las placas que contienen: medios de enriquecimiento selectivo y diferencial como el COLI-BLUE, para el caso de los coliformes fecales y totales; y en medios de enriquecimiento selectivo agar esculina para enterococos. Luego se colocaron las placas invertidas (la membrana hacia abajo), se agruparon las distintas diluciones realizadas por muestra y por microorganismo, se organizaron y procedió a incubar a 35°C por 24 horas en una estufa, para su posterior conteo.

En la figura 17 se muestra el equipo de filtración al vacío empleado durante la etapa de campo para realizar el análisis microbiológico de las muestras en estudio.

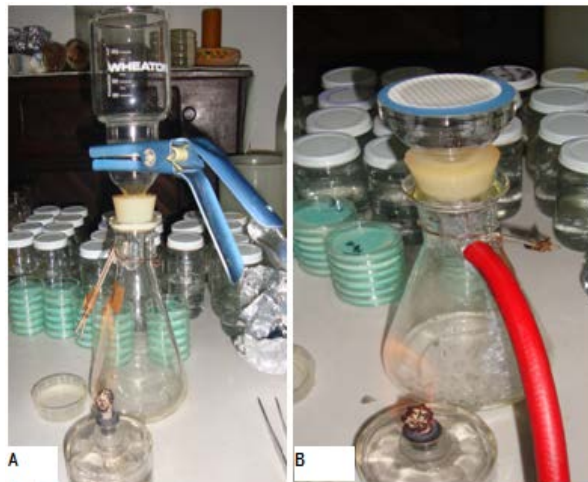


Figura 17: Equipos y materiales utilizados en el procesamiento de las muestras. **A.** Sistema de filtración al vacío por membrana antes de filtrar la muestra. **B.** membrana 0,45 μ m luego de filtrar la muestra de agua antes de sembrarla.

Para las especies *Vibrio*, inicialmente se colocaron 10 mL de muestra en un caldo de tioglicolato, para activarlas por un período de tiempo aproximado de seis horas (figura 18 A), luego se procedió a realizar las diluciones necesarias para posteriormente procesarlas.

En el caso de las especies *Vibrio* y bacterias Heterótrofas, para su procesamiento se usó el método de diluciones seriadas y siembra por superficie, el cual consistió en tomar 0,1 mL de las distintas diluciones de la muestra y colocarla en la placa que contiene el medio de crecimiento selectivo (TBCS para especies *Vibrio* y PCA para bacterias heterótrofas), luego se procedió a dispersar la muestra sobre la superficie del medio con ayuda de un rastrillo (figura 18 B) Finalmente se agruparon las distintas diluciones realizadas por muestra y por microorganismo, se organizaron y procedieron a incubar a temperatura ambiente por 24 horas, para su posterior conteo en UFC.

La figura 18 presenta el proceso de dilución y siembra de la especie *Vibrio* y las bacterias Heterótrofas estudiadas en las muestras de agua captadas en algunos afluentes de la Laguna de Tacarigua



Figura 18: **A.** Caldo de activación de especies *Vibri*os antes de proceder a realizar diluciones. **B.** Método de siembra por superficie, utilizado para realizar la determinación de especies *Vibrio* y bacterias Heterótrofas.

En el mismo orden de ideas, la figura 19, resume el esquema de trabajo que se desarrolló en la etapa de campo, donde se recolectaron las muestras a ser estudiadas

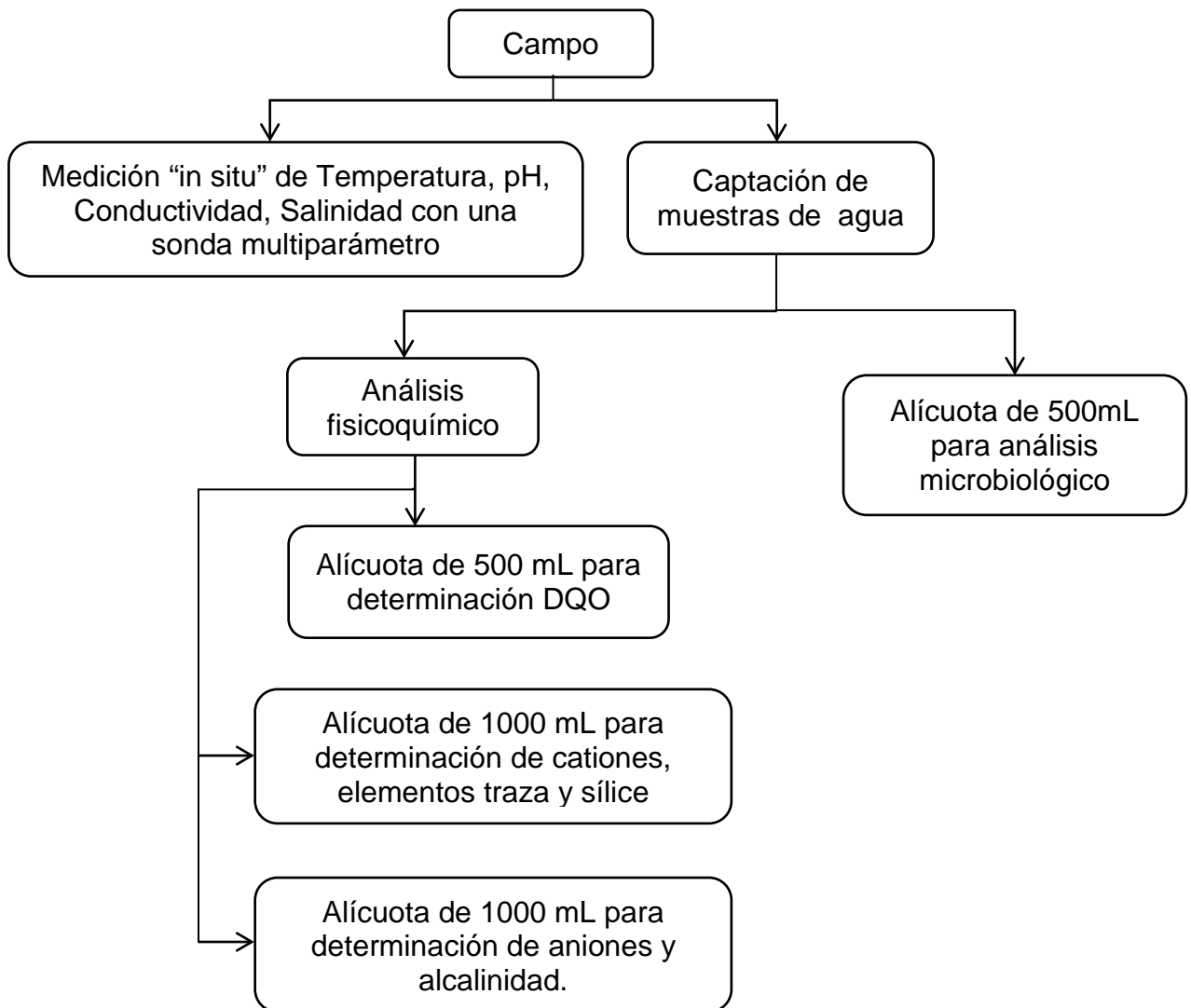


Figura 19 Esquema de trabajo seguido durante la etapa de campo, en el proceso de recolección de muestras

Asimismo, la figura 20 presenta la metodología usada para la determinación microbiológica, durante la etapa de campo, en las muestras captadas.

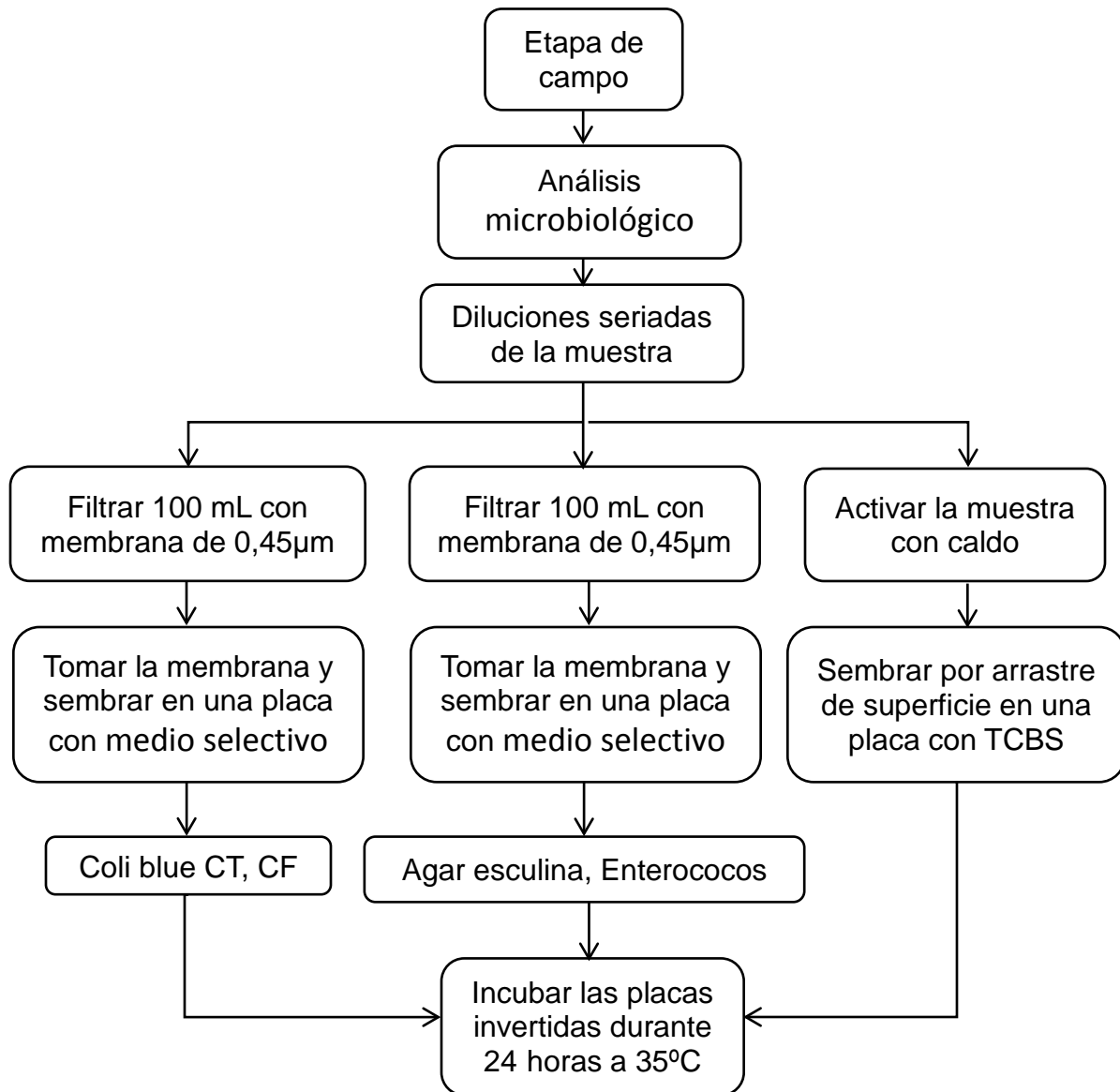


Figura 20 Metodología seguida en la etapa de campo para la determinación microbiológica

Es importante destacar que paralelo al proceso de recolección de muestras, se procedió a medir “in situ” las coordenadas geográficas de cada uno de los puntos muestreados, mediante un GPS, así como también se midieron los parámetros fisicoquímicos pH, conductividad y temperatura, usando para ello una sonda multiparámetro marca Orion, modelo 250 A, provisto de un electrodo de vidrio calibrado, con soluciones amortiguadoras de pH 4, 7 y 10.

6.3 Etapa de laboratorio

La etapa de laboratorio o post-campo se desarrolló en los laboratorios de Hidrogeoquímica y Microbiología, ubicados en los institutos de Ciencias de la Tierra y Zoología y Ecología Tropical respectivamente, ambos pertenecientes a la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela. Durante esta fase se efectuó el análisis de las once (11) muestras recolectadas, realizando las determinaciones químicas de las especies propuestas, así como la identificación y conteo de los indicadores microbiológicos de calidad de agua, atendiendo a las metodologías y técnicas que seguidamente serán descritas.

6.3.1 Determinación de la alcalinidad

La primera determinación que se llevó a cabo, fue la alcalinidad, debido a que en la literatura se recomienda efectuar esta determinación hasta un máximo de 15 días después de haber sido captadas las muestras de agua. Para ello, dichas muestras se mantuvieron refrigeradas a una temperatura menor a 5 °C hasta iniciar el análisis, esto con la finalidad de evitar la pérdida de dióxido de carbono (CO₂).^[1]

Esta determinación se realizó aplicando el método Gran, el cual consistió en realizar la titulación potenciométrica de 25 mL de la muestra de agua, con ácido sulfúrico (H₂SO₄) 0,01824 M, el cual fue previamente estandarizado con carbonato de sodio (Na₂CO₃), (apéndice 1).

Para desarrollar este método, se usó una bureta automática modelo Digitarte- Pro50, marca **Jencons Digital** (figura 21), con una capacidad de 50 mL, y un pHmetro portátil marca Orión modelo 250 A, previamente calibrado con soluciones amortiguadoras de pH 4, 7 y 10.

En la figura 21, se presenta la bureta automática empleada en la determinación de alcalinidad



Figura 21: Bureta automática Jencons

Una vez efectuada la titulación, al conocer el valor del volumen del punto final, se calcularon los valores de alcalinidad en cada una de las muestras captadas. El resultado obtenido se reportó como concentración de la especie bicarbonato, es decir, mg/L de HCO_3^- (tabla 2A, apéndice A). La titulación se realizó por duplicado para cada una de las muestras. En el apéndice C se encuentra en detalle el procedimiento aplicado así como la fórmula empleada para calcular esta especie

6.3.2 Determinación de los sólidos suspendidos (SS)

Para la cuantificación de los sólidos suspendidos presentes en las aguas estudiadas, se procedió a medir el volumen de las muestras captadas y posteriormente se filtraron, empleando para ello un equipo de filtración al vacío y una membrana Millipore de 0,45 μm previamente pesada; esto se hizo con el objetivo de separar la fracción de los sólidos disueltos de la fracción de los sólidos suspendidos.

Seguidamente cada membrana fue secada a 120°C por 24 horas para proceder a determinar la concentración de los sólidos en suspensión de cada una de las muestras, mediante la diferencia del peso de la membrana antes y después de la filtración en un volumen conocido de muestra (apéndice F).

Posteriormente, la muestra de agua se preservó en el envase previamente curado con el agua filtrada y se añadieron 2 mL de ácido nítrico bidestilado, (HNO_3); esto con la finalidad de mantener el $\text{pH} < 2$ y así minimizar los procesos de adsorción de los iones en las paredes del recipiente. Con estas muestras de agua se procedió a determinar las especies químicas catiónicas mayoritarias y los elementos traza. La figura 22 figura presenta el equipo empleado para llevar a cabo la filtración de las muestras.

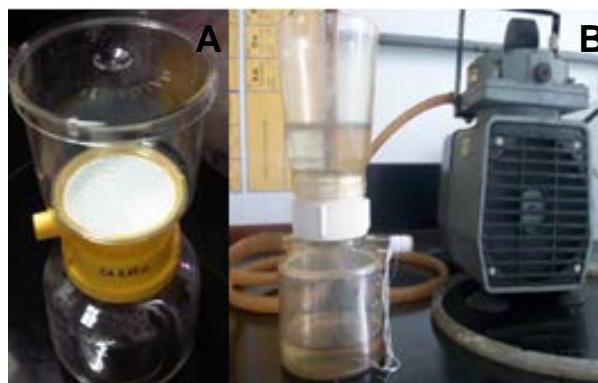


Figura 22 A. Envase de filtración con su portafiltros y membrana Millipore de 0,45 μm .

B Bomba de vacío y envase de filtración con portafiltros

La figura 23 permite visualizar las membranas de filtro de 0,45 μm , luego de haber realizado el proceso de filtración, donde se puede apreciar los sólidos suspendidos presentes en las muestras de agua en estudio.



Figura 23 Sólidos suspendidos en la membrana Millipore de 0,45 μm .

6.3.3 Determinación de las especies químicas

La determinación de las especies químicas Na^+ , K^+ y Mg^{2+} se realizó a través de la técnica de espectroscopia de emisión y absorción atómica, mientras que la determinación de la concentración de Ca^{2+} y de los elementos traza, fue abordada mediante la técnica de espectroscopia de emisión atómica con fuente de plasma inductivamente acoplado (ICP). En el caso de las especies aniónicas Cl^- , NO_3^- y SO_4^{2-} para su determinación se usó la técnica de cromatografía iónica, empleando para ello un cromatógrafo iónico, marca Dionex DX-100. En cada caso se aplicó el método de la curva de calibración

Inicialmente se procedió a preparar una batería de patrones de cada una de las especies a analizar, usando para ello soluciones estándar; seguidamente, se realizaron diluciones en cada una de las muestras con agua desionizada y se llevó a cabo la medición correspondiente. Finalmente, se procedió a determinar la concentración de cada una de las especies químicas.

6.3.3.1 Determinación de especies químicas Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} y elementos traza

Las especies Na^+ y K^+ , se determinaron por medio de la técnica analítica espectrofotometría de emisión atómica en llama (EEAT); mientras que para la determinación del Mg^{2+} fue utilizada la técnica de espectrofotometría de absorción atómica en llama (EAA-LL). Para ello, se utilizó un equipo marca Perkin Elmer modelo AAnalyst200, (figura 24). Las concentraciones obtenidas se exponen en la tabla 2A del apéndice A y las condiciones se presentan en la tabla 1B del apéndice B.

En la figura 24 se aprecia el equipo empleado para la determinación de las especies catiónicas en las muestras de agua estudiadas.



Figura 24 Espectrofotómetro Perkin Elmer modelo AAnalyst200

Por su parte, el Ca^{2+} y el Si, así como los elementos traza Al, B, Ba, Fe, Li, Mn, Ni y Sr, fueron determinados por medio de la técnica analítica espectrofotometría de emisión atómica con fuente de plasma inductivamente acoplado, (ICP-OES) en un equipo marca Horiba Jobin Yvon, modelo Ultima 2. Las concentraciones de los elementos Ca^{2+} y Si están reportadas en la tabla 2A y 3A del apéndice A respectivamente, mientras que las concentraciones de los elementos traza están expuestas en la tabla 4A del apéndice A. Las condiciones experimentales utilizadas para el análisis se presentan en las tablas 3B-1 y 3B-2 del apéndice B.

En la figura 25 se ilustra el equipo empleado para la determinación de Ca^{2+} , Si y los elementos traza Al, B, Ba, Fe, Li, Mn, Ni y Sr.



Figura 25 Equipo de emisión atómica con fuente de plasma inductivamente acoplado, (ICP-OES), marca Horiba Jobin Yvon, modelo Ultima 2

En ambos casos, para la determinación de cationes y elementos traza, se prepararon patrones multielementales a partir de soluciones de 1000 mg/L contenidos en ampollas Tritisol marca Merck. Las curvas de calibración se construyeron con patrones de concentraciones conocidas, cuyo intervalo comprendió valores de concentración entre 0-10 mg/L, a excepción del Ca^{2+} , cuya curva de calibración fue construida con patrones de concentraciones entre 30-200 mg/L.

Posteriormente, se realizaron diluciones de las muestras que estuvieran dentro del intervalo de concentración de dichos patrones. Las curvas de calibración se pueden observar en el apéndice D.

6.3.3.2 Determinación de especies químicas aniónicas Cl^- , NO_3^- y SO_4^{2-}

La determinación de los aniones Cl^- , NO_3^- y SO_4^{2-} , se realizó mediante la técnica de cromatografía iónica, (CI). El valor de concentración de los elementos de interés se determinó mediante curvas de calibración, utilizando patrones multielementales de concentración conocida, haciendo posteriores diluciones de las muestras, las cuales se ajustaron dentro del intervalo de concentración de dichos patrones. El equipo usado para llevar a cabo esta determinación fue un cromatógrafo iónico marca Dionex DX-100 (figura 27)

Las soluciones patrones utilizadas para la construcción de curvas de calibración fueron preparadas a partir de soluciones madres de 1000 mg/L de cada anión; los reactivos con los que se prepararon dichas soluciones patrones se pueden observar en la Tabla 4C, apéndice C

Las concentraciones obtenidas para estas especies químicas esta reportada en la tabla 2A del apéndice A. Las condiciones del equipo se pueden observar en la tabla 2B del apéndice B, mientras que las curvas de calibración se ubicaron en el apéndice C.

La figura 27 ilustra el equipo usado para llevar a cabo el análisis de Cl^- , NO_3^- y SO_4^{2-}



Figura 26 Cromatógrafo iónico marca Dionex DX-100

6.3.4 Demanda química de oxígeno (DQO)

En lo que respecta a la determinación de la demanda química de oxígeno (DQO), fue necesario conocer de antemano la concentración de Cl^- , pues la metodología recomendada señala que la concentración de esta especie no puede sobrepasar los 2000 mg/L ya que genera interferencias en los resultados obtenidos. Una vez efectuado el análisis de cloruro, se logró confirmar que la determinación de la demanda química de oxígeno solo se podría realizar en 8 de las 11 muestras captadas, ya que 2 de ellas se encontraban por encima del valor aceptado de Cl^- para realizar este análisis. (Apéndice F).

El método aplicado para conocer la demanda química de oxígeno, (DQO) consistió en agregar a una alícuota de cada una de las muestras, 10 mL de dicromato de potasio (0,0417 mol/L =0,252 mg/L) y una pequeña cantidad de sulfato mercúrico, para evitar las interferencias con las especies de cloruros; posteriormente, se efectuó una digestión con 15 mL de ácido sulfúrico concentrado a reflujo abierto, en el equipo digestor, marca Velp Scientifica, modelo DK6, con una rampa de calentamiento, inicialmente por 20 minutos a 100 °C y luego por dos horas a 200°C.

Posteriormente, cuando la muestra alcanzó temperatura ambiente, se tituló con sulfato ferroso amoniacal (sal de Mohr), para contrarrestar el exceso de dicromato de potasio, usando como indicador ferroína, que permitió observar con claridad el punto final de la titulación (rojo ámbar). Este método 5220-B esta descrito en la ASTM ^[60] (Apèndice F).

La figura 27 muestra el montaje con los tubos de digestión, empleado para la determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) en las muestras de aguas captadas en algunos afluentes de la Laguna de Tacarigua.



Figura 27 Proceso de digestión de las muestras en el equipo digestor marca Velp Scientifica, modelo DK6

Por su parte, la figura 28 muestra la secuencia de una muestra a medida que se realiza la titulación del exceso de dicromato de potasio con sulfato ferroso amoniacal. Inicialmente, antes de añadir el agente titulante, la muestra posee color amarillo, en el transcurso de la titulación, la muestra exhibe un cambio de color, tornándose azul y finalmente en el punto de equivalencia de la titulación, la muestra adquiere un color rojo pardo, indicando que la titulación ha culminado o lo que es lo mismo, la muestra ha alcanzado el punto de equivalencia.

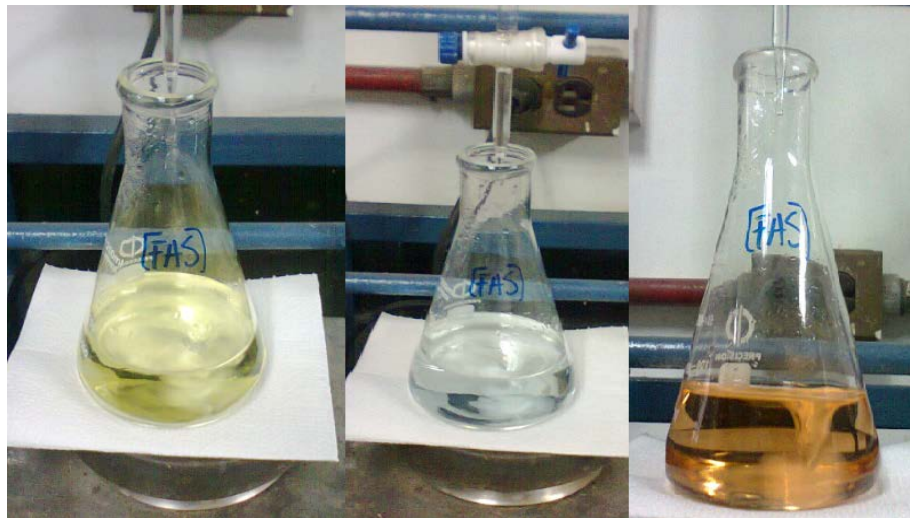


Figura 28 Titulación del exceso de dicromato

En la figura 29 se muestra el esquema de trabajo para la etapa de post campo, a través de la cual se llevará a cabo el análisis de las muestras recolectadas.

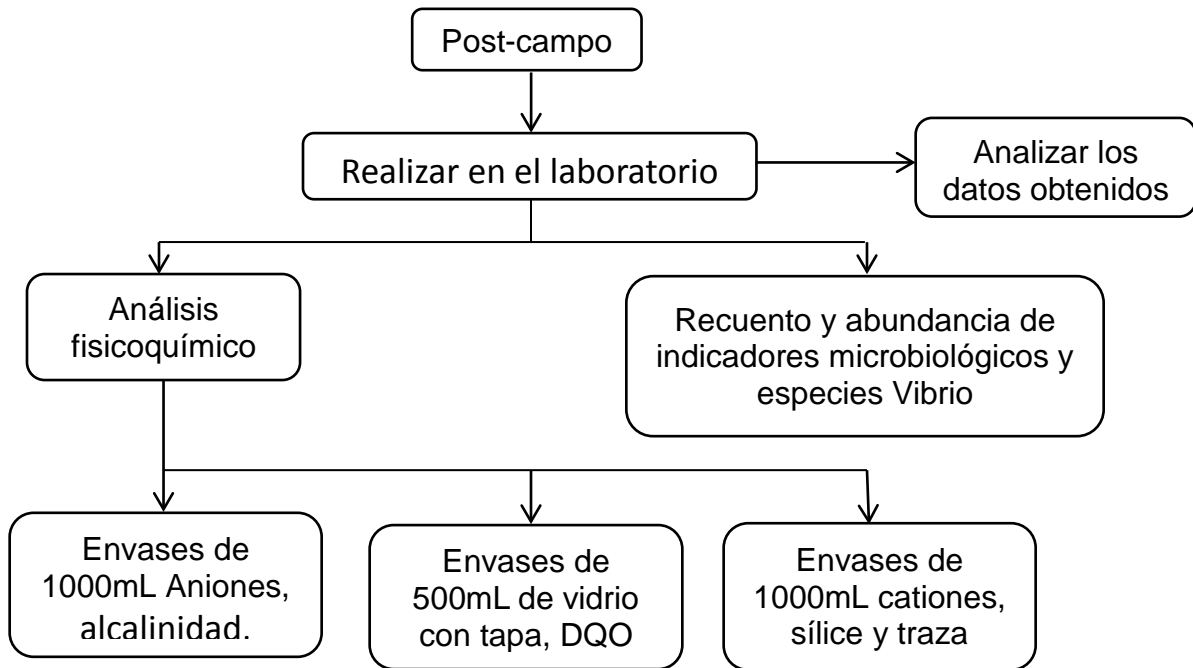


Figura 29 Esquema de la etapa de post-campo

Por su parte, en la figura 30 se muestra el procedimiento seguido en la etapa de laboratorio para llevar a cabo el análisis fisicoquímico de las muestras estudiadas.

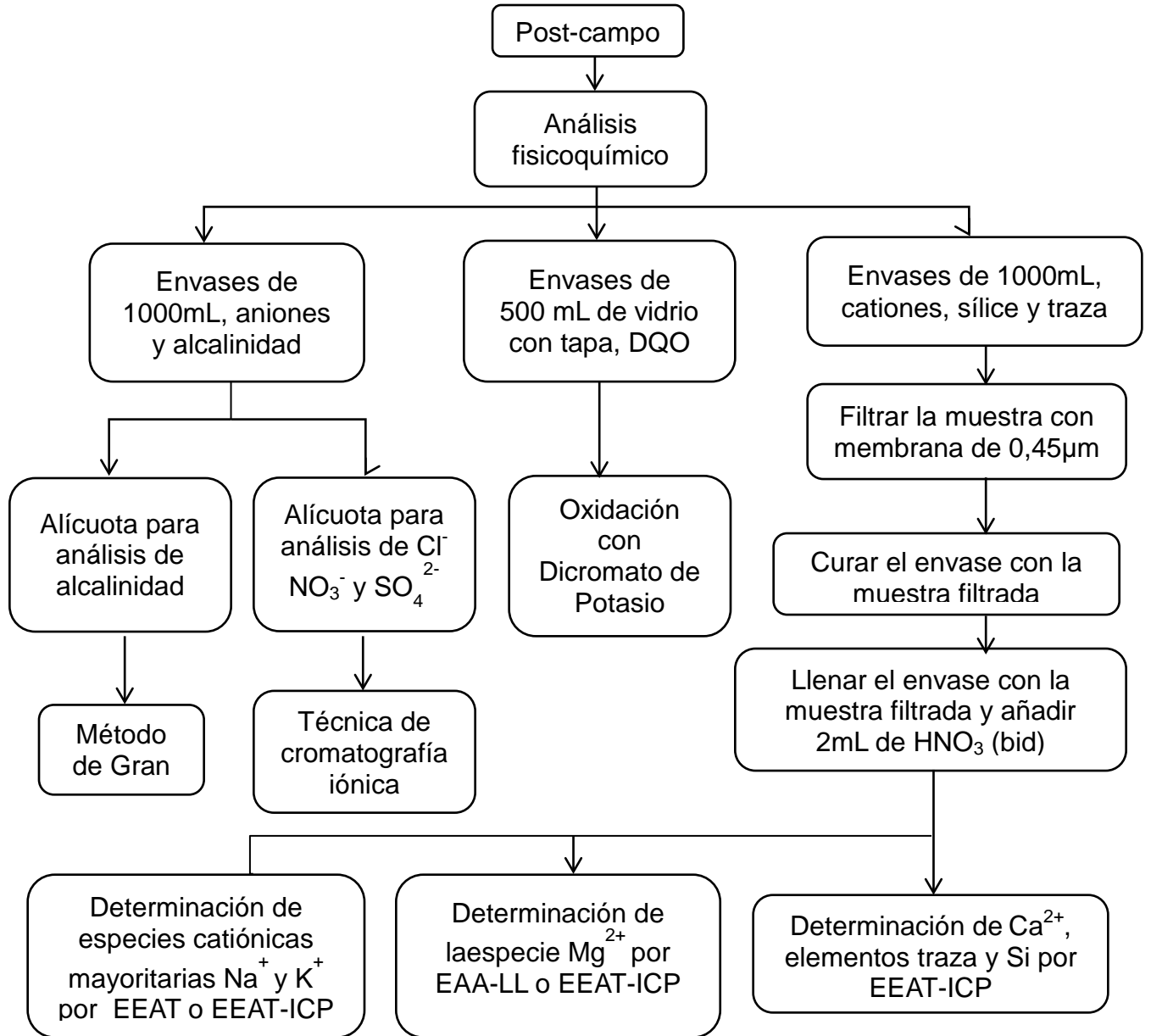


Figura 30: Metodología empleada en la etapa de post-campo

Análisis Microbiológico

Durante esta etapa se procedió a efectuar el conteo de las especies microbiológicas presentes en cada una de las muestras captadas en algunos afluentes de la Laguna de Tacarigua Posterior a la etapa de campo, donde se llevó a cabo el procesamiento, sembrado e incubación de las muestras, las mismas fueron trasladadas al laboratorio de Microbiología Ambiental del Instituto de Zoología y Ecología Tropical, perteneciente a la facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela y se determinó el número de colonias que indicaban la presencia de coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF) y enterococos (ENT), (figura 31); por último, se procedió a la cuantificación de la especie *Vibrio* y bacterias heterótrofas (BHET), que fueron procesadas por el método de diluciones seriadas y siembra por superficie (figura 31)

La figura 31 ilustra los indicadores de calidad microbiológica CT y ENT estudiados en las muestras captadas en algunos afluentes de la Laguna de Tacarigua.

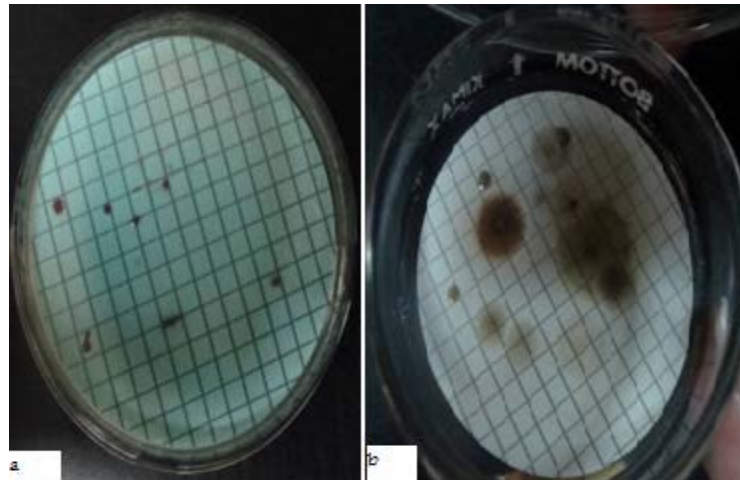


Figura 31: Indicadores microbiológicos de calidad obtenidos para una de las muestras estudiadas: **A** se muestran las bacterias CT colonias de color rojo y CF colonias de color azul. **B.** ENT colonias de color negro.

Seguidamente, la figura 32 presenta las placas que contienen a las especies *Vibrio* y las bacterias heterótrofas determinadas en las muestras a través del análisis microbiológico.

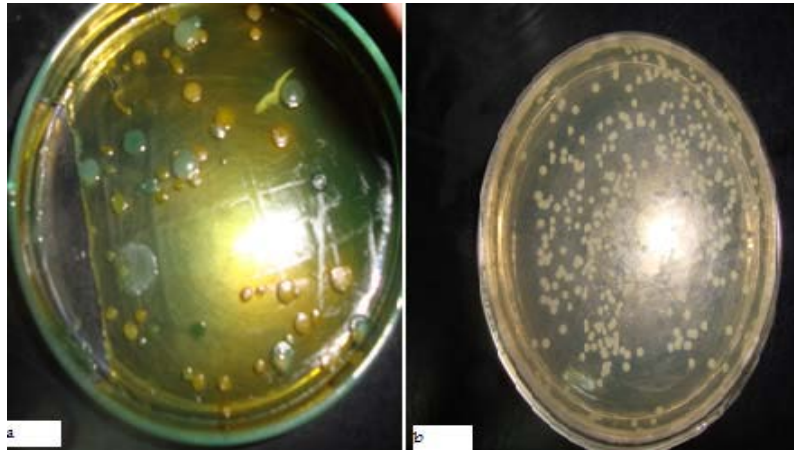


Figura 32: A. Colonias que representan diferentes especies de *Vibrio*; y **B** las colonias de las bacterias heterótrofas,

Finalmente, luego de llevar a cabo todo el procedimiento experimental para la determinación de cada una de las especies en estudio en las muestras captadas en los afluentes de la Laguna de Tacarigua, durante la etapa de laboratorio o post-campo se organizaron y procesaron todos los datos obtenidos y por consiguiente la interpretación y discusión de los resultados

7. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta sección son presentados y discutidos los resultados obtenidos a través de las actividades realizadas durante la salida de campo y la etapa de laboratorio. Esto con el objetivo de evaluar la calidad del agua de las once (11) muestras captadas en algunos afluentes de la Laguna de Tacarigua. Este análisis implicó realizar una caracterización de las condiciones fisicoquímicas de dichos afluentes, con la medición de los parámetros temperatura, conductividad, pH y demanda química de oxígeno (DQO), así como la composición de las muestras, mediante la determinación de las especies químicas mayoritarias y minoritarias Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} y sílice disuelta (SiO_2); del mismo modo se examinó la concentración de los elementos traza Al, B, Ba; Fe, Li, Mn, Ni y Sr. Igualmente, se evaluaron los parámetros sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos (SS) y alcalinidad (HCO_3^-) y por último se realizó la caracterización microbiológica, a través de la determinación de los indicadores de calidad coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF), enterococos (ENT), así como las especies *Vibrio* y las bacterias heterótrofas (BHET)

Es importante destacar que, a modo de facilitar la interpretación de los datos obtenidos, fue necesario estructurar este segmento de la siguiente forma: un primer apartado que hace referencia a la precisión de los análisis y los límites de detección, seguido de los métodos implementados para la validación de resultados, posteriormente se indica la caracterización y clasificación química de las muestras de agua, los indicadores de calidad y se incluye una sección enfocada al análisis estadístico de los componentes principales determinados en esta investigación. Finalmente, se evaluó la calidad química del agua en las muestras captadas en algunos afluentes de la Laguna de Tacarigua para conocer si son aptas para el consumo humano y para el riego, entre otros usos, atendiendo a la normativa para la clasificación y control de la calidad de cuerpos de agua contenida en el Decreto N° 883 (Gaceta Oficial N° 5.021, 1995).

7.1 Precisión de los análisis y límites de detección

En la siguiente tabla se presentan los parámetros estadísticos obtenidos a partir de la determinación de las especies químicas y datos fisicoquímicos en tres (3) réplicas, correspondientes a las muestras rotuladas como MASPGU-01, MASPBU-03 y MASPLP-05; captadas en los sectores el Guapo, caño el Burro y las Lapas respectivamente.

Estos datos fueron calculados por medio de las ecuaciones presentadas en el apéndice D y permiten conocer la precisión de los métodos analíticos empleados, aportando confiabilidad a los resultados de las técnicas empleadas.

Tabla 14-A Parámetros estadísticos obtenidos para tres (3) réplicas de las muestras MASPGU-01, MASPBU-03 y MASPLP-05 captadas en el Guapo, las Lapas y caño el Burro respectivamente

Muestra	Parámetro	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	X	S	% Sr	CV	% CV	LD	LC
MASPLP-05	Cond ($\mu\text{S-L/cm}$)	266	265	264	265	1	1	0,004	0,4	-	-
MASPLP-05	pH	6,7	6,8	6,6	6,7	0,1	3	0,015	1,5	-	-
MASPLP-05	T ($^{\circ}\text{C}$)	27,8	27,9	27,8	27,8	0,1	0,4	0,002	0,2	-	-
MASPLP-05	Salinidad	0,11	0,1	0,12	0,11	0,01	18	0,09	9,1	-	-
MASPLP-05	OD (mg/L)	6	7	6	6	1	17	0,08	8,5	-	-
MASPGU-01	Na^+ (mg/L)	11,6	11,4	11,5	12,0	0,1	2	0,008	0,8	0,2	0,6
MASPGU-01	K^+ (mg/L)	2,04	1,95	1,99	2,00	0,05	5	0,023	2,3	0,03	0,1
MASPGU-01	Mg^{2+} (mg/L)	7,5	7,3	7,1	7,3	0,2	5	0,023	2,3	0,05	0,2
MASPGU-01	Ca^{2+} (mg/L)	11	11	10	11	1	12	0,059	6,0	0,03	0,1
MASPGU-01	Cl^- (mg/L)	10,02	10,14	10,07	10,1	0,1	1,2	0,006	0,6	0,2	0,7
MASPGU-01	NO_3^- (mg/L)	1,08	1,20	1,14	1,10	0,04	7	0,036	3,6	0,05	0,2
MASPGU-01	SO_4^{2-} (mg/L)	13,5	13,5	13,4	13,4	0,1	1	0,004	0,4	0,05	0,2
MASPGU-01	HCO_3^- (mg/L)	67	69	68	68	1	4	0,02	2	0,2	0,4
MASPGU-01	SiO_2 (mg/L)	15	14	14	14	1	9	0,05	4	1	2
MASPLP-05	DQO (mg/L)	32	35	33	34	2	12	0,1	6	-	-
MASPGU-01	SDT (mg/L)	-	-	-	-	18	-	-	-	-	-
MASPGU-01	SS (mg/L)	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-

Tabla 14-B Parámetros estadísticos obtenidos para tres (3) réplicas de las muestras MASPBU-01, MASPBU-03 y MASPLP-05 captadas en el Guapo, las Lapas y caño el Burro respectivamente

Muestra	Parámetro	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	X	S	% Sr	CV	% CV	LD	LC
MASPGU-01	Al (µg/L)	373	382	379	378	5	2	0,01	1,21	78	259
MASPBU-03	B (µg/L)	676	672	675	674	2	1	0,003	0,31	97	324
MASPGU-01	Ba (µg/L)	13	12	13	13	1	4	0,05	5	10	34
MASPGU-01	Fe (µg/L)	927	918	925	923	5	1	0,01	0,51	60	199
MASPBU-03	Li (µg/L)	299	293	294	295	3	2	0,01	1,09	16	52
MASPGU-01	Mn (µg/L)	54	51	52	52	2	6	0,03	2,92	15	51
MASPGU-01	Ni (µg/L)	5	3	4	4	1	50	0,3	25	2	8
MASPGU-01	Sr (µg/L)	38	672	675	674	2	1	0,003	0,31	34	114

7. 2 Validación de resultados

El proceso de validación de los resultados se desarrolló aplicando tres técnicas a saber: una de ellas fue mediante la elaboración del balance iónico, la segunda técnica a través de la relación de aniones en función de los cationes y por último, la comparación de la conductividad ideal determinada para cada muestra con respecto a la conductividad medida en campo. Esta validación se realizó con el objetivo de certificar las concentraciones de las especies determinadas en cada una de las muestras captadas, tras ser analizadas en el laboratorio y de esta manera demostrar que la precisión, así como la exactitud de los análisis químicos que se llevaron a cabo en las muestras proporcionan resultados fiables y adecuados para el propósito de esta investigación.

7.2.1 Balance Iónico

Una de las herramientas utilizadas para diagnosticar la validez de los resultados en los análisis químicos de las muestras de aguas captadas, es el error porcentual del balance iónico, %BI. De esta forma es factible situar el orden de magnitud e importancia relativa de los diferentes términos estudiados, así como también es posible verificar la calidad de los análisis realizados en las muestras de agua y por consiguiente establecer un nivel de confiabilidad en los datos obtenidos.

Esta técnica se fundamenta en la neutralidad eléctrica de las muestras, la cual se determina midiendo la diferencia total de aniones y cationes expresados en miliequivalentes por litro (meq/L). Los intervalos de error para aceptar o no el análisis de una muestra de agua, dependen según la literatura, del valor de conductividad eléctrica o de la sumatoria de aniones y cationes. Sin embargo, estos valores suelen ser conservadores, por lo tanto, se acepta un valor máximo en el error del balance iónico de ± 10 %BI, para señalar que los resultados obtenidos son confiables desde el punto de vista geoquímico. ^[67]

En este caso, la ecuación que permite apreciar el cálculo de balance iónico, así como los resultados de las muestras analizadas, se encuentran en el apartado 1E del apéndice E.

A continuación, en la figura 33 se muestra el balance iónico obtenido para las muestras en estudio.

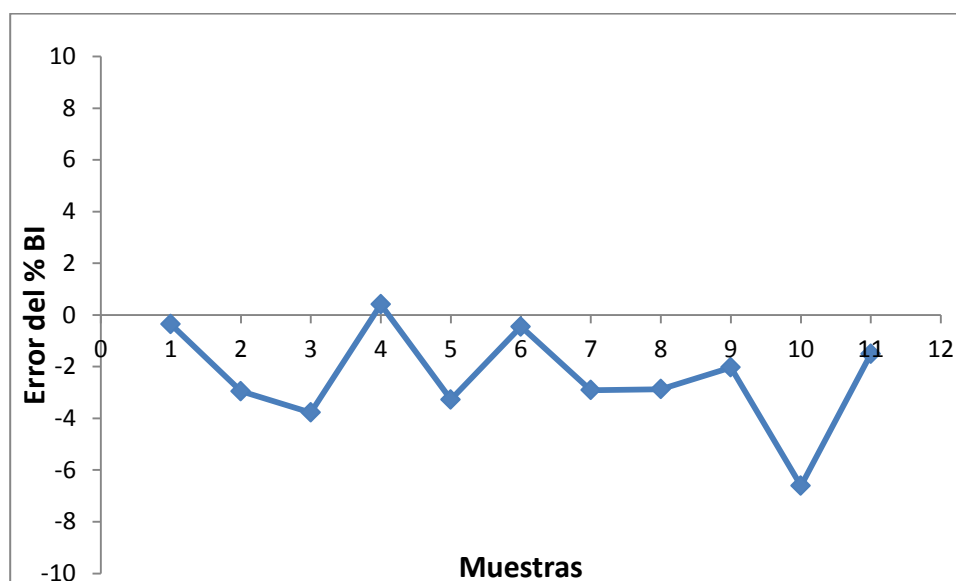


Figura 33 Representación gráfica del error porcentual del balance iónico

En la figura 33 se aprecia la distribución del error porcentual del balance iónico para cada una de las muestras captadas en la zona de estudio. Considerando las muestras que se encuentran en los extremos del límite establecido, se tiene que las mismas corresponde a la muestra MASPVC-10 captada en el puente Villa Cruz, cuyo valor fue de -7% BI y en el otro extremo, sin sobresalir del intervalo permitido están las muestras MASPGU-01, MASPSB-04 y MASPMC-06, captadas en el Guapo, caño Santa Bárbara y caño Madre Casañas respectivamente, cuyo porcentaje de error corresponde al valor de 0 % BI.

En líneas generales, puede indicar que todas las muestras están por debajo del $\pm 10\%$ de error de BI, lo que conlleva a inferir que estos resultados reflejan una excelente calidad y precisión en los análisis obtenidos y por ende, estos datos pueden considerarse confiables desde el punto de vista geoquímico.

7.2.2 Relación de aniones y cationes

En el mismo orden de ideas, para continuar con la validación de los resultados, se procedió a construir una curva que relaciona la concentración de aniones en función de la concentración de cationes, ambas expresadas en miliequivalentes por litro (meq/L).

Esta herramienta indica que, al obtener una pendiente y un r con valores menores o iguales a uno (1), la correlación entre las especies químicas es aceptable, mientras que, por otra parte, si el R^2 de la curva es ≤ 1 , los errores cometidos, en particular del tipo analítico, son mínimos.

En este caso, para las muestras en estudio de los afluentes de la laguna de Tacarigua, se realizaron dos gráficos, uno en el cual se excluyen los valores obtenidos para las muestras MASPBU-03 y MASPVC-10 correspondientes a caño El Burro y puente Villa Cruz, las cuales presentan altas concentraciones de aniones y cationes. Esto no permite apreciar de forma adecuada la correlación de ambos parámetros. Este gráfico que no toma en cuenta dichas muestras es el que se presenta a continuación.

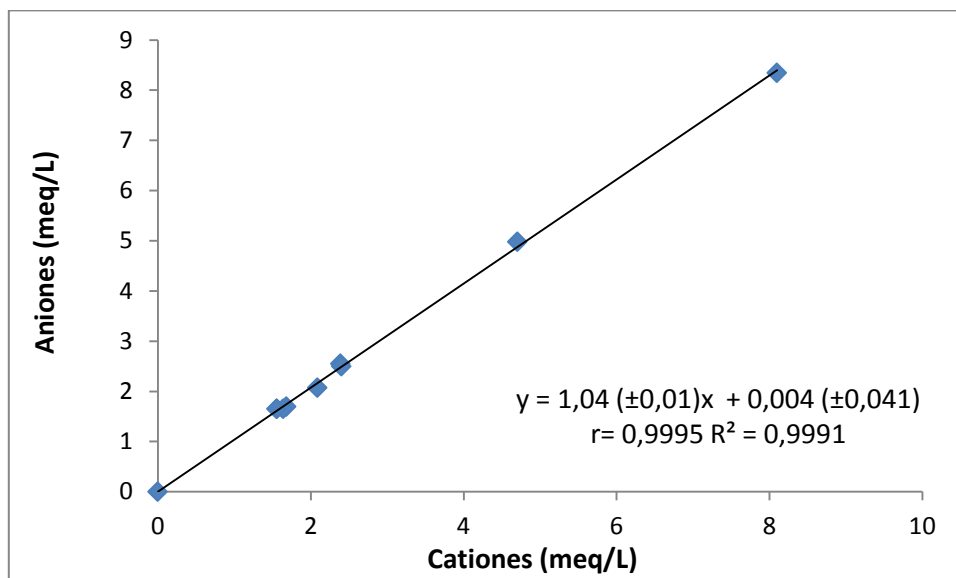


Figura 34 Relación dada entre la sumatoria de las especies aniónicas y catiónicas en meq/L sin considerar las muestras 3 y 10

De la figura 34 es posible conocer que la relación de aniones y cationes está descrita a través de la ecuación $Y = 1,04 (\pm 0,01) x + 0,004 (\pm 0,041)$ y el coeficiente de correlación $r = 0,9996$, así como el coeficiente $R^2 = 0,9991$. Estos resultados se corresponden con la alta correlación positiva y directa existente entre los aniones y los cationes como consecuencia de la baja incidencia en los errores cometidos durante las determinaciones químicas.

Sin embargo, es necesario construir esta relación con todos los datos de las muestras captadas, por lo que a continuación se muestra la relación de aniones y cationes incluyendo las muestras MASPBU-03 y MASPVC-10 captadas en Caño el Burro y el puente Villa Cruz respectivamente.

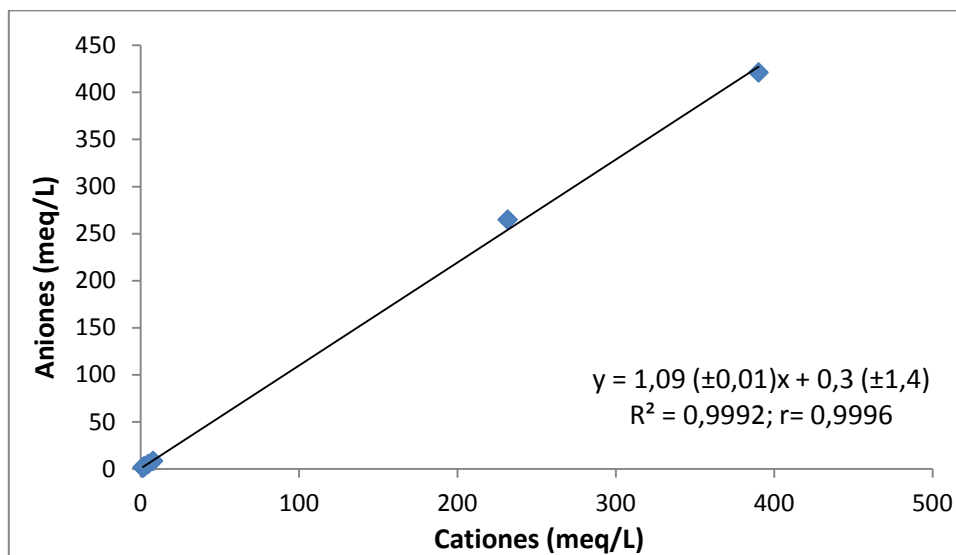


Figura 35 Relación dada entre la sumatoria de las especies aniónicas y catiónicas en meq/L de todas las muestras.

Con respecto a la figura 35 se puede deducir que la relación entre aniones y cationes considerando todas las muestras de agua, es descrita a través de la ecuación $Y = 1,09 (\pm 0,01) x + 0,3 (\pm 1,4)$. En este caso la pendiente está un poco por encima de uno (1) y el coeficiente r es muy cercano a uno (1), lo que indica que la tendencia general de la concentración de aniones es aproximadamente 9% mayor a la concentración de cationes, factor que es posible comprobar al relacionarlo con el balance iónico antes descrito, sin embargo la correlación es altamente positiva y directa entre aniones y cationes.

A pesar que esta tendencia no es despreciable, sugiere una buena afinidad en las concentraciones de las especies determinadas. Sin embargo, se puede notar que la correlación es más exacta cuando se realiza el grafico sin las muestras MASPBU-03 y MASPVC-10 captadas en caño el Burro y el puente Villa Cruz respectivamente, debido a que la concentración de los aniones está solo 4% por encima de la concentración de los cationes, por lo que este valor se acerca más a ser considerado como insignificante e indica una buena relación entre las variables estudiadas.

En cuanto al coeficiente de correlación de la curva, el cual es de $R^2 = 0,9992$, este valor evidencia que existe una excelente relación lineal entre los aniones y los cationes y del mismo modo, advierte que hay un amplio criterio de confiabilidad en los resultados de las muestras analizadas.

7.2.3 Relación de conductividad ideal y conductividad medida

La conductividad eléctrica se emplea comúnmente para indicar la concentración total de especies iónicas en solución. En líneas generales, este parámetro presenta dependencia directa con la temperatura de la masa de agua, siendo utilizado como valor estándar 25°C ; además se halla expresada en Ohmios/cm (Ω/cm), sin embargo, también suele expresarse en función de unidades decimales (d,m, μ , entre otros) debido a que el agua natural presenta valores de conductividad menores a un (1) Ω/cm .^[68]

En esta oportunidad, la relación de conductividad ideal frente a la conductividad medida en campo, se empleó para sustentar finalmente el criterio de validez de los resultados obtenidos en las muestras analizadas. Es de esperarse que la conductividad ideal calculada a 25°C , basada en los datos de las especies químicas mayoritarias, sea similar a la conductividad medida en campo.^[71]

En las siguientes figuras se presentan la relación existente entre la conductividad ideal y la obtenida en campo para las once (11) muestras captadas en los afluentes de la Laguna de Tacarigua. En el apéndice 2E son presentadas las ecuaciones y tablas con los valores de conductividad ideal obtenidos.

Para este caso, también se realizaron dos tipos de gráficos, uno de ellos no incluye las muestras 3 y 10 captadas en caño el Burro y el puente Villa Cruz respectivamente. Este gráfico se muestra a continuación.

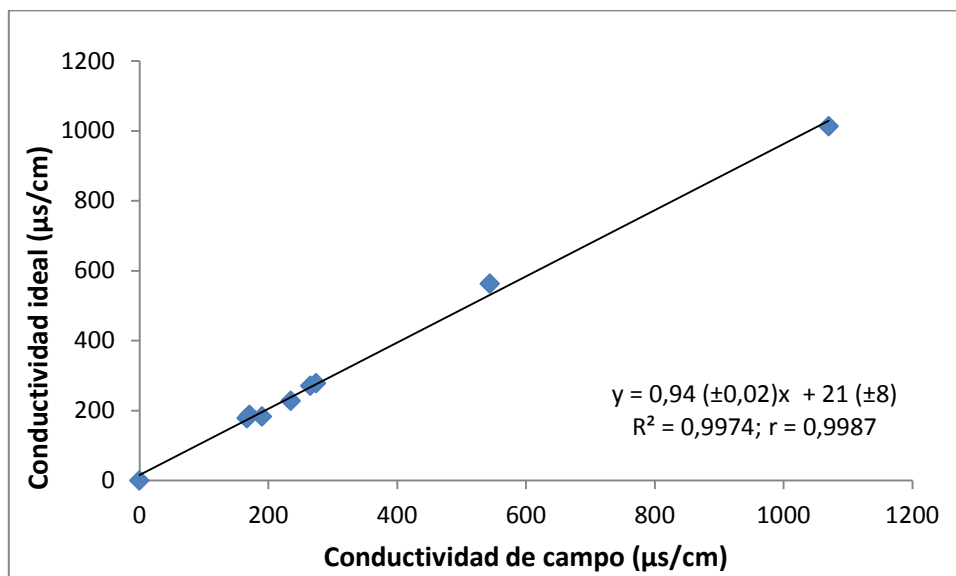


Figura 36 Relación entre la conductividad ideal con la medida en el campo sin considerar las muestras 3 y 10.

Nótese en la figura 36, que la relación de la conductividad ideal frente a la conductividad de campo es descrita mediante una ecuación de la recta igual a $Y=0,94 (\pm 0,02) x + 21 (\pm 8)$, donde la pendiente está ligeramente por debajo de uno (1), el coeficiente de correlación es $R^2 = 0,9974$ y el r es muy cercano a 1. Por lo tanto, la pendiente y el coeficiente de correlación R sugieren que la correlación entre la conductividad ideal y la conductividad de campo es positiva y la relación entre ambos parámetros es directa, además estos datos poseen una mínima dispersión.

A continuación, se muestra el gráfico que relaciona la conductividad ideal y la conductividad medida para todas las muestras captadas.

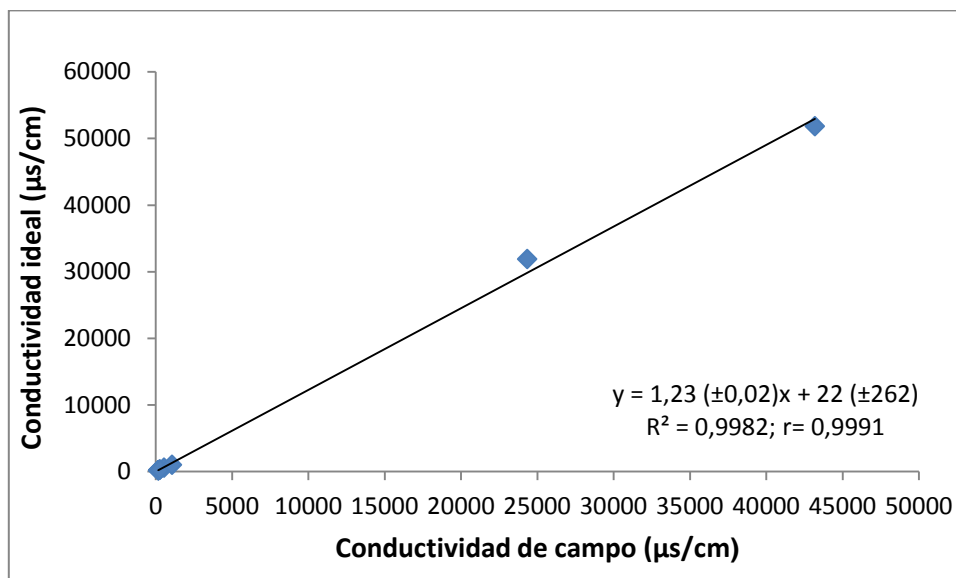


Figura 37 Relación entre la conductividad ideal con la medida en el campo de todas las muestras.

Obsérvese en la figura 37 que la relación de las conductividades para todas las muestras presentan una ecuación de la recta igual a $Y = 1,23 (\pm 0,02) x + 22 (\pm 262)$

La pendiente obtenida, mostrada en la figura 37 es mayor a uno, (1), lo que indica que existe una pequeña desviación que no cumple con la premisa de que la conductividad ideal es igual a la conductividad medida en campo. Es probable que esta relación se vea afectada por algunas muestras, particularmente por el caso de las muestras MASPBU-03 y MASPVC-10 captadas en caño el Burro y el puente Villa Cruz respectivamente, (apéndice 2E), cuyas conductividades ideales son aproximadamente un 23% mayores a sus respectivas conductividades medidas en campo, a pesar de estar en el mismo orden de magnitud. Esto puede deberse a que en estas muestras influyen factores externos como cambios de temperatura o la velocidad de respuesta del electrodo en la sonda empleada, así como también estas diferencia pueden atribuirse a factores internos como la deficiencia de cationes analizados y a especies orgánicas e inorgánicas que no fueron consideradas en el estudio realizado.

Sin embargo el coeficiente de correlación R^2 es igual a 0,9982 lo que indica una baja dispersión y un alto nivel de confianza en los resultados.

En general, es posible concluir con respecto a las herramientas empleadas para validar los resultados obtenidos en los análisis de las muestras de agua, que gracias a estos métodos fue factible demostrar que los datos son precisos, de calidad y por consiguiente de total confiabilidad para efectuar el tipo de interpretaciones que se pretenden desarrollar en un estudio de esta índole, el cual, cabe destacar es sumamente relevante, pues es el primero que se realiza en la zona en estudio, en los afluentes de la Laguna de Tacarigua.

7.3 Caracterización Química

Esta fase se encuentra destinada a la caracterización química de las muestras de aguas superficiales, captadas en algunos afluentes de la Laguna de Tacarigua. Por esta razón se tomará en cuenta el análisis estadístico no paramétrico, pues los datos geoquímicos rara vez siguen una distribución normal. ^[67] Dicha caracterización se realiza con el fin de describir la población de datos, para visualizar la tendencia central y realizar así una descripción general del sistema en cuanto a la variabilidad de las especies químicas y de los parámetros fisicoquímicos estudiados.

Por este motivo se emplearon cajas gráficas, dado que esta herramienta estadística permite comparar varios grupos de datos y al mismo tiempo observar los principales parámetros de distribución empírica, como la asimetría de dispersión, los valores anómalos, la localización de los puntos y su tendencia central.

Asimismo, en el marco de la caracterización química de las muestras analizadas se empleó el diagrama de Piper, con el propósito de visualizar espacialmente la distribución de las especies químicas determinadas y a su vez establecer el o los tipos

de aguas presentes en la zona de interés y de esta manera clasificarlas según la tendencia de concentración de las especies mayoritarias. Por último para definir los posibles procesos que controlan la composición química de las aguas superficiales fueron empleadas algunas relaciones intertónicas.

7.3.1 Parámetros fisicoquímicos pH y conductividad

Las aguas superficiales presentan un conjunto de propiedades o características fisicoquímicas tales como pH y conductividad, que pueden variar en el espacio y el tiempo como consecuencia de la composición química del agua o debido a acciones naturales externas. ^[70] Los valores obtenidos de estas variables en estudio, para las once (11) muestras de aguas superficiales captadas, están representados en la tabla 1A del apéndice A.

En el caso del pH, el análisis estadístico de este parámetro, obtenido por la caja gráfica (figura 38), exhibe que las muestras presentan una mediana de 7,0 unidades y un intervalo de valores mínimo y máximo entre 6,6 a 7,6 unidades, respectivamente. Cabe destacar que estos valores de pH varían uniformemente en las muestras captadas a lo largo del área en estudio.

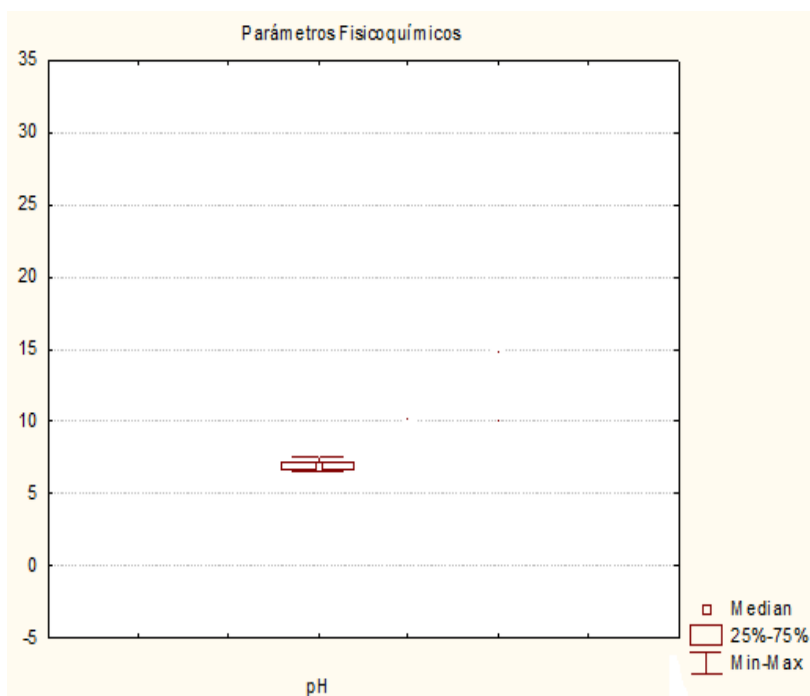


Figura 38 Caja gráfica para el parámetro pH

En este sentido, el intervalo de pH que presenta el agua resulta conveniente clasificarlo de acuerdo a la siguiente escala: ligeramente ácida (6,3-7,1), ligeramente alcalina (7,1-7,6), alcalina (7,6-8,2) y muy alcalina (8,2-10,9). [71]

Atendiendo al intervalo obtenido, el 64% de las muestras son ligeramente ácidas, mientras que el 36% restante, son ligeramente alcalinas. Estos resultados permiten señalar que las muestras de agua estudiadas corresponden a aguas superficiales dulces, cuyo valor de pH máximo es de aproximadamente 8 unidades. [71]

Según lo antes expuesto, las muestras en estudio pueden hallarse influenciadas por procesos tales como: meteorización de rocas en minerales félsicos, en la cual se forman aluminios para el caso de las muestras ligeramente alcalinas, así como también pueden estar controladas por aportes atmosféricos o un control del sistema regulador CO_3^{2-} - CO_2 - H_2O para el caso de las muestras que exhiben un pH más bajo. [74]

Para reforzar esta idea, algunos autores señalan que una de las posibles razones por las cuales las muestras de agua contienen valores de pH bajos, es debido a las actividades antrópicas, lo que da paso a la oxidación de materia orgánica, la cual aporta grandes concentraciones de H^+ y HCO_3^- al agua (Kattan 2006). Un ejemplo de ello, el cual se relaciona con las muestras estudiadas, son las aguas servidas provenientes de los caseríos que rodean esta área en estudio, las cuales desembocan finalmente en el sector Madre Casañas, entre otros ríos y caños, siendo así este el motivo por el cual la muestra rotuladas como MASPMC-06 sea la que posee el valor más bajo de pH, entre otras muestras.

Para el caso de las muestras que poseen altos valores de pH, como es el caso de la muestra MASPBU-03, captada en el sector caño el Burro, este comportamiento puede estar asociado a los procesos de interacción del agua en estos ríos, caños y quebradas con minerales silicatados como caolinita, feldespato y cuarzo, característicos de la geología de la zona en estudio.^[71]

Por último, tomando en consideración el Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021, 1995) el límite máximo permisible para el parámetro de pH está en un intervalo que oscila entre 6,5-8,5 unidades para las clases 1, 2 y 3; mientras que para la clase 4, está entre 3,8-10,5 unidades. En base a lo antes descrito, las once (11) muestras en estudio cumplen en un 100% con el intervalo establecido por el decreto 883, para las clases 1, 2 y 3, por lo cual se le pueden asociar los usos de las mismas, descritos en la Tabla 4 como doméstico, protección de las comunidades hidrobiológicas, recreación de contacto total y segundo contacto, uso agrícola, armonía paisajística, entre otros usos.

En otro orden de ideas, en lo concerniente al caso de la conductividad eléctrica medida para estas muestras, se tiene que la caja gráfica para este parámetro (Figura 39) arroja una distribución normal, presentando una mediana de 265 $\mu\text{s/cm}$, así como un intervalo mínimo y máximo de conductividad entre 167 y 43180 $\mu\text{s/cm}$ respectivamente.

Solo dos muestras exhiben valores anómalos, correspondientes a la muestra MASPBU-03 con 43180 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y la muestra MASPVC-10 cuya conductividad es de 24350 $\mu\text{s}/\text{cm}$. captadas en caño el Burro y el puente Villa Cruz respectivamente. Estos valores de forma general hacen que exista una relativa variabilidad en la conductividad de las muestras captadas.

A continuación, la figura 39 muestra la caja gráfica del parámetro conductividad.

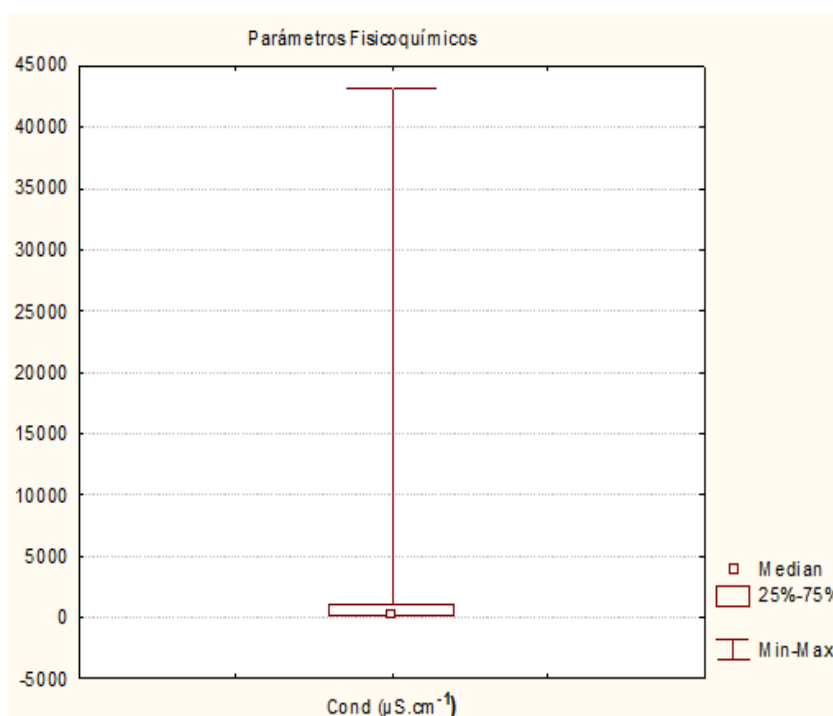


Figura 39 Caja gráfica para el parámetro conductividad de las once muestras captadas en los afluentes de la Laguna de Tacarigua

Una razón por la cual los valores de conductividad obtenidos son bajos para algunas muestras estudiadas, como lo es para el caso de las muestras rotuladas MASPGU-01, MASPGU-02, MASPSB-04, MASPLP-05, MASPMC-06, entre otras, es atribuida a su relación con el parámetro pH. Algunos autores indican que a valores más bajos de pH, las muestras de agua tienen conductividades más bajas, lo cual puede deberse a que son aguas asociadas al equilibrio $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$. [75]

Por el contrario, la presencia de los valores extravagantes de conductividad en las muestras MASPBU-03 y MASPVC-10 puede atribuirse a una posible intrusión marina, debido a la cercanía de estos puntos muestreados con la zona costera (Figura 15).

Según el Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021, 1995) el límite máximo permitido para el parámetro de conductividad está establecido únicamente para el tipo de agua clase 2, el cual es de $2000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. En función de lo cual se puede señalar que de las once (11) muestras de aguas captadas, el 82% cumple con dicho decreto, por lo tanto, se puede asociar estas muestras al uso correspondiente a este tipo de agua, indicado en la Tabla 4 que incluye el uso doméstico, protección de las comunidades hidrobiológicas, recreación de contacto total, así como uso agrícola y pecuario. Por otra parte, el 18% restante de las muestras, exhibe valores anómalos, superiores a los $2000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, por lo que no es apta para los usos asociados al tipo de agua 2.

7.3.2 Sólidos Suspendidos (SS)

Los sólidos suspendidos son aquellos materiales particulados, no sedimentados, los cuales son retenidos por filtración. ^[32]

En este caso, según la caja gráfica (figura 40) el intervalo de concentración de sólidos disueltos mínimo y máximo determinado fue de 0,01 mg/L y 0,72 mg/L respectivamente; el valor de mediana es de 0,03 mg/L; por lo tanto podría decirse que el aporte de la carga de sedimentos en las muestras de agua estudiadas es mínimo. Por este motivo es posible deducir que la presencia de esta pequeña cantidad de sólidos suspendidos en las muestras de agua analizadas se debe a minerales provenientes de la descomposición de materia orgánica y por la presencia de algunos metales en el agua. ^[73]

La caja gráfica de los sólidos suspendidos determinados en las muestras de agua captadas en los afluentes de la Laguna de Tacarigua se muestra a continuación.

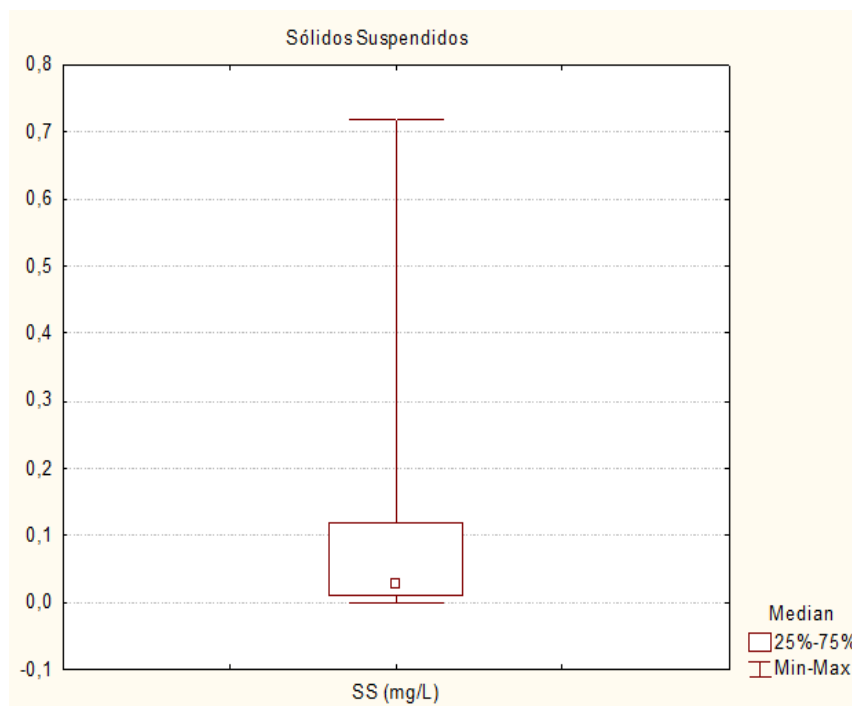


Figura 40 Caja gráfica para el parámetro sólido suspendidos.

7.3.3 Sílice disuelta (SiO_2)

Las concentraciones de SiO_2 pueden ser un indicador del tipo de litología que atraviesa el agua ^[70]. En este sentido, algunos autores señalan que la solubilidad de todos los compuestos silicatados, en el agua es relativamente baja, siendo comúnmente el intervalo de concentraciones observado de 1 hasta 30 mg/L ^[67]

En este caso en particular, las concentraciones obtenidas para la sílice disuelta (SiO_2) en los afluentes de la Laguna de Tacarigua, se presentan en la tabla 3A del apéndice A. La caja gráfica para esta especie (figura 41) indica que el valor mínimo y máximo está comprendido entre 2 y 20 mg/L respectivamente y el valor de mediana es de 14 mg/L. Cabe destacar que no se observa ningún dato anómalo para la zona de estudio y la

variabilidad de este parámetro es despreciable. La caja gráfica se muestra a continuación.

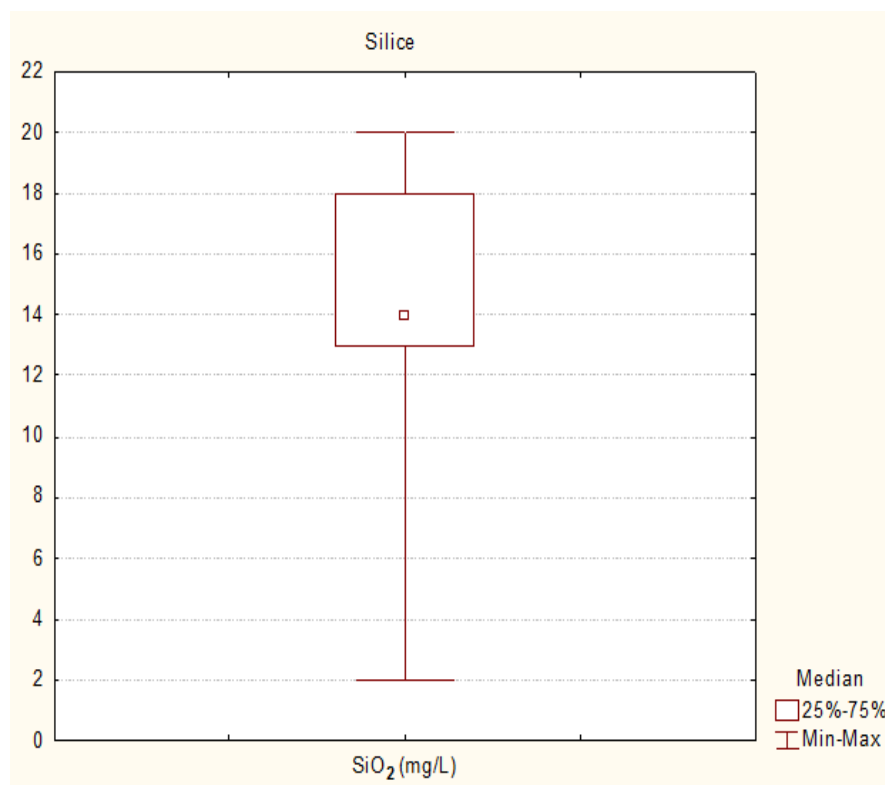


Figura 41 Caja gráfica para la sílice disuelta de las muestras estudiadas

De lo antes expuesto puede decirse que los valores de concentración de SiO_2 obtenidos para las muestras estudiadas están dentro del intervalo normal de concentración de sílice en aguas naturales. Por lo tanto, se puede indicar que esta especie en las once (11) muestras analizadas no se encuentra alterada por los efectos de las actividades antrópicas, sino que la presencia de la misma es atribuida únicamente a la meteorización de los silicatos y aluminosilicatos presentes en las formaciones geológicas de esta zona en estudio. Del mismo modo, es posible inferir que el intervalo de concentraciones obtenidas en las muestras de agua captadas refleja que la litología que atraviesan estas aguas en dichos ríos, caños y quebradas es en general más resistente a los procesos de meteorización, existiendo así una falta de

movilidad del silicio y por consiguiente sus bajas concentraciones en solución como SiO_2 . Solo algunas muestras parecen reflejar la presencia de sustratos más susceptibles frente al proceso de meteorización y por ende la concentración de SiO_2 aumenta; como ocurre específicamente con el caso de la muestra rotulada como MASPSI-08, el cual posee la mayor concentración de SiO_2 (20mg/L) respecto al resto de las muestras de agua analizadas.

Debe resaltarse que el Decreto 883 (Gaceta Oficial 5021, año 1995), no establece valores mínimos establecidos para los sólidos suspendidos (SS) ni para la sílice disuelta, (SiO_2) por lo que no se puede clasificar las aguas estudiadas a partir de estos parámetros, desde el punto de vista de la calidad química, para ninguna clase de agua.

7.3.4 Cationes: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}

Seguidamente se discute el comportamiento estadístico de las concentraciones de los cationes Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en las muestras de agua en estudio, según lo expresado en el apartado 3.3.2. En consecuencia, también se deduce la clasificación en cuanto a su calidad en base al Decreto 883 (Gaceta Oficial 5021, 1995).

Las concentraciones de estas especies se encuentran reportadas en la tabla, 2A del apéndice A y sus respectivas cajas gráficas se muestran en la figura 42.

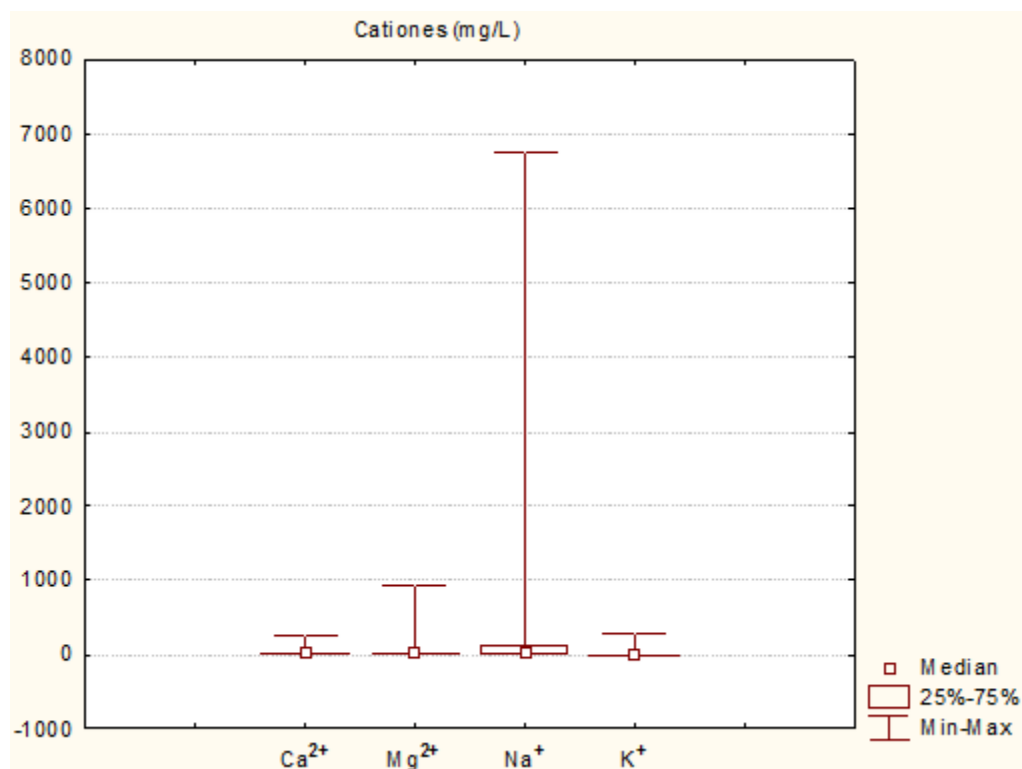


Figura 42 Cajas gráficas para los valores de concentración de Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺

7.3.4.1 El Sodio (Na⁺)

Para las muestras estudiadas, según la caja grafica (figura 42), el sodio presentó un intervalo mínimo y máximo de concentraciones que está entre 11 mg/L y 6769 mg/L respectivamente, con una mediana de 18mg/L. Se puede decir que la zona en general está dominada por bajas concentraciones de esta especie, cuyo intervalo no varía considerablemente, a excepción de los valores anómalos correspondientes a las muestras MASPBU-03, cuya concentración es de 6769 mg/L y MASPVC-10 con una concentración de 4116 mg/L.

Diversos investigadores indican que frecuentemente esta variación en las concentraciones puede atribuirse al control que ejercen las solubilidades relativas de las diferentes fuentes minerales, así como al proceso de mezcla agua de mar con el agua

contenida en estos afluentes, por efecto de la intrusión marina. Igualmente, la fuente de Na^+ puede estar asociada a procesos de alteración y meteorización, evapotranspiración, contaminación por actividades antrópicas, intercambio iónico y el posible aporte atmosférico. [70]

Específicamente para las aguas analizadas en los afluentes de la Laguna de Tacarigua, el proceso que controla la presencia de la especie Na^+ en la mayoría de las muestras con baja concentración pareciera estar asociado a la precipitación atmosférica, así como también se debe posiblemente a la meteorización de las rocas metamórficas que contiene la litología de la zona. Sin embargo la concentración de Na^+ para las muestras MASPBU-03 y MASPVC-10 aumenta considerablemente en comparación con los otros valores obtenidos, lo cual puede ser atribuido principalmente al efecto de la intrusión marina, mediante aerosoles marinos, sin descartar la posibilidad de la presencia de otras fuentes como el intercambio iónico y las actividades antrópicas del tipo doméstico, industrial y agrícola, que se desarrollan en los caseríos y zonas aledañas a estos caños. Estas últimas fuentes mencionadas pueden afectar gravemente la calidad de las aguas analizadas. [75]

Según el Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021, 1995), el límite máximo permisible para la concentración de Na^+ es de 140 mg/L, correspondientes a las aguas de clase 1, 2 y 3, mientras que para el agua clase 4, la concentración permitida para esta especie se encuentra por encima de los 140 mg/L, en función de lo cual se puede indicar que de las once (11) muestras de interés en el presente estudio, el 82% cumple con dicho decreto, para las aguas tipo 1, 2 y 3 destinadas a la fuente de abastecimiento doméstico, protección de comunidades hidrobiológicas, riego de hortalizas y legumbres, entre otros usos.

No obstante el 18% restante, es apto para los usos establecidos para el agua tipo 4, el cual destina estas muestras a usos como armonía paisajística, comercio y navegación o industrial.

7.3.4.2 El Potasio (K^+)

Para el caso del elemento potasio, de acuerdo a la caja gráfica para esta especie química (figura 42) la misma presentó un intervalo mínimo y máximo de concentraciones entre 1,2 mg/L y 299,0 mg/L respectivamente, así como una mediana de 2,0 mg/L. En general, las muestras no varían considerablemente en cuanto a sus concentraciones, a excepción de los valores anómalos correspondientes a las muestras MASPBU-03, cuyo valor de concentración es de 299 mg/L y MASPVC-10 con una concentración de 175 mg/L.

Nótese que el comportamiento mostrado por las especies Na^+ y K^+ es similar. En los afluentes de baja concentración, los valores oscilan entre 1,2 a 2,5 mg/L y pueden considerarse casi invariables, lo que puede sugerir que este elemento no está siendo influenciado por la litología de la zona. Así mismo el K^+ presenta las concentraciones más bajas de todas las especies químicas estudiadas, ya que tiene una fuerte tendencia reincorporarse dentro de los productos sólidos de la meteorización, como por ejemplo minerales de arcillas (Hem, 1985). Cabe destacar que los valores obtenidos en las muestras analizadas están cercanos a la abundancia promedio de potasio en ríos, el cual es de 2,3 mg/L ^[71]

En cuanto a las anomalías en la concentración de esta especie, detectadas en las muestras MASPBU-03 y MASPVC-10, la fuente principal de esta especie, que hace que estos caños posean concentraciones muy elevadas podría asociarse a las actividades antrópicas mediante el uso de plaguicidas o fertilizantes, como el Nitrato de Potasio, KNO_3 , empleado para la optimización de cultivos y de la ganadería en general.

En ocasiones, el mayor aporte de este elemento, puede tener como fuente de origen los residuos sólidos urbanos y la contaminación por vertidos de aguas residuales.^[72] De acuerdo a lo descrito anteriormente, puede deducirse que el potasio funciona como un buen indicador de la influencia que ejercen las actividades humanas en estos ríos caños y quebradas.

Según el Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021, 1995) el límite máximo permisible para la concentración de K^+ es menor a 20 mg/L para el agua clase 1, para las clases 2 y 3 es de 20 mg/L y para la clase 4 el límite permitido está por encima de los 20 mg/L. En ese sentido, se puede señalar que de las once (11) muestras captadas en el presente estudio, el 82% cumple con dicho decreto para el agua clase 1; mientras que el 18% restante, es apto para los usos indicados para el agua tipo 4, según lo indicado en la Tabla 4. Esto significa que el 82% de estas aguas pueden ser destinadas para los usos de fuente de abastecimiento, recreación de contacto total, riego de cultivo y armonía paisajística entre otros usos, mientras que el 18% restante de las muestras solo se asocia a usos como armonía paisajística, comercio y navegación e industria..

7.3.4.3 El Magnesio (Mg^{2+})

En la figura 42 se presenta la caja gráfica obtenida para el Mg^{2+} . Obsérvese que la misma presentó un intervalo de valores mínimo y máximo de concentraciones entre 6,5 mg/L y 917,0 mg/L respectivamente; el valor de la mediana es de 11,0 mg/L. En general, las muestras no varían considerablemente en cuanto a sus concentraciones, a excepción de los valores anómalos correspondientes a las muestras MASPBU-03, cuya concentración es de 917 mg/L y MASPVC-10 con una concentración de 478 mg/L.

En este caso puede considerarse que la concentración de Mg^{2+} en la mayoría de las muestras de agua analizadas tiene como fuente de origen la interacción agua roca,

debido al proceso de disolución de especies minerales carbonatadas como la calcita y probablemente de silicatos magnésicos.

En el mismo orden de ideas, las muestras que presentan valores anómalos de concentración están ubicadas geográficamente en zonas muy cercanas a la costa (figura15) lo que permite señalar que el proceso controlador de la presencia del Mg^{2+} en altas concentraciones es atribuido al efecto de mezcla del agua de mar con las aguas superficiales captadas, mediante aerosoles marinos, ya que el agua de mar contiene una alta concentración de Mg^{2+} en comparación a la establecida para el agua superficial.

Desde el punto de vista de la calidad química del agua, atendiendo al Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021, 1995) el límite máximo permisible para la concentración de Mg^{2+} es de 70 mg/L para las clases 1, 2 y 3 mientras que para el agua clase 4, el límite establecido está por encima de 70 mg/L. En ese sentido, de las once (11) muestras de aguas captadas en el presente estudio, el 82% cumple con dicho decreto para las clases 1, 2 y 3, las cuales pueden ser destinadas a fuentes de abastecimiento doméstico, protección de comunidades hidrobiológicas, riego de hortalizas y legumbres, entre otros usos y el 18% restante de las muestras, es apto para los usos establecidos para el agua tipo 4 ya que la concentración de estas muestras está muy por encima de los 70 mg/L., por lo tanto, estas aguas son destinadas a los siguientes usos: armonía paisajística, comercio y navegación o industrial.

7.3.4.4 El Calcio (Ca^{2+})

Estadísticamente, según la caja gráfica (figura 42) el calcio presentó un intervalo mínimo y máximo de concentraciones entre 10 mg/L y 255 mg/L respectivamente y una mediana de 11 mg/L. En general, las muestras no varían considerablemente en cuanto

a sus concentraciones, a excepción del valor anómalo correspondiente a la muestra MASPBU-03, cuya concentración es de 255 mg/L.

Obsérvese que la muestra cuyo valor de Ca^{2+} es anómalo, está ubicada en áreas cercanas a la zona costera (figura 15). Este comportamiento podría estar asociado principalmente al efecto de la probable influencia de cuñas marinas, ya que el agua de mar contiene normalmente 410 mg/L de Ca^{2+} .^[71]

Además, se pueden considerar otros factores en menor orden de prioridad, para la contribución de Ca^{2+} en las muestras analizadas, entre los que pueden incluirse la hidrólisis de silicatos cálcicos presentes en las rocas máficas^[70]; así como la presencia de sedimentos depositados en ambientes marinos, la contribución por parte de la alteración de calizas, dolomitas y anhidrita, así como plagioclasa cálcica, permitiendo en algunos casos la formación de minerales secundarios como la caolinita.^[73]

Considerando el Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021, 1995) el límite máximo permitido para la concentración de Ca^{2+} es de 200 mg/L para las clases 1, 2 y 3; mientras que para la clase 4, su límite máximo está por encima de los 200 mg/L. Debido a ello, se puede señalar que de las once (11) muestras captadas en el presente estudio, el 91% cumple con dicho decreto para las clases 1, 2 y 3 y por consiguiente estas aguas pueden ser usadas en fuentes de abastecimiento doméstico, protección de comunidades hidrobiológicas, riego de hortalizas y legumbres, entre otros uso; mientras que el 9% restante es apto para los usos establecidos para el agua clase 4, según lo establecido en la tabla 4, siendo destinada a usos como armonía paisajística, comercio y navegación o industrial.

7.3.5 Aniones: Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , HCO_3^-

Seguidamente se discute el comportamiento estadístico de las concentraciones de los aniones Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} y HCO_3^- en las muestras de agua en estudio, según lo expresado en el apartado 3.3.2 y en consecuencia, también se deduce la clasificación en cuanto a su calidad basado en el Decreto 883. (Gaceta Oficial N° 5021, 1995) Las concentraciones de estas especies químicas se encuentran reportadas en la tabla 2A, del apéndice A y las cajas gráficas de las mismas se muestran a continuación en la figura 43.

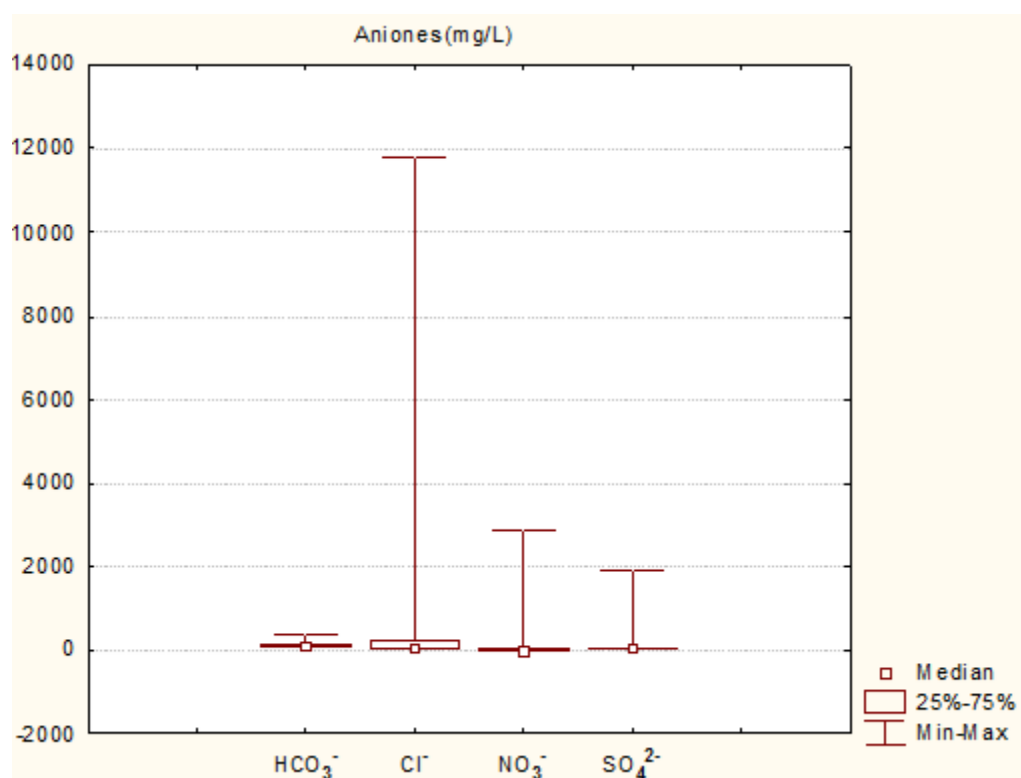


Figura 43 Cajas gráficas para los valores de concentración de Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} y HCO_3^-

7.3.5.1 El Cloruro (Cl^-)

De acuerdo a la caja gráfica del Cl^- (figura 43), esta especie química presentó un intervalo mínimo y máximo en los valores de concentraciones de 9,7 mg/L y 11793,0 mg/L respectivamente; el valor de la mediana es 22,0 mg/L.

En general, las muestras no varían considerablemente en cuanto a sus concentraciones, a excepción de los valores anómalos correspondientes a las muestras MASPBU-03, cuya concentración es de 11793,0 mg/L y MASPVC-10 con una concentración de 8167,3 mg/L. Es importante resaltar que las concentraciones anómalas están muy alejadas del valor de la mediana obtenido y su comportamiento estadístico es muy similar al elemento sodio, apuntando esto hacia un origen común para ambas especies.

En ese sentido, puede señalarse que el Cl^- es liberado rápidamente a la fase acuosa pudiendo alcanzar concentraciones muy altas. Asimismo, puede señalarse que una de las posibles fuentes de origen para este ion en algunas muestras analizadas es el aporte atmosférico, no descartando a su vez, la presencia de sales evaporíticas que durante los eventos atmosféricos aporten mayor concentración de este ión hacia las aguas superficiales. [74]

Sin embargo, para el caso de las muestras que presentan valores elevados de Cl^- , puede decirse que la distribución espacial juega un papel importante. De acuerdo a la figura 15, estas muestras fueron captadas en zonas cercanas a la costa y a su vez con caseríos aledaños a los caños, por lo tanto la fuente principal que aporta la especie Cl^- a estas aguas estudiadas está asociada a los probables efectos de mezcla con agua de mar por el proceso de intrusión marina, mediante los aerosoles marinos, así como también a causa de actividades antrópicas como los vertidos urbanos, el agua de riego u otra actividad humana que pueda aportar cantidades importantes de sales.

De acuerdo al Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021, año 1995) el límite máximo permitido para la concentración de Cl^- es de 300 mg/L para la clase 1; mientras que para las clases 2 y 3, es de 250 mg/L, en cuanto a las aguas clase 4 el límite máximo de concentración está por encima de los 250 mg/L. Atendiendo a este decreto, de las once (11) muestras estudiadas el 82%, se pueden clasificar como aguas clase 2 y 3

siendo destinada a fuentes de abastecimiento previo acondicionamiento para uso doméstico, recreación de segundo contacto, riego de cultivos arbóreos, entre otros; mientras que el resto de las muestras sobrepasan los límites establecidos para los primeros tipos de aguas, siendo aptas únicamente para los usos establecidos para el agua clase 4 cuyos provechos son .la armonía paisajística, comercio y navegación o industrial.

7.3.5.2 El Sulfato (SO_4^{2-})

Para este ión, la caja gráfica (figura 43) muestra un intervalo mínimo y máximo de concentraciones entre 3,1 mg/L y 1909,2 mg/L respectivamente; el valor de la mediana es 13,4 mg/L. Ciertamente, las muestras no varían considerablemente en cuanto a sus concentraciones, pero existe la excepción de los valores anómalos correspondientes a las muestras que presentan las concentraciones más elevados de SO_4^{2-} , como lo son las muestras MASPBU-03, cuya concentración es de 1909,2 mg/L y MASPVC-10 con una concentración de 1221,0 mg/L.

Nótese que espacialmente (figura 15) los valores anómalos se corresponden con las muestras de aguas que fueron captadas en áreas cercanas a la zona costera. Esto a su vez permite apoyar el probable aporte de Cl^- , el cual se mencionó anteriormente, hacia las aguas superficiales, por efecto de la intrusión marina, debido a los aerosoles marinos. El agua de mar posee normalmente una concentración de 2700 mg/L de SO_4^{2-}

En la literatura se señala que la procedencia del SO_4^{2-} en las aguas superficiales se origina a partir de la oxidación de las menas de sulfato, la presencia de esquistos, la existencia de residuos industriales, así como el agua de lluvia.^[58] No obstante, para este estudio en particular la presencia de SO_4^{2-} en las muestras de agua se puede atribuir principalmente a actividades urbanas, industriales y en ocasiones agrícolas que se realizan en caseríos cercanos a los ríos, caños y quebradas muestreadas.

Atendiendo el Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021, 1995) el límite máximo permisible para la concentración de SO_4^{2-} es de 340 mg/L para las clases de agua 1, 2 y 3; mientras que para la clase 4 el valor reportado está por encima de los 340 mg/L. Los intervalos obtenidos para las muestras de agua estudiadas, así como el correspondiente a las concentraciones anómalas (tabla 2A, apéndice A) permite señalar que de las once (11) muestras de aguas captadas, el 82% cumple con lo establecido en dicho decreto para las aguas tipo 1, 2 y 3 que incluyen el uso de fuentes de abastecimiento doméstico, protección de comunidades hidrobiológicas, riego de hortalizas y legumbres, entre otros usos ; entretanto, el 18% restante, son aptas para los usos correspondientes al tipo de agua clase 4, por lo que están destinadas a usos como la armonía paisajística, el comercio y navegación o la industria.

7.3.5.3 El Nitrato

En el mismo orden de ideas, para el nitrato el intervalo mínimo y máximo de concentraciones, obtenido a partir de su caja gráfica (figura 43) está entre 0,57 mg/L y 2838,07 mg/L respectivamente; el valor de la mediana es 1,02 mg/L. Estas muestras no varían considerablemente en cuanto a sus concentraciones, a excepción de los datos anómalos correspondientes a las muestras que presentan los valores más alejados de la mediana, como lo son MASPBU-03, cuya concentración es de 2838,07 mg/L y MASPVC-10 con una concentración de 225,02 mg/L, captadas en zonas cercanas a la costa (figura 15).

Diversos autores señalan que en aguas superficiales las concentraciones de ésta especie deben encontrarse por debajo de los 10 mg/L, de lo contrario se estaría en presencia de aguas alteradas, producto de las actividades realizadas por el hombre. En ese sentido, es importante destacar que los sectores con las concentraciones más altas de NO_3^- posiblemente estén siendo afectados por procesos de contaminación, tales como las faenas agropecuarias o como consecuencia de la lixiviación de la materia

fecal de los animales. Muchos fertilizantes sintéticos contienen en su composición al nitrógeno, el cual es posteriormente convertido por las bacterias del suelo en NO_2^- y NO_3^- , proceso que es llamado “nitrificación” (Hem, 1985). Es posible que para el resto del área de estudio el mecanismo que esté operando sea la nitrificación natural o que el NO_3^- provenga en pequeñas proporciones del agua de lluvia. [73]

Por otra, según el Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021, 1995) el límite máximo permisible para la concentración de NO_3^- es 10 mg/L para las clases 1 y 2; mientras que para las clases 3 y 4 no existen valores reportados. En función de lo cual se puede señalar que, de las once (11) muestras en las cuales se detectó esta especie, solo el 82% cumple con dicho decreto; mientras que el 18% restante no es apto para los usos establecidos en la tabla 4 para las clases 1 y 2. Esto permite recalcar que hay áreas que están sufriendo el impacto de actividades antrópicas, destacando de forma particular los sectores caño El Burro y puente Villa Cruz, cuyos valores de concentración siempre se encuentran por encima de los valores límites establecidos por la normativa nacional.

7.3.5.4 El Bicarbonato

Por último, para la especie bicarbonato, la caja gráfica elaborada (figura 43) permitió visualizar su intervalo en la zona de estudio, el cual presenta un mínimo y máximo de concentraciones entre 66 mg/L y 338 mg/L respectivamente; el valor de la mediana es 86 mg/L. En general las muestras no varían considerablemente en cuanto a sus concentraciones.

Adicionalmente, algunos autores plantean diversos orígenes para la especie HCO_3^- , entre los que se encuentran la disolución de CO_2 atmosférico o del suelo con el agua superficial, la disolución de calizas y dolomitas e hidrólisis de silicatos catalizadas por el

CO₂ atmosférico; no obstante, es posible que en este caso todos los procesos estén actuando al mismo tiempo.^[74]

Tal como se ha señalado con anterioridad, las muestras que presentan los valores más elevados de HCO₃⁻, como lo son las muestras MASPBU-03 y MASPVC-10, captadas en los sectores caño El Burro y puente Villa Cruz respectivamente, fueron captadas en zonas muy cercanas a la costa (figura 15), lo que permite suponer que la principal fuente de HCO₃⁻ está controlada por el efecto de aerosoles marinos. Igualmente influye la disolución de rocas carbonáticas, así como también se puede atribuir su origen a las actividades antrópicas desarrolladas en los alrededores de estos caños, lo que aumenta la concentración de este ión en dichas muestras de agua.

De acuerdo al Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021, 1995) el límite máximo permisible para la concentración de HCO₃⁻ es 370 mg/L para las clases 2 y 3, mientras que para las clases 1 y 4, no se reporta un valor máximo. Nótese en la tabla 20, donde son comparados los intervalos obtenidos en las aguas estudiadas con los límites de los intervalos recomendados por este decreto que de las once (11) muestras de aguas captadas en el presente estudio, el 100% de las muestras cumple con dicho decreto y son aptos para los usos establecidos en la tabla 4 para las clases 2 y 3, por lo tanto, estas muestras están destinadas a fuente de abastecimiento doméstico previo acondicionamiento, para recreación de segundo contacto, agua de riego, entre otros usos.

Finalmente, es importante resaltar que la tendencia alcanzada para las especies determinadas analíticamente en el laboratorio fue la misma que se esperaba conseguir desde la medición en campo a partir de los parámetros salinidad y conductividad.

Es decir, en puntos donde la conductividad y la salinidad de las muestras fueron bajas la concentración de iones en solución fue menor, mientras que en las zonas donde los

valores de ambos parámetros fue elevada, se obtuvo una alta concentración de iones minoritarios y mayoritarios en solución, por lo que existe correspondencia con los resultados obtenidos.

Especialmente, también existe concordancia en cuanto a los valores anómalos detectados para todas las muestras de agua captadas, específicamente con las muestras MASPBU-03 y MASPVC-10 correspondientes al caño El Burro y el puente Villa Cruz, que tienen como fuente principal de estas especies los aerosoles marinos; sin embargo las actividades antrópicas también juegan un papel importante en la concentración de algunos iones para estas muestras en particular.

7.4 Caracterización hidrogeoquímica

En esta sección se realiza la caracterización hidrogeoquímica de las muestras de aguas superficiales captadas en afluentes de la Laguna de Tacarigua, con el propósito de clasificar los tipos de aguas presentes según la concentración de sólidos disueltos totales (SDT) y su composición química, utilizando como herramienta el diagrama de Piper. Igualmente, se discute la calidad química de dichas aguas y su uso potencial, de acuerdo a lo establecido en el Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021, 1995).

7.4.1 Sólidos disueltos totales (SDT)

La determinación de los sólidos disueltos totales (SDT) para cada una de las muestras, se obtuvo mediante la sumatoria de las especies químicas analizadas (cationes, aniones y SiO_2). Los datos obtenidos para cada una de las muestras se encuentran reflejados en la tabla 3A del apéndice A y la fórmula empleada en el apéndice F.

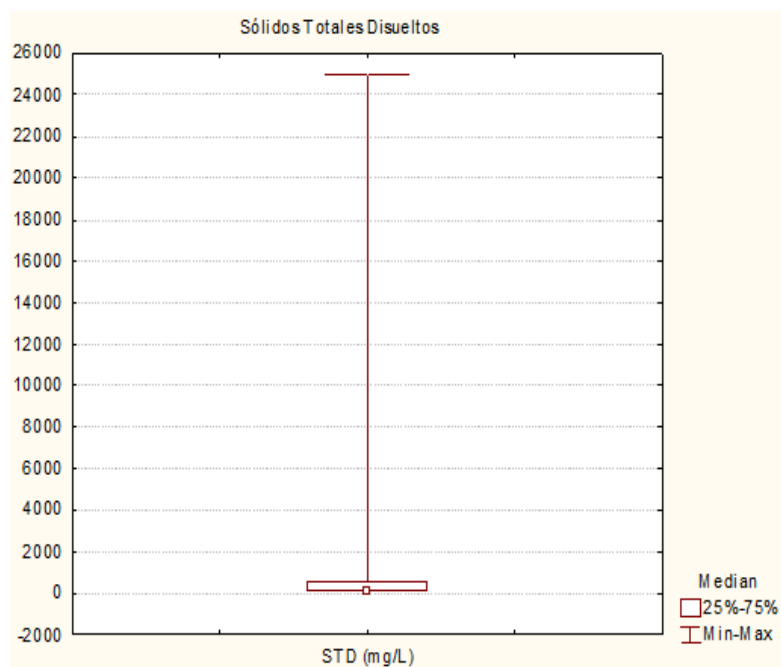


Figura 44 Caja gráfica de los SDT para las muestras de agua analizadas

Para el caso de las muestras de aguas correspondientes a la zona de estudio, se realizó una caja gráfica (figura 44) en la cual los sólidos disueltos totales, (SDT), tienen un valor mínimo y máximo entre 133 y 24972 mg/L respectivamente, presentando una mediana de 192 mg/L. De igual manera, existen valores anómalos en las muestras MASPBU-03 con una concentración de 24972 mg.L⁻¹ y la muestra MASPVC-10 con una concentración de 14908 mg.L⁻¹.

Atendiendo a la clasificación de las aguas según la concentración de los SDT que está reflejada en la tabla 6 del apartado 3.4.2, expresada por Hem (1985) se puede señalar que el 82% de las muestras se clasifican como aguas naturales o dulces, mientras que el 18% restante se clasifican como aguas saladas, ya que superan los 10.000 mg/L.

Nótese que los datos anómalos concuerdan con la tendencia observada en el parámetro de conductividad para las muestras MASPBU-03 y MASPVC-10, las cuales poseen elevados valores de conductividad. Esto indica una mayor concentración de iones en solución, Hem (1985) señala que la conductividad depende de los iones en solución, así como el tamaño y carga de los mismos [71]

En función de lo antes expuesto, el Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021, 1995) establece que el límite máximo permisible para la concentración de SDT es de 1300 mg/L para los tipos de aguas correspondientes a las clases 1, 2, 3; mientras que para la clase 4, no hay un valor reportado. Por lo tanto, se puede señalar que de las once (11) muestras el 82% están por debajo de dicho límite, cumpliendo así con el Decreto para las tres primeras clases por lo que a este grupo de muestras se les puede asociar al uso correspondiente a cada una de ellas, indicado en la Tabla 4, que incluye usos como el uso de fuentes de abastecimiento doméstico, protección de comunidades hidrobiológicas, riego de hortalizas y legumbres, entre otros. Por consiguiente, para el 18% restante de las muestras, estas no entran dentro del intervalo establecido en el Decreto, por lo que no se clasifica en ninguna clase de agua.

7.4.2 Diagrama de Piper

El diagrama de Piper es una herramienta geoquímica que permite interpretar y clasificar aguas a partir de los análisis químicos basados en la concentración que presentan las especies químicas principalmente mayoritarias. Adicionalmente, este diagrama permite inferir posibles procesos involucrados o responsables de dicha composición, destacando los de mezclas de masas de agua, así como los de evolución hidrogeoquímica de las mismas. ^{(21) (55) (57)}. Este diagrama fue elaborado utilizando el programa computacional para el procesamiento de datos RockWorks 2007.

La figura 45 presenta diagrama de Piper obtenido para las aguas de los afluentes de la Laguna de Tacarigua, donde se puede observar (4) cuatro tipos de agua asociadas a la zona de estudio:

- a) Bicarbonatadas sódicas- cálcicas.
- b) Bicarbonatadas sódicas- magnésicas.
- c) Cloruradas sódicas- potásicas.
- d) Cloruradas sódicas- cálcicas
- e) Cloruradas sódicas- magnésicas

El diagrama de Piper obtenido para las once (11) muestras de agua superficiales captadas en la zona de estudio, es presentado en la figura 45, mostrada a continuación.

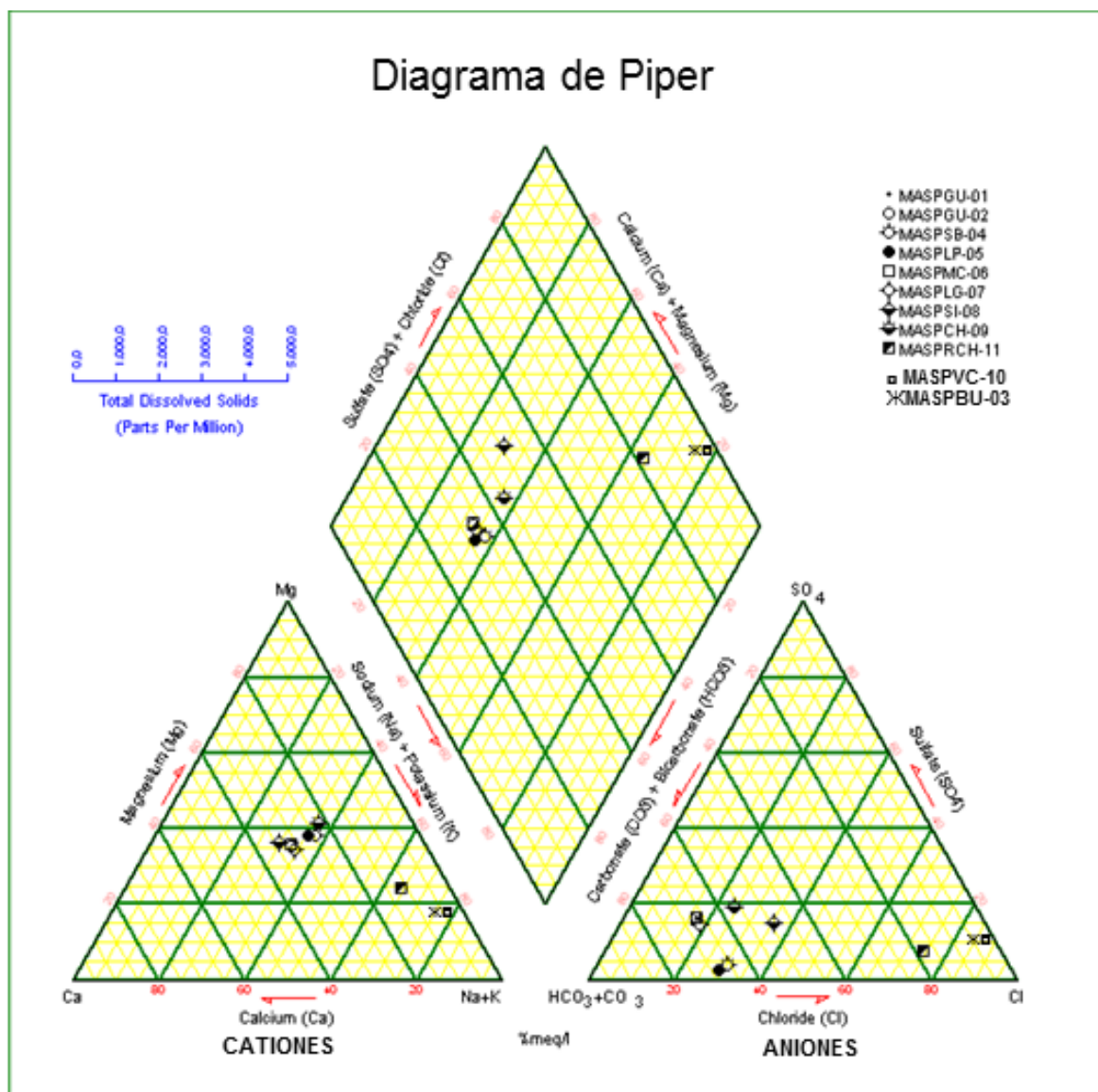


Figura 45 Diagrama de Piper para las muestras de agua de los afluentes de la Laguna de Tacarigua

La distribución de los tipos de agua se muestra en la tabla 15

Tabla 15 Tipos de aguas según el diagrama de Piper

Bicarbonatada Sódicas/ Cálcicas	Bicarbonatadas Sódicas/ Magnésicas	Clorurada Sódicas/ Potásicas	Clorurada Sódicas/ Cálcicas	Clorurada Sódicas/ Magnésicas
MASPGU-01	MASPCH-09	MASPBU-03	MASPVC-10	MASPRCH-11
MASPGU-02	--	--	--	--
MASPSB-04	--	--	--	--
MASPLP-05	--	--	--	--
MASPMC-06	--	--	--	--
MASPLG-07	--	--	--	--
MASPSI-08	--	--	--	--

El diagrama obtenido permite indicar que la mayoría de las muestras de agua estudiadas poseen una tendencia en aniones hacia el enriquecimiento en HCO_3^- ; también se observa un enriquecimiento hacia Cl^- en las muestras 3, 10 y 11. Por otra parte, este diagrama indica que en cuanto a composición catiónica, existe una tendencia preferencial de la mayoría de las muestras hacia el enriquecimiento de Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} . Este comportamiento permite señalar que, de acuerdo a esta clasificación, las aguas superficiales bajo estudio, están recibiendo un aporte mayoritario de las especies HCO_3^- y de Na^+ .

Los cinco tipos de agua identificadas a través del diagrama de Piper (figura38), están distribuidos como Bicarbonatadas sódicas cálcicas ($\text{Na}^+\text{-Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$) en un 63% de la población total de las muestras, el tipo Bicarbonatadas sódicas magnésicas ($\text{Na}^+\text{-Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^-$) en un 8%, las Cloruradas sódicas potásicas ($\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-Cl}^-$) en el 8% de las muestras, el tipo Cloruradas sódicas cálcicas ($\text{Na}^+\text{-Ca}^{2+}\text{-Cl}^-$) en el 8% de las muestras y finalmente el agua tipo Cloruradas sódicas magnésicas ($\text{Na}^+\text{-Mg}^{2+}\text{-Cl}^-$) en el 8% de las muestras restantes.

La fuente de HCO_3^- en las aguas estudiadas puede ser diversa, encontrándose la asociada al equilibrio $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ atmosférico; así como el proveniente de la meteorización de aluminosilicatos y silicatos, sin descartar el referido CO_2 originado durante el proceso fotosintético. La fuente de Cl^- y Na^+ , está asociado a la posible intrusión marina, que ejerce un efecto de mezcla agua de mar, agua dulce que hace que aumente considerablemente la concentración de estas especies en las muestras de aguas estudiadas.

Es de suma importancia recalcar que no hay posibilidad de contrastar los resultados obtenidos con otros estudios pues no se han efectuado análisis previamente en la zona de interés.

7.5 Calidad de agua

Para determinar la calidad de las muestras de agua estudiadas, es necesario evaluar los parámetros físicos y químicos que pueden afectar su uso potencial atendiendo al Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021, 1995) sobre normas de agua de calidad de agua. Estos parámetros son la demanda química de oxígeno (DQO), pH, conductividad, especies químicas mayoritarias y minoritarias, elementos traza y los indicadores microbiológicos. Finalmente se hace un análisis de estas concentraciones en función de lo expresado en la ley para determinar el tipo de agua asociado a las muestras y su uso.

7.5.1 Demanda química de oxígeno (DQO)

Un parámetro que puede ser empleado para determinar la calidad química de las aguas en estudio es la demanda química de oxígeno (DQO). Esta es una medida que se aplica por lo general, a aguas residuales y se define como la cantidad de oxígeno consumido por las materias oxidables existentes, a unas condiciones determinadas en el agua ya sea su origen orgánico o mineral.

En ese sentido, atendiendo a lo recomendado por la American Society for Testing Materials (ASTM), la demanda química de oxígeno (DQO), solo se puede determinar en muestras cuyo valor de concentración Cl^- se encuentren por debajo de 2000 mg/L, ya que las muestras con valores por encima de esta concentración ocasionan interferencias en el método. Es por ello, que la determinación de este parámetro no se realizó para las muestras MASPBU-03 y MASPVC-10 ya que las concentraciones de Cl^- sobrepasan los límites adecuados. Además, no se disponía de suficiente material para captar todas las muestras por lo que solo se realizó el estudio de DQO en seis (6) de los once (11) puntos muestreados en afluentes de la Laguna de Tacarigua. En el apéndice F se encuentra la información referente a la metodología empleada para llevar a cabo este análisis, así como también se ubica expresado en la tabla 1F, las concentraciones de la demanda química de oxígeno (DQO) obtenidas para las muestras estudiadas.

El intervalo mínimo y máximo de concentración de DQO es de 3 a 40 mg/L respectivamente, y el valor de la mediana es de 17 mg/L

Clasificando los resultados obtenidos en función a lo establecido en la tabla 9 del apartado 3.4.3, se tiene que las muestras MASPLG-07 y MASPCH-09 poseen concentraciones por debajo de los 10 mg/L de O_2 , por lo que pueden ser consideradas de excelente calidad y no poseen contaminantes. Seguidamente, la muestra MASPGU-01 cuya concentración de O_2 no excede los 20mg/L permite que sea clasificada como agua de buena calidad, con bajo contenido de materia orgánica biodegradable. Finalmente las muestras MASPLP-05, MASPMC-06 y MASPSI-08, al tener concentraciones hasta los 40mg/L de O_2 , son consideradas como aguas de calidad aceptable, con mínimos indicios de contaminación y con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. ^[34]

De acuerdo a la normativa vigente en el Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021, 1995) para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Aguas y Vertidos o Efluentes Líquidos, en su Sección IV, que se refiere específicamente a las descargas al medio marino-costero, establece un valor límite para la demanda química de oxígeno, (DQO), de 350 mg/L de O₂. (tabla 16). Nótese que los valores de concentración de O₂ obtenidos en las muestras analizadas están distribuidos homogéneamente y no sobrepasan el límite establecido en la normativa nacional.

En resumen, puede señalarse que ninguna muestra supera el nivel límite establecido por la normativa nacional, por lo que se pueden considerar no contaminadas y a su vez se puede concluir que poseen una pequeña cantidad de materia orgánica.

7.5.2 Elementos traza

Los elementos traza o metales pesados son aquellos que se caracterizan por tener una densidad relativamente alta y pesos atómicos que oscilan entre 64 y 300 µg/mol. Estos elementos se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza y algunos de ellos pueden ser benéficos y esenciales para los procesos vitales del hombre, así como también otros pueden llegar a ser muy tóxicos.

Atendiendo a lo anteriormente señalado, hay que tener en cuenta que la exposición del hombre a contaminantes metálicos, introducidos en su medio ambiente por la producción industrial, ha ido incrementando en los últimos años debido a que muchos de ellos se han utilizado durante largos períodos de tiempo y esto puede perjudicar la salud humana, y a su vez, transformar el equilibrio de los sistemas ambientales si se permite que alcancen concentraciones excesivas en el agua, suelo y aire

Con el propósito de conocer las concentraciones de estos elementos traza en las muestras de agua captadas en los afluentes de la Laguna de Tacarigua y determinar si las concentraciones están dentro del límite establecido en el Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021, 1995), se procedió a realizar una caracterización hidroquímica de las aguas estudiadas, mediante la determinación de los elementos traza Al, B, Ba, Fe, Li, Mn, Ni y Sr. La concentración de estas especies se encuentra reportada en la tabla 3 A del apéndice A.

A continuación se discute en detalle, desde el punto de vista de variabilidad estadística, las concentraciones de los elementos traza determinados en las diferentes zonas muestreadas. Los siguientes intervalos de concentraciones, se encuentran reportados en microgramo por litro ($\mu\text{g/L}$) para cada elemento:

7.5.2.1 Aluminio (Al)

Para el caso de las muestras analizadas, el intervalo mínimo y máximo de concentraciones obtenido para el Al está entre $90 \mu\text{g/L}$ y $832 \mu\text{g/L}$ respectivamente; el valor de la mediana es de $223 \mu\text{g/L}$

La concentración del Al en aguas superficiales naturales es bastante pequeña, debido al intervalo de pH, entre 6 a 8,5 unidades, ya que la solubilidad de este elemento, comúnmente presente en las rocas y suelos en forma de feldspatos y aluminosilicatos, es muy baja en estas condiciones.

7.5.2.2 Boro (B)

En relación a la determinación del B en la zona en estudio, solo se reportan valores de concentración para las muestras MASPBU-03 cuya concentración es de $674 \mu\text{g/L}$ y para la muestra MASPVC-10 de concentración $379 \mu\text{g/L}$, ambas muestras captadas en

el sector Caño el Burro y puente Villa Cruz respectivamente, las cuales estaban muy cercanas a la zona costera (figura 15).

Es importante destacar que el B es un constituyente minoritario en la mayoría de las aguas. Es esencial en pequeñas cantidades para el crecimiento de las plantas y en concentraciones excesivas, es perjudicial tanto en los suelos como en las aguas de riego pudiendo ser tóxico para ciertas plantas. Proviene de la alteración de rocas ígneas, gases volcánicos, terrenos evaporíticos, agua marina que contiene 4,6 mg/L de este elemento y detergentes.

El B detectado en los sitios señalados podría estar asociado tanto a fuentes marinas como a las actividades antrópicas que se generan en los caseríos aledaños a los caños muestreados.

7.5.2.3 Bario (Ba)

Con respecto a los valores obtenidos en el análisis realizado en las muestras de interés, el intervalo mínimo y máximo de concentraciones está entre 12,5 µg/L y 20,8 µg/L respectivamente; el valor de la mediana es 16,9 µg/L.

Desde el punto de vista geoquímico, el Ba se caracteriza por estar asociado a depósitos evaporíticos. Este elemento no presenta ninguna correlación con alguna especie en específico; sin embargo, su presencia en el agua puede deberse posiblemente a la disolución de fases carbonáticas, como la calcita.

7.5.2.4 Hierro (Fe)

Por su parte, el Fe para la zona de estudio posee un intervalo mínimo y máximo de concentraciones que está entre 110 µg/L y 1116 µg/L, respectivamente; el valor de la mediana es 488 µg/L.

El Fe es un elemento esencial para el metabolismo de animales y plantas. La concentración de este elemento en el agua está controlada por procesos de equilibrio químico como oxidación-reducción, precipitación y disolución de hidróxidos, formación de complejos especialmente con materia orgánica y también por la actividad metabólica de animales y plantas. Es relativamente complejo, ya que puede existir en los estados de oxidación Fe (II) y Fe (III); sin embargo, en aguas profundas desprovistas de oxígeno, se presentan en forma reducida (estado de oxidación + 2) y disuelta.

Debido a las altas concentraciones de Fe en las muestras captadas en algunos afluentes de la Laguna de Tacarigua, probablemente el mismo está presente como material coloidal en la forma de oxihidróxidos sorbidos o formando complejos con la materia orgánica.

7.5.2.5 Litio (Li)

Para esta especie, solo se reportan valores para las muestras MASPBU-03 cuya concentración es de 295 µg/L y para la muestra MASPVC-10 de concentración 132 µg/L, ambas captadas en los sectores caño el Burro y puente Villa Cruz respectivamente

Los datos relativos a las concentraciones de Li en el agua son escasos, por lo que no se determina a menudo en los análisis rutinarios de agua. Sin embargo, para conocer el origen de este elemento en el agua, puede señalarse que una de las formas como comúnmente pasa a estar presente en los cuerpos de agua es debido a que el Li se

lixivia a partir de rocas durante el proceso de meteorización, y, debido a que los compuestos simples de este elemento son fácilmente solubles, por lo que tienden a permanecer en solución

Nótese que los sectores donde se obtuvieron los valores de Li tienen influencia tanto costera como de las actividades urbanas del área, pues se trata de un caño donde son vertidas aguas residuales de la población. Esto permite señalar que el Li pudiera ser originado por procesos asociados a los fenómenos antes señalados

7.5.2.6 Manganeseo (Mn)

En las muestras captadas en los afluentes de la Laguna de Tacarigua, el Mn tiene una concentración mínima y máxima de 18 µg/L y 201 µg/L respectivamente; el valor de la mediana es 45 µg/L.

La concentración de este elemento en el agua depende considerablemente de las condiciones de pH presentes en el medio. Además el Mn es esencial para el metabolismo de las plantas. Aunque suele pensarse que su comportamiento es similar al del Fe, existen notables diferencias. Se puede encontrar en forma de Mn^{2+} o en forma de complejo ($Mn HCO_3^+$)

En las aguas estudiadas, el Mn podría estar asociado al Fe, en la formación de oxihidróxidos acomplejados o sorbidos sobre la materia orgánica y es transportado en forma de coloide.

7.5.2.7 Níquel (Ni)

El elemento Ni solo se detectó en seis (6) de las once (11) muestras captadas, con un intervalo mínimo y máximo de concentraciones entre 35 µg/L y 2822 µg/L respectivamente; el valor de la mediana es 2,7 µg/L.

Existe poca información acerca de su origen, cualquier cantidad de Ni en agua es probable que sea en pequeñas cantidades y podría estar en un estado coloidal. Existen estudios que señalan que el Ni puede ser transportado en los oxihidróxidos del Fe y Mn, lo que no descarta que ese sea el proceso asociado para estas especies en este estudio.

7.5.2.8 Estroncio (Sr)

Por su parte, la única muestra donde no se detectó el Sr fue para la muestra MASPSB-04, para las muestras restantes, los valores obtenidos están por encima del límite de detección, siendo el intervalo mínimo y máximo de concentraciones de 35 µg/L y 2822 µg/L respectivamente; el valor de la mediana es 51 µg/L.

La presencia de Sr en aguas naturales se debe a que este elemento frecuentemente reemplaza al Ca en sales formadas con sulfatos, carbonatos, pocas veces con cloruros y es asociado a rocas carbonatadas y aportes de agua de mar.

En resumen, de acuerdo al Decreto 883 (Gaceta Oficial 5021, 1995), que clasifica las aguas según su uso, en la sección III de este Decreto para los afluentes que desembocan en ríos, estuarios y lagos que se puede tomar como referencia, no establece límite para elementos como Li y Sr; solo para B 5000 µg/L, Ba 5000 µg/L, Hg 2000 µg/L y Fe 10000 µg/L, por lo tanto estos últimos valores se tomaron como referencia, aunque en la norma solo lo tomen en cuenta para los afluentes.

El artículo 10 del Decreto 883, (Gaceta Oficial 5021, 1995), a los fines de establecer los intervalos y límites máximos de calidad de vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses se muestra la siguiente tabla

Tabla 16 Concentraciones de elementos traza y demanda química de oxígeno (DQO)

Elemento	Concentración (mg/L)	Elemento	Concentración (mg/L)
Aluminio total	5,0	Hierro total	10
Bario total	5,0	Manganeso total	2,0
Boro	5,0	Litio	5
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	350	Níquel	0,5

De la tabla 16 se puede inferir que los elementos traza y la demanda química de oxígeno (DQO) para el caso de las muestras estudiadas en los afluentes de la Laguna de Tacarigua no superan los valores límites establecidos en la normativa nacional, por ende estas especies no afectan la calidad de las aguas estudiadas.

7.5.3 Análisis microbiológico

El riesgo de contaminación tanto a nivel humano como ambiental, hace necesario el control de la presencia de microorganismos en el agua, lo cual al determinarlos y cuantificarlos, proporciona herramientas indispensables no solo para conocer la calidad del agua, sino para la toma de decisiones importantes en relación al control de vertidos, posibles tratamientos y conservación de los ecosistemas ^[48].

La determinación de microorganismos patógenos e infecciosos que pueden ser los causantes de muchas enfermedades a través de su consumo en el agua, es muy difícil de realizar no solo por cuestión de tiempo sino de costos, por lo que se usan indicadores microbiológicos como coliformes totales, coliformes fecales y enterococos los cuales, a pesar de comportarse como los microorganismos patógenos, son más fáciles de aislar y cuantificar.

En este estudio se procedió a la determinación de los indicadores microbiológicos de calidad de las aguas, así como también, a la cuantificación de dos grupos de microorganismos como son las bacterias heterótrofas (indicadoras de la presencia de materia orgánica) y las especies de *Vibrios*, género que comprende al menos doce especies patógenas para los seres humanos, ocho de las cuales pueden causar o estar asociados con enfermedades gastrointestinales transmitidas por alimentos o aguas contaminadas entre ellos *Vibrio Cholerae*^[40].

Indicadores de Calidad Microbiológica

La presencia de indicadores de calidad microbiológica como los coliformes totales y coliformes fecales en un cuerpo de agua determinado, puede ser usada para detectar contaminación fecal reciente; mientras que la presencia de enterococos indica la contaminación fecal antigua ^[72].

Es importante recordar que el análisis de estos indicadores sólo se llevó a cabo en seis (6) de las once (11) muestras captadas y que su determinación se efectuó durante la etapa de muestreo, para evitar la proliferación de otros microorganismos que pudiesen afectar la concentración real de las especies a analizar. Sin embargo, el recuento de estas especies se ejecutó durante la etapa de laboratorio.

7.5.3.1 Coliformes totales (CT)

Este indicador microbiológico, obtenido en las muestras en estudio de algunos afluentes de la Laguna de Tacarigua, tiene un rango de concentración mínimo y máximo de 1×10^5 y 8×10^8 UFC/100mL respectivamente. El valor de la mediana obtenido es de 2×10^8 UFC/100mL

Cabe destacar que el Caño Madre Casañas es el sector en estudio que contiene la mayor concentración de esta especie, esto podría ser el resultado de que esta es una zona donde la descarga de aguas traen consigo una concentración considerable tanto de sedimentos como de aguas residuales, provenientes de las diversas poblaciones cercanas a este lugar.

En relación a los valores obtenidos, de forma general es posible argumentar que estos indican que las aguas en análisis se encuentran sometidas a un importante proceso de contaminación fecal probablemente asociado a las actividades humanas a través del vertido de aguas con alto contenido de heces humanas, estiércol animal, lixiviado desde el suelo, así como restos de madera sumergida que no reciben ningún tratamiento, lo que hace que estos valores sean tan elevados.

Con respecto al Decreto 883 (Gaceta Oficial 5021, 1995), el límite máximo permisible para este indicador microbiológico en las aguas tipo 1,2 y 3 es de 1×10^3 UFC/100mL; mientras que para el agua tipo 4, el límite máximo de concentración es de 2×10^3

UFC/100mL. De acuerdo a los valores obtenidos para las muestras analizadas, todas se encuentran por encima de los valores mínimos establecidos por la normativa nacional, por lo que ninguna de estas muestras es considerada de calidad microbiológica aceptable, lo que trae como consecuencia que estos afluentes sean declarados zonas no aptas para ser clasificada en algún tipo de agua.

7.5.3.2 Coliformes fecales (CF)

Los coliformes fecales se emplean en muchos lugares como bacteria indicadora de calidad de aguas, esto debido a que es recomendado por la EPA (Agencia Ambiental de los Estados Unidos) desde 1986.^[63]

Los coliformes fecales se encuentran tanto en el ambiente como en las heces fecales de animales y humanos, por lo tanto, en este estudio son evaluados para determinar si este organismo patógeno podría estar presentes en las muestras captadas. Para los afluentes estudiados, este indicador tiene un intervalo de concentración mínimo y máximo de 1×10^4 y 4×10^4 UFC/100mL respectivamente.

Nótese en la tabla 4A, del apéndice A, que tres (3) de las seis (6) muestras analizadas no muestran valores significativos de este indicador; mientras que, en las tres muestras restantes, el Caño Madre Casañas es nuevamente la zona en estudio que contiene la mayor concentración del indicador microbiológico. Esto implica un riesgo de infección por parte de este microorganismo para la población expuesta al agua de este caño.

En relación al Decreto 883 (Gaceta Oficial 5021, 1995), el límite máximo permisible para este indicador microbiológico en las aguas tipo 1 es de 75 UFC/100mL, mientras que para las aguas tipo 2 y 3 es de 1×10^2 UFC/100mL. Finalmente, para el agua tipo 4, el límite máximo de concentración no se encuentra reportado.

En resumen, contrastando los valores obtenidos para las muestras analizadas, con lo establecido en la normativa nacional, se tiene que tres de las muestras se encuentran por encima de los valores mínimos establecidos, por lo tanto, no son aptas para ser clasificadas las aguas tipo 1, 2 y 3. Para las tres muestras que no reportaron valores significativos de este indicador, se puede concluir que las mismas pueden clasificarse como agua tipo 1, cuyo uso asociado es de protección de las comunidades hidrobiológicas, recreación de contacto total y riego.

7.5.3.3 Enterococos (ENT)

Las bacterias del género enterococcus se encuentran en el intestino de los seres humanos y animales.

Se debe destacar como características importantes de este género, que crecen en un intervalo de temperatura de 10 a 45 °C y en cloruro de sodio al 6,5%, esto hace que se distingan por su capacidad de sobrevivir en agua salada, conllevando a señalar que son los que más imitan a muchos patógenos en comparación con los otros indicadores microbiológicos mencionados anteriormente. Desde 1986 la EPA, señala que los enterococos son uno de los indicadores más útiles empleados tanto en el agua dulce como salada, en lo que respecta al riesgo para la salud ^[77]

En las muestras de agua estudiadas, los enterococos tienen un intervalo de concentración mínimo y máximo de 5×10^6 y 2×10^9 UFC/100mL respectivamente. Las muestras que presentan la máxima concentración de esta especie son MASPGU-01 y MASPLG-07 geográficamente captadas en el río Guapo y la quebrada Lagunon.

Dichos sectores se caracterizan por ser zonas de poca profundidad y alta evapotranspiración lo que favorecería la presencia de estas bacterias.

Es pertinente resaltar que, en lo que respecta a los valores de concentración para ENT, que los mismos no se encuentran contemplados en el Decreto 883 (Gaceta Oficial

5021, 1995) para fines de la clasificación según la normativa nacional. Sin embargo, se puede tomar en cuenta las normativas internacionales, específicamente las reglas de la Agencia Ambiental de los Estados Unidos (EPA), la cual indica que los valores de ENT en un determinado cuerpo de agua cuyo uso se asocia a contacto parcial o completo con el ser humano, no deben superar las 35 UFC/100 mL.

En este caso, comparando el límite establecido por la EPA, con los resultados obtenidos en las seis muestras en estudio, se puede inferir que todas se encuentran muy por encima del límite establecido por esta agencia ambiental. Esto indica que todas las muestras captadas en los afluentes de la Laguna de Tacarigua presentan contaminación fecal tanto humana como animal de vieja data y de acuerdo a la normativa internacional, ninguna de estas muestras puede considerarse de calidad para ser usadas como protección de comunidades hidrobiológicas, recreación de contacto total, riego de hortalizas, entre otros usos.

7.5.3.4 Bacterias heterótrofas (BHET)

Las BHET en la actualidad se utilizan como indicadoras de calidad ambiental, ya que están relacionadas con la cantidad de materia orgánica existente en el agua y sedimentos

En el presente trabajo, de las seis (6) muestras de aguas captadas en los afluentes de la Laguna de Tacarigua, las bacterias heterótrofas mostraron un intervalo de concentración mínimo y máximo que está entre 4×10^6 y 7×10^{10} UFC/100mL respectivamente. Obsérvese en la tabla 4A del apéndice A, que la muestra MASPLG-07 captada en la quebrada Lagunon, es la que posee el mayor valor de concentración de esta especie.

Es posible que este valor sea atribuido a la descomposición de materia orgánica, probablemente asociada a la carga suspendida o a la carga de nutrientes, así como a las aguas residuales de origen doméstico, con alta carga de detergentes, desechos orgánicos y agropecuario e industrial, con la presencia de fertilizantes, desechos orgánicos y otros residuos ricos en fosfatos y nitratos. ^[56]

En la normativa nacional vigente, Decreto 883, (Gaceta Oficial 5021, 1995), no hay valores límites establecidos para esta especie, no obstante, la literatura se señala que valores superiores a $2,7 \times 10^4$ UFC/ml, son característicos de condiciones eutróficas. Todas las muestras están por encima del orden de 10^4 , lo que podría decir que estas muestras contienen exceso de nutrientes que perjudica la calidad de estas aguas.

7.5.3.5 Especies vibrio

En lo que respecta a las especies de Vibrio, se puede apreciar en la tabla 4A del apéndice A, que el intervalo de concentración mínimo y máximo de esta especie, está entre 2×10^3 y 6×10^6 UFC/100mL, respectivamente.

La muestra que presenta la máxima concentración de la especie vibrio es la MASPBU-03, captada en el caño el Burro, sector donde se obtuvieron los mayores valores de conductividad.

Esto concuerda con lo reportado en la literatura, que indica que la aparición de estos microorganismos está influenciada positivamente en lugares con condiciones de alta conductividad y salinidad. ^[63]

Finalmente, es importante destacar que hay tres muestras que no reportaron valores significativos de este indicador, lo que permite inferir que las mismas son aptas para uso y consumo humano. Las tres muestras restantes, las cuales exhiben altos valores

de esta especie, no son aptas pues la ingesta de este microorganismos a través de alimentos así como también el consumo de aguas contaminadas puede producir enfermedades gastrointestinales graves, que de no ser controladas a tiempo pueden convertirse en epidemias que podrían conllevar a la muerte en las poblaciones cercanas a estos afluentes afectados. ^[63]

A continuación, en la Tabla 17 se muestra un resumen de la calidad de agua en las diversas zonas estudiadas en los afluentes de la Laguna de Tacarigua, atendiendo a las diversas determinaciones microbiológicas realizadas.

Tabla 17 Estatus de la calidad del agua de las zonas muestreadas de afluentes de la Laguna de Tacarigua, según las especies microbiológicas determinadas

Muestras	Puntos	TITULOS (UFC/100mL)				
		ENTER	CT	CF	HET	Vibrio
A1	MASPGU-01	NO APTA	NO APTA	NO APTA	NO APTA	NO APTA
A2	MASPBU-03	NO APTA	NO APTA	NO APTA	NO APTA	NO APTA
A3	MASPLP-05	NO APTA	NO APTA	APTA	NO APTA	APTA
A4	MASPMC-06	NO APTA	NO APTA	NO APTA	NO APTA	NO APTA
A5	MASPLG-07	NO APTA	NO APTA	APTA	NO APTA	APTA
A6	MASPSI-08	NO APTA	NO APTA	APTA	NO APTA	APTA

Nótese en la tabla 17 que al comparar los valores límites establecidos para los indicadores de calidad microbiológicos según la normativa nacional, específicamente para los coliformes totales, (CT), ninguno de los afluentes tienen calidad de agua aceptable, pues su abundancia (UFC/100 ml), supera los límites establecidos. Lo mismo ocurre con el indicador coliformes fecales, (CF); a excepción de las muestras muestras MASPLP-05, MASPLG-07 y MASPSI-08, las cual si poseen valores por debajo del

límite establecido en el Decreto 883 (Gaceta Oficial 5021, 1995). En cuanto al indicador enterococos, así como para las bacterias Heterótrofas ninguna muestra analizada puede considerarse como agua de calidad aceptable. Finalmente, la especie vibrio (SPP) solo muestra calidad de agua aceptable para las muestras MASPLP-05, MASPLG-07 y MASPSI-08.

En la figura 46 se muestra la distribución en forma general de todos los parámetros microbiológicos estudiados en seis (6) de los once (11) afluentes de la Laguna de Tacarigua en estudio.

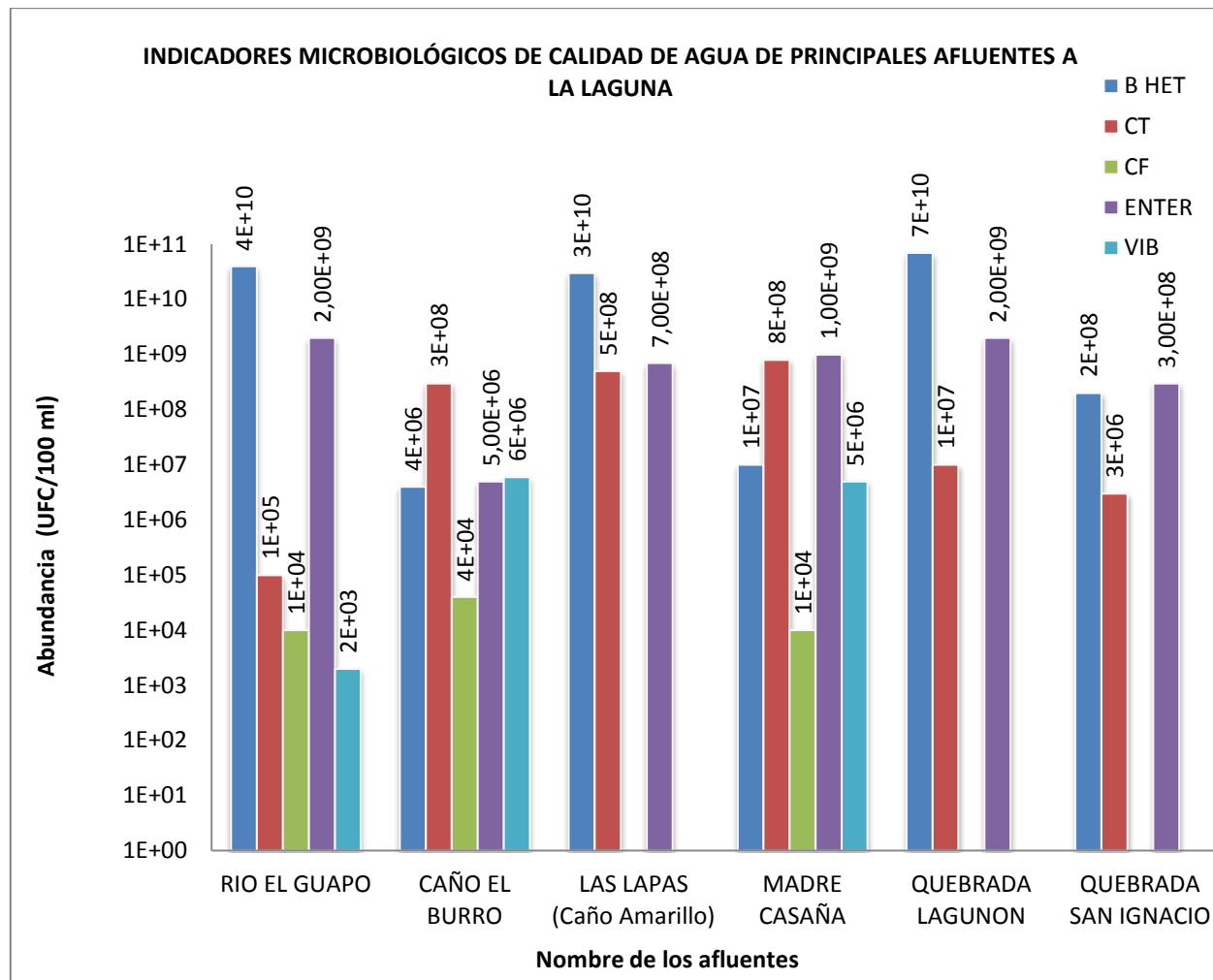


Figura 46 Parámetros microbiológicos de las muestras en análisis

De esta figura se desprende que, en forma general, todos los indicadores microbiológicos analizados en el presente estudio, para las muestras de aguas captadas en algunos afluentes de la Laguna de Tacarigua superan en la mayoría de los casos el límite establecido por el Decreto 883 (Gaceta Oficial 5021, 1995) y las normas internacionales EPA. Lo que establece una calidad de agua no apta para usos doméstico, recreación de contacto total, protección de comunidades hidrobiológicas y riego de cultivos en estos afluentes.

7.6 Relaciones interiónicas

Las relaciones interiónicas entre especies mayoritarias, minoritarias y/o traza han sido de particular ayuda en muchos estudios de agua, debido a que pueden ser usados para indicar los probables procesos involucrados durante la interacción agua-roca, así como identificar procesos como disolución, precipitación y/o intercambio iónico entre otros. ^[73]

Es por ello que en esta sección se presentan las relaciones molares interiónicas que permiten establecer y corroborar los posibles factores y procesos que controlan la composición química de las aguas superficiales analizadas. Dichas relaciones son presentadas y descritas a continuación.

7.6.1 Relación Na^+/Cl^-

La figura 47 muestra la relación de estas especies para las once (11) muestras de aguas analizadas en algunos afluentes de la Laguna de Tacarigua.

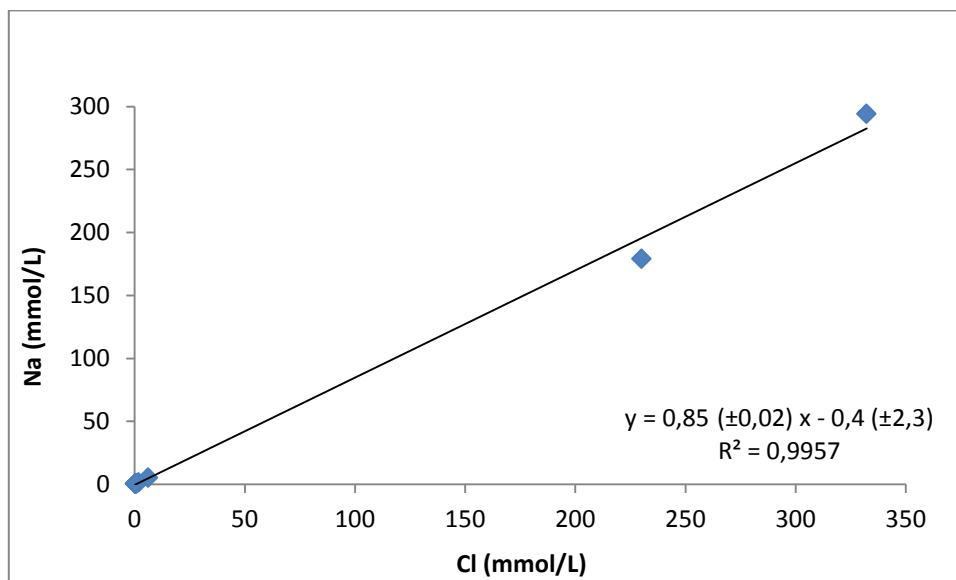


Figura 47 Relación interiónica Na^+/Cl^-

Nótese en la figura 47 que la ecuación de la recta obtenida es $y = 0,85 (\pm 0,02) x - 0,4 (\pm 2,3)$ y presenta una elevada correlación $R^2 = 0,9957$, lo que indica que la relación entre ambos iones es muy estrecha y la tendencia es altamente positiva, la cual, según reportado en la literatura para estas especies, es muy cercana al agua de mar (0,8 unidades). Este resultado permite señalar que la contribución de ambas especies en las muestras de agua analizadas proviene mayoritariamente de aerosoles marinos, por lo tanto, las especies cercanas a la zona costera, como es el caso de las muestras MASPBU-03 y MASPVC-10 (figura 15) tienen una mayor influencia del agua de mar y por ende una elevada concentración de los iones Na^+ y Cl^- .

7.6.2 Relación $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$

La figura 48 muestra la relación de estas especies para las once (11) muestras de aguas analizadas.

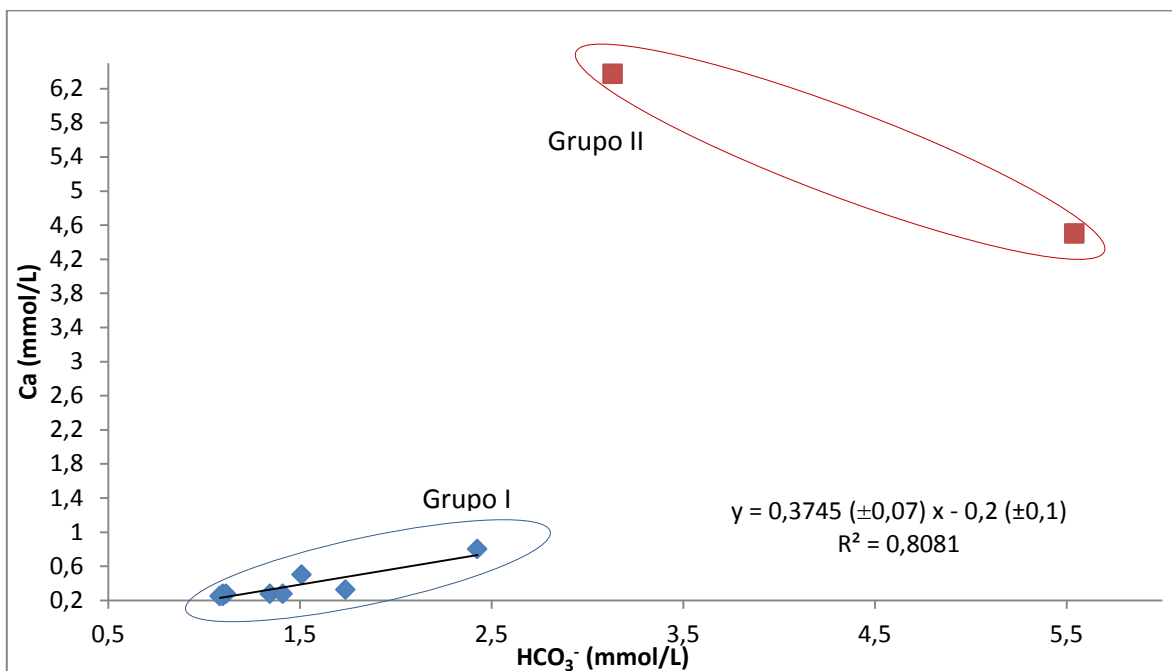


Figura 48 Relación interiónica $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$

En este caso, la figura anterior muestra dos tipos de agua, uno en el cual la ecuación de la recta es $y = 0,3745 (\pm 0,07) x - 0,2 (\pm 0,1)$. Según lo reportado en la literatura, la relación $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$ es de 0,5 unidades. El valor obtenido al relacionar las concentraciones de las especies analizadas en los afluentes de la Laguna de Tacarigua es muy similar, por lo que se puede inferir la tendencia es similar al agua de mar y por ello hay dependencia de ambas especies entre sí. Se puede afirmar que parte la disolución de minerales como la calcita es la fuente que aporta Ca^{2+} en las muestras. Este grupo presenta una correlación $R^2 = 0,8081$ la cual es aceptable. Sin embargo existe una dispersión mayor, por parte de otras muestras (grupo II) debido a que el aporte de Ca^{2+} pudiese estar asociado a la contribución de otras fuentes como carbonatos, agua de mar así como silicatos y aluminosilicatos.

7.6.3 Relación $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$

La figura 49 muestra la relación de estas especies para las once (11) muestras de aguas analizadas en los afluentes de la Laguna de Tacarigua.

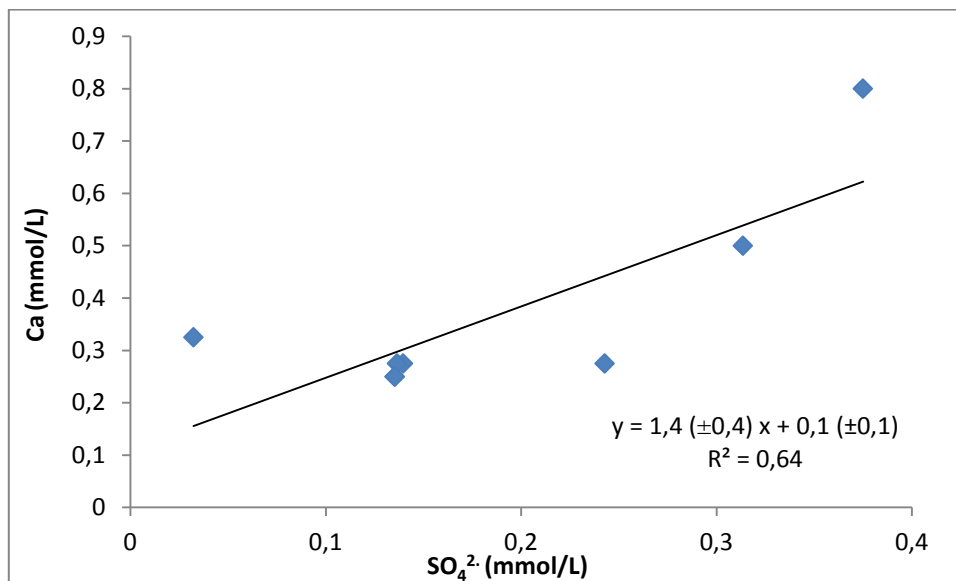


Figura 49 Relación interiónica $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$

La relación $\text{Ca}/\text{SO}_4^{2-}$ debe ser igual a una (1) unidad según lo reportado en la literatura. Sin embargo de acuerdo a la ecuación de la recta obtenida $y = 1,4 (\pm 0,4) x + 0,1 (\pm 0,1)$ la pendiente está un poco por encima de lo establecido, lo cual se traduce en el hecho de que la concentración de Ca^{2+} para algunas muestras es mayor que la concentración de SO_4^{2-} . Además el coeficiente de correlación $R^2 = 0,64$ indica una alta dispersión en los datos, debido a que hay diversas fuentes tales como procesos de evaporación y precipitación de sales, así como el origen antrópico y atmosférico, donde el uso de productos para la preservación y optimización de cultivos y suelos, tanto como el uso de fertilizantes y plaguicidas aumenta la tasa de incorporación de la especie SO_4^{2-} . Mientras que por otra parte la presencia de Ca^{2+} en las muestras se debe a la

disolución de yeso, carbonatos y la mezcla de agua de mar con el agua de estos ríos, caños y quebradas.

7.6.4 Relación Sr/Ca²⁺

La figura 50 muestra la relación de estas especies para las once (11) muestras de aguas analizadas en los afluentes de la Laguna de Tacarigua.

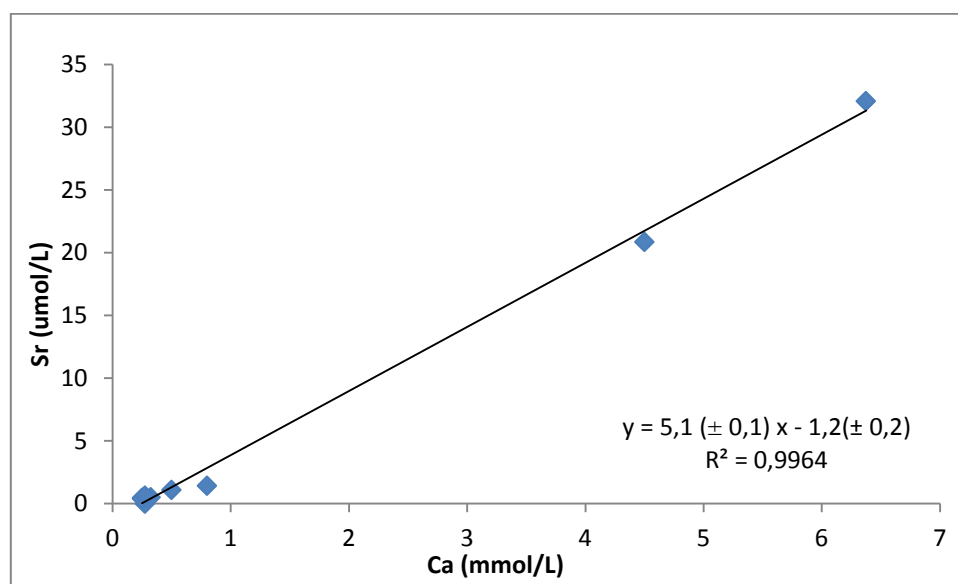


Figura 50 Relación interiónica Sr/Ca²⁺

La ecuación de la recta obtenida para esta relación es $y = 5,1 (\pm 0,1) x - 1,2 (\pm 0,2)$ y el coeficiente de correlación es $R^2 = 0,9964$, lo cual indica que hay una excelente relación entre ambas especies, ya que geoquímicamente el Ca²⁺ guarda una estrecha relación con el Sr.

Relación 7.6.5 Cl⁻/HCO₃⁻

Dado que el cloruro prevalece en el agua de mar y que el bicarbonato caracteriza a la mayor parte de las aguas dulces, siendo muy baja su concentración en el agua de mar, el rápido incremento de esta relación es un excelente trazador de la invasión marina

Algunos autores señalan que la relación entre estos iones resulta útil para la caracterización de aguas marinas. Las aguas dulces suelen tener valores comprendidos entre 0,1-5 unidades, mientras que las aguas marinas presentan valores entre 20-50 unidades. [75]

En la tabla 18 se muestra la comparación de la relación $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ del agua de mar, con la relación entre estas especies para las once (11) muestras de aguas analizadas, captadas en algunos afluentes de la Laguna de Tacarigua.

Tabla 18 Clasificación de las aguas según la relación $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$

Muestra	Relación $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$	Clasificación de las aguas estudiadas	
		Agua dulce 0,1-5	Agua Marina 20-50
MASPGU-01	0,3	Dulce	---
MASPGU-02	0,3	Dulce	---
MASPBU-03	106,1	---	Marina
MASPSB-04	0,5	Dulce	---
MASPLP-05	0,4	Dulce	---
MASPMC-06	0,3	Dulce	---
MASPLG-07	0,3	Dulce	---
MASPSI-08	0,7	Dulce	---
MASPCH-09	0,4	Dulce	---
MASPVC-10	41,5	---	Marina
MASPRCH-11	4,1	Dulce	---

La tabla 18 resume que el 82% de las aguas estudiadas se clasifican como aguas dulces o continentales, cuya relación $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ no excede las 5 unidades límite establecidas para este tipo de agua, mientras que el 18% restante se clasifica como aguas Marinas por su elevada relación $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$. Por ende se puede inferir que la concentración de estas especies en las muestras analizadas en esta investigación tiene como fuente principal los aerosoles marinos.

Para el caso de las muestras MASPBU-03 y MASPVC-10, es posible que estas concentraciones sean tan elevadas por la mayor influencia que ejercen los aerosoles sobre estos caños, por estar ubicados tan cerca de la zona costera (figura 15).

Relación 7.6.5 Mg^{2+}/Ca^{2+}

Esta relación puede considerarse indicativa de contaminación marina, especialmente cuando su incremento va acompañado de un aumento del contenido de cloruros y de la relación Cl^-/HCO_3^- y de la reducción de sulfatos.

En el agua de mar alcanza valores en torno a 5 unidades, mientras que en las aguas dulces es de 0.3 a 1.5. Este parámetro es difícil de utilizar, porque la precipitación de $CaCO_3$ aumenta la concentración relativa de magnesio.

Tabla 19 Clasificación de las aguas según la relación Ca^{2+}/Mg^{2+}

Muestra	Relación Mg^{2+}/Ca^{2+}	Clasificación de las aguas estudiadas	
		Agua dulce 0,3-1,5	Agua Marina 5
MASPGU-01	0	Dulce	---
MASPGU-02	1	Dulce	---
MASPBU-03	6	---	Marina
MASPSB-04	1	Dulce	---
MASPLP-05	1	Dulce	---
MASPMC-06	1	Dulce	---
MASPLG-07	1	Dulce	---
MASPSI-08	1	Dulce	---
MASPCH-09	2	---	Marina
MASPVC-10	4	---	Marina
MASPRCH-11	2	---	Marina

Según la información de la tabla 19, el 64 % de las muestras se clasifican como dulces, lo que indica que la presencia de estas especies en las muestras de agua analizadas se debe a la disolución de carbonatos, yeso o la interacción agua rocas con minerales

como la dolomita y la magnesita; Por su parte, el 36% de las muestras son aguas marinas, esto permite inferir que el aporte de las especies Ca^{2+} y Mg^{2+} proviene de la intrusión marina por efecto de los aerosoles marinos.

7.7 Uso del agua según su calidad

La calidad de las muestras de agua captadas en el área de estudio es evaluada atendiendo a los intervalos de concentración obtenidos para cada una de las especies químicas determinadas, tomando como valores estándar los presentados por el Decreto 883 (Gaceta Oficial 5021, 1995).

En la tabla 11 del apartado 3 acerca del **Decreto 883 (Gaceta Oficial 5021, 1995)** se encuentra establecido los criterios de calidad para el uso del agua. La clasificación de las mismas en base al uso se presenta a continuación.

- a) Clase 1 o excelente**
- b) Clase 2 o muy buena**
- c) Clase 3 o buena**
- d) Clase 4 o aceptable.**

Evaluando cada parámetro en las muestras estudiadas en el presente trabajo de investigación, se tiene que, las concentraciones determinadas para las especies Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} y NO_3^- muestran cierta afección para algunas de las muestras analizadas. En particular, las muestras MSPBU-03 y MASPVC-10 son las que se encuentran por encima de los límites permitidos para todas las especies químicas determinadas en el presente estudio. Para ilustrar este hecho, basta con apreciar las concentraciones obtenidas para estas especies en la tabla 2A del apéndice A. Nótese que elementos como el Na^+ , cuyo valor máximo permitido en el Decreto 883 (Gaceta Oficial 5021, 1995) es de 140mg/L, K^+ , cuyo límite máximo de concentración es 20mg/L, Cl^- con un valor máximo de 300mg/L, NO_3^- cuyo valor máximo de concentración es de 10mg/L entre otros elementos, están muy por debajo de las concentraciones obtenidas

para estos elementos en dichas muestras. Por lo tanto, estas dos muestras no pueden ser clasificadas como aguas tipo 1, 2 o 3.

Es importante señalar que, como consecuencia de los altos valores encontrados para las especies químicas en las muestras MSPBU-03 y MASPVC-10, no fue posible determinar el parámetro fisicoquímico demanda química de oxígeno (DQO) ya que las condiciones que establece el método empleado, planteado en el apéndice F, no eran idóneas pues ambas muestras superaban los 2000mg/L de Cl⁻.

Por otra parte, el parámetro fisicoquímico sólidos disueltos totales (SDT), para ambas muestras, excede el valor máximo permitido en el Decreto 883 (Gaceta Oficial 5021, 1995), para las clases de agua 1,2 y 3. Es por ello que este comportamiento conduce a clasificar a las muestras MSPBU-03 y MASPVC-10, como aguas **clase 4 o Aceptables**, donde la mayoría de los límites máximos establecidos poseen similar orden de magnitud con dichas muestras.

Nótese que las muestras, rotuladas como MASPGU-01, MAPSLP-05, MASPMC-06, MASPLG-07, MASPSI-08, se encuentra, también dentro de la clasificación de aguas **clase 4 o Aceptables**, por no cumplir con los valores límites establecidos para los parámetros microbiológicos en el Decreto 883 Gaceta Oficial 5021, 1995).

Finalmente, las muestras rotuladas como MASPGU-02, MASPSB-04, MASPCH-09 y MASPRCH-11 si entran dentro de la clasificación de las aguas **clase 1 o excelente**, pues las mismas si se encuentran dentro de los límites establecidos por la normativa nacional.

En la siguiente tabla se comparan los parámetros que determinan los diferentes tipos de agua de acuerdo a su calidad en cuanto a la normativa nacional y los intervalos obtenidos como resultados en el presente estudio.

Tabla 20 Intervalo de los resultados obtenidos comparados con la normativa nacional

Parámetro	Límite máximo permitido				Intervalo aguas analizadas
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	
Calcio (mg/L)	200	200	200	>200	10-255
Sodio (mg/L)	140	140	140	>140	11,0- 6769,2
Carbonatos (mg/L)	<5	5	5	>5	
Cloruros (mg/L)	300	250	250	>250	10,0-11793,0
Hierro (mg/L)	1	1	5	5	0,11-1,53
Magnesio (mg/L)	70	70	70	>70	ND
Manganeso (mg/L)	0,1	0,2	0,2	>0,2	0,018-0,202
Zinc (mg/L)	5	5	5	5	ND
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	3,8-10,5	6,6-7,6
Sulfatos (mg/L)	340	340	340	>340	3,1-1909,2
Potasio (mg/L)	<20	20	20	>20	1,20-299,00
Nitritos + Nitratos (mg/L)	10	10	-----	-----	0,40-2838,10
Oxígeno Disuelto (mg/L)	>5	>5	>5	>2	1-17
Sólidos disueltos totales(mg/L)	1300	1300	1300	-----	133-24972
Coliformes totales (UFC/100ml)	1x10 ³ UFC	1x10 ³ UFC	1x10 ³ UFC	2x10 ³ UFC	1 x10 ⁵ -3 x10 ⁸
Coliformes fecales (UFC/100ml)	75 UFC	1 x10 ² UFC	1x10 ² UFC	-----	< 10 ³ -4 x10 ⁴
Enterococos (UFC/100ml)	25 UFC	35 UFC	-----	-----	5 x10 ⁶ -2 x10 ⁹

ND: No detectado

Por su parte, En la tabla 20 se presenta la clasificación de las aguas estudiadas según su calidad, donde el 64% de las muestras se clasifican como agua clase 4, cuyo uso se asocia básicamente a la armonía paisajística, el comercio, la navegación y la industria y el 36% restante de las muestra se clasifica según la normativa nacional como aguas

clase 1, asociada a usos tales como recreación, doméstico, riego, protección de comunidades hidrobiológicas, entre otros.

Tabla 21 Clasificación de las aguas captadas en la zona de estudio según su calidad.

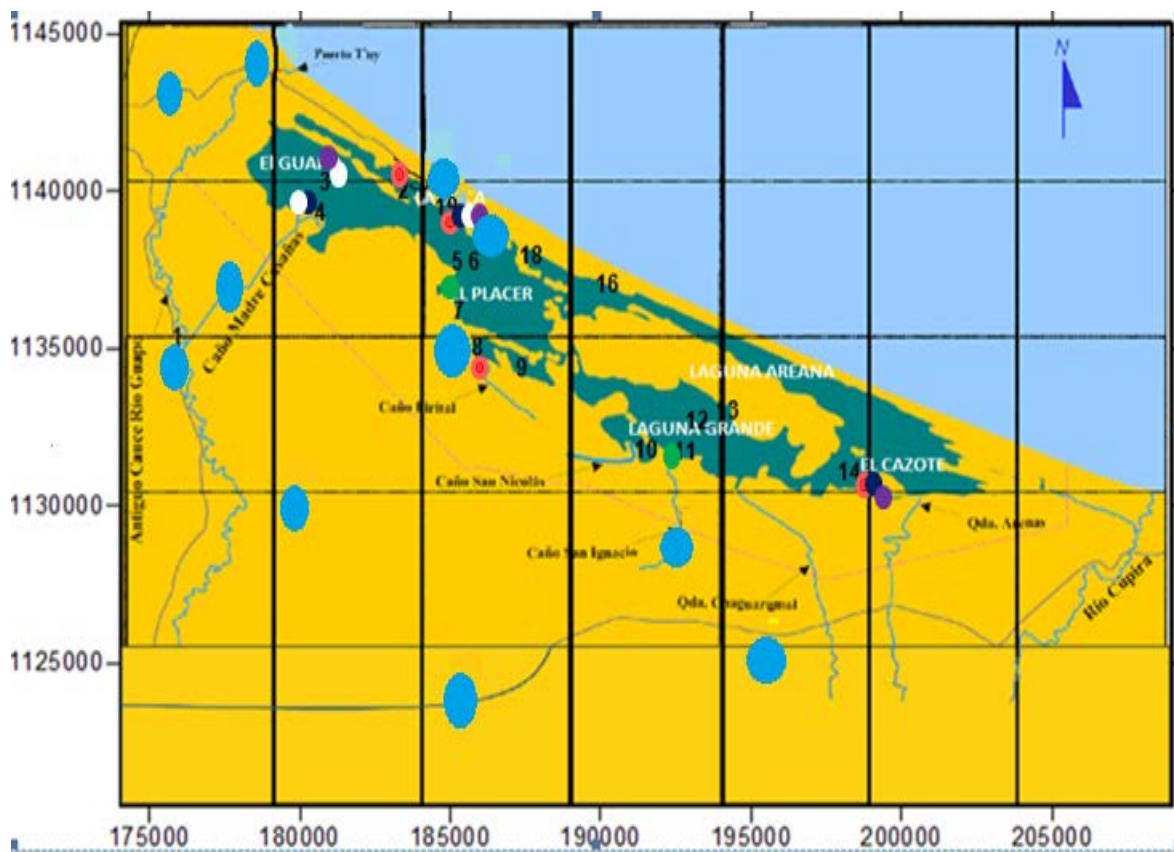
Muestra	Parámetro fuera del límite establecido en el Decreto 883	Tipo de Agua
MASPGU-01	CT/CF/ENT/BHET/Vibrio	Aceptable o clase 4
MASPGU-02	Ninguno	Excelente o clase 1
MASPB-03	Cationes/Aniones/SDT/Trazas/CF/CT/ BHET/ Vibrio	Aceptable o clase 4
MASPSB-04	Ninguno	Excelente o clase 1
MASPLP-05	CT/ENT/BHET/Vibrio	Aceptable o clase 4
MASPMC-06	CT/CF/ENT/BHET/Vibrio	Aceptable o clase 4
MASPLG-07	CT/ENT/BHET/Vibrio	Aceptable o clase 4
MASPSI-08	CT/ENT/BHET/Vibrio	Aceptable o clase 4
MASPC-09	Ninguno	Excelente o clase 1
MASPV-10	Cationes/Aniones/SDT/ Trazas	Aceptable o clase 4
MASPRCH-11	Ninguno	Excelente o clase 1

Cabe destacar que esta es la primera clasificación que se realiza sobre estos afluentes muestreados y analizados, pues anteriormente a este momento no se habían efectuado análisis de este tipo en esta zona.

7.8 Relación de los afluentes estudiados con la Laguna de Tacarigua

En la siguiente sección se discute brevemente cómo influyen las características fisicoquímicas y microbiológicas de los afluentes de la Laguna de Tacarigua en la calidad de agua de la misma

Figura 51 Relación de los afluentes con la Laguna de Tacarigua



En la figura anterior se muestra la contribución de los diversos afluentes que drenan a la Laguna de Tacarigua en cuanto a su composición fisicoquímica y microbiológica. Los puntos de color azul representan los afluentes mientras que los puntos de colores situados dentro de la Laguna de Tacarigua corresponden con las muestras analizadas por Díaz (2012). [63]

En general se puede señalar que el aporte de las especies químicas mayoritarias y minoritarias en los diversos ríos, caños y quebradas que drenan a la Laguna de Tacarigua, así como en la misma Laguna tiene como fuente principal la intrusión marina específicamente por la mezcla de agua de mar con agua dulce, así como también la contribución por parte de los aerosoles marinos, la meteorización y las actividades

antrópicas que se desarrollan tanto en los alrededores de los afluentes así como en zonas aledañas a la Laguna. Por lo tanto, la carga de especies químicas que contienen los afluentes genera un gran impacto en la concentración de las especies presentes en las aguas de la Laguna de Tacarigua.

En cuanto a la abundancia de los indicadores microbiológicos, es posible inferir que el aporte de los afluentes que drenan a la Laguna de Tacarigua tiene una contribución directa sobre la cantidad de estos indicadores en la Laguna, lo que conlleva a que estas aguas posean características de condiciones eutróficas, sugiriendo una cantidad apreciable de contaminación orgánica en las agua de los diversos afluentes estudiados, así como en las aguas de la Laguna, analizado por Díaz

8. CONCLUSIONES

- Todas las muestras analizadas se encuentran dentro de los intervalos establecidos por el Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021, 1995) para el parámetro pH, siendo clasificadas como 64% ligeramente ácidas, mientras que el 36% restante, son ligeramente alcalinas.
- En cuanto al parámetro conductividad, dos de las once muestras en estudio se encuentran por encima del valor límite establecido en el Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021, 1995) cuya concentración es de 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esto permite inferir que las muestras MASPBU-03 y MASPVC-10 captadas en caño El Burro y el puente Villa Cruz respectivamente, se encuentran fuertemente influenciadas por el efecto de intrusión marina proveniente de la mezcla agua de mar con agua dulce, así como también hay aporte de especies iónicas proveniente de aerosoles marinos, procesos de precipitación, evaporación, meteorización y actividades antrópicas. El resto de las muestras exhibió valores dentro de lo establecido por la normativa nacional.
- Con respecto a las especies químicas mayoritarias determinadas en las muestras de agua captadas, es posible señalar que algunas manifiestan cierta afección pues se encuentran por encima de los límites permitidos en el Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021, 1995) para las especies Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} y NO_3^- . Tal es el caso de las muestras rotuladas como MASPBU-03 y MASPVC-10 captadas en caño El Burro y el puente Villa Cruz respectivamente, cuyos valores de concentración se encuentran por encima de lo que establece la normativa nacional, lo que indica que estas muestras pueden estar influenciadas por la intrusión marina proveniente de la mezcla de agua de mar con agua dulce, así como los aerosoles marinos, la meteorización de minerales y las actividades antrópicas, lo que hace que la concentración de estas especies en solución sea mayor que el resto de las muestras estudiadas.

- En los afluentes en estudio se identificaron cinco tipos de agua a través del diagrama de Piper, las cuales están distribuidos como **Bicarbonatadas sódicas cálcicas** ($\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$) en un 63% de la población total de las muestras, el tipo **Bicarbonatadas sódicas magnésicas** ($\text{Na}^+ - \text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^-$) en un 8%, las **Cloruradas sódicas potásicas** ($\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{Cl}^-$) en el 8% de las muestras, el tipo **Cloruradas sódicas cálcicas** ($\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$) en el 8% de las muestras y finalmente el agua tipo **Cloruradas sódicas magnésicas** ($\text{Na}^+ - \text{Mg}^{2+} - \text{Cl}^-$) en el 8% de las muestras restantes.
- Los resultados obtenidos acerca de la concentración de sólidos disueltos totales, (SDT) en las once muestras estudiadas, refleja que **82% de las muestras** correspondientes a MASPGU-01, MASPGU-02, MASPSB-04, MASPLP-05, MASPMC-06, MASPLG-07, MASPSI-08, MASPCH-09, MASPRCH-11 **se clasifican como aguas naturales o dulces**; mientras que el **18% restante** de las muestras se clasifican como **aguas saladas** pues superan los 10.000 mg/L.
- La demanda química de oxígeno, (DQO), analizada en seis de las once muestras captadas en algunos afluentes de la Laguna de Tacarigua, permite clasificar las muestras, de acuerdo al Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021, 1995) como excelente calidad para MASPLG-07 y MASPCH-09, buena calidad para MASPGU-01 y por último las muestras MASPLP-05, MASPMC-06 y MASPSI-08 son consideradas como aguas de calidad aceptable. En general estas muestras no poseen gran cantidad de materia orgánica
- La calidad microbiológica para seis muestras de los once afluentes en estudio, señala que según la abundancia de coliformes totales, (CT), Enterococos, (ENT) y bacterias Heterótrofas (BHET) las aguas estudiadas no son aptas para uso y consumo humano, mientras que los coliformes fecales CF y especies Vibrio SPP, indicaron que las muestras MASPLP-05, MASPLG-07 y MASPSI-08 captadas en Caño Amarillo, Quebrada Lagunon y Quebrada San Ignacio respectivamente, si son aptas para su uso.

- La clasificación del uso de las aguas estudiadas de acuerdo a su calidad, basado en el Decreto 883, (Gaceta Oficial N° 5021, 1995) indicó que el **36% de las muestras** como lo son, MASPGU-02, MASPSB-04, MASPCH-09, MASPRCH-11 captadas en El guapo, Caño Santa Barbara, Quebrada Chaguaramal y Río Chico respectivamente, pueden ser clasificadas como **aguas de Excelente Calidad o tipo 1**, mientras que el **64% restante de las muestras** se clasifican como **aguas de calidad aceptable o tipo 4**.
- Los afluentes analizados en este trabajo de investigación tienen una influencia directa en cuanto a la concentración de las especies químicas mayoritarias y minoritarias, así como también contribuyen a la abundancia y proliferación de indicadores microbiológicos en la Laguna de Tacarigua, causando un impacto directo y negativo sobre la calidad de agua de este humedal costero.

9. RECOMENDACIONES

- Promover el monitoreo continuo y constante de todos los afluentes de la Laguna de Tacarigua, de forma tal que permita evaluar el impacto de actividades antrópicas en estos ríos, caños y quebradas con el paso del tiempo, estableciendo esta investigación como punto de partida y comparación para análisis posteriores.
- Realizar el análisis microbiológico en todos los afluentes de la Laguna de Tacarigua, con el propósito de evaluar si la calidad de las mismas resulta apta para los usos predestinados de acuerdo a la normativa nacional.
- Relacionar el monitoreo de calidad de los afluentes que desembocan en la Laguna directamente con la Laguna de Tacarigua, con el fin de evaluar el grado de intervención de estos y su impacto sobre el sistema lagunar.
- Adecuar, vigilar y controlar las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes en la zona y construir nuevas plantas de tratamiento en caso de ser necesario, con el fin del mejorar y mantener la calidad de los afluentes que desembocan en la Laguna.
- Crear programas de Educación Ambiental de manera obligatoria tanto en las escuelas y liceos de la zona como en las comunidades adyacentes a los afluentes de la Laguna de Tacarigua, con el fin de concientizar a la población acerca del uso adecuado de estos ríos, caños y quebradas.
- Establecer programas de monitoreo ambiental con la participación de equipos multidisciplinarios, entes gubernamentales y la comunidad, para brindar sus aportes desde su perspectiva al uso de estos afluentes, con el único fin de garantizar la conservación y el buen manejo de estos cuerpos de agua.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Ávila García Patricia. **“Escasez de agua en una región indígena de Michoacán”**. Edición ilustrada Editor El Colegio de Michoacán A.C., (1996). Pág. 1-29.
- [2] Flores Raúl Calixto, Herrera Reyes Lucila. **“ Ecología y medio ambiente”**. Editorial Cengage Learning Editores, 2da Edición (2008). Pp 56-57.
- [3] **Distribución del Agua en el Planeta Tierra**. Fecha de consulta: Mayo de 2011
Disponibile en: <http://munozleidi-ciencias-de-la-tierra.blogspot.com/2007/06/distribucion-del-agua-en-el-planeta.html>.
- [4] Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, **“Ley de Aguas”**. Gaceta Oficial nº 38595, del 2 de Enero de 2007. Pp. 1-38.
- [5] Castany G. **“Trabajo práctico de aguas subterráneas”**. Editorial Omega. Barcelona – España. (1971), 672p.
- [6] Davis S. De Wiest R. **“Hidrogeología”**. Barcelona España. Editorial Ariel (1971). 563p.
- [7] Camapos Aranda Daniel Francisco. **“Procesos del ciclo hidrológico”**, Volúmenes 1-2. Editorial UASLP, (1987). Pp. 33-34.
- [8] Allen R.G, Pereira L.S, Raes D., Smith M. **“Evapotranspiración del cultivo”**. Editorial Food & Agriculture Org., (2006). Pp. 1-3.

[9] Sánchez J. “**Conceptos Básicos. Ciclo Hidrológico**”. Departamento de geología, Universidad de Salamanca, España, (2004). Pp. 1-9. Disponible en <http://web.usal.es/javisan/hidro>, Fecha de consulta: Junio 2011.

[10] Maderey R. Laura Elena, Jiménez Román. “**Principios de Hidrogeografía. Estudio Del Ciclo Hidrológico**”. México. Editorial UNAM. 1ra Edición. (2005). Pp 11-64.

[11] Fraume Restrepo Néstor. “**Diccionario ambiental**”. Editorial ECOE EDICIONES, (2007). P 18.

[12] De la Lanza-Espino, Guadalupe. “**Diccionario de hidrología y ciencias afines**” Editorial Plaza y Valdés, (1999). 286 páginas

[13] **Acuíferos**. Fecha de consulta: Mayo de 2011.
Disponible <<http://www.astromia.com/tierraluna/aguasubterraneas.htm>>

[14] Ramsar Convention. “**Servicios de los ecosistemas de humedales**”. Fecha de consulta: Mayo 2011. Disponible en:<www.ramsar.org/cda/es/ramsar-pubs-info-ecosystem-services/main/ramsar/1-30-103%5E24258_4000_2_>.

[15] Wetlands International y Cambio Climático Argentina. (Mayo 2010). “**Informe del Taller sobre Humedales Costeros y Adaptación al cambio Climático**”. Argentina. Pp. 1-22.

[16] “**Proyecto para el manejo del recurso hídrico colombiano**”. Planet Inv. Marzo de 2003. Pp. 8-15.

[17] Emison. **“Humedales Artificiales”**. Fecha de consulta: Mayo de 2011 Disponible en: www.emison.es/medio-ambiente/.../humedales%20artificiales.pdf

[18] Diaz, D. **“Importancia de los Humedales”**. Fecha de consulta: Mayo de 2011. Disponible en: www.vitalis.net/actualidad/23.htm.

[19] **“¿Qué es un río?”** Fecha de consulta: Junio de 2011. Disponible en: <http://machanguito.blogspot.com/2008/03/que-es-un-ro.html>

[20] Pitto, Miguel **“Estudio Hidrogeoquímico de las Aguas Superficiales de la zona costera comprendida entre bocas de los ríos Yaracuy y Tocuyo Estado Falcón”**. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Química. Universidad Central de Venezuela.. (2006). Pp. 1-40.

[21] **“Ríos”**. Fecha de consulta: Junio de 2011. Disponible en: <http://www.ecologiahoy.com/rios>

[22] Meléndez. **“Geografía”**. Fecha de consulta: Junio de 2011. Disponible en: <http://melendez.lacoctelera.net>

[23] **“Acuíferos”**. Fecha de consulta: Junio de 2011. Disponible en <http://www.pozosmonlor.es>

[24] Ferreira Libia **“Caracterización geoquímica de las aguas subterráneas del sector monte oscuro-caño el diablo y la zona central del sistema de riego del río Guárico, Edo. Guárico.”**. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Química. Universidad Central de Venezuela. . (2007). Pp. 1-48.

[25] Lillo, J. (2010). **“Técnicas Hidrogeoquímicas”**. Universidad Rey Juan Carlos. España. Pp. (1-140).

[26] **“Lección 17 Hidrogeoquímica”**. Fecha de consulta: Mayo 2011. Disponible en: https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:qaXnn7tvymJ:www.agua.uji.es/pdf/leccionRH17.pdf+Lecci%C3%B3n+17.+Hidroqu%C3%ADmica&hl=es&gl=ve&pid=bl&srcid=ADGEEsGMLqT0K7__9hHIZL0EX95o4EaILP3eNNZp9YeF_piVcWQoGcgbMrBv8uNkwTJzLXFhkZ7tXQiNE6YmDfy1crjGP4wJQzpyQdDZx3fAcz08Xi8n1mXTu_GI8UxC3kSJqAz-ZtR&sig=AHIEtbQyw0yrPkkA4b6RvSQ47Ak8FG9Ing&pli=1

[27] Piper A. **“A Graphics procedure in the geochemical interpretation of water analyses”**. American geophysical union, 25. (1994). Pp. 914-923.

[28] Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Comisión Nacional de Normas Técnicas. Sub-Comisión de Aguas. Revisión Decreto 883. **“Normas para el Control de Calidad de Cuerpos de Aguas”**. (Gaceta Oficial N° 5021, 2005). Versión después de Consulta Pública 15/02/05. Pp. 1-32.

[29] **“Índices globales de calidad de aguas”**. Fecha de consulta: Junio de 2011. Disponible en <http://www.miliarium.com/prontuario/Indices/IndicesCalidadAgua.htm>.

[30] Domènech Xavier **“Química ambiental de sistemas terrestres”**. Editorial Reverte, (2006) Pp.21-22.

[31] Delgadillo Oscar et al. **“Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales”** Programa ALFA de la unión Europea. (2010). Pp. 52-56

[32] **“Parámetros organolépticos”**. Fecha de consulta: Junio de 2011. Disponible en: http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/calaguas_cap4.pdf

[33] Ceac. **“Cálculos, trabajos y reparación de averías”**
Ediciones CEAC, (2002) P 226.

[34] Sánchez Oscar **“Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México”**. Edición ilustrada, Editorial Instituto Nacional de Ecología, (2007) Pp. 123-127.

[35] Diaz de Santos. **Métodos Normalizados de Aguas Potables y Residuales. APHA, AWWA, WPCF**. 17 Edición. España. (1992). Pp. 2-38 a 9-215.

[36] **“Oxígeno Disuelto”**. Fecha de Consulta: Mayo de 2010. Disponible en: www.k12science.org/curriculum/dipproj2/es/fieldbook./oxigeno.shtml

[37] **“Indicadores Microbiológicos”**. Fecha de consulta: Junio de 2011. Disponible en: http://www.ambientum.com/enciclopedia/aguas/2.01.16.36_1r.html

[38] Willey Joanne, Sherwood Linda, Woolverton Chris. **“Prescott's Principles of Microbiology”**. Edición ilustrada Editorial McGraw-Hill Education, 847 páginas

[39] Burdon Kenneth L, Williams Robert. **“Microbiología”** 1º Edición. México DF. (1971). Pág. 81 – 109.

[40] World Health Organization, Pan American Health Organization. **“Guías para la calidad del agua potable”**. Número 481, volumen 3. Editorial Pan American Health Org, (1988). Pp. 29-31

[41] De la Rosa Manuel, Prieto José. **“Microbiología para Ciencias de la salud”** 2da Edición. Editorial Elsevier España, (2003). Pp. 80.

[42] ANZECC (Australian and New Zealand Environment Conservation Council). **“An introduction to the Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality”**. National Water Quality Management Strategy, Camberra, Australia. (2000).

[43] **Evaluación de riesgos de Vibrio SPP en pescados y mariscos**. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/008/y8145s/y8145s08.htm>. Fecha de consulta: Junio de 2011.

[44] Fontáñez, Yaritza. **Determinación del perfil microbiológico de la almeja del ostión mangle y las aguas de extracción de bivalvos en las zonas de suroeste de Puerto Rico**. (2005) Pp. 3.

[45] Lehmann Axel, Rode Michael. **“Long-term behaviour and cross-correlation water quality analysis of the river Elbe, Germany”**. Wat. Res. Vol. 35, No. 9, pp. 2153–2160, (2001). . Disponible en journal homepage: www.elsevier.com/locate/watres. Consultada en: Abril de 2011.

[46] Scott H Ensign, Michael A Mallin. **“Stream water quality changes following timber harvest in a coastal plain swamp forest”**. Wat. Res. Vol. 35, No. 14pp (2001). Disponible en journal homepage: www.elsevier.com/locate/watres. Consultada en: Abril de 2011.

[47] M.A. Brainwood, S. Burgin, B. Maheshwari. **“Temporal variations in water quality of farm dams: impacts of land use and water sources”**. Agricultural Water Management 70 (2004) 151–175. Disponible online at: www.sciencedirect.com, Available at: www.elsevier.com/locate/agwat, Consultada en: Abril de 2011

[48] N.R. Rivera, F. Encina, A. Muñoz-Pedrerros y P. Mejias. **“La Calidad de las Aguas en los Ríos Cautín e Imperial, IX Región-Chile”**. Revista Scielo. Información Tecnológica-Vol. 15 N°5 (2004), págs.: 89-101.

[49] Tomoyuki Shibata, Helena M. Solo-Gabriele, Lora E. Fleming, Samir Elmir. **“Monitoring marine recreational water quality using multiple microbial indicators in an urban tropical environment”** Water Research 38 (2004) 3119–3131. Disponible en journal homepage: www.elsevier.com/locate/watres. Consultada en: Abril de 2011.

[50] C.E Graniel / C.M. E castillo **“Calidad del agua del río Zanatenco en el estado de Chiapas”**. Ingeniería revista académica, septiembre-diciembre, año/vol 10, número 003. Universidad autónoma de Yucatán, Mérida, México. Pp. 35-42. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx>

[51] Y. Ouyang, P. Nkedi-Kizza, Q.T. Wu, D. Shinde, C.H. Huang. **“Assessment of seasonal variations in surface water quality”** Water Research 40 (2006) 1-11 Disponible en journal homepage: www.elsevier.com/locate/watres, Available at www.sciencedirect.com. Consultada en: Abril de 2011.

[52] Allen L. et. al. **“Clearing the Waters. A focus on water quality solutions”**. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 2010. Disponible en www.unep.org/PDF/Clearing_the_Waters.pdf

[53] Corcoran, E., C. Nellemann, E. Baker, R. Bos, D. Osborn, H. Savelli (eds). **“Sick Water. The central role of wastewater management in sustainable development. A rapid response assessment”**. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), ONU-Hábitat pp 1-88 (2010). Disponible en: [www.grida.no/_res/site/file/publications/sickwater/SickWater_screen .pdf](http://www.grida.no/_res/site/file/publications/sickwater/SickWater_screen.pdf). Consultada en: Marzo de 2011.

[54] Cauwet G. **“Distribution and accumulation of organic matter in a tropical coastal lagoon, the Tacarigua lagoon, Venezuela”**. The science of the total environment, 75 (1988) 261-270. Disponible en Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.

[55] Conde Jesús E. **“A profile of laguna de Tacarigua, Venezuela: A tropical estuarine coastal lagoon”** INTERCIENCIA 21(5): 282-292. (1996). Pp. 25. Disponible en <http://www.interciencia.org.ve>.

[56] Isava, F. (1996). **“Caracterización de la comunidad bacteriana asociada a la interface agua-sedimento, niveles de sedimentos y su importancia ecológica, en la laguna Tacarigua, Edo. Miranda”**. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Pp. 150

[57] Calzadilla Pérez Argelia **”Monitoreo de una formación deltaica reciente en un humedal costero tropical usando imágenes aeroespaciales y SIG. Caso delta del Río Guapo, Laguna de Tacarigua Venezuela”**. Terra Nueva Etapa, año/vol. VXIII-XIX, número 027-028. pp 53-83. (2002-2003). Disponible en www.redalyc.uaemex.mx. Consultada en: Abril de 2011.

[58] Ayala, L (2006). **“Estudio de la calidad de las aguas subterráneas de la región de Santa Ana, península de Paraguana, Edo. Falcón”**. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Química, departamento de Geoquímica. Universidad Central de Venezuela. Pp. 1-29.

[59] Michel Julio (2006). **“Estudio de la evolución hidrogeoquímica de las aguas subterráneas de la cuenca La Fuente-Paraguachí, Isla de Margarita, Edo. Nueva Esparta, Venezuela.”**. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Química, departamento de Geoquímica. Universidad Central de Venezuela. Pp. 1-29.

[61] Cabrera Orlando, Fernández Luisa. **“Transporte y sedimentación en el delta de San Ignacio, laguna de Tacarigua, estado Miranda, Venezuela”**. Terra Nueva Etapa, Enero-Junio, año/vol XXIV, número 035. pp 141-166. (2008). Disponible en www.redalyc.uaemex.mx. Consultada en: Abril de 2011.

[62] Jiménez Joselyn (2009). **“Factores y procesos que determinan la calidad química de las aguas subterráneas del sector sur central del área Junín de la faja petrolífera del Orinoco.”**. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Química, departamento de Geoquímica. Universidad Central de Venezuela. Pp. 1-20.

[63] Díaz Sandra (2012) **Estudio de la calidad del agua del humedal costero, Laguna de Tacarigua, Edo. Miranda, Venezuela.** Trabajo Especial de Grado. Escuela de Química, departamento de Geoquímica. Universidad Central de Venezuela. Pp. 162.

[64] **“Parque nacional laguna de Tacarigua”**. Fecha de consulta: Abril de 2011. Disponible en: <http://www.parkswatch.org/parkprofile.php?l=spa&country=ven&park=tlnp>

[65] **Proyecto Macro de Rescate de la Laguna de Tacarigua.** Tacarigua de la Laguna, agosto de 2003 Pág. 105

[66] Okuda Okuda **“Evaluación comparativo de las condiciones hidrográficas en las Lagunas de Unare y Tacarigua”**. Venezuela. Laguna 17. (1968). Pp. 15-24

[67] Herrera, A., Suárez, P. **“Indicadores bacterianos como herramientas para medir la calidad ambiental del agua costera”**. Asociación Interciencia, año/vol. 30, número 003. Caracas, Venezuela. (2005) Pp. 171-176.

[68] **“Demanda Bioquímica de Oxígeno y Determinación Química de Oxígeno”**. Fecha de consulta: Mayo de 2011. Disponible en: www.atenea.udistrital.edu.co/grupos/fluoreciencia/.../calaguas_cap18.pdf.

[69] Greemberg, A. “**Estándar Methods. For the examination of wáter and waswater**”. 18 Edition (1992). Pp. 5-1 y 5-3.”

[70] Sánchez F. J. (2005) **Evolución geoquímica de las aguas subterráneas**. Universidad de Salamanca. 6p. Disponible: <http://web.usal.es/javisan/hidro>. Fecha de consulta: 12/08/2013.

[71] Hem, J. **Study and interpretation of chemical characteristics of natural wáter. U.S.** Geological Survey- supply paper 2254, 3° edition. (1985). Pp. 66-51.

[72] Todd, D., (1959). **Ground Water Hydrology**. Toppan Company. John Wiley & Sons,INC. 336p.

[73] Montero, R. (1994). **Caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas asociadas a zonas de explotación de hidrocarburos**. Trabajo de ascenso. U.C.V. Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencias de la Tierra. Pp. 203.

[74] Custodio, E. y Llamas, M. **Hidrología Subterránea. Edición Omega, S.A.** Barcelona, España, (1976). Pp 2359.

[75] Yanes, C. (1997). **Estudio geoquímico regional de los ríos del Escudo de Guayana**. Tesis Doctoral. Instituto de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias y Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Universidad Central de Venezuela, Pp199.

APÉNDICE A

- 1- Localización y parámetros fisicoquímicos medidos durante la etapa de campo en algunos de los afluentes de la Laguna de Tacarigua muestreados.
- 2- Concentraciones de las especies químicas mayoritarias y minoritarias en las muestras estudiadas.
- 3- Concentraciones obtenidas de los elementos traza Al, B, Ba, Fe, Mn, Li, Sr en las muestras captadas y analizadas.
- 4- Concentraciones de los parámetros microbiológicos evaluados en las muestras de algunos afluentes de la Laguna de Tacarigua.

Tabla 1A Ubicación geográfica y parámetros fisicoquímicos de cada muestra, medidos “in situ” durante la etapa de campo

Muestra	Nombre	Coord. Geográficas		Coord UTM (m)		Temp.	pH	Cond.	salinidad	OD
		Latitud (N)	Longitud (W)	Norte (N)	Este (E)	(°C)	u	($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	%	mg/L
MASPGU-01	El Guapo	10°15'01"	65°57'27"	1134582	175968	29,2	7,1	171	-	-
MASPGU-02	El Guapo	10°17'40,5"	65°52'27"	1139395	185177	30,3	6,7	167	-	-
MASPBU-03	El Burro	10°18'22,7"	65°52'52"	1140705	184410	31,1	7,6	43180	-	-
MASPSB-04	Santa Bárbara	10°12'40"	65°55'16"	1130219	179942	30,0	6,7	235	0,10	4
MASPLP-05	Caño Amarillo	10°14'57,5"	65°52'18,1"	1134375	185391	27,8	6,7	265	0,11	6
MASPMC-06	Madre Casañas	10°16'15,3"	65°56'31,6"	1136873	177709	29,7	6,6	190	0,08	8
MASPLG-07	Qda Lagunon	10°09'18,5"	65°52'10,6"	1123969	185521	28,5	7,2	167	0,07	10
MASPSI-08	Qda San Ignacio	10°11'59,2"	65°48'12,4"	1128838	192846	30,0	7,2	544	0,24	7
MASPCH-09	Qda Chaguaramal	10°10'15,2"	65°46'37,8"	1125594	195688	30,2	6,9	274	0,12	6
MASPVC-10	Puente Villa Cruz	10°20'06"	65°55'45"	1143925	179166	29,4	7,4	24350	13,51	1
MASPRCH-11	Río Chico	10°19'47"	65°57'36"	1143384	175791	27,8	6,8	1006	0,50	17

Nota: La sonda no se encontraba calibrada cuando se realizó la medición de salinidad y oxígeno disuelto para las primeras tres muestras captadas, es por ello que no se reportaron valores de estos parámetros para las mismas, por lo tanto no aparecen reflejados en la tabla 1A del apéndice A.

Tabla 2A Valores de las especies químicas mayoritarias y minoritarias en las muestras de agua analizadas

Muestra	Ca²⁺ (mg/L)	Mg²⁺ (mg/L)	Na⁺ (mg/L)	K⁺ (mg/L)	HCO₃⁻ (mg/L)	Cl⁻ (mg/L)	NO₃⁻ (mg/L)	SO₄²⁻ (mg/L)
MASPGU-01	11	7,3	11,4	2,00	68	10,1	1,10	13,4
MASPGU-02	10	7,0	11,0	1,40	67	10,0	0,57	13,0
MASPB-03	255	917,1	6769,2	299,00	191	11793,0	2838,10	1909,2
MASPSB-04	11	9,4	17,0	2,00	82	22,0	1,02	4,0
MASPLP-05	13	11,0	18,0	3,00	106	26,3	1,00	3,1
MASPMC-06	11	7,0	11,1	2,00	67	10,0	1,00	13,1
MASPLG-07	10	7,0	12,0	1,20	66	11,0	1,00	13,0
MASPSI-08	32	21,0	31,2	2,00	148	62,2	4,00	36,0
MASPCH-09	11	12,0	19,0	2,15	86	21,4	0,40	23,3
MASPVC-10	180	478,0	4116,0	175,40	338	8167,3	225,02	1221,0
MASPRCH-11	20	21,4	119,0	6,20	92	219,0	3,00	30,1

Tabla 3A Valores de sílice disuelta (SiO_2), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos (SS) y demanda química de oxígeno (DQO) obtenidos en las muestras estudiadas en algunos afluentes de la Laguna de Tacarigua

Muestra	SiO_2 (mg/L)	SDT (mg/L)	SS (mg/L)	DQO (mg/L)
MASPGU-01	14	138	0,11	12
MASPGU-02	14	133	0,17	ND
MASPB-03	2	24972	0,02	ND
MASPSB-04	13	161	0,01	ND
MASPLP-05	13	193	0,12	34
MASPMC-06	16	136	0,07	23
MASPLG-07	19	137	0,72	3
MASPSI-08	20	355	0,00	40
MASPCH-09	18	192	0,03	10
MASPV-10	7	14908	0,01	ND
MASPRCH-11	17	528	0,01	ND

Nota: ND No determinado

Tabla 4A Valores de elementos trazas evaluados en las muestras de interés

Elemento	Al	B	Ba	Fe	Li	Mn	Ni	Sr
Muestra	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(µ/L)	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)
MASPGU-01	378	<LD	13	923	<LD	51	4	40
MASPGU-02	146	<LD	<LD	282	<LD	<LD	<LD	39
MASPBU-03	<LD	674	13	<LD	295	18	<LD	2822
MASPSB-04	90	<LD	13	1116	<LD	48	<LD	<LD
MASPLP-05	<LD	<LD	21	1054	<LD	111	2	45
MASPMC-06	832	<LD	17	1533	<LD	42	3	41
MASPLG-07	107	<LD	<LD	403	<LD	<LD	<LD	35
MASPSI-08	<LD	<LD	21	110	<LD	37	<LD	126
MASPCH-09	3	<LD	13	488	<LD	<LD	3	56
MASPVC-10	<LD	379	72	<LD	132	202	3	1835
MASPRCH-11	<LD	<LD	17	444	<LD	22	4	96

Nota 1: Las fórmulas empleadas para calcular el límite de detección de cada elemento, así como la tabla que contiene dichos valores se encuentra reportado en el apéndice D, tabla 1D.

Nota 2: <LD: menor al límite de detección de esta especie.

Tabla 5A Datos microbiológicos evaluados en las muestras de interés

Muestras	Puntos	TITULOS (UFC/100mL)				
		ENTER	CT	CF	HET	Vibrio
A1	MASPGU-01	2×10^9	1×10^5	1×10^4	4×10^{10}	2×10^3
A2	MASPBU-03	5×10^6	3×10^8	4×10^4	4×10^6	6×10^6
A3	MASPLP-05	7×10^8	5×10^8	$< 10^3$	3×10^{10}	0
A4	MASPMC-06	1×10^9	8×10^8	1×10^4	1×10^7	5×10^6
A5	MASPLG-07	2×10^9	1×10^7	$< 10^3$	7×10^{10}	0
A6	MASPSI-08	3×10^8	3×10^6	$< 10^3$	2×10^8	0
Abundancia de acuerdo a normativa nacional (UFC/100 mL)		NR	1×10^3	5×10^3	NR	NR
Abundancia de acuerdo a normativa EPA (UFC/100 mL)		35	-	-	-	-

Nota 1: En el apéndice F se muestra la ecuación empleada para calcular la abundancia de los indicadores microbiológicos.

Nota 2: El valor reportado como $< 10^3$ indica que para esta muestra el valor de concentración obtenido es menor al límite establecido para esta especie

APÉNDICE B

- 1- Condiciones experimentales empleadas en el análisis de los cationes Na^+ , K^+ y Mg^{2+} mediante la técnica de Espectrometría de Emisión y Absorción Atómica.
- 2- Condiciones experimentales para el análisis de los aniones Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- mediante la técnica de Cromatografía Iónica.
- 3- Condiciones experimentales de los análisis de Ca^{2+} y sílice disuelta (SiO_2) por la técnica de Espectrometría de Absorción Molecular en el UV-Visible.
- 4- Características de los reactivos empleados para la elaboración de las soluciones madres con las cuales se construyeron las curvas de calibración de las especies catiónicas y aniónicas.

1B Descripción general de las condiciones experimentales para la determinación de cationes

La determinación de las especies Na^+ y K^+ en las once (11) muestras de agua captadas se llevó a cabo con el espectrofotómetro de emisión atómica con llama (FEAS), marca Perkin Elmer, modelo AAnalyst200, que consta de un monocromador echelle de doble haz, con longitud focal de 300 mm, 79 líneas/mm y un detector fotomultiplicador cuya respuesta espectral abarca un intervalo de 180 a 900 nm. La introducción de la muestra se hizo a través de un nebulizador de flujo cruzado.

Por otra parte, para la determinación de Mg^{2+} en las muestras de agua captadas en los afluentes de la laguna de Tacarigua se utilizó el equipo descrito anteriormente, pero en el modo de espectrofotómetro de absorción atómica con llama (FAAS), empleando una lámpara de cátodo hueco (HCL) Ca-Mg-Zn, marca Perkin Elmer.

En la tabla 1B se describe en detalle las condiciones experimentales usadas en específico para cada elemento.

Tabla 1B Condiciones experimentales empleadas en la técnica de espectrometría de absorción y emisión atómica con llama en el equipo Perkin Elmer

Elemento	$\lambda(\text{nm})$	Ancho de la rendija (nm)	Corriente de la lámpara (mA)	Combustible
Mg^{2+}	285,15	0,4 – 0,7	5	Aire /Acetileno
K^+	766,49	0,2 – 0,4	-	Aire /Acetileno
Na^+	589,00	0,2 – 0,4	-	Aire /Acetileno

2B Descripción general de las condiciones experimentales para la determinación de aniones

La determinación de los aniones mayoritarios Cl^- , NO_3^- y SO_4^{2-} en las once (11) muestras de agua en estudio, se desarrolló empleando un cromatógrafo iónico (IC) secuencial, marca Dionex, modelo DX-100. Este equipo cuenta con una columna analítica, así como un supresor marca Dionex, además utiliza una fase móvil con proporciones de Bicarbonato y Carbonato y posee un detector conductimétrico.

En la tabla 2B se describe en detalle las condiciones experimentales usadas en específico en este equipo.

Tabla 2B Condiciones experimentales empleadas en la técnica de cromatografía iónica en el equipo Dionex DX-100

Fase Móvil	Carbonato/Bicarbonato
Proporción de Carbonato	1,8mM
Proporción de Bicarbonato	1,7mM
Columna Analítica	10npack 4 x 250 nm
Modelo de Columna	AS4A-SC 10npack
Marca del Supresor	Dionex
Modelo del Supresor	ASRS 300 P/N 064554
Flujo de fase móvil	1,5 $\mu\text{L}/\text{min}$
Filtro de la jeringa	0,2 μm
Elementos	Cl^- SO_4^{2-} NO_3^-

En el caso de la determinación del anión bicarbonato (HCO_3^-), este análisis se realizó a través de una titulación potenciométrica con ácido sulfúrico (H_2SO_4), según el método de Gran el cual será descrito en detalle en el apéndice C.

3B Descripción general de las condiciones experimentales para la determinación de elementos traza y calcio

En la determinación de los elementos traza, Silicio y el catión mayoritario Ca^{2+} en las once (11) muestras de agua en estudio, se empleó un espectrofotómetro de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado (ICP-OES) marca Horiba Jobin Yvon, modelo Ultima 2. Este equipo de detección simultánea posee un generador de radiofrecuencia de 60 MHz, potencia variable entre 900 y 1100 watts; y un detector fotomultiplicador. El método de introducción de la muestra se efectuó a través de un nebulizador de tipo flujo concéntrico.

En las siguientes tablas se describen las condiciones experimentales usadas en este equipo, así como también se indican las longitudes de onda empleadas para cada elemento a determinar.

Tabla 3B-1: Condiciones experimentales empleadas en la técnica de espectrometría de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado

Nebulizador	Meinhard
Potencia	1000 W
Plasmógeno	12 L/min
Flujo del nebulizador	0,02 L/min
Volumen de inyección	1mL/L
Presión del nebulizador	1Bar
Velocidad de bombeo	20 L/min

Tabla 3B-2: Longitudes de onda empleadas en la técnica de espectrometría de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado

Elemento	$\lambda(\text{nm})$	Elemento	$\lambda(\text{nm})$
Al	396.152	Mn	257.61
B	208.959	Ni	231.604
Ba	455.403	Si	251.611
Fe	259.94	Sr	407,771
Li	670.784	Ca	422.673

Análisis de DQO

El equipo usado fue un digestor: con rampa programable de temperatura modelo DK6, marca Velp Scientifica

4B Reactivos

En el procedimiento de preparación de los patrones para la construcción de las curvas de calibración y la determinación de especies químicas mayoritarias se utilizaron los siguientes reactivos:

Tabla 4B-1 Reactivos para la preparación de las soluciones madres.

	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-
Reactivo	NaCl	KCl	Mg(metálico)	CaCO ₃	NaCl	Na ₂ SO ₄	NaNO ₃
Marca	Merck	Riedel-de Haen	Merck	Merck	Merck	Bayer Analyzed	AnalaR
Pureza	99,5%	99%	99%	99%	99,5%	99,7%	99,5%

Para el proceso de acidificación de las muestras, titulación y otros análisis se emplearon los siguientes reactivos

Tabla 4B-2 Ácidos y otros patrones empleados

Reactivo	HNO₃	H₂SO₄	Na₂CO₃
Marca	Riedel-de Haen	Riedel-de Haen	Analar R
Pureza	65%	98%	99,9%

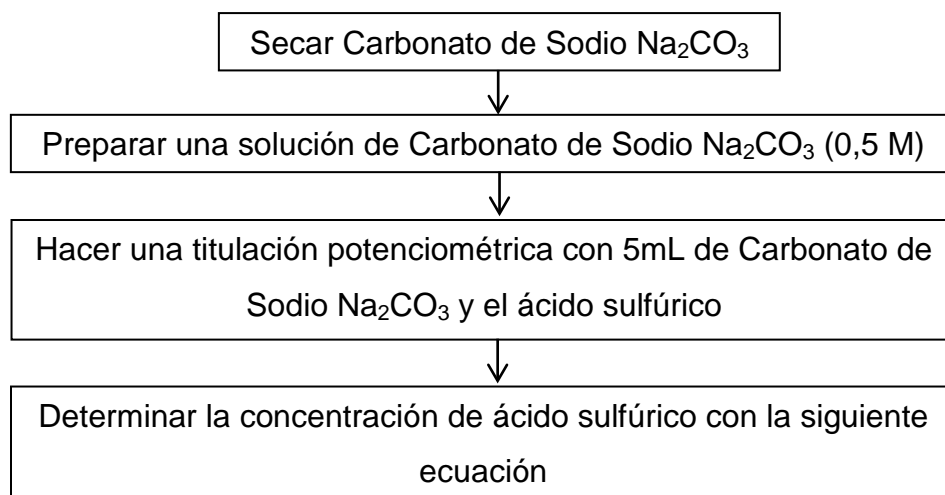
APÉNDICE C

- 1- Estandarización del ácido sulfúrico a emplear para el análisis de alcalinidad.
- 2- Determinación de alcalinidad, expresada como mg/L de HCO_3^- en las once (11) muestras de agua captadas en los afluentes de la laguna de Tacarigua empleando el método de Gran.

Determinación de Alcalinidad

Para determinar la alcalinidad en esta investigación se empleó el método de Gran, sin embargo, inicialmente se estandarizó el ácido sulfúrico a usar y posteriormente se realizó la titulación potenciométrica de cada una de las muestras captadas. A continuación se describe el procedimiento empleado para conocer la concentración de ácido sulfúrico.

Estandarización del ácido sulfúrico (H₂SO₄)



Ecuación # 1 Estandarización del ácido sulfúrico

$$N_{H_2SO_4} = \frac{A \times B}{53 \times C}$$

Donde A = g/L de Na₂CO₃ usados.

B = Volumen (L) de Na₂CO₃ usados.

C = Volumen (L) de ácido sulfúrico empleados en total.

53 es el equivalente en gramos del Na₂CO₃

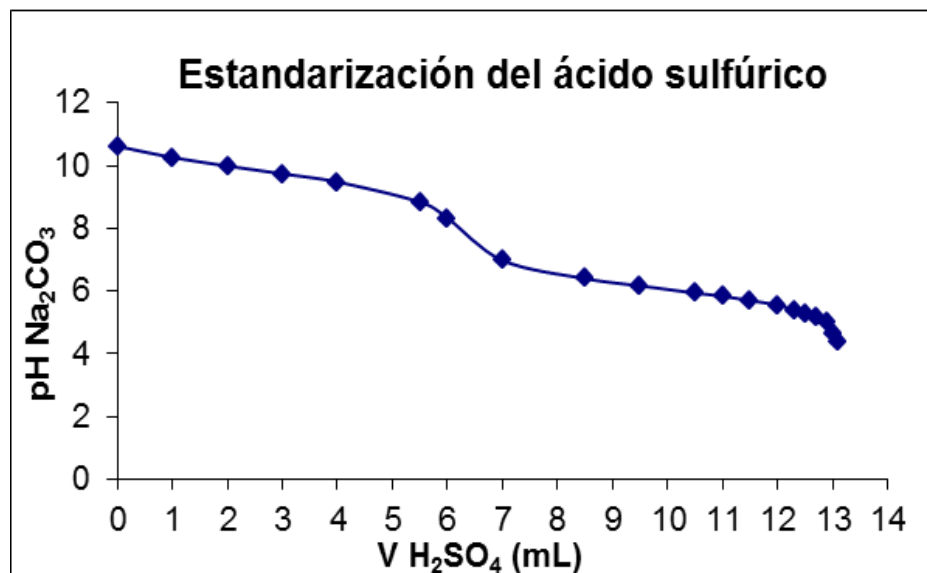
Con los datos obtenidos después de estandarizar el ácido, el cual se muestra en la siguiente tabla, se realizó un gráfico como el que se muestra a continuación para determinar el punto de equivalencia de la titulación y así conocer la concentración del ácido sulfúrico.

Tabla 1C Valores de pH y volumen de H_2SO_4

Réplica I				Réplica II			
pH	V H_2SO_4 (mL)	pH	V H_2SO_4 (mL)	pH	V H_2SO_4 (mL)	pH	V H_2SO_4 (mL)
10,7	0	6,61	8,5	10,7	0	6,03	10,5
10,48	0,5	6,47	9	10,33	1	5,9	11
10,3	1	6,34	9,5	9,93	2,5	5,75	11,5
10,01	2	6,22	10	9,79	3	5,57	12
9,77	3	6,09	10,5	9,53	4	5,33	12,5
9,49	4	5,71	11,5	9,19	5	5,16	12,8
8,78	5,5	5,53	12	8,63	6	5,07	12,9
7,64	6,5	5,23	12,5	7,49	7	4,91	13
6,9	7,5	4,33	13	6,76	8	4,47	13,2
6,75	8	-	-	6,42	9	-	-
Réplica III				Réplica IV			
pH	V H_2SO_4 (mL)	pH	V H_2SO_4 (mL)	pH	V H_2SO_4 (mL)	pH	V H_2SO_4 (mL)
10,67	0	5,82	11	10,62	0	5,94	10,5
10,3	1	5,7	11,5	10,26	1	5,84	11
10	2,1	5,56	12	9,99	2	5,7	11,5
9,63	3	5,28	12,5	9,74	3	5,56	12
8,89	5,5	5,24	12,6	9,48	4	5,4	12,3
8,49	6	5,15	12,7	8,84	5,5	5,28	12,5
7,11	7	5,09	12,8	8,33	6	5,18	12,7
6,58	8,1	5,04	12,9	6,98	7	5	12,9
6,33	9	4,71	13	6,4	8,5	4,67	13
6,07	10	4,25	13,2	6,17	9,5	4,4	13,1

A continuación se muestra el gráfico obtenido en la estandarización del ácido sulfúrico

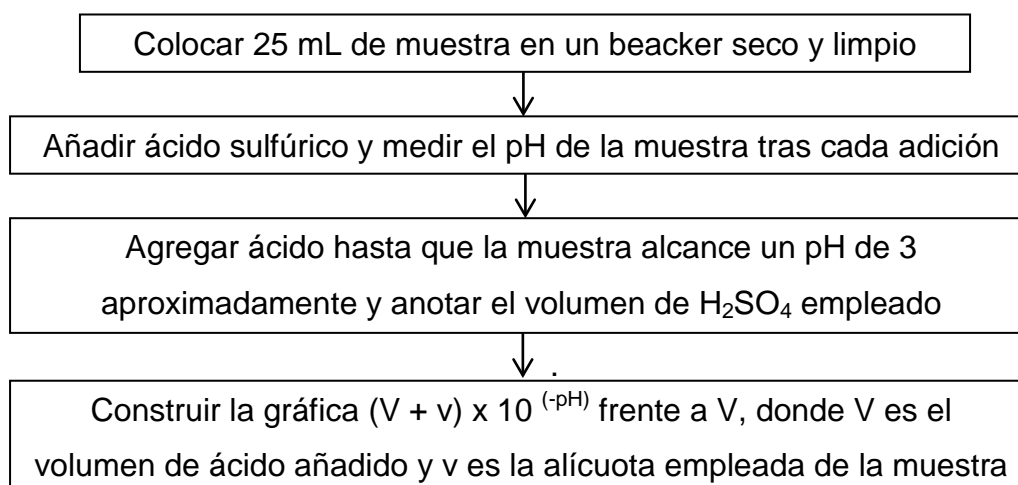
Gráfico 1C Estandarización del ácido sulfúrico



Aplicando la ecuación a los datos obtenidos se tiene que la concentración de H₂SO₄ es:

$$N_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{2,54 \text{ g/L} \times 5\text{mL}}{53 \times 13,1 \text{ mL}} = 0,0182 \text{ N}$$

De esta forma es como se estandarizó el ácido sulfúrico que posteriormente se usó para la determinación de alcalinidad de las muestras recolectadas, en el cual se aplicó el método de Gran que se describe a continuación:





En el gráfico, extrapolar hasta un valor de (0) cero en el eje de las ordenadas, para determinar el volumen final en la titulación



Determinar la alcalinidad expresada en mg/L HCO_3^- con la siguiente ecuación

Ecuación # 2 Alcalinidad de las muestras

$$\text{Alcalinidad mg HCO}_3^-/\text{L} = \frac{A \times N \times 1000 \times \text{PM HCO}_3^-}{V \text{ muestra (mL)}}$$

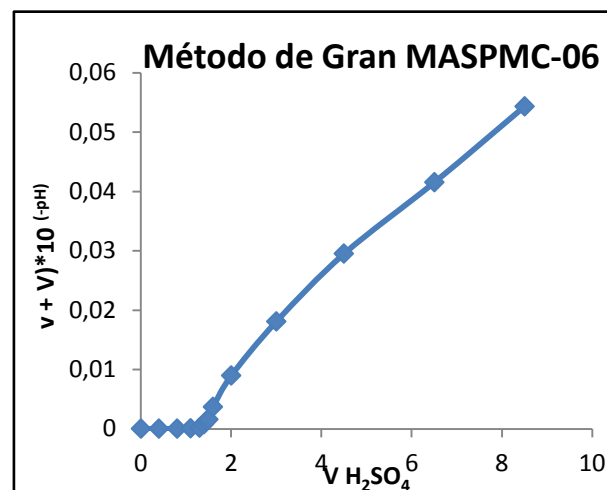
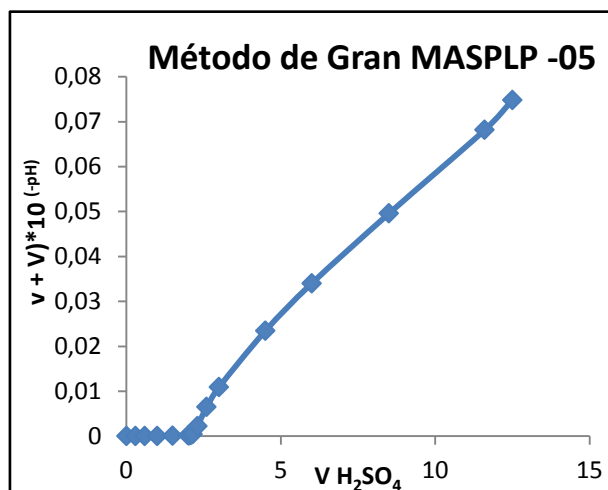
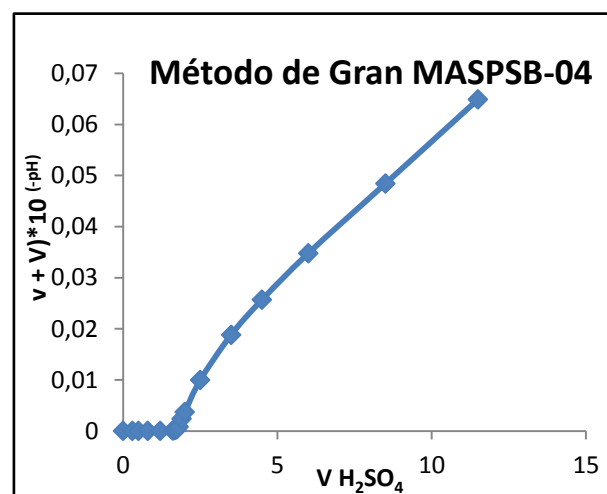
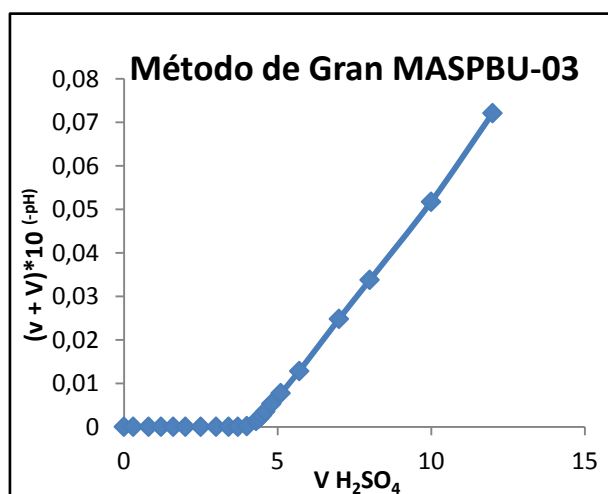
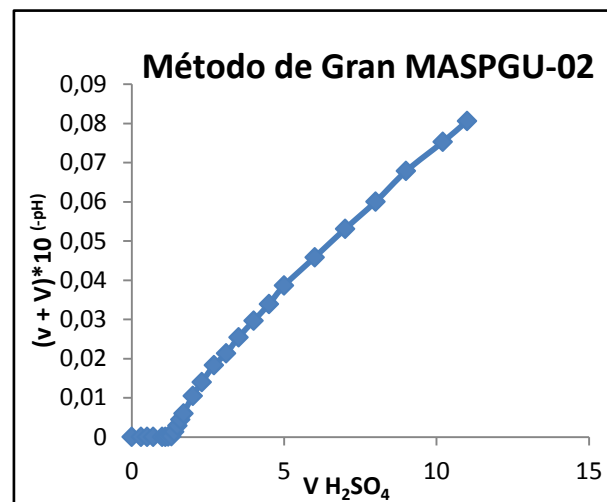
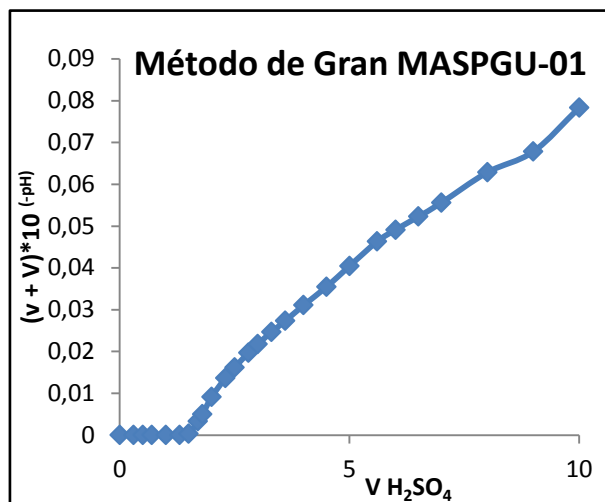
Donde A = Volumen H_2SO_4 (mL)

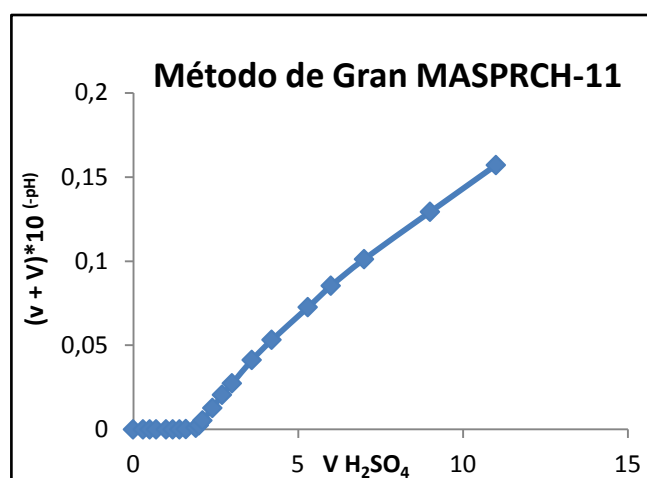
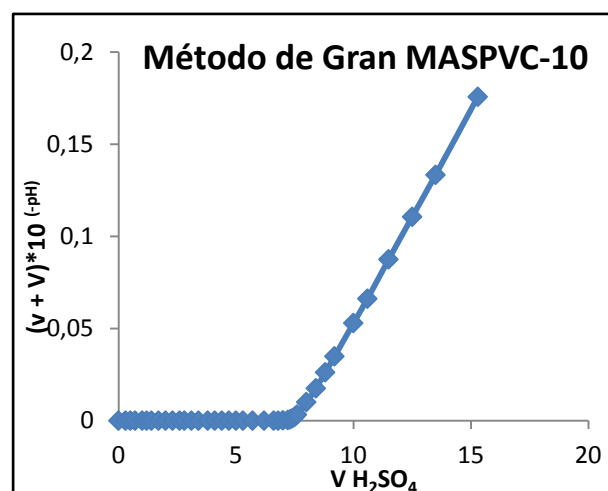
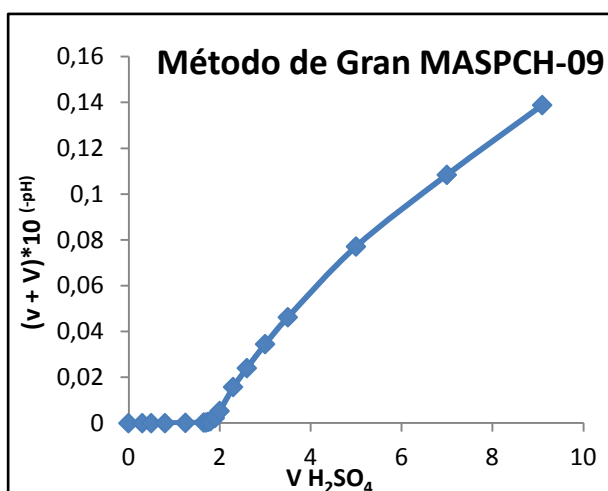
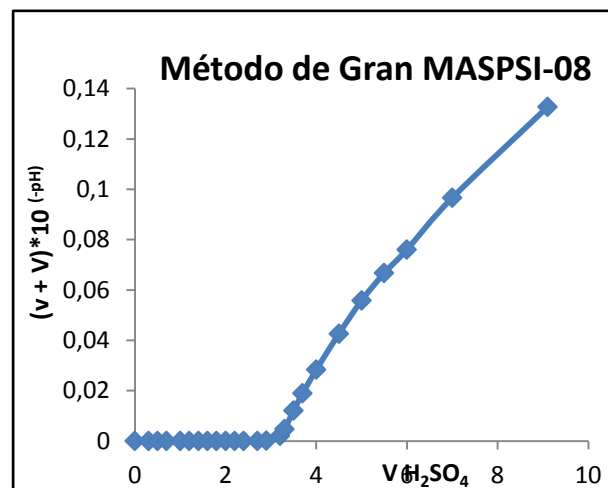
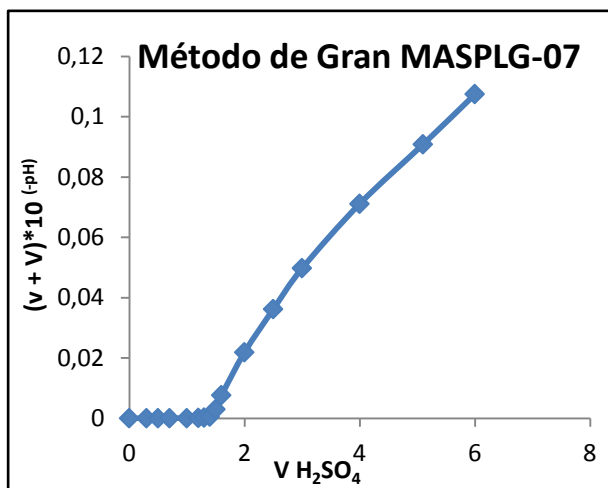
N = Concentración del H_2SO_4

PM HCO_3^- = Peso molecular del HCO_3^-

En los gráficos 2C se muestran las curvas obtenidas en el análisis de alcalinidad llevando a cabo el método de Gran para las muestras estudiadas.

Gráficos 2C Curvas de titulación o función de Gran obtenidas en la determinación de la alcalinidad





APÉNDICE D

- 1- Ecuaciones utilizadas para determinar la precisión de los análisis para las especies químicas en estudio
- 2- Cálculo del límite de detección y cuantificación para los elementos mayoritarios y traza en las muestras en estudio.
- 3- Cálculo del error de la pendiente y del punto de corte de las curvas de calibración de las especies químicas determinadas
- 4- Cálculo del error de una medida indirecta
- 5.- Tablas que resumen los parámetros de la estadística descriptiva calculados para determinar la precisión de los análisis químicos y microbiológicos.

Ecuaciones utilizadas para determinar la precisión de los análisis de las especies químicas en estudio:

Promedio (X)

Ecuación # 3

$$X = \frac{(\sum Xi)}{n}$$

Donde Xi representa la concentración de cada especie química o parámetro determinado y n el número de muestras totales

Desviación Estándar (S)

Ecuación # 4

$$S = \sqrt{\frac{\sum(Xi - X)^2}{(n - 1)}}$$

Donde Xi representa la concentración de cada especie o parámetro, X representa el valor promedio de los datos y n el número de muestras totales.

Coefficiente de Variación Porcentual (CV)

Ecuación # 5

$$CV = \left(\frac{S}{X}\right) * 100$$

Donde S es la desviación estándar de la muestra y X el promedio

Mediana (μ)

Si n es par, la mediana viene determinada por $\frac{1}{2} n$.

Si n es impar, la mediana viene determinada por $\frac{1}{2} (n+1)$

Límite de Detección (LD)

Ecuación # 6

$$LD = Y + 3s$$

Donde Y representa al promedio del intersepto y s la desviación estándar asociada al intersepto.

Cálculo del error de la pendiente y del punto de corte de las curvas de calibración de las especies químicas determinadas

Los errores aleatorios en los valores de la pendiente y ordenada en el origen son importantes, considerándose las ecuaciones utilizadas para calcularlos. En primer lugar se calcula el estadístico $S_{y/x}$, que estima los errores aleatorios en la dirección Y.

Ecuación # 7

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-2}}$$

Dónde:

\hat{Y}_i : puntos sobre la recta de regresión calculada correspondiente a los valores individuales de x.

Y_i : valores individuales de Y en la recta n-2: número de grados de libertad

Una vez obtenido un valor de $S_{y/x}$ se puede calcular S_b y S_a , las desviaciones estándar de la pendiente (b) y ordenada en el origen (a). Estas vienen dadas por:

Ecuación # 8

$$S_b = \frac{S_{y/x}}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2}} \quad \text{y} \quad S_a = S_{y/x} * \sqrt{\frac{\sum X_i^2}{n * \sum (X_i - \bar{X})^2}}$$

Dónde:

\bar{x} = promedio de los valores individuales de x

X_i = valores individuales de x en la recta

Cálculo del error de una medida indirecta

Para calcular el error de una magnitud que se obtiene, de acuerdo a una determinada expresión matemática, a partir de la medida de otras magnitudes de las que depende se pueden emplear las siguientes fórmulas

Ecuación # 9

$z = x + y$	$\Delta z = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$
$z = x - y$	$\Delta z = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$
$z = x \cdot y$	$\frac{\Delta z}{z} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2}$
$z = \frac{x}{y}$	$\frac{\Delta z}{z} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2}$

Precisión de los análisis

Tabla 1D -1 Parámetros de la estadística descriptiva calculados para determinar la precisión de

Muestra	Parámetro	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	X	S	% Sr	CV	% CV	LD	LC
MASPLP-05	Cond ($\mu\text{S-L/cm}$)	266	265	264	265	1	1	0,004	0,4	-	-
MASPLP-05	pH	6,7	6,8	6,6	6,7	0,1	3	0,015	1,5	-	-
MASPLP-05	T ($^{\circ}\text{C}$)	27,8	27,9	27,8	27,8	0,1	0,4	0,002	0,2	-	-
MASPLP-05	Salinidad	0,11	0,1	0,12	0,11	0,01	18	0,09	9,1	-	-
MASPLP-05	OD (mg/L)	6	7	6	6	1	17	0,08	8,5	-	-
MASPGU-01	Na^+ (mg/L)	11,6	11,4	11,5	12,0	0,1	2	0,008	0,8	0,2	0,6
MASPGU-01	K^+ (mg/L)	2,04	1,95	1,99	2,00	0,05	5	0,023	2,3	0,03	0,1
MASPGU-01	Mg^{2+} (mg/L)	7,5	7,3	7,1	7,3	0,2	5	0,023	2,3	0,05	0,2
MASPGU-01	Ca^{2+} (mg/L)	11	11	10	11	1	12	0,059	6,0	0,03	0,1
MASPGU-01	Cl^- (mg/L)	10,02	10,14	10,07	10,1	0,1	1,2	0,006	0,6	0,2	0,7
MASPGU-01	NO_3^- (mg/L)	1,08	1,20	1,14	1,10	0,04	7	0,036	3,6	0,05	0,2
MASPGU-01	SO_4^{2-} (mg/L)	13,5	13,5	13,4	13,4	0,1	1	0,004	0,4	0,05	0,2
MASPGU-01	HCO_3^- (mg/L)	67	69	68	68	1	4	0,02	2	0,2	0,4
MASPGU-01	SiO_2 (mg/L)	15	14	14	14	1	9	0,05	4	1	2
MASPLP-05	DQO (mg/L)	32	35	33	34	2	12	0,1	6	-	-
MASPGU-01	SDT (mg/L)	-	-	-	-	18	-	-	-	-	-
MASPGU-01	SS (mg/L)	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-

Tabla 1D-2 Parámetros estadísticos obtenidos para tres (3) réplicas de las muestras MASPGU-01, MASPBU-03 y MASPLP-05 captadas en el Guapo, las Lapas y caño el Burro respectivamente

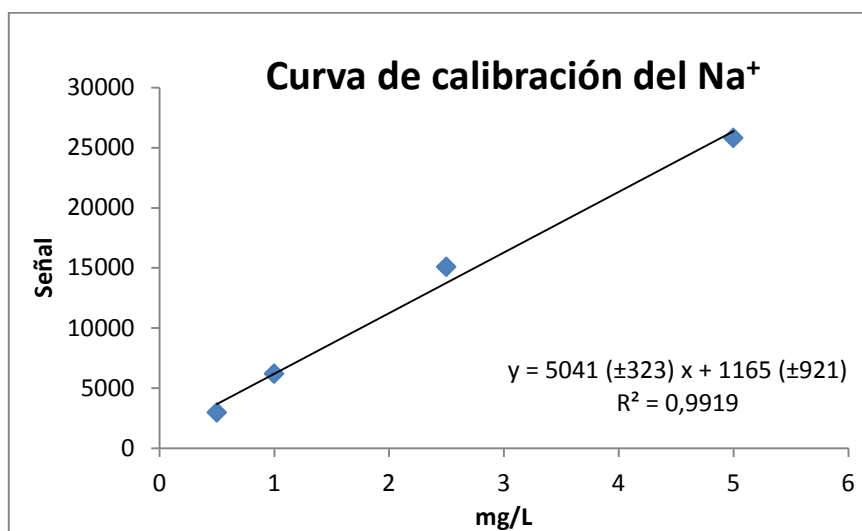
Muestra	Parámetro	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	X	S	% Sr	CV	% CV	LD	LC
MASPGU-01	Al (µg/L)	373	382	379	378	5	2	0,01	1,21	78	259
MASPBU-03	B (µg/L)	676	672	675	674	2	1	0,003	0,31	97	324
MASPGU-01	Ba (µg/L)	13	12	13	13	1	4	0,05	5	10	34
MASPGU-01	Fe (µg/L)	927	918	925	923	5	1	0,01	0,51	60	199
MASPBU-03	Li (µg/L)	299	293	294	295	3	2	0,01	1,09	16	52
MASPGU-01	Mn (µg/L)	54	51	52	52	2	6	0,03	2,92	15	51
MASPGU-01	Ni (µg/L)	5	3	4	4	1	50	0,3	25	2	8
MASPGU-01	Sr (µg/L)	38	672	675	674	2	1	0,003	0,31	34	114

A continuación se muestran las curvas de calibración de cada una de las especies químicas determinadas

Valores de la curva de calibración del Na⁺

Patrón	[Na ⁺] mg/L	Intensidad
1	0,5	2970
2	1	6193
3	2,5	15074
4	5	25790

Gráfico de calibración para el Na⁺



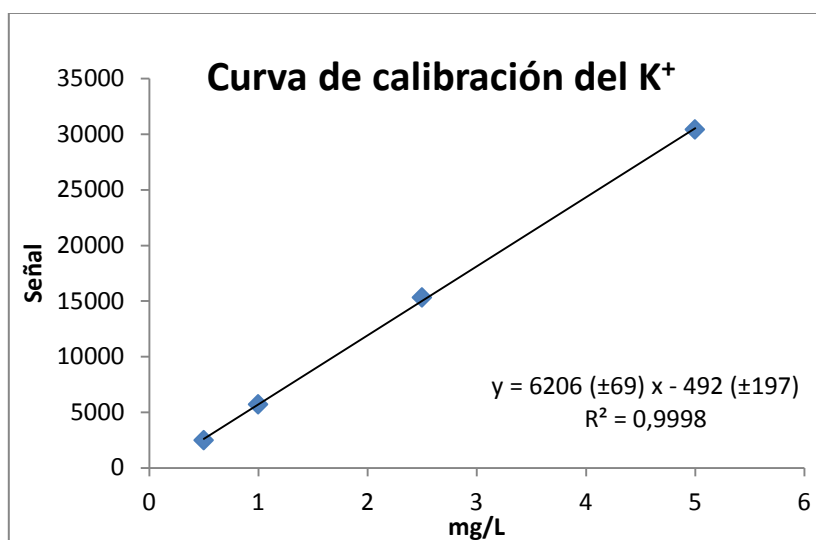
Límite de detección y cuantificación para el Na⁺

Error intercepto Na	323
LD= 3Error Intercepto/m	0,19
LC= 10Error Intercepto/m	0,64

Datos empleados para realizar la curva de calibración del K^+

Patrón	$[K^+]$ mg/L	Intensidad
1	0,5	2470
2	1	5694
3	2,5	15308
4	5	30413

Gráfico de calibración para el K^+



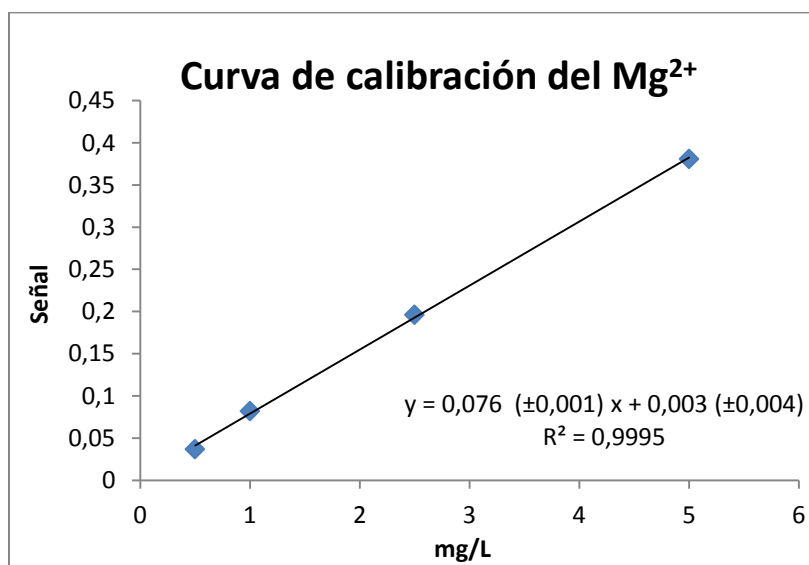
Límite de detección y cuantificación para el K^+

Error intercepto K^+	69,14
LD= 3Error Intercepto/m	0,03
LC= 10Error Intercepto/m	0,11

Datos empleados para realizar la curva de calibración del Mg^{2+}

Patrón	$[\text{Mg}^{2+}]$ mg/L	Absorbancia
1	0,5	0,037
2	1	0,082
3	2,5	0,196
4	5	0,381

Gráfico de calibración para el Mg^{2+}



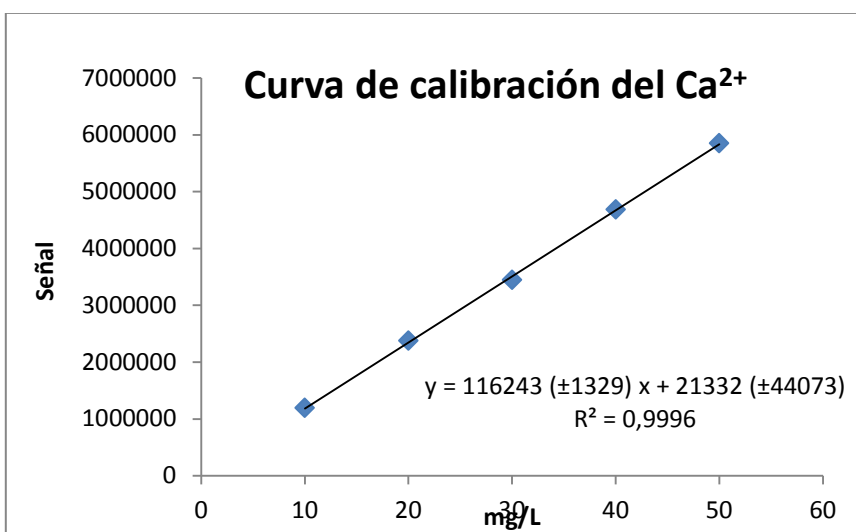
Límite de detección y cuantificación para el Mg^{2+}

Error intercepto Mg^{2+}	0,0012
LD= 3 x Error Intercepto/m	0,05
LC= 10 x Error Intercepto/m	0,16

Datos empleados para realizar la curva de calibración del Ca^{2+}

Patrón	$[\text{Ca}^{2+}]$ mg/L	Intensidad
1	10	1191925,43
2	20	2373126,79
3	30	3444669,49
4	40	4685464,93
5	50	5847898,56

Gráfico de la curva de Ca^{2+}



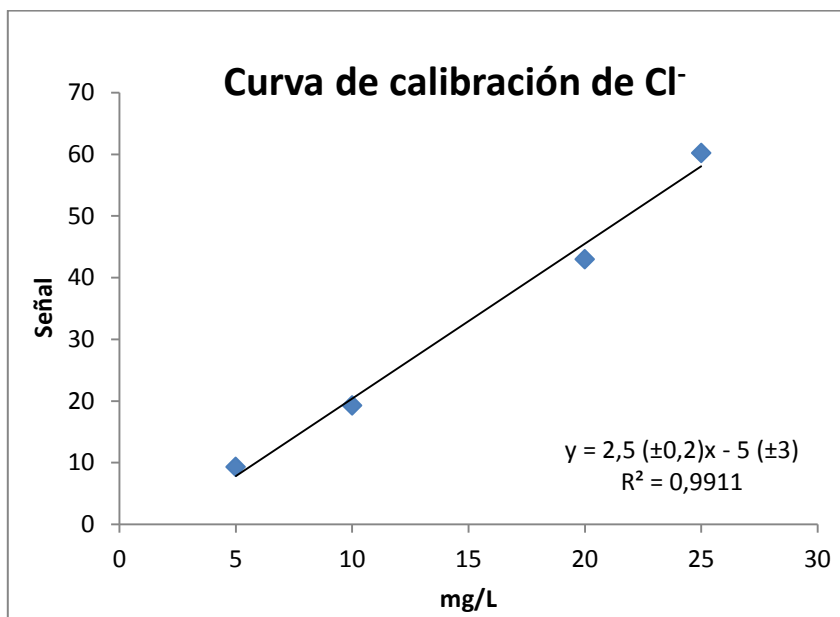
Límite de detección y cuantificación para el Ca^{2+}

Error intercepto Ca^{2+}	1329
$\text{LD} = 3 \text{Error Intercepto}/m$	0,03
$\text{LC} = 10 \text{Error Intercepto}/m$	0,11

Datos empleados para realizar la curva de calibración del Cl⁻

Patrón	[Cl ⁻] (mg/L)	Señal
1	5	9,3
2	10	19,3
3	20	43
4	25	60,2

Gráfico de la curva de Cl⁻



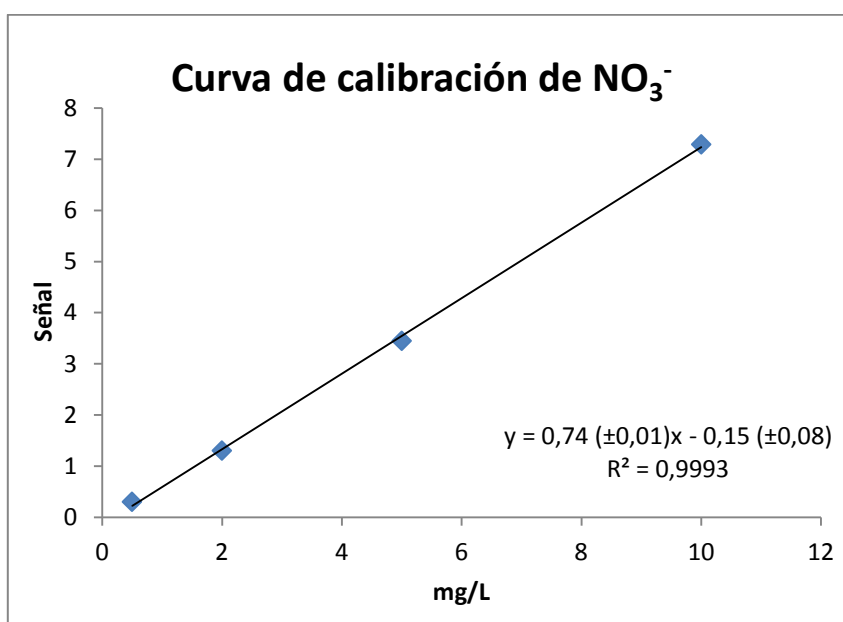
Límite de detección y cuantificación para el Cl⁻

Error intercepto Cl ⁻	0,17
LD= 3 x Error Intercepto/m	0,2
LC= 10 x Error Intercepto/m	0,7

Datos empleados para realizar la curva de calibración de NO_3^-

Patrón	$[\text{NO}_3^-](\text{mg/L})$	Señal
1	0,5	0,3
2	2	1,3
3	5	3,45
4	10	7,29

Gráfico de la curva de NO_3^-



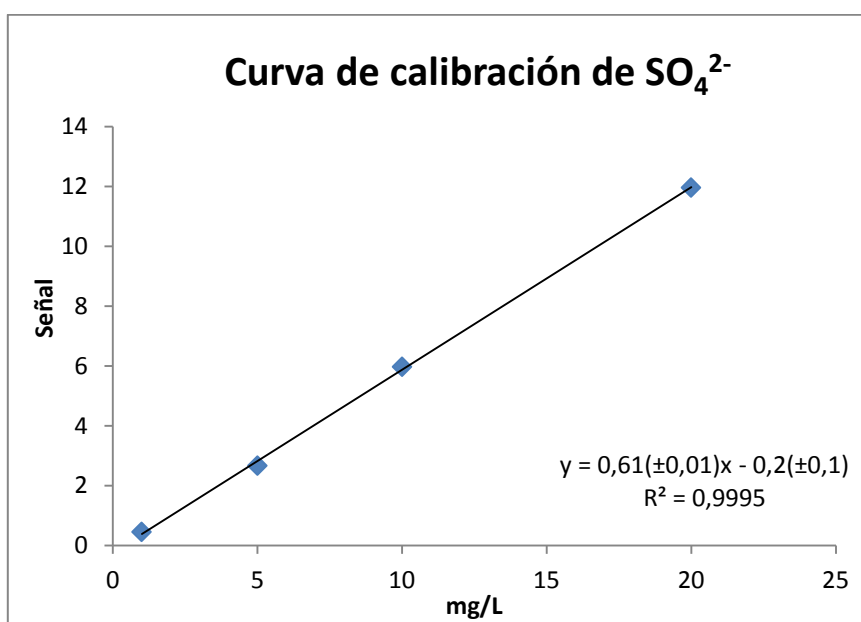
Límite de detección y cuantificación para el NO_3^-

Error intercepto NO_3^-	0,01
$\text{LD} = 3\text{Error Intercepto}/m$	0,05
$\text{LC} = 10\text{Error Intercepto}/m$	0,2

Datos empleados para realizar la curva de calibración de SO_4^{2-}

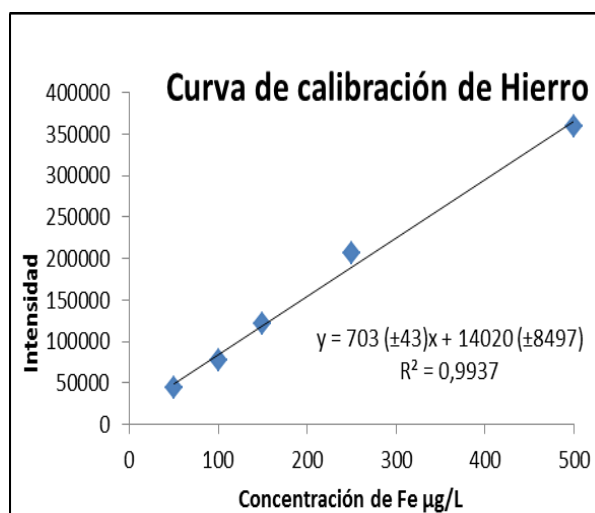
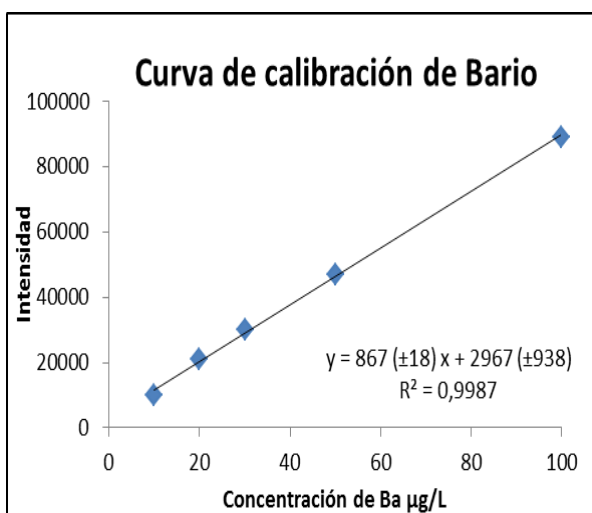
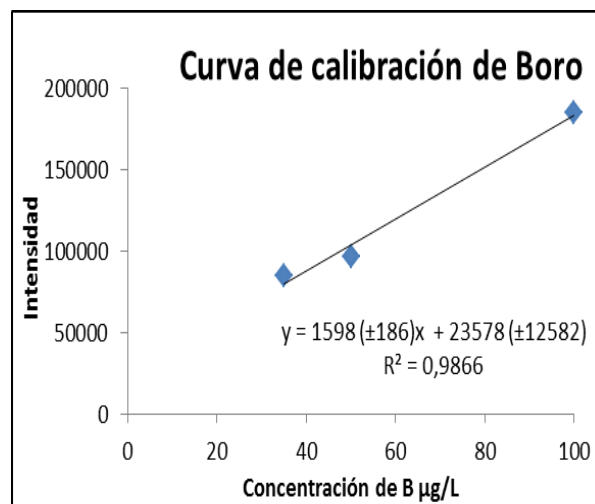
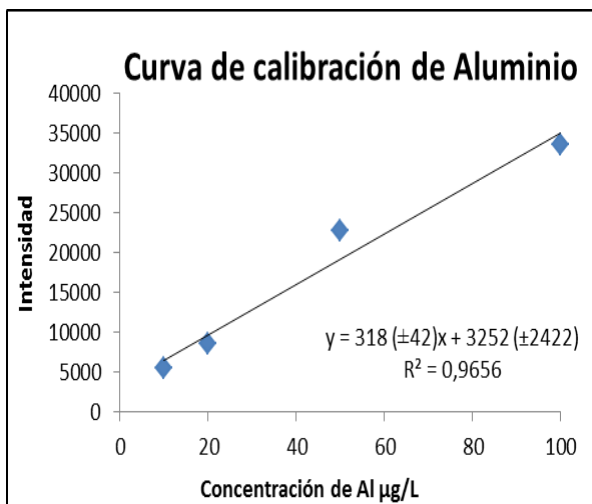
Patrón	$[\text{SO}_4^{2-}]$ (mg/L)	Señal
1	1	0,46
2	5	2,67
3	10	5,97
4	20	11,97

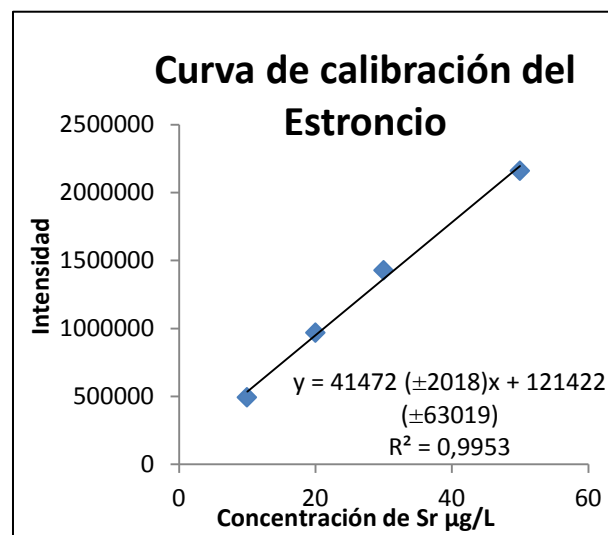
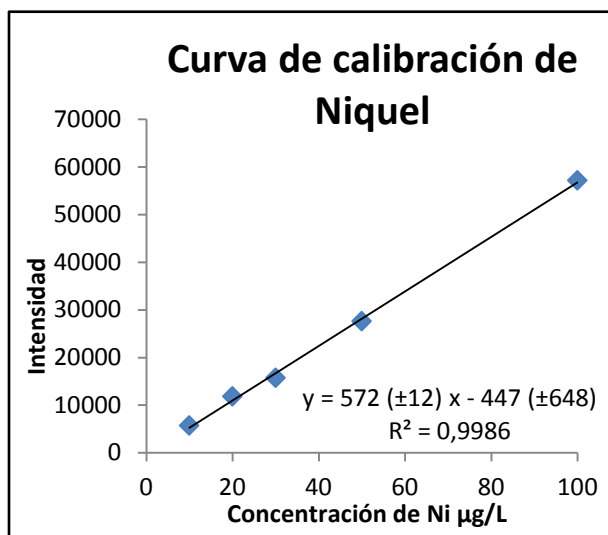
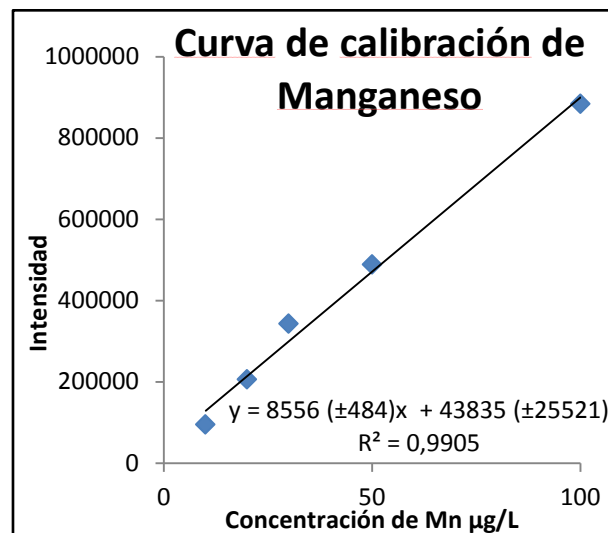
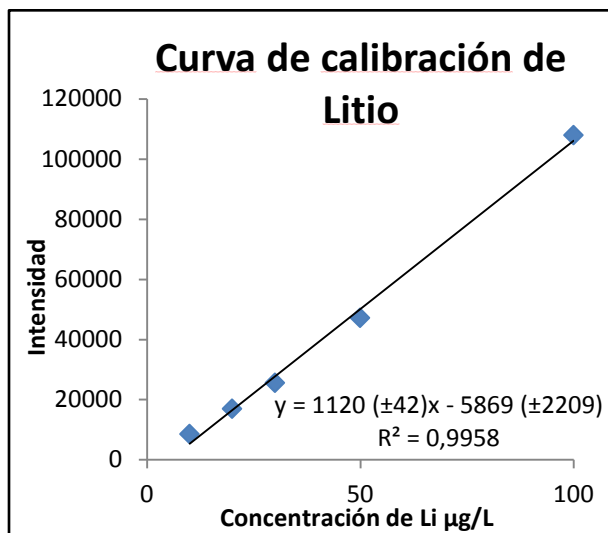
Gráfico de la curva de SO_4^{2-}



Límite de detección y cuantificación para el SO_4^{2-}

Error intercepto SO_4^{2-}	0,01
LD= 3Error Intercepto/m	0,05
LC= 10Error Intercepto/m	0,2

Curvas de calibración para los elementos trazas



APÉNDICE E

- 1- Ecuación utilizada para determinar el balance iónico en las muestras en estudio.
- 2- Procedimiento y fórmula empleada para determinar la conductividad ideal de cada una de las muestras captadas; Conductividades equivalentes de los iones en solución acuosa a 25°C

.

1E Balance Iónico

Se determina a través de la siguiente ecuación

Ecuación # 10

$$\%BI = \left[\frac{(\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones})}{(\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones})} \right] \times 100$$

Σ **cationes**= sumatoria de los cationes determinados, en meq/L

$$\Sigma^+ = \text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}$$

Σ **aniones**= sumatoria de los aniones determinados, en meq/L

$$\Sigma^- = \text{Cl}^- + \text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-$$

En la tabla 1E se ilustran los valores obtenidos de balance iónico para las muestras en análisis

Tabla 1E Error porcentual de balance iónico

Muestra	Σ^+	Σ^-	$\Sigma^+ - \Sigma^-$	$\Sigma^+ + \Sigma^-$	%Balance Iónico
MASPGU-01	1,68	1,69	-0,01	3,38	0
MASPGU-02	1,55	1,65	-0,09	3,20	-3
MASPB-03	390,25	420,86	-30,61	811,10	-4
MASPSB-04	2,08	2,07	0,02	4,15	0
MASPLP-05	2,39	2,55	-0,16	4,94	-3
MASPMC-06	1,64	1,65	-0,01	3,29	0
MASPLG-07	1,56	1,65	-0,09	3,21	-3
MASPSI-08	4,70	4,98	-0,28	9,68	-3
MASPCH-09	2,40	2,50	-0,10	4,90	-2
MASVPC-10	231,83	264,66	-32,83	496,49	-7
MASPRCH-11	8,10	8,35	-0,25	16,45	-2

2E Cálculo de conductividad ideal

La conductividad ideal de una solución acuosa a 25 °C, se considera como la resultante de las contribuciones aditivas de los componentes iónicos y de las conductividades equivalentes iónicas, reportadas en la tabla anexa. La conductividad ideal es calculada como la sumatoria del producto de la concentración del ión por su conductividad.

Considerando sólo la contribución de los cationes, la conductividad ideal se calcula atendiendo a la siguiente ecuación:

Ecuación # 10

$$\mathbf{Cond. Ideal cationes(\mu S/cm) = \Sigma(C_{cationes} \times \mu_{cationes}) + [H^+] \times 1000 \times 349,8}$$

Tomando en cuenta sólo la contribución aniónica, la conductividad ideal obedece a la siguiente ecuación:

Ecuación # 11

$$\mathbf{Cond. Ideal aniones(\mu S/cm) = \Sigma(C_{aniones} \times \mu_{aniones})}$$

Donde $C_{aniones}$ es la concentración determinada de cada uno de los aniones mayoritarios en miligramos por litro (mg/L) y $\mu_{aniones}$ es la conductividad equivalente iónica de cada especie aniónica en $\mu S\text{-L/cm-mg}$ a 25 °C.

Finalmente, la conductividad ideal total a 25 °C para una muestra de agua en particular es:

Ecuación # 12

$$\mathbf{Cond. Ideal (\mu S/cm) = Cond. Ideal cationes + Cond. Ideal aniones}$$

En la siguiente tabla se ilustran los valores reportados para la conductividad de cada especie mayoritaria a 25°C

Tabla 2E Conductividades equivalentes de los iones en solución acuosa a 25°C

<i>Conductividades equivalentes de los iones en solución a 25°C (Cravotta, 1986)</i> Especie iónica	Conductividad a 25 °C ($\mu\text{S-L/cm-mg}$)
Ca ²⁺	3,00
Mg ²⁺	4,34
Na ⁺	2,17
K ⁺	1,89
Cl ⁻	2,14
HCO ₃ ⁻	0,74
SO ₄ ²⁻	1,67
NO ₃ ⁻	1,15

Tabla 3E Conductividad ideal obtenida en las muestras en análisis

Muestra	Cond medida ($\mu\text{S/cm}$)	Cond ideal ($\mu\text{S/cm}$)
MASPGU-01	171,1	187,79
MASPGU-02	166,5	177,57
MASPB-03	43180	51827,19
MASPSB-04	235	228,40
MASPLP-05	265	270,64
MASPMC-06	190	182,75
MASPLG-07	167	178,24
MASPSI-08	544	563,39
MASPCH-09	274	278,15
MASPV-10	24350	31903,58
MASPRCH-11	1006	1013,17

APÉNDICE F

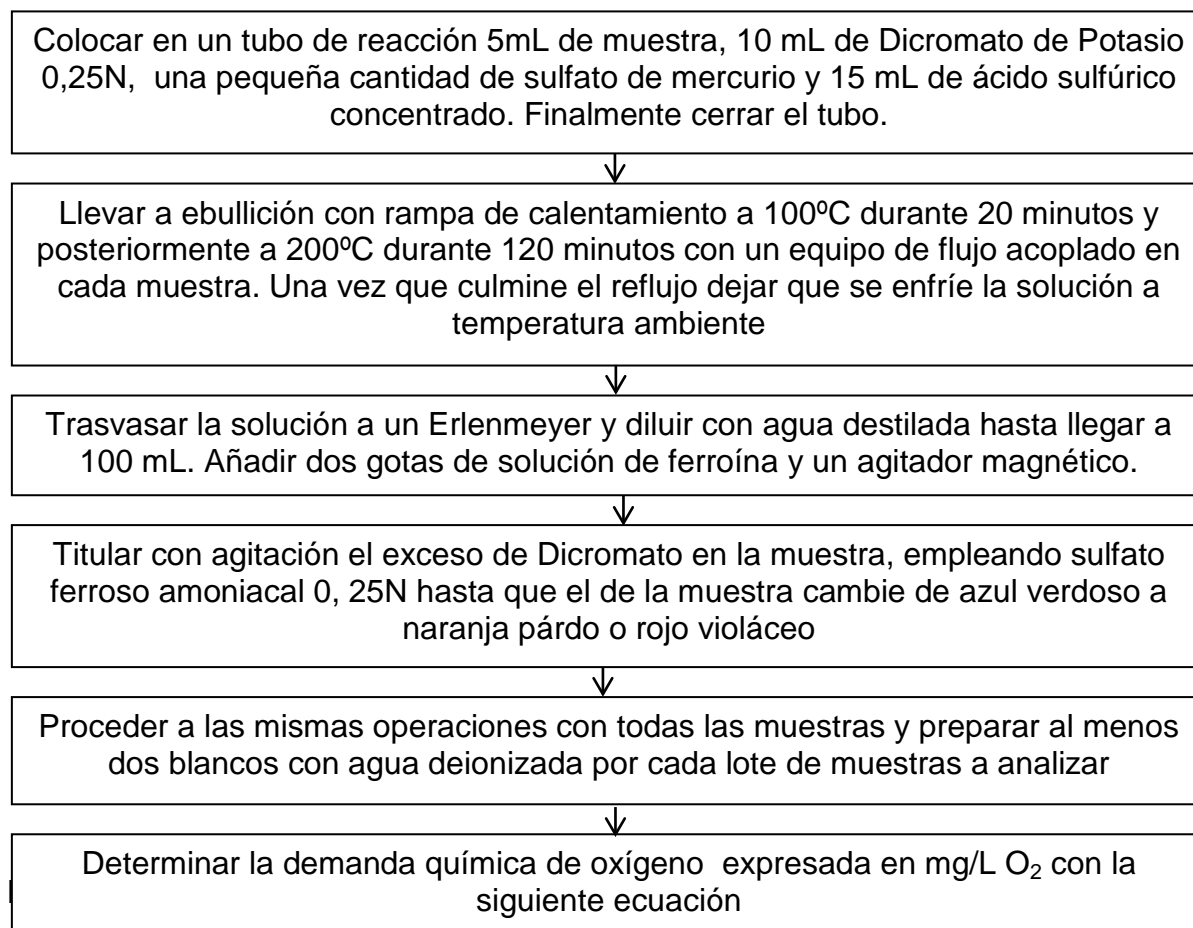
- 1- Procedimiento y ecuación utilizada para determinar la demanda química de oxígeno (DQO) en las muestras en estudio.
- 2- Fórmula empleada para determinar la abundancia de microorganismos indicadores de calidad.
- 3- Fórmula empleada para determinar los sólidos suspendidos (SS) en las muestras en estudio.
- 4- Fórmula empleada para determinar los sólidos disueltos totales (SDT) en las muestras captadas en algunos afluentes de la Laguna de Tacarigua.

1F Demanda Química de Oxígeno

La demanda química de oxígeno (DQO) se determina por el método de reflujo cerrado con posterior titulación con sulfato ferroso amoniacal. En esta técnica ocurre la oxidación química de la materia orgánica e inorgánica, presente en las muestras de agua, con Dicromato de Potasio y Ácido Sulfúrico a ebullición. El exceso de Dicromato se valora con Sulfato Ferroso Amoniacal (FAS). La cantidad de materia oxidable se mide como oxígeno equivalente y es proporcional al oxígeno consumido.

Procedimiento empleado

El procedimiento experimental se llevó a cabo siguiendo los pasos descritos a continuación, modificando las cantidades establecidas en el Estándar Methods.



Obtención de DQO: se obtiene a través de la siguiente ecuación.

Ecuación # 13

$$\text{mg/L O}_2 = \frac{(V_{\text{blanco}} - V_{\text{FAS consumido}}) \times \text{concentración FAS} \times 8000}{V_{\text{mx}}}$$

Dónde:

V_{blanco} es el volumen de blanco (agua destilada) con todo el tratamiento indicado en la metodología.

$V_{\text{FAS consumido}}$ es el volumen del sulfato ferroso amoniacal gastado en la titulación por cada muestra.

Concentración FAS concentración del sulfato ferroso amoniacal

V_{mx} volumen de muestra.

2F Microbiología Para la determinación de las especies en estudio se empleó la siguiente ecuación

Ecuación # 14

$$\text{Titulo} = \frac{n^{\circ} \text{colonias} \times \text{Factor dilución}}{V_{\text{siembra}} (\text{ml})}$$

3F Sólidos suspendidos (SS): Ecuación utilizada para determinar la cantidad de sólidos suspendidos por 1l de muestras de agua analizada

Ecuación # 15

$\text{Sólidos}_{\text{suspendidos}} (\text{mg l}) = \frac{[(\text{Masa}_{\text{filtro}} + \text{Masa}_{\text{muestra}}) - \text{Masa}_{\text{filtro}}] \text{mg}}{\text{Volumen}_{\text{Agua}} (\text{l})}$
--

Tabla 1F Sólidos suspendidos en las muestras de interés

Muestra	Volumen (L)	(Peso ± 0,0001)g	Sólidos suspendidos (mg/L)
MASPGU-01	0,94	0,1765	0,11
MASPGU-02	0,97	0,2403	0,17
MASPBU-03	0,98	0,0934	0,02
MASPSB-04	0,97	0,0822	0,01
MASPLP-05	0,97	0,1884	0,12
MASPMC-06	0,96	0,1394	0,07
MASPLG-07	0,98	0,783	0,72
MASPSI-08	0,98	0,0814	0,00
MASPCH-09	0,96	0,1081	0,03
MASPVC-10	0,96	0,0835	0,01
MASPRCH-11	0,97	0,0871	0,01
El peso del papel de filtro solo es de 0,0768 ± 0,0001 g			

4F Sólidos disueltos totales (SDT): Ecuación utilizada para determinar la cantidad de sólidos suspendidos por 1l de muestras de agua analizada

Ecuación # 16

$$\text{SDT} = \Sigma \text{ cationes (mg/L)} + \Sigma \text{ aniones (mg/L)}$$