

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUIMICA



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
“Estudio de la calidad del agua del humedal costero, Laguna de Tacarigua, Edo.
Miranda, Venezuela”.

Trabajo Especial de Grado presentado ante
la ilustre Universidad Central de Venezuela
por la **T.S.U. Sandra Yamilet Diaz
Zambrano** como requisito optar al Título de
Licenciada en Química.

Caracas, mayo de 2012

Los abajo firmantes asignados por la Universidad Central de Venezuela, como integrantes del jurado examinador del Trabajo Especial de Grado titulado: **“ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL COSTERO, LAGUNA DE TACARIGUA, EDO. MIRANDA, VENEZUELA”**. Presentado por la T.S.U. Sandra Yamilet Diaz Zambrano, certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por nuestra Magna Casa de Estudios para optar por el título de Licenciada en Química.

Dr. Ramón Montero
(Director)

Dra. Nora Malaver
(Jurado)

Dr. Carlos Yáñez
(Jurado)

RESUMEN

En el presente trabajo, se realizó la evaluación de 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. Las estaciones se seleccionaron considerando los distintos aportes de ríos y caños que desembocan en el mismo, incluyendo el aporte de aguas marinas. Se realizaron mediciones In situ de: temperatura, conductividad, pH, salinidad, turbidez y profundidad; además se colectaron muestras para realizar en el laboratorio, la determinación de especies químicas y DQO (solo para seis lugares con niveles de cloruro por debajo de 2000 mg/l); así mismo, para análisis microbiológicos para bacterias heterótrofas, y especies Vibrio, incluyendo indicadores de calidad sanitaria como coliformes totales, coliformes fecales y enterococos.

Los resultados mostraron una variabilidad en las diferentes zonas, lo cual puede ser atribuida al aporte de los diversos afluentes en algunas estaciones y a la constante intrusión de aguas marinas en otras; lo que queda evidenciado a través de los parámetros medidos In situ a saber: la temperatura fluctuó de 26,6°C (C. Mono) a 31,3 (C. San Ignacio); para la conductividad y la salinidad se mostraron una relación directa, con valores más altos en la Boca de 50400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 3,2% respectivamente; mientras que los valores más bajos fueron obtenidos para el C. Madre Casaña de 163 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 0%; en lo que respecta al pH se determinó un rango de 6,9 (C. Mono) a 8,7 (Boca) lo que indica un carácter neutro a ligeramente alcalino, en lo que respecta a la turbidez el mayor valor se ubica para el sector el Guapo (160 NTU) y el menor para la Boca (5,80 NTU); la profundidad varió desde 0,7m Laguna Arena hasta 2,40 m para la Boca.

En lo que respecta a las otras determinaciones químicas realizadas, se puede señalar que las aguas de la Laguna, pueden ser caracterizadas químicamente de acuerdo a la cantidad de iones mayoritarios que estas poseen y utilizando el diagrama de Piper en: un 69% como aguas cloruradas-sódicas; un 19% cloruradas-sódicas-magnésicas y un 12% cloruradas-magnésicas.

Los resultados obtenidos de los indicadores de calidad microbiológica establecidos en el Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021, 1995. Normativa Nacional) coliformes totales y coliformes fecales, indican que los sectores que tienen calidad de agua aceptable son El Cazote, Laguna Arena y la Boca y algunas zonas como Manatí, C. San Ignacio, Carambola y Las Lapas, porque su abundancia (UFC/100 ml), no supera los límites establecidos para el Tipo 4 de agua destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia, de contacto directo o indirecto con el hombre. Sin embargo, para indicadores como los enterococos según normativa internacional solo tendrían agua de calidad aceptable C. San Ignacio y la Boca. En lo que respecta a la determinación de bacterias heterótrofas se determinó que solo en el C. El Mono no se detectó estos microorganismos, lo que indica que en las demás zonas muestreadas de la Laguna se determinó la presencia de una gran cantidad de materia orgánica, este resultado se confirma con lo obtenido para la DQO cuyo menor valor y aceptable también se obtuvo para C. Mono. Finalmente, solo en C. Pirital y Marapatá no se detectó especies Vibrio, lo que indica que en la Laguna existe la presencia de estos microorganismos que son causantes de enfermedades gastrointestinales al ingerir alimentos o aguas contaminadas con estos.

Las determinaciones realizadas en general indican que la Laguna 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. Debe resaltarse que el presente Trabajo Especial de Grado forma parte del Proyecto PPD: VEN/SGP/OP4/Y3/RAF/15, financiado por el PNUD.

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

Dedicatoria

A todas aquellas personas que durante toda mi vida, me han orientado, apoyado, animado, enseñado, querido y amado, en especial a mis hermanos mis chiquititos y a mi tesoro más preciado mis padres hermosos, los amo.

Sandra Díaz "samily"

AGRADECIMIENTOS

*A Dios y a la Virgen, por guiar mis pasos, por facilitar mi camino de estudiar en la UCV y trabajar en el Instituto Nacional de Higiene R.R y afrontar la responsabilidad de llevar mi casa como hija mayor; al mismo tiempo. No fue fácil cuadrar las horas de clase, los permisos, las situaciones incómodas, el cansancio, la parte económica, etc.

*Al INH Rafael Rangel en especial a mis jefas Dra. Thais, Dra. Grace por darme la oportunidad de estudiar y trabajar y así alcanzar mi sueño y a la vez ayudar a mi familia.

*A la casa que vence las sombras la UCV, a la Facultad de Ciencias en especial a la escuela de química, por brindarme el conocimiento y los instrumentos necesarios para culminar de manera satisfactoria la meta que me propuse desde el 2006 y a todos los profesores que me dieron clase, me enseñaron a crecer como profesional, pero también como persona.

*A mis amigos, que gracias a Dios han sido muchos tanto en la UCV, como en el INH: Kelly (casi hermana), Valentina, Yuleima, Karelys, Eglé, Heisel, Noriega, Veira, Carlos, Rogelio, Wilmer, Martha, Wiler, Deybi, Albany, Albert, Quimberly, Diana, Jean Carlos, Diego, Joeneth, Alejandra, Yurvic, Neidy, María; William, Cruz, Thais, Grace, etc.; sin su ayuda, apoyo y compañía durante y al final de esta etapa no hubiera podido alcanzar mi meta.

*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 permitirme entrar en el mismo, excelente experiencia tanto humana como profesional.

*A los chicos del Laboratorio de Hidrogeoquímica del ICT, excelente apoyo Sr. Fernando, Angel, a mi amigo Luis, Franco y Fernanda y por su puesto a las chicas del IZET Nathaly, Ingrid y Laura las quiero.

*A mi Tutor Ramón Montero, que a pesar de sus múltiples ocupaciones, siempre saco tiempo para atenderme; gracias Profe por su dedicación, orientación, confianza y apoyo.

*A Mary Pino, excelente tu apoyo, tu orientación, tu amistad incondicional.

*A mi familia, por su apoyo incondicional, por la paciencia y por atenderme en este último año que si me enferme, lo que no me paso durante casi toda la carrera, ustedes son mi mayor motivo para seguir adelante, los amo.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	OBJETIVOS	5
2.1.	Objetivo general:	5
2.2.	Objetivos específicos:.....	5
3.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
	Agua.....	6
3.1.	Clasificación de las aguas	7
3.1.1.	Según su origen.....	7
a.	Clasificación de los humedales.....	10
b.	Importancia de los humedales	12
3.1.2.	Clasificación del agua según su composición química	13
	Principales constituyentes químicos.....	13
	Diagramas donde se representan la clasificación de las aguas naturales según su composición química.....	19
3.1.3.	Clasificación según su uso atendiendo el Decreto 883	22
3.1.1.1.	Aguas Tipo 4 A: Aguas para el contacto humano total.....	24
3.1.1.2.	Aguas Tipo 4 B: Aguas para el contacto parcial.....	24
3.2.	Calidad del agua.....	25
3.2.1.	Características físicas.....	25
	Temperatura.....	25
	Sólidos suspendidos totales (SST).....	25
	Turbidez	26
3.2.2.	Características químicas.....	26
	Conductividad.....	26
	Salinidad	26
	Sólidos disueltos totales (SDT)	27

Dureza	27
pH.....	28
Alcalinidad	28
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	29
3.3.3. Indicadores microbiológicos.....	30
Coliformes totales.....	31
Coliformes fecales.....	33
Enterococos	34
Bacterias heterótrofas:	35
Especies Vibrio.....	36
3.4. Antecedentes.....	37
3.4.1. Internacionales	37
3.4.2. Nacionales	44
3.5. Zona de estudio.....	47
3.5.1. Ubicación y superficie.....	47
3.5.2. Clima.....	50
3.5.3. Tipo de suelo	50
3.5.4. Biodiversidad	50
3.5.5. Geología	52
3.5.6. Actividades humanas cercanas a la zona de interés.	52
4. METODOLOGÍA.....	54
4.1. Etapa de pre-campo:.....	54
4.2. Etapa de campo	57
4.3. Etapa de post-campo.....	63
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	72
5.1. Datos experimentales	73
5.1.1. Nombre y ubicación de los puntos de muestreo.	74
5.1.2. Parámetros fisicoquímicos determinados “in situ” por cada sector.....	75
5.2. Presentación y discusión de Resultados	85

5.2.1. Límites de detección.....	86
5.2.2. Validación de resultados.....	86
• Balance Iónico	86
• Relación de la conductividad medida frente a la conductividad ideal	88
5.2.3. Alcalinidad	90
5.2.4. Especies químicas mayoritarias Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- y SO_4^{2-}	92
5.2.5. Clasificación química de las aguas estudiadas.....	95
5.2.6. Elementos traza.....	97
5.2.7. Sílice disuelta (SiO_2), sólidos suspendidos y sólidos disueltos.....	100
5.2.8. Demanda química de oxígeno y dureza de las aguas de cada sector de La Laguna. 103	
5.2.9. Análisis microbiológicos.....	105
5.2.9.1. Indicadores de Calidad Microbiológica.....	106
• Coliformes Totales (CT)	107
• Coliformes fecales (CF).....	110
• Enterococos (ENT).....	112
5.2.9.2. Heterótrofas y especies Vibrio	115
• Heterótrofas	116
• Especies Vibrio	118
5.2.10. Análisis de componentes principales	120
6. CONCLUSIONES.....	125
7. RECOMENDACIONES.....	127
8. REFERENCIAS.....	128
9. APÉNDICE	138
9.1. Promedio y DEVEST de Parámetros Físicoquímicos	138
9.2. Alcalinidad: Gráficos para determinar el Volumen de ácido ideal y la ecuación para la determinación de la alcalinidad en mg/l de HCO_3^-	139

9.3. Sólidos suspendidos: Ecuación utilizada para determinar la cantidad de sólidos suspendidos por 1l de muestras de agua analizada	139
9.4. Curva de calibración de Sodio: Valores utilizados para realizar la curva de Na y el límite de detección y el límite de cuantificación calculados con ayuda de Excel.....	140
9.5. Curva de calibración de Potasio: Valores utilizados para realizar la curva de K y el límite de detección y el límite de cuantificación calculados con ayuda de Excel.	141
9.6. Curva de calibración Calcio: Valores utilizados para realizar la curva de Ca y el límite de detección y el límite de cuantificación calculados con ayuda de Excel.....	142
9.7. Curva de calibración de Magnesio: Valores utilizados para realizar la curva de Magnesio y el límite de detección y el límite de cuantificación calculados con ayuda de Excel.	143
9.8. Curva de calibración de sulfatos: Valores utilizados para realizar la curva de iones Sulfato y el límite de detección y el límite de cuantificación calculados con ayuda de Excel.	144
9.9. Obtención de cloruros por titulación con nitrato de plata	145
9.10. Obtención de DQO: se obtiene a través de la siguiente ecuación.	145
9.11. Obtención de la abundancia de los diferentes microorganismos estudiados. .	145
9.12. Balance iónico.....	146
9.13. Calculo de conductividad ideal.....	146

INIDICE DE TABLAS

Tablas	Página
Tabla 1: Clasificación general de las aguas	7
Tabla 2: Principales componentes del agua de mar	9
Tabla 3: Clasificación de humedales según RAMSAR	11
Tabla 4: Constituyentes más importantes de las aguas naturales	14
Tabla 5: Composición de iones para cuerpos de agua dulce y agua salada	14
Tabla 6: Tipos de agua según usos asociados	23
Tabla 7: Parámetros establecidos para las aguas. Tomado del Decreto Presidencial 883 versión 1995	24
Tabla 8: Tipos de aguas de acuerdo a valores de salinidad	27
Tabla 9: Puntos de muestreos seleccionados	58
Tabla 10: Ubicación y nombre de cada uno de los puntos muestreados	74
Tabla 11: Parámetros fisicoquímicos medidos <i>In situ</i> en cada sector de la Laguna de Tacarigua	77
Tabla 12: Valores promedio de parámetros fisicoquímicos medidos “in situ” por cada sector e intervalos determinados en la Laguna.	81
Tabla 13: Límite de detección de las especies químicas determinadas	86
Tabla 14: Balance iónico obtenido para los dieciséis puntos de muestreo de la Laguna de Tacarigua.	87
Tabla 15: Conductividad ideal calculada con las determinaciones realizadas en el laboratorio y conductividad medida en campo	89
Tabla 16: Determinación de alcalinidad de cada una de las muestras de la Laguna de Tacarigua	91
Tabla 17: Concentración en mg/L de las especies mayoritarias determinadas en los dieciséis puntos de muestreo de la Laguna de Tacarigua, son mostrados además los rangos de cada sector	93
Tabla 18: Clasificación de las aguas en los puntos muestreados en la Laguna atendiendo a sus principales constituyentes, mediante el Diagrama de Piper.	97

Tabla 19: Elementos traza determinados en las distintas zonas de la Laguna, expresados mg/L.	98
Tabla 20: Valores de la concentración de la sílice disuelta (SiO_2), sólidos disueltos y sólidos suspendidos en cada una de las muestras de agua captadas en los sectores que conforman la Laguna de Tacarigua.	101
Tabla 21: Demanda química de oxígeno (DQO) y dureza (mg/L CaCO_3) en las diferentes zonas muestreadas de la Laguna de Tacarigua	103
Tabla 22: Indicadores de calidad microbiológicos presentes en las distintas zonas muestreadas en la Laguna de Tacarigua.	107
Tabla 23: Estatus de la calidad del Agua de las zonas muestreadas de la Laguna de Tacarigua	115
Tabla 24: Valores de concentración obtenidos para las especies microbiológicas BHET y VIB, presentes en las distintas zonas muestreadas en la Laguna de Tacarigua.	116

INDICE DE FIGURAS

Figuras	Página
Figura 1: Composición de agua a nivel mundial	6
Figura 2: Tipos de humedales según Ramsar (1971)	12
Figura 3: Diagrama de Piper	20
Figura 4: Clasificación de las aguas según Piper	21
Figura 5: Diagrama de Schoeller-Berkaloff mostrando tres aguas diferentes	22
Figura 6: Efecto del pH en el por ciento de composición de especies de dióxido de carbono en agua	29
Figura 7: Imagen de grupos coliformes	31
Figura 8: Distintas bacterias que conforman el grupo de coliformes: Enterobacter, Citrobacter, Klebsiella y Escherichia.	32
Figura 9: Coliformes fecales	33
Figura 10: Vista microscópica de las bacterias Enterococos	34
Figura 11: Bacterias Heterótrofas encontradas en una muestra determinada en el Laboratorio de Microbiología Ambiental del Instituto de Ecología y Zoología Tropical	35
Figura 12: Vista microscópica de la bacteria Vibrio cholerae	36
Figura 13: : Ubicación Geográfica de la Laguna de Tacarigua, en el Estado Miranda	48
Figura 14: Mapa de la Laguna de Tacarigua que indica las 5 lagunas internas	49
Figura 15: Diagrama de la etapa de Pre-campo	56
Figura 16: Diagrama de preparación de material y equipos para realizar muestreos	57
Figura 17: Mapa que indica los puntos de muestreo	59
Figura 18: A. Sistema de filtración al vacío por membrana de 0,45 μ , B. Membrana 0,45 μ antes luego de filtración de muestras de agua y antes de sembrarla.	61

Figura 19: A. Caldo de activación de especies Vibrios antes de proceder a realizar diluciones B. Método de arrastre por superficie utilizado para realizar la determinación de especies Vibrio y Bacterias Heterótrofas.	62
Figura 20: Diagrama de la etapa de campo	63
Figura 21: Bureta portátil	64
Figura 22: Función de gran.	65
Figura 23: Equipo de filtración al vacío con membrana de 0,45μ	65
Figura 24: Espectrofotómetro atómico Perkin Elmer analist 200	66
Figura 25: Equipo de emisión atómica con fuente de plasma de coplamiento inductivo marca Horiban Jobin Xwn AS 500.	67
Figura 26: Cromatógrafo marca Dionex, modelo Dx-120 Ion Chromatograph	67
Figura 27: a. muestra + cromato de potasio, b. muestra + nitrato de plata; muestra en el punto final de la titulación.	68
Figura 28: a. Equipo de reflujo abierto. b. Coloración de punto final de titulación con sulfato ferroso amoniaco utilizando como indicador ferroína.	69
Figura 29: Indicadores microbiológicos de calidad obtenidos para una muestra de agua de este trabajo: a. se muestran las bacterias coliformes totales de colonias de color rojo y coliformes fecales colonias de color azul. b. enterococos.	70
Figura 30: En a. se observa las colonias que representan las especies Vibrio y en b, las colonias de las bacterias heterótrofas que se encontraron en una muestra de agua de la Laguna.	70
Figura 31: Diagrama de las determinaciones en esta etapa de post-campo	71
Figura 32: Imagen tomada durante salida de campo que evidencia que el sector de la boca se encontraba en contacto directo con el mar (Boca abierta).	73
Figura 33: Variación de la conductividad con el % salinidad cada uno de los puntos muestreados	83

Figura 34: Principales afluentes que desembocan en la Laguna y las 16 zonas muestreadas.	85
Figura 35: Relación en meq/ de los aniones en función de los cationes	88
Figura 36: Relación entre la conductividad ideal con la medida en el campo.	90
Figura 37: Diagrama de Piper para las muestras captadas en la Laguna de Tacarigua	95
Figura 38: Abundancia de CT hallados en las zonas muestreadas de la Laguna de Tacarigua y el valor de referencia en la normativa vigente.	108
Figura 39: Abundancia de CF medidos en las zonas muestreadas de la Laguna de Tacarigua y el valor de referencia en la Normativa Nacional Vigente.	111
Figura 40: Abundancia de enterococos (ENT) hallados en todas las zonas muestreadas de la Laguna y el valor recomendado por la normativa internacional (EPA).	113
Figura 41: Abundancia de BHET halladas en todas las zonas de la Laguna.	118
Figura 42: Abundancia de VIB halladas en todas las zonas de la Laguna	119
Figura 43: Diagrama de componentes principales para las determinaciones fisicoquímicas realizadas en los 16 puntos muestreados en la Laguna de Tacarigua.	122
Figura 44: Diagrama de componentes principales para las determinaciones microbiológicas realizadas en los 16 puntos muestreados en la Laguna de Tacarigua.	123
Figura 45: Diagrama de componentes principales para todas las determinaciones realizadas en los 16 puntos muestreados en la Laguna de Tacarigua.	124

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, a nivel mundial existe interés por la conservación de los ecosistemas naturales debido a la importancia que estos representan, no solo como fuente y refugio de una gran diversidad de especies, sino como generadores de una cantidad inmensa de beneficios para los seres humanos.

Los humedales son ecosistemas que forman parte de la riqueza natural del planeta. A escala mundial brindan servicios por valores de billones de dólares de forma completamente gratuita, constituyéndose en un contribuyente fundamental a la salud y al bienestar humano. Sin embargo, con el transcurrir de los años a medida que aumenta la población mundial, mayor es la presión sobre los recursos hídricos, así como las amenazas que se ciernen a causa del cambio climático. Estos ecosistemas no escapan a este problema, estimándose que la mitad de la superficie original de humedales en el mundo se ha perdido, mientras que de los restantes, una parte considerable se encuentra deteriorada o en riesgo de perderse ^[1]. El 2 de febrero de 1971 en la ciudad de Ramsar en Irán, se celebró la primera convención mundial sobre los humedales, un evento que culminó con la firma de un tratado intergubernamental que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional a favor de la conservación y uso racional de estos ecosistemas. En el presente, más de 140 países han ratificado la denominada Convención Ramsar, entre ellos Venezuela, quien se sumó al tratado en el año 1988, comprometiéndose a velar por todos los humedales del país, en especial a los que pertenecen a la lista Ramsar, considerados como humedales de importancia internacional ^[2].

Venezuela, posee una gran cantidad de humedales artificiales, así como también una gran diversidad de humedales naturales, entre estos últimos se destacan los

humedales costeros, que se encuentran a lo largo de la extensa línea de la costa y que se caracterizan por ser ecosistemas acuáticos altamente dinámicos que tienen una comunicación temporal o permanente con el mar, que reciben el aporte de aguas provenientes del continente. El resultado de la mezcla de estas masas de agua de características diferentes, provee a estos sistemas, de condiciones particulares en su compartimiento físico, químico y biológico con valorable repercusión en su ecología. ^[3] Dichos ecosistemas son claves para la biota marina; igualmente, constituyen reservorios con un alto potencial de diversidad biológica y con fuentes de recursos renovables. Sin embargo, estos ecosistemas costeros están amenazados por el aumento del nivel del mar, la composición y carga de la escorrentía de los ríos, así como la erosión costera a causa del cambio climático ^[4].

En nuestro país se sabe de la existencia de 53 humedales costeros, de los cuales 4 son localidades Ramsar; como: el Refugio de Fauna Silvestre Cuare, en el estado Falcón (23/11/88); la Ciénaga de Los Olivitos, en el estado Zulia (04/09/96); la Laguna de la Restinga, en el estado Nueva Esparta (04/09/96) y la Laguna de Tacarigua, en el estado Miranda (04/09/96); estos dos últimos están amparados bajo la figura de Parques Nacionales ^[5].

Uno de estos humedales costeros existentes en el país y de especial interés en este trabajo, es El Parque Nacional Laguna de Tacarigua, clasificado por ser un ecosistema frágil con una alta biodiversidad de aves, especies marinas, de estuarios, de gran impacto en la vida de las poblaciones cercanas por ser fuente de agua y seguridad alimentaria. Este parque nacional está ubicado en el estado Miranda, en el sector litoral de la región de Barlovento, entre las poblaciones de Machurucuto, Cupira, El Guapo y Río Chico. Comprende una laguna costera permanente dominada por bosques de manglar, separada del mar Caribe por una barrera litoral de aproximadamente 30 Km, de largo. El Parque está comprendido por un sector marino

de 20700 hectáreas (52,94%) y un sector terrestre de 18400 hectáreas (47,06%), el cual incluye 7800 hectáreas ocupadas por la Laguna ^[6].

En los últimos años varios factores amenazan la conservación de la diversidad biológica del Parque Nacional Laguna de Tacarigua, entre ellos se pueden mencionar: la sedimentación acelerada, la contaminación con desechos sólidos, la contaminación de las aguas, la pesca ilegal, la cacería furtiva y los incendios forestales ^[7]. Estos problemas sumados a los que han ocurrido por cambios externos ocasionados por desastres naturales, tal es el caso de la tragedia en diciembre de 1999 que provocó grandes deslaves de tierra en la Cordillera de la Costa, aumentado la cantidad de sedimentos en la laguna; además los efectos provocados por la urbanización de las localidades cercanas, como el aumento de las actividades turísticas, la mala manipulación de aguas servidas y desechos por parte de la población ^[7], han traído como consecuencia directa, tanto la pérdida de la calidad fisicoquímica como microbiológica del cuerpo de agua superficial, originando el aumento en el deterioro de la biota del ecosistema y la disminución de la profundidad de la Laguna de Tacarigua ^[8].

El desconocimiento de los valores y beneficios de los humedales constituye uno de los principales problemas que atentan contra su conservación en Venezuela. Por esta razón, resulta impostergable informar a la colectividad sobre su importancia, a fin de propiciar valores, conocimientos y conductas, que vayan de la mano con el desarrollo sustentable de la Laguna.

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad realizar un estudio de la calidad del agua del humedal costero de la Laguna de Tacarigua, mediante determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas en diferentes zonas de la laguna que permitieran determinar, en primer lugar que los diversos parámetros evaluados, se encuentren dentro de los intervalos establecidos en el Decreto 883 (Gaceta Oficial, N° 5021, 1995) concernientes a los “Tipos de Agua según su uso” y en segundo lugar

realizar una caracterización actualizada tanto fisicoquímica como microbiológica, de este cuerpo de agua superficial.

Los resultados de este estudio permitirán informar o alertar sobre el estado actual del cuerpo de agua a los Organismos Competentes y a la Comunidad; con el propósito de contribuir con el proceso de concientización y sensibilización en la conservación de este importante humedal para nuestro país. Es importante destacar que este trabajo forma parte del primer componente 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”**.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general:

Determinar la calidad actual del agua del Humedal Costero, Laguna de Tacarigua, Edo. Miranda.

2.2. Objetivos específicos:

- Caracterizar fisicoquímicamente las aguas de las cinco lagunas internas y el sector la Boca a través de la medición de parámetros como turbidez, temperatura, pH, conductividad, salinidad y profundidad.
- Realizar la caracterización hidroquímica de los seis sectores, a través de la determinación de las especies químicas mayoritaria Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SiO_2 , Cl^- , SO_4^{2-} y HCO_3^- y algunos elementos traza como Sr, Ba, Hg, Li, y Fe.
- Identificar y clasificar las aguas presentes en los seis ambientes de interés en la zona de estudio, según el contenido de SDT, DQO y dureza; además de los tipos de agua según su composición química.
- Caracterizar microbiológicamente los seis sectores en estudio de la Laguna de Tacarigua, a través de la cuantificación de bacterias heterótrofas (BHET), especies Vibrio (VIB) y los indicadores de calidad microbiológica como coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF) y enterococos (ENT).
- Definir el estatus de la calidad de agua en cada una de las zonas de muestreo del humedal, de acuerdo a los resultados obtenidos y tomando en cuenta la Normativa Nacional vigente.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A continuación, son discutidos algunos aspectos teóricos de interés para el presente trabajo de investigación.

Agua

El agua es una de las sustancias nobles que existen en la naturaleza, su importancia radica en la necesidad que tienen los seres vivos de consumir este líquido para sus funciones vitales. El agua se presenta en los tres estados de la materia: en estado líquido está presente en lagos, ríos, lagunas, acuíferos, mares y océanos circundantes; en estado gaseoso se presenta como vapor de agua en la atmósfera y en estado sólido cubre las regiones polares y las montañas más altas en forma de hielo o nieve.

Aunque el agua es el elemento más frecuente en la Tierra, tal como se observa en la Figura 1, el 97,5% es agua salada contenida en el mar y océano, sólo el 2,5% es agua dulce, denominada así por su baja concentración de sales disueltas en comparación con el agua salada.



Figura 1: Composición de agua a nivel mundial [9]

El agua dulce en su mayoría, se encuentra en glaciares y capas de hielo, principalmente en Groenlandia y la Antártica. También una porción importante se

encuentra atrapada en depósitos subterráneos profundos de difícil acceso y sólo el 0,3%; de las aguas dulces se encuentra en lugares que podrían ser consideradas accesibles, tal es el caso de los lagos, lagunas y ríos para ser utilizada por los seres vivos en sus diversas actividades ^[9].

3.1. Clasificación de las aguas

La gran variedad de componentes y características fisicoquímicas del agua natural, exige su clasificación; esto con el propósito de tener una información breve y sencilla sobre la composición química del agua y de los aspectos de la misma, lo que permite agruparlas atendiendo a características similares. En ese sentido, las aguas pueden ser clasificadas según su origen, composición química y uso. La tabla 1 muestra como se clasifican las aguas.

Tabla 1: Clasificación general de las aguas

Origen	Composición química	Según su uso de acuerdo decreto 883
Subterráneas	Según su contenido se nombra el agua por el anión o catión que sobrepasa el 50% de las sumas respectivas o los dos iones más abundantes de acuerdo al tratamiento de datos analíticos.	En el decreto presidencial 883 (Gaceta Oficial n°5021, 1995) se establece la normativa para la clasificación y calidad de los cuerpos de agua vertidos o efluentes líquidos en el territorio nacional.
Superficiales:		
Mares y Océanos		
Lagos		
Ríos		
Manantiales		
Humedales		

3.1.1. Según su origen

En función del origen, las aguas han sido clasificadas como subterráneas y superficiales.

a. **Aguas subterráneas**

Constituyen una parte esencial del ciclo hidrológico, agrupando todo tipo de agua situada por debajo de la superficie del suelo, almacenadas en unidades geológicas conocidas como acuíferos ^[10]. En el mismo orden de ideas, puede señalarse que un acuífero es aquel estrato o formación geológica permeable que permite la circulación y el almacenamiento del agua subterránea por sus poros o grietas ^[10]. El agua subterránea es considerada como una solución que contiene gran cantidad de sólidos disueltos, cuya concentración dependerá de una serie de factores como el tiempo de permanencia en el acuífero, la porosidad, la permeabilidad, la reactividad de la roca y de las especies en solución por mencionar algunos ^[11].

b. **Agua superficial**

Son las que forman una gran cantidad de cuerpos de agua distribuidos sobre la superficie terrestre ^[12], entre las cuales pueden mencionarse a las aguas marinas u oceánicas, las contenidas en ríos y lagos, los manantiales y los humedales.

Marinas u oceánicas

Es una solución de agua con grandes cantidades de sales disueltas, que constituyen los océanos y mares de la Tierra. Se denomina salada por la alta concentración de sales minerales disueltas en comparación con el agua dulce. Los iones en mayor concentración en el agua de mar son Cl^- y Na^+ . Los gases disueltos que están en concentraciones importantes como N_2 , O_2 , CO_2 y H_2S , tienen una relación directa con la actividad biológica, que varía en intensidad tanto vertical como horizontal. El pH de la superficie del agua de mar es aproximadamente 8,2 correspondiente al equilibrio entre el carbonato de calcio (CaCO_3) y el dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera, el cuál actúa como una solución buffer manteniendo un valor de pH constante ^[12]. Los principales valores de concentración de los componentes del mar son mostrados en la tabla 2.

Tabla 2: Principales componentes del agua de mar^[13]

ión	ión
Cl ⁻	Na ⁺
SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺
HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺
Br ⁻	K ⁺
F ⁻	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺
H ₃ BO ₃	Sr ⁺

Ríos y lagos

Un río es una corriente superficial de agua dulce continua, con un caudal determinado que va a desembocar en otra, en un lago o en el mar. Por su parte, un lago es una masa de agua dulce o salada, acumulada de forma permanente en una depresión continental. El aporte de agua a los lagos viene de los ríos y del afloramiento de aguas freáticas^[14].

La principal fuente del agua de los ríos y lagos, es el agua de lluvia, esta contiene bajas concentraciones de especies disueltas. En general, la composición de las aguas de los ríos y lagos depende del tipo de suelo o de roca con que esta interactúa, destacando por su importancia el tiempo y la ubicación geográfica; sin embargo, en orden de abundancia las principales especies químicas presentes son HCO₃⁻, Ca²⁺, NO₃⁻, SiO₂ (sílice disuelta), SO₄²⁻, Cl⁻, Na⁺, Mg²⁺ y K⁺^[12].

Manantiales

Es una fuente natural de agua que brota de la tierra o entre las rocas. Puede ser permanente o temporal. Se origina por la infiltración de agua de lluvia o de nieve, que penetra en un área y emerge en otra, de menor altitud, donde el agua no está confinada en un conducto impermeable. La composición y la salinidad de las aguas de manantial

dependen de las condiciones locales, así como del tiempo de contacto con la roca, cuyas especies químicas más importantes son CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Ca^{2+} y SiO_2 ^[12].

Humedales

Por tratarse del ecosistema objeto de estudio, seguidamente se realiza una detallada descripción de los humedales. La Convención Ramsar (1971) define a los humedales como "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 seis metros^[5].

Según el grupo de Humedales de Venezuela en el Taller "Los Humedales Múltiples Visiones. Un solo concepto" llevado a cabo en el IX Congreso de Ecología en Porlamar (noviembre 2011) definen a los humedales como "ecosistemas que se encuentran en los sistemas acuáticos y terrestres, naturales o contruidos que soportan una biota adaptada a condiciones de suelos saturados o inundados por aguas superficiales de forma permanente o estacional y que son estratégicos por los beneficios sociales que se derivan de su conservación".

a. Clasificación de los humedales

El sistema adoptado por el Convenio de Ramsar (1971), utilizado a nivel internacional es una clasificación de carácter muy amplio que permite la identificación de los tipos de humedal más significativos y representativos dentro de una zona en cualquier país del mundo. En este sentido, los humedales pueden ser clasificados como marinos – costeros, continentales y superficiales, tal como se indica en la tabla 3.

Tabla 3: Clasificación de humedales según RAMSAR ^[1]

Tipo de Humedal	Ejemplos
<p>Marinos y costeros: Los ecosistemas marinos costeros están localizados en un ecotono (componentes ecológicos en tensión), que se encuentra afectado por la dinámica de los procesos que los crea y son dinámicos, 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 ^[5].</p>	<p>Aguas marinas, lechos marinos submareales, arrecifes de coral, costas marinas rocosas, playas de arena, estuarios, bajos intermareales de lodo, arena o con suelos salinos, pantanos y esteros (zonas inundadas), humedales arbolados, lagunas costeras saladas (lagunas de agua entre salobre y salada con por lo menos una relativamente angosta conexión al mar), lagunas costeras de agua dulce.</p>
<p>Continental: 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 lagos, 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 que se caracterizan por su simplicidad de operación, un bajo o nulo consumo energético, una baja producción de residuos, un bajo impacto ambiental sonoro y una buena integración al medio ambiente rural. Es importante destacar que estos son sistemas pasivos de depuración constituidos por lagunas poco profundas plantados con plantas propias de zonas húmedas y en los que los procesos de descontaminación son ejecutados simultáneamente por componentes físicos, químicos y biológicos ^[15].</p>	<p>Estanques de acuicultura, estanques artificiales (generalmente de menos de 8 hectáreas), zonas de riego, tierras agrícolas inundadas estacionalmente, zonas de explotación de sal áreas de almacenamiento de agua, excavaciones, plantas de tratamiento de aguas servidas, canales de transportación, canales de drenaje y zanjias.</p>

En la figura 2 se pueden observar tres modelos de los tipos de humedales característicos según Ramsar (1971); humedal artificial (canal de fitodepuración Murcia España), humedal continental (Laguna Verde, Chile) y humedal costero (Luna Reloca en Chile).



Figura 2: Tipos de humedales según Ramsar (1971)

b. Importancia de los humedales

En la actualidad se reconocen a los humedales como ecosistemas de alta productividad, por la diversidad biológica que sustentan y la gran importancia en los procesos hidrológicos. Desde el punto de vista hídrico, los humedales constituyen una excelente fuente de agua para uso doméstico, industrial y agrícola, además de actuar en algunos casos como retenedores naturales del líquido, regulando su flujo, evitando inundaciones y permitiendo la recarga de los acuíferos. 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 ^[16].

De igual forma, se ha reconocido su importancia en la generación de energía, principalmente hidroeléctrica, pudiendo ser sostenible, en la mayoría de los casos. Debido a los diferentes tipos de vegetación que en ellos suele encontrarse y dependiendo de su tamaño y profundidad, los humedales también pueden contribuir a la fijación de sedimentos, lo cual favorece la remoción de nutrientes y algunas sustancias tóxicas. Asimismo, ha sido reconocida su importancia en la protección de la línea costera y en el control de la erosión de estuarios y ríos ^[16].

En muchos países, el transporte acuático es una de las mejores formas de comunicación en estos ecosistemas. De allí su importancia para favorecer el intercambio económico entre las comunidades cuyo comercio es básicamente realizado por estas vías ^[16].

Desde el punto de vista social y cultural, los humedales constituyen un excelente recurso para la recreación y el turismo, no solo por la gran diversidad de sus ambientes, sino por la extraordinaria importancia paisajística, asociada en muchos casos a la diversidad de culturas y pueblos que dependen de ellos para subsistir. Ecológicamente, los humedales también brindan una serie de importantes beneficios, pues sirven de refugio a animales que utilizan sus ambientes para resguardarse, reproducirse o alimentarse. De igual forma se ha documentado su contribución en la captación y emisión de carbono ^[16]. Aunado a ello, los humedales son importantes para la educación e investigación científica.

3.1.2. Clasificación del agua según su composición química

Las aguas pueden ser clasificadas atendiendo a su composición química según sus constituyentes principales.

Principales constituyentes químicos

En un 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 ^[17]. En la Tabla 4 se muestra las especies químicas que se encuentran por lo general en las aguas naturales.

Tabla 4: Constituyentes más importantes de las aguas naturales ^[17]

Componentes mayoritarios (Mayor a 5 mg/L)			Componentes minoritarios (0,01-5) mg/L		Componentes traza (menor a 0,01 mg/L)	
Cationes	Aniones	Otros	Cationes	Aniones	Cationes	Aniones
Na ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₂	K ⁺	NO ₃ ⁻	Al ³⁺	PO ₄ ³⁻
Ca ⁺	Cl ⁻	SiO ₂	Fe ⁺²	CO ₃	Ti ⁴⁺	Br ⁻
Mg ²⁺	SO ₄		Sr ⁺²	NO ₂ ⁻	Co ²⁺	I ⁻
			NH ₄ ⁺	F ⁻	Pb ²⁺	NO ₂ ⁻
					Ni ²⁺	S ⁻
					As ²⁺ y Mn ²⁺	OH ⁻

Debe tenerse en cuenta que en condiciones particulares, un constituyente puede alcanzar intervalos de concentración que permitan incluirlo dentro de los componentes mayoritarios. Las aguas en total tienen una importante concentración de sales disueltas, que varían de acuerdo al tipo de agua; en tal sentido, se puede señalar que las aguas dulces naturales tienen menos de 1000 mg/L, las aguas salobres hasta 5000 mg/L, las aguas marinas unos 35000 mg/L. Un litro de agua (salmuera) puede llegar a contener hasta unos 300 gramos de sales disueltas ^[17].

Tabla 5: Composiciones de iones para cuerpos de agua dulce y agua salada ^[18].

Iones	Agua dulce mg/L	Agua salada mg/L
Carbonatos	58,4	140
Sulfatos	12,2	271
Cloruros	7,8	19940
Calcio	15,0	410
Magnesio	4,1	1310
Sodio	6,3	10810
Potasio	2,3	390

Las concentraciones de iones para cuerpos de agua dulce representan valores promedios para ríos. No obstante, es conveniente aclarar que hay una variación significativa de un cuerpo de agua dulce a otro, como resultado de diferencias en condiciones climáticas, geográficas, topográficas, así como en la actividad biológica y el momento seleccionado para hacer el análisis. El suelo y la meteorización de las rocas, son fuentes edáficas de iones para los cuerpos de agua dulce y eventualmente para los cuerpos salados ^[18]. A continuación es realizada una breve exposición de las características principales de los constituyentes que se encuentran en mayor proporción en el agua natural:

- Sodio (Na)

Las concentraciones de ion Na^+ en aguas naturales superficiales, varían de manera considerable dependiendo de las condiciones geológicas locales y de las descargas de aguas. Los valores pueden oscilar entre 1 a 10 mg/L. La Organización Mundial de la Salud establece un límite de 200 mg/L en el agua para consumo humano ^[19]; mientras que en la Revisión del Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021, 1995) que rige a la normativa venezolana, establece que el límite es de 140 mg/L ^[20]. Algunas aguas superficiales, incluyendo aquellas que reciben descargas de aguas residuales tienen valores de concentración por debajo de los 50 mg/L, aunque las aguas subterráneas pueden exceder los 50 mg/L. El aumento de Na^+ en los suelos de forma natural o antrópico, provoca efectos negativos sobre la producción y la productividad de cultivos, porque deteriora sus propiedades físicas. Este deterioro se manifiesta en una drástica disminución en la conductividad hidráulica o en la tasa de infiltración del agua en el suelo, por lo que puede ser difícil de corregir ya que requiere de la utilización conjunta de enmiendas, grandes volúmenes de agua y complicados sistemas de drenajes ^[21]. Como consecuencia de sus propiedades químicas el Na^+ en el suelo puede acumularse, por lo que puede ser tóxico para las plantas, por otro lado, si es absorbido por las arcillas, sustituye al Ca y al Mg. Esto provoca cambios en la

estructura que afectan la permeabilidad del suelo y el crecimiento de las plantas. El peligro del aumento del Na^+ depende de la concentración relativa y absoluta de los cationes en el agua, de los cuales los principales son el Ca^{2+} , el Mg^{2+} y el Na^+ . Si la proporción de Na^+ es alta, es mayor el problema, pero si predomina el Ca y Mg, es menor [22].

- Potasio (K)

En aguas naturales las concentraciones de K^+ son menores a 10 mg/L, aunque puede aumentar por depósito atmosférico, escorrentía de terrenos agrícolas e influencia de drenajes de irrigación. Dado que este elemento es esencial para la nutrición de las plantas, su presencia en el agua es beneficiosa [22]. Además, dicho elemento tiene la particularidad de ser absorbido sobre los minerales de arcilla.

- Calcio (Ca)

El Ca^{2+} es uno de los metales alcalinotérreos más abundantes en aguas subterráneas y superficiales. Es fácilmente disuelto de las rocas ricas en minerales que lo contienen como calcita y dolomita, por el agua de escorrentía o de lluvia. Las sales de Ca^{2+} , junto con las de Mg^{2+} , provocan la dureza del agua [22].

La presencia de Ca^{2+} en aguas naturales varía de acuerdo con la proximidad a la fuente natural. Típicamente se encuentra en concentraciones menores a 15 mg/L; mientras que, en aguas cercanas a rocas carbonatadas pueden estar en el ámbito de 30 a 100 mg/L. Las aguas residuales contribuyen de manera importante a las concentraciones de Ca^{2+} en las aguas superficiales. Por su parte, la lluvia ácida puede incrementar el lixiviado de sus iones del suelo [22]. El Ca^{2+} es esencial para la nutrición humana. También ayuda a mantener la estructura de las células de las plantas y es deseable en aguas de riego debido a que mejora la estructura del suelo. Las altas concentraciones de este elemento en el agua no son dañinas para la mayoría de los organismos acuáticos, puede más bien reducir la toxicidad en peces de algunos compuestos químicos [22].

- Magnesio (Mg)

El Mg está presente en las aguas como ion Mg^{2+} junto al Ca^{2+} provocando la dureza del agua. Proviene principalmente de los minerales ferromagnésicos y de algunas rocas que contienen carbonatos. Dicho elemento se encuentra también en la clorofila, en diferentes compuestos organometálicos y en materia orgánica; además es un elemento esencial para los seres vivos. Las concentraciones naturales varían entre 1 y 100 mg/L, dependiendo del tipo de roca de la cual provenga. Aunque el Mg^{2+} es empleado en procesos industriales, el aporte de las aguas residuales en Mg^{2+} a las concentraciones totales en aguas superficiales, es relativamente bajo. Por lo general se establece un valor de 8,7 mg/L de Mg para la conservación y desarrollo de la vida acuática [22].

- Cloruros (Cl^-)

El Cl^- se encuentra distribuido en la naturaleza, sobre todo en forma de sales solubles en agua, como cloruros de sodio (NaCl) y potasio (KCl). Las mayores concentraciones de Cl^- en el ambiente se encuentran en los océanos. Los iones de Cl^- de K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} pueden ser más tóxicos para organismos acuáticos que el de sodio [23]. Otras fuentes de Cl^- corresponden a la disolución de depósitos de minerales que lo contienen, drenajes de agua de riego, lixiviaciones difusas, escorrentía de terrenos agrícolas, entre otras. En aguas naturales, las concentraciones típicas de Cl^- están en el orden de 1 a 100 mg/L. El Cl^- es un elemento esencial para la biota terrestre y acuática, no obstante debido a su alta solubilidad, presenta pocas reacciones de precipitación y solubilización, por lo que su patrón de distribución está relacionado con el movimiento del agua [24]. Su alta movilidad también le permite atravesar las membranas celulares, debido a lo cual puede estar involucrado en el mantenimiento de la presión osmótica y el balance iónico del agua.

La presencia de concentraciones elevadas o fluctuantes puede tener un efecto adverso en las funciones fisiológicas normales de los organismos acuáticos, lo que

causa rupturas en la regulación de la presión osmótica, eventualmente interfiriendo con el crecimiento y la reproducción. Pese ello, debido a que la mayoría del Cl^- es excretado del tejido animal por medio de los riñones u órganos renales equivalentes, los potenciales efectos por bioacumulación son muy bajos ^[25]. La toxicidad del Cl^- puede estar afectada por diferentes variables, entre ellas la concentración del oxígeno disuelto, la temperatura, el tiempo de exposición y la presencia de otros contaminantes. Sin embargo, en la actualidad no se han encontrado referencias de estudios sistemáticos que evalúen con precisión la influencia de estas variables sobre su toxicidad ^[22]. El valor máximo permitido por normativas venezolanas es de 300 mg/L ^[20].

- Sulfatos (SO_4^{2-})

El sulfato (SO_4^{2-}) 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, uno de los principales constituyentes disueltos de la lluvia, 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 (OMS) en las Directrices para la Calidad del Agua Potable, establecidas en Génova en 1993, es de 500 mg/L. Las directrices de la Unión Europea emanadas en 1998, son más 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].

Los SO_4^{2-} pueden ser usados como fuente de oxígeno por algunas bacterias que convierten el SO_4^{2-} a HS^- o H_2S bajo condiciones anaeróbicas. Los SO_4^{2-} son descargados al ambiente acuático a través de las aguas residuales. La quema de combustibles fósiles es también una fuente importante de S^- a la atmósfera. La mayoría de las emisiones provocadas por el hombre a la atmósfera, cerca del 95 %, son en forma de SO_2 . En aguas naturales no contaminadas, comúnmente las concentraciones de SO_4^{2-} disuelto varían de 2 a 80 mg/L, aunque las fluctuaciones estacionales son

muy normales en la mayoría de los ríos. No se han reportado en la literatura importantes casos de toxicidad por SO_4^{2-} en organismos acuáticos, incluyendo peces y musgos acuáticos ^[22].

- Bicarbonatos HCO_3^-

La alcalinidad es una medida de la capacidad de neutralización del agua. Indica la presencia de CO_3^{2-} , HCO_3^- e OH^- y menos significativamente de boratos, silicatos, fosfatos y sustancias orgánicas. Se expresa como equivalentes de carbonato de calcio (CaCO_3). La composición de las especies de la alcalinidad depende del pH, la composición mineral, la temperatura y la fuerza iónica; sin embargo, normalmente se interpreta como una función de CO_3^{2-} , HCO_3^- e OH^- ^[27]. La presencia de HCO_3^- en las aguas naturales es importante ya que contribuye a mantener el balance iónico y a evitar propiedades corrosivas o incrustantes, así mismo raramente excede de los 500 mg/L. Para proteger la vida acuática, por lo general se estipula que la alcalinidad se debe mantener a los niveles naturales propios del área, sin variaciones drásticas ^[22].

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

Se utilizan representaciones gráficas para obtener una visualización sencilla y lo más completa posible de la composición y características químicas de las aguas como: los diagramas de Piper y de Schoeller ^[28].

a.- Los diagramas de Piper o triangulares: son ideales para proyectar tres componentes como los aniones o cationes de forma simultánea. La utilidad de estos diagramas radica en la posibilidad de representar muchos análisis en un mismo gráfico, sin dar origen a confusiones ^[28]. En este sentido, las aguas químicamente semejantes

se encontrarán agrupadas, por lo que pueden clasificarse por su ubicación en el diagrama según el esquema mostrado en la figura 3:

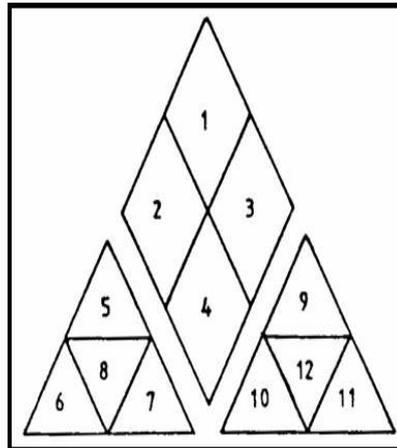


Figura 3: Diagrama de Piper ^[28].

- 1- Aguas sulfatadas y cloradas, cálcicas y magnésicas.
- 2- Aguas bicarbonatadas cálcicas y magnésicas.
- 3- Aguas cloruradas y sulfatadas sódicas.
- 4- Aguas bicarbonatadas sódicas.
- 5- Aguas magnésicas.
- 6- Aguas cálcicas.
- 7- Aguas sódicas.
- 8- Aguas magnésicas, cálcicas y sódicas.
- 9- Aguas sulfatadas.
- 10- Aguas bicarbonatadas.
- 11- Aguas cloruradas.
- 12- Aguas sulfatadas, bicarbonatadas y cloruradas.

Para interpretar el diagrama con más detalle, debe considerarse que para su construcción es necesario que los iones estén reducidos a porcentaje de milliequivalentes por litro (meq/L). A cada vértice de un triángulo le corresponde el

100% de un catión o un anión. Existen distintas variantes de estos diagramas, no obstante en este caso, se utiliza de la siguiente forma y como se observa la figura 4:

- **Un triángulo para los cationes mayoritarios:** ión calcio (Ca^{2+}), ión magnesio (Mg^{2+}), y la suma de los iones sodio + potasio ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$), cada uno de ellos incrementándose en el sentido de las agujas del reloj.
- **El otro triángulo para los aniones mayoritarios:** ión cloruro (Cl^-), ión sulfato (SO_4^{2-}), y la suma de los iones carbonato y bicarbonato ($\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$), cada uno de ellos incrementándose en el sentido anti horario.
- **Un diagrama romboidal integrador:** en el que se representan la suma de los cationes ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) y ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) en un par de lados paralelos y complementarios, mientras en el otro par de lados se presenta la suma de aniones ($\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$) y su complementario ($\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$).

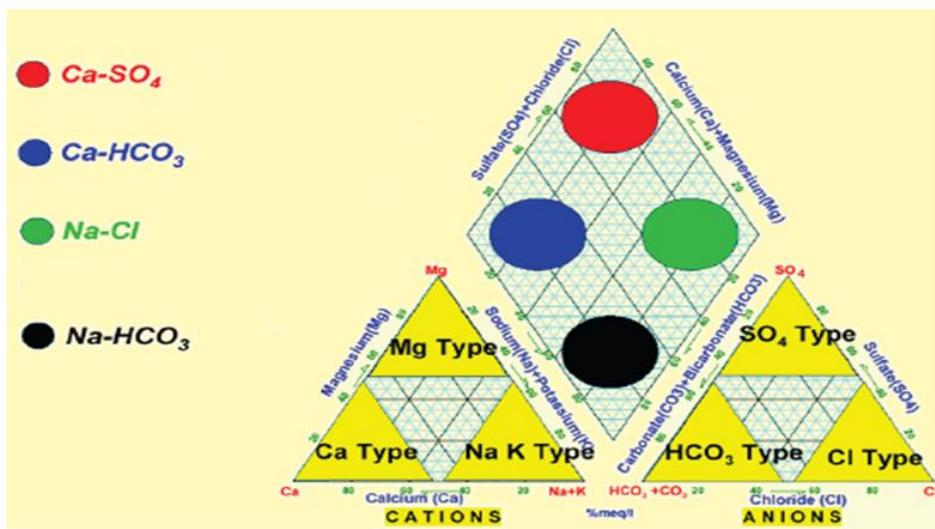


Figura 4: Clasificación de las aguas según Piper

b.- **En los diagramas de Schoeller o de columnas verticales:** se representa el valor en miliequivalentes por litro meq/L de distintos aniones, cationes o la suma de ellos utilizando una escala logarítmica, uniendo los puntos mediante una secuencia de líneas

tal como se observa en la figura 5. Este tipo de diagrama de columnas se conoce también como Schoeller – Berkaloft. Si bien la escala logarítmica no es apropiada para observar pequeñas diferencias en la concentración de cada ión entre distintas muestras de agua, sí es útil para representar aguas de baja y de alta salinidad, así como para observar la relación entre iones asociada con la inclinación de las líneas ^[28].

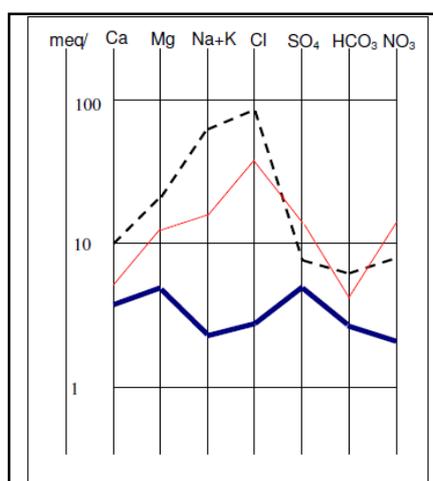


Figura 5: Diagrama de Schoeller-Berkaloft mostrando tres aguas diferentes ^[28]

3.1.3. Clasificación según su uso atendiendo el Decreto 883

Según el Decreto 883 Publicado en Gaceta Oficial N° 5021 (1995); “Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos”, 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 agua de acuerdo a sus usos asociados, dividiéndola en siete tipos a saber: Tipo 1 (A, B y C), Tipo 2 (A y B), Tipo3, Tipo 4 (A y B) Tipo5, Tipo 6 y Tipo 7; tal y como se muestra en la Tabla 6 ^[20].

Tabla 6: Tipos de agua según usos asociados en el Decreto 883

Tipos de agua	Usos asociados
Tipo 1	Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él.
	Tipo 1 A: Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes.
	Tipo 1 B: Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.
	Tipo 1 C: Aguas que pueden ser acondicionadas por proceso de potabilización no convencional.
Tipo 2	Aguas destinadas a usos agropecuarios.
	Tipo 2 A: Aguas para riego de vegetales destinados al consumo humano.
	Tipo 2 B: Aguas para el riego de cualquier otro tipo de cultivo y para uso pecuario.
Tipo 3	Aguas marinas o de medios costeros destinadas a la cría y explotación de moluscos consumidos en crudo.
Tipo 4	Aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia.
	Tipo 4 A: Aguas para el contacto humano total.
	Tipo 4 B: Aguas para el contacto humano parcial.
Tipo 5	Aguas destinadas para usos industriales que no requieren de agua potable.
Tipo 6	Aguas destinadas a la navegación y generación de energía.
Tipo 7	Aguas destinadas al transporte, dispersión y desdoblamiento de poluentes sin que se produzca interferencia con el medio ambiente adyacente.

El cuerpo de agua estudiada correspondiente a La Laguna de Tacarigua se puede clasificar dentro de este decreto 883 ,como Agua Tipo 4, tanto A como el B, esto debido a que son aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia.

3.1.1.1. Aguas Tipo 4 A: Aguas para el contacto humano total

Son las aguas conocidas también como de contacto primario y son utilizadas para cualquier actividad recreativa o no, que conllevan a contacto prolongado con el medio líquido y por tanto expone a los individuos a una ingestión en cantidades suficientes que pueden perjudicar la salud, si el agua contiene patógenos; generalmente incluye inmersión completa de órganos sensibles en el agua (como natación, buceo entre otros).

3.1.1.2. Aguas Tipo 4 B: Aguas para el contacto parcial

Son las aguas conocidas también como de contacto secundario y son utilizadas para cualquier tipo de actividades acuáticas, en las que el contacto con el agua es indirecto, en las cuales los órganos sensibles del cuerpo no son inmersos; como por ejemplo actividades como la pesca o caminatas por la playa. A continuación en la tabla 7, se describen las características que corresponden con los límites y rangos de las aguas **Tipo 4**.

Tabla 7: Parámetros establecidos para las aguas Tipo 4. Tomado del Decreto Presidencial 883, versión 1995^[20].

Parámetro	Límite o intervalo máximo	
	Tipo 4A	Tipo 4B
Oxígeno Disuelto (mg/L)	>5	>5
pH	6,5-8,5	6,5-8,5
Sólidos disueltos totales(mg/L)	33% condición natural	33% condición natural
Coliformes totales (UFC/100ml)	1000 UFC	5000 UFC
Coliformes fecales (UFC/100ml)	200 UFC	1000 UFC

Para poder clasificar el agua de acuerdo con su composición química o atendiendo a su uso en particular, se deben realizar tanto determinaciones fisicoquímicas como microbiológicas, estos permiten no solo caracterizarlas, sino también conocer su uso como la consecuencia de la calidad de las mismas.

3.2. Calidad del agua

Según Decreto Presidencial 1508 Gaceta Oficial N° 5021 (1995) en su artículo 3 indica que calidad del agua es su evaluación en las características físicas, químicas y biológicas con el propósito de determinar su composición, utilidad al hombre y a los demás seres vivos ^[20]. 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.

3.2.1. Características físicas

Las características físicas de las aguas en cuanto a su calidad vienen dadas por parámetros físicos como temperatura, sólidos suspendidos totales (SST) y turbidez.

Temperatura

La lectura de cifras de temperatura se utiliza en el cálculo de diversas formas de alcalinidad, en estudios de saturación y estabilidad respecto al carbonato de calcio, en el cálculo de la salinidad y en las operaciones generales de laboratorio ^[29].

Sólidos suspendidos totales (SST)

Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio de 0,45µm, que posteriormente se seca a 103-105°C hasta peso constante ^[29].

Turbidez

La turbidez es la expresión de la propiedad óptica de la muestra que causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra. La turbiedad en el agua puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, dependiendo del grado de turbulencia. Este parámetro debe ser medido directamente en campo o en un máximo de 24 horas, su unidad de medidas es el NTU ^[30].

3.2.2. Características químicas

Las características químicas de las aguas referidas a la calidad incluyen la conductividad, salinidad, sólidos disueltos totales, la dureza, el pH, la alcalinidad y la demanda química de oxígeno.

Conductividad

Es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración total, de su movilidad, de sus estados de oxidación y concentraciones relativas, así como de la temperatura de medición ^[29].

Salinidad

No tiene unidad de medida específica, se puede expresar en porcentaje (cantidad en gramos/100 gramos de agua) o en partes por mil (cantidad en gramos/kilogramo de agua), 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 ^[29]. A continuación se muestran los tipos de agua según su porcentaje de salinidad.

Tabla 8: Tipos de aguas de acuerdo a valores de salinidad ^[18].

Tipo de agua	Agua dulce	Agua Salobre	Agua de mar	Salmuera
Salinidad (%)	<0,05	0,05-3,00	3,00-5,00	>5,00

Sólidos disueltos totales (SDT)

Es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en una estufa a temperatura definida ^[29]. También puede ser determinado mediante la sumatoria de la concentración de cationes y aniones incluyendo la sílice disuelta (SiO₂). Se dice que existe una relación directa entre la conductividad y la concentración de sólidos disueltos para cuerpos de agua dulce y salobre.

Dureza

La dureza se define como la concentración de cationes metálicos polivalentes en solución, principalmente Ca⁺² y Mg⁺². También se ha definido como la suma de las concentraciones de Ca⁺² y Mg⁺², ambas expresadas en mg/L de CaCO₃. El agua considerada como solvente universal, al circular por el subsuelo o en la superficie, va adquiriendo solutos, entre ellos Ca⁺², Mg⁺² y CO₃²⁻, entre otros, los cuales conformarán su composición química final ^[29]. Se puede clasificar las aguas por los valores de dureza como mg/L CaCO₃ de la siguiente forma 0-75 en **Agua Suave**; 75-150 **Agua Blanda**; 150-300 **Agua Dura** y >300 **Agua muy Dura** ^[29].

pH

Es un indicador de la acidez de una sustancia. Está determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H^+) en una sustancia. La acidez es una de las propiedades más importantes del agua. El pH sirve como un indicador que compara algunos de los iones más solubles en agua. El resultado de una medición de pH viene determinado por una consideración entre el número de protones y el número de iones hidroxilo OH^- , cuando una solución es neutra el número de protones iguala al número de iones hidroxilo. Cuando el número de iones hidroxilo es mayor, la solución es básica y cuando el número de protones es mayor, la solución es ácida ^[31]

Los cambios de pH en ecosistemas acuáticos deben ser medidos debido a que cuando se presentan valores bajos de pH, pueden ocurrir efectos adversos sobre peces e insectos acuáticos que afectan sus funciones fisiológicas, no se presentan efectos letales sobre peces de aguas dulces en un ámbito de pH de 5 a 9; sin embargo, sí se han reportado efectos crónicos a valores menores a 5, sobre todo con efectos dañinos sobre huevos y larvas ^[32]. El intervalo de pH en la mayor parte de los cuerpos de agua dulce no contaminados oscila entre 6,0 y 9,0; mientras que el valor promedio para agua de mar es de 8,3. El pH del agua es generalmente controlado por el sistema amortiguador de ácido carbónico ^[33].

Alcalinidad

Es la capacidad del agua para neutralizar ácidos o aceptar protones. Esta representa la suma de las bases que pueden ser tituladas en una muestra de agua. Dado que la alcalinidad de aguas superficiales está determinada generalmente por la concentración de CO_3^{2-} , HCO_3^- e OH^- , ésta se toma como un indicador de dichas especies iónicas ^[28]. No obstante, algunas sales de ácidos débiles como boratos, silicatos, nitratos y fosfatos pueden también contribuir a la alcalinidad, de estar también presentes. Estos iones negativos en solución están comúnmente asociados con iones positivos de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ y otros cationes. El HCO_3^- constituye la forma química

de mayor contribución a la alcalinidad. Dicha especie iónica junto al OH^- son particularmente importantes cuando hay gran actividad fotosintética de algas o cuando hay descargas industriales en un cuerpo de agua ^[34]. Es evidente que las proporciones de las especies iónicas de dióxido de carbono son alteradas significativamente por cambios de pH. A un $\text{pH} < 6$, CO_2 es la especie dominante, a valores de pH entre 7 y 9 HCO_3^- predomina, mientras que CO_3^{2-} comienza a aumentar su concentración significativamente a valores de $\text{pH} > 9$, tal como se observa en la siguiente figura ^[33].

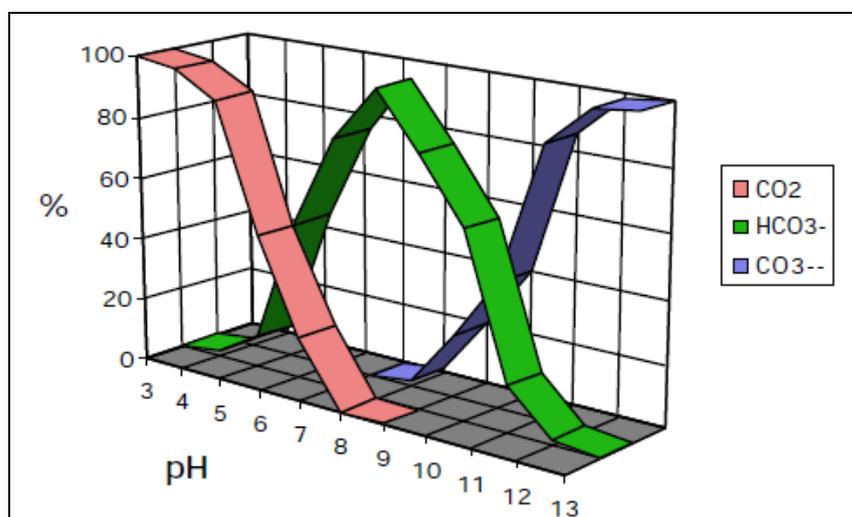


Figura 6: Efecto del pH en el por ciento de composición de especies de dióxido de carbono en agua ^[33].

La alcalinidad en una muestra de agua se puede tomar de la siguiente forma, alcalinidad baja si se encuentra por debajo de 90 mg/l HCO_3^- , alcalinidad media si los valores se encuentran entre 90 y 180 mg/l HCO_3^- y alcalinidad alta si esta se encuentra por encima de 180 mg/l HCO_3^- ^[33].

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es el parámetro utilizado para caracterizar la contaminación orgánica del agua que se estudia, a partir de la concentración de oxígeno disuelto necesario para la

degradación química de los contaminantes orgánicos que contiene. Se entiende como “degradación química” la reacción de un oxidante químico, como el dicromato potasio o permanganato potasio, que consume materia orgánica ^[29].

3.3.3. Indicadores microbiológicos

El riesgo de contaminación tanto a nivel humano como ambiental, hace necesario el control de la presencia de microorganismos en el agua. Determinar el tipo de microorganismos presentes y su concentración, proporciona herramientas indispensables para conocer la calidad del agua y para la toma de decisiones en relación al control de vertidos, tratamiento de aguas y conservación de ecosistemas. Existe un consenso general sobre la dificultad de determinar la presencia de todos los organismos patógenos implicados en los procesos de contaminación ambiental. Dicha determinación implica varios días de análisis, costos elevados y laboratorios especializados. Frente a estas dificultades y a la necesidad de hacer una evaluación rápida y fiable de la presencia de patógenos en el agua, se ha planteado la necesidad de trabajar con organismos indicadores ^[35].

Los microorganismos indicadores son aquellos que tienen un comportamiento similar a los patógenos, en cuanto a su concentración y reacción frente a factores ambientales y barreras artificiales, pero son más rápidos, económicos y fáciles de identificar. Una vez evidenciado la presencia de grupos indicadores, se puede inferir que los patógenos se encuentran presentes en la misma concentración y que su comportamiento frente a diferentes factores como pH, temperatura, presencia de nutrientes, tiempo de retención hidráulica o sistemas de desinfección, es similar a la del indicador ^[36].

Un microorganismo indicador de contaminación fecal debe reunir las siguientes características a saber; ser un constituyente normal de la flora intestinal de individuos sanos; estar presente de forma exclusiva en las heces de animales homeotérmicos;

estar presente cuando los microorganismos patógenos intestinales lo están; presentarse en número elevado, facilitando su aislamiento, identificación y cuantificación; debe ser incapaz de reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos; no debe ser patógeno y su tiempo de supervivencia debe ser igual o un poco superior al de las bacterias patógenas, esto implica que su resistencia a los factores ambientales debe ser igual o superior al de los patógenos de origen fecal ^[36].

No existe ningún microorganismo que reúna todos los criterios de un indicador ideal y apenas unos cuantos grupos satisfacen algunos de estos requisitos. Entre los indicadores microbiológicos de contaminación fecal que se usan para determinar la calidad de aguas, son coliformes totales, coliformes fecales y enterococos.

Coliformes totales

La denominación genérica coliformes, designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y de los alimentos ^[42]. En la figura 7, se observa inicialmente una imagen microscópica de estos microorganismos, mientras que al lado derecho estos se encuentran en una placa luego de ser aislados del agua y colocado en un medio en el cual, a unas condiciones específicas estos organismos crecen y se pueden cuantificar.

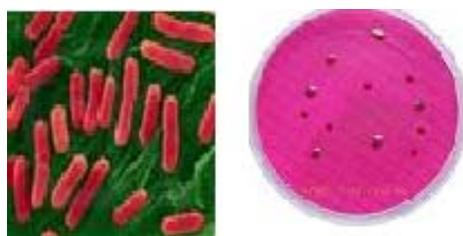


Figura 7: Imagen de grupos coliformes

Las bacterias de este género están principalmente en el intestino de los humanos y de los animales de sangre caliente, es decir, homeotermos, pero también

ampliamente distribuidas en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas y vegetales ^[36]. Los coliformes se introducen en gran número al medio ambiente por las heces de humanos y animales. Por tal motivo suele deducirse que la mayoría de los coliformes que se encuentran en el ambiente son de origen fecal. Sin embargo, existen muchos coliformes de vida libre.

Tradicionalmente, se los ha considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano en razón de que, en los medios acuáticos, los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal. Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura. Asimismo, su número en el agua es proporcional al grado de contaminación fecal; mientras más coliformes se aíslan del agua, mayor es la gravedad de la descarga de heces ^[36]. En general, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo. El grupo coliformes está formado por los siguientes géneros: *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Escherichia*; los cuales se pueden observar en la figura 8.

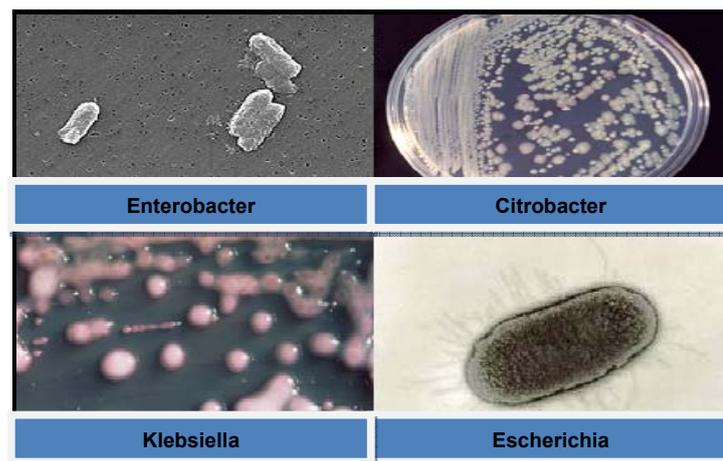


Figura 8: Distintas bacterias que conforman el grupo de coliformes: *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Escherichia*

Coliformes fecales

Los coliformes fecales, en particular la *Escherichia coli*, se ha seleccionado como indicador de contaminación fecal debido a su relación con el grupo tifoide-paratifoide y a su alta concentración en diferentes tipos de muestras. Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44,5°C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces fecales, están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. Debido a que los coliformes fecales se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal [36].

Los coliformes fecales se denominan termo tolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas, actualmente sería una forma más apropiada de definir este subgrupo que se diferencia de los coliformes totales por la característica de crecer a una temperatura superior a los 38°C, específicamente a 45°C. [36]. En la figura 9 se puede observar a la izquierda una imagen microscópica de la bacteria fecal *Escherichia coli* y a la derecha la misma bacteria después de ser sembrada en un medio, donde a unas condiciones específicas se puede observar y cuantificar.



Figura 9: Coliformes fecales

La capacidad de reproducción de los coliformes fecales fuera del intestino de los animales homeotérmicos, es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de

materia orgánica, pH y humedad entre otros. Algunos géneros son autóctonos de aguas con residuos vegetales, como hojas en descomposición. También pueden reproducirse en las biopelículas que se forman en las tuberías de distribución de agua potable. Por estas razones y por la existencia de bacterias que responden a la definición de coliformes que no son de origen fecal y que incluso pueden ser lactosa-negativas apareciendo como positivas si se aplica la prueba de B-galactosidasa. El grupo de los coliformes totales tiene actualmente poca utilidad como indicador de contaminación fecal ^[36].

Enterococos

Son bacterias esféricas que forman sus colonias en grupos o cadenas (figura 10). Se encuentran de manera natural en muchos organismos, incluidos los humanos, como parte de su flora intestinal. Son microorganismos muy resistentes, capaces de tolerar concentraciones relativamente altas de sales y ácidos. En muchos estudios, los niveles de concentración de los enterococos se relacionan con la incidencia de enfermedades adquiridas por bañistas y constituyen un indicador muy importante de la contaminación en las playas y de las aguas salobres ^[37].



Figura 10: Vista microscópica de las bacterias enterococos

Entre otro grupo de bacterias identificadas en este trabajo se encuentran las bacterias Heterótrofas y las especies *Vibrio* que se describen a continuación.

Bacterias heterótrofas:

Las bacterias heterótrofas o heterótrofas se definen como aquellas bacterias que usan compuestos del carbono orgánico como fuente de energía y el carbono para su crecimiento; es decir, son microorganismos dependientes de una fuente orgánica de carbono abundante. Su alta presencia en cuerpos de agua indica que en el mismo que hay una gran cantidad de materia orgánica. Esta definición de bacteria heterótrofa es amplia e incluye tanto a las bacterias saprofitas como a las patógenas. Por lo tanto, tanto las bacterias que causan como las que no causan enfermedades son heterótrofas [38]. En la figura 11 podemos observar cómo crecen este tipo de bacterias en un medio de enriquecimiento característico para ellas.



Figura 11: Bacterias heterótrofas identificadas en una muestra determinada en el Laboratorio de Microbiología Ambiental del Instituto de Ecología y Zoología Tropical.

Las condiciones de un cuerpo de agua determinado de acuerdo a los valores de bacterias heterótrofas, tal como se describe a continuación: las condiciones “oligotróficas con tendencias mesotróficas” ($4,0$ a $8,0 \times 10^1$ UFC/100mL) representan un ambiente acuático donde hay suficiente materia orgánica disponible para que el desarrollo de bacterias heterótrofas alcance concentraciones medias. Las condiciones “mesotróficas” ($8,0 \times 10^1$ a $6,5 \times 10^3$ UFC/100mL), son aquellas donde hay un equilibrio entre las concentraciones de bacterias heterótrofas y sulfatoreductoras, es decir, el ambiente presenta mayor grado de enriquecimiento orgánico que la condición anterior.

Las condiciones “mesotróficas con tendencias eutróficas” y “eutróficas” ($6,5 \times 10^3$ a $2,7 \times 10^4$ UFC/100mL), son características de lugares de mayor enriquecimiento orgánico. En el caso de la condición “eutrófico” ($>2,7 \times 10^4$ UFC/100mL), una entrada adicional de materia orgánica eventual o permanente puede provocar un cambio drástico a condiciones anóxicas, con la consiguiente predominancia de los grupos bacterianos anaeróbicos y el deterioro de la calidad ambiental [39].

Especies Vibrio

Las bacterias *Vibrio*, son Gram negativas, facultativamente anaeróbicas, motrices, en forma de bastón curvilíneo, con un único flagelo polar. 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* (figura 12), *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 [40].

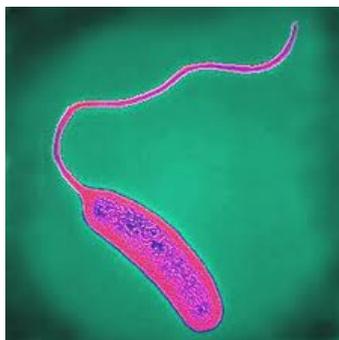


Figura 12: Vista microscópica de la bacteria *Vibrio cholerae*

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). 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 ^[40]; 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 ^[41].

Esto ha permitido en los últimos años, asociar la aparición de bacterias Vibrio en aguas, como posible indicador microbiológico de los efectos producidos en algunas zonas costeras del cambio climático.

3.4. Antecedentes

A continuación son citadas una serie de referencias tanto internacionales como nacionales, referidas a estudios de la calidad de diversos cuerpos de aguas, con el propósito de afianzar los conocimientos en esta área y facilitar el desarrollo de este trabajo de investigación.

3.4.1. Internacionales

En lo que respecta a las referencias internacionales a continuación son presentados algunos trabajos que se refieren tanto a la caracterización química como a la calidad química y microbiológica de aguas superficiales como subterráneas.

Guzmán y Ramírez (1996) ^[42] estudiaron la calidad microbiológica de las aguas superficiales en las bahías de Mayagüez y Añasco en Puerto Rico. En este estudio se midieron las densidades de distintos indicadores microbiológicos de contaminación fecal como coliformes totales y fecales, enterococos, colifagos, *Giardia* y

Cryptosporidium en las bahías de Mayagüez y Añasco, localizadas en la costa oeste de Puerto Rico. Las densidades microbiológicas de los organismos, resultaron mayores en las estaciones cercanas a las desembocaduras de los ríos Guanajibo (E1), Yagüez (E2) y Añasco (E3), así como en la estación localizada en el área de descarga del efluente de la Planta Regional de Tratamiento de Aguas Usadas de Mayagüez (E4), en comparación con las densidades de microorganismos encontradas en una muestra compuesta de ambas bahías.

Los promedios más altos de coliformes totales y enterococos están presentes en la estación E1 con valores de 12508 col/100mL y 3333 col/100mL, respectivamente; mientras que en la estación E4, se encuentran los promedios más altos para los parámetros de coliformes fecales de 4248 col/100mL y colifagos de 190 fagos/100mL. El parásito *Giardia* se detectó solamente en la estación E4, mientras que *Cryptosporidium* no se detectó en ninguna de las estaciones estudiadas. En todas las estaciones monitoreadas ocurren violaciones consecuentes a los estándares de calidad de agua para los parámetros de coliformes totales y coliformes fecales establecidos por la Junta de Calidad Ambiental. Por lo tanto, es necesaria la implementación de medidas de control de calidad de aguas de escorrentías, así como mayor control de descargas sanitarias ilegales a estos cuerpos de agua.

Pérez et al. (2003) ^[43] llevaron a cabo la caracterización de las aguas subterráneas que abastecen al distribuidor general de agua de la ciudad de Zimapán Hidalgo, México y del propio distribuidor. Para ello, seleccionaron 11 puntos de muestreos en los que determinaron 28 parámetros físico-químicos en las aguas colectadas, durante 10 muestreos distribuidos a lo largo de un año, desde marzo de 1999 a marzo de 2000.

Los resultados obtenidos por Pérez et al (2008) señalan que en general, estas aguas presentaron propiedades fisicoquímicas normales clasificadas como aguas bicarbonatadas-cálcicas y bicarbonatadas-mixtas con bajos niveles de SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ y K^+ ; pero presentaron concentraciones de As muy elevadas de hasta 550 $\mu\text{g/L}$, superando en más de 10 veces el valor establecido por las normas del país para aguas

potables. Por su parte, en el estudio de la variación temporal, estos autores observaron cambios significativos de carácter estacional con incremento en las concentraciones de los elementos durante los meses de febrero y marzo, específicamente en la temporada de escasas lluvias y una disminución de los mismos durante el período abril a julio, que se corresponde con la temporada de lluvias. Esto es probablemente debido a efectos de la dilución causada por la precipitación atmosférica que se infiltra al manto freático; además, correlacionaron los pozos de suministro y los puntos de muestreo del distribuidor general, mediante un análisis de varias propiedades fisicoquímicas.

Stephen et al. (2003) ^[44] estudiaron la relación sedimento-agua con especies de *Vibrio* e indicadores fecales y sus aplicaciones para la persistencia y transporte en el Estuario del Río Neuse, Carolina del Norte, EE.UU. En los estuarios, la resuspensión frecuente y la deposición de sedimentos complican el modelo de transporte de desarrollo bacteriano mediante el transporte de bacterias adheridas a partículas, esto posiblemente induce a la respuesta bacteriana, tal como crecimiento, degradación o cambios en su adherencia. Con el fin de garantizar mejor esta dinámica, estos investigadores realizaron observaciones en el Estuario del Río Neuse (ERN), con la combinación de una toma de muestras "In situ" para monitorear el cuerpo de agua y sus sedimentos y así determinar la concentración de estos. En este estudio seleccionaron como indicadores microbiológicos de contaminación fecal de aguas meteóricas, dos bacterias como *Escherichiacoli* (EC) y *Enterococos* (ENT), mientras que el *Vibrio* (VIB), nativo de este ecosistema lo observaron como un grupo de bacterias autóctonas, que incluyen especies potencialmente patogénicas.

Dos períodos de muestreo fueron identificados por diferentes tipos de suspensiones: la escorrentía y la resuspensión. A pesar de esta diferencia entre períodos de muestreo, la cantidad de bacterias determinadas permanecieron comparables. En el fondo del agua de este estuario, la concentración o cantidad de especies *Vibrio* se correlacionó directamente con la salinidad; mientras que la cantidad de enterococos, se relacionó con la turbidez. Stephen et al. (2003) observaron

diferencias para la EC, donde las concentraciones altas fueron encontradas para aguas y sedimentos hipoxicas, durante el período de resuspensión. En lo que respecta a los sedimentos, las concentraciones de la EC y VIB aumentaron considerablemente tras el paso del huracán Ophelia en septiembre de 2005. A lo largo de este estudio, todos los grupos bacterianos mostraron evidencia de la persistencia en los sedimentos, por lo que estos autores infieren que la resuspensión de sedimentos representa una fuente significativa de las bacterias al cuerpo de agua.

Evanson y Ambrose (2005) ^[45] llevaron a cabo una investigación acerca de las fuentes y dinámicas de crecimiento de bacterias indicadoras fecales en un sistema de humedales costeros y su potencial impacto en las aguas adyacentes; ellos indican que los humedales costeros han recibido un incremento de atención como probable fuente de indicadores bacterianos fecales en las aguas costeras del sur de California.

Evanson, y Ambrose (2005) estudiaron las tendencias temporales de aguas y sedimentos asociados a los indicadores bacterianos fecales (IBF), después de eventos meteorológicos, junto con la caracterización espacial de sedimentos en dos sitios dentro de los humedales del Río Santa Ana. Para ello realizaron una comparación con los niveles de IBF observados en la zona adyacente de aguas costeras. Durante el primero de los dos eventos meteorológicos, los coliformes totales (CT), *Escherichiacoli* (EC) y *Enterococos* (ENT) en aguas de humedales y en muestras de sedimentos, fueron muchos más altos en los días de precipitaciones, de los cuales la tercera parte de los sedimentos obtuvieron niveles altos de coliformes. En lo que respecta a las aguas costeras adyacentes a los humedales, la cantidad de CT es alta durante el evento de precipitación atmosférica, mientras que la cantidad disminuye rápidamente un día después del evento meteorológico.

La proporción TC/EC en zonas adyacentes costeras, registró una caída constante de 10 UFC de uno con respecto al otro, lo que permitió a los investigadores señalar un incremento en la probabilidad de contaminación fecal humana; mientras que la

proporción de TC/EC fue alta con un promedio de 14-60 en cada sitio dentro de los humedales del Río Santa Ana. Estos resultados le permitieron sugerir a los investigadores que el sedimento asociado a la población de indicadores bacterianos fecales puede ser diferente a las que encontradas en las muestras de agua, o al menos tienen una dinámica interna independiente del agua- transmisión a la población. El incremento asociado a los indicadores bacterianos fecales, puede ser debido al crecimiento de la población "in situ" o el incremento en la supervivencia debido a cambios en los parámetros ambientales como salinidad, humedad y entrada de nutrientes, producto de eventos meteorológicos. Los contrastes espaciales entre los dos sitios dentro de los humedales del Río Santa Ana, pueden ser debido a la diferencia en los sedimentos tales como contenido orgánico, partículas de tamaños finos o fuentes discretas de indicadores bacterianos fecales.

Méndez (2007) ^[46] realizó un Diagnóstico de la calidad y tecnologías para la depuración y recuperación de agua de la Costa Maya, específicamente en el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak ubicado en el sur de Quintana Roo, México, el cual es importante por su riqueza histórica, cultural y de recursos naturales, además de la belleza de sus playas y lagunas, así como el desarrollo arrecifal, que lo hacen una de las principales atracciones turísticas. Por lo que Méndez (2007) procedió a realizar una evaluación de la calidad del agua de algunos de sus sistemas estuarinos y litorales con el fin de corroborar si el ecosistema está siendo afectado por contaminación bacteriológica.

Los sistemas estuarinos que comprenden los Canales de Bacalar Chico, Zaragoza y las lagunas Xcalak y Santa Rosa, presentaron valores promedios en agua de: 30.8°C de temperatura; 1.3 m de profundidad y aguas totalmente transparentes; 27.8 ups de salinidad; 8.7 de pH; 7.3 mg/L de oxígeno disuelto y 113% de saturación. La DBO fue de 0,3 mg O₂/L, la DQO de 742 mg O₂/L, la concentración de sólidos totales de 49.5 mg/L y en lo que respecta a la parte microbiológica una concentración de 125 UFC/100 mL de CT y 28 UFC/100 mL de CF.

En la Zona litoral (Arrecife Portillas, La Poza y Laguna Arrecifal Xcalak) se registraron temperaturas medias similares a los sistemas anteriores (30.2°C), también muestran aguas totalmente transparentes, aunque son un poco más profundas (1.7 m) y con salinidades más altas (33 ups), presentan pH alcalinos (8.5) y altas concentraciones de oxígeno disuelto (7.3 mg/L) correspondiendo a aguas sobresaturadas (118%). La DBO fue de 0,4 mgO₂/L, la DQO de 777 mgO₂/L, la concentración de sólidos totales de 28.6 mg/L y en lo que respecta a la parte microbiológica una concentración una concentración de 110 UFC/100 mL de CT y 48 UFC/100 mL de CF.

Méndez (2007), determino de acuerdo a los resultados obtenidos para estos sistemas, que ambos son adecuados para la recreación con contacto primario y para la protección de la vida acuática, aunque la sola presencia de bacterias CF y CT indica contaminación de origen antropogénico pero se encuentran por debajo de los límites establecidos por la Normativa Nacional de ese país; sin embargo, esta investigadora indica que se debe tomar las precauciones necesarias con el control de los vertidos de aguas residuales sin previo tratamiento a este ecosistema, ya que en un futuro se puede ver comprometida seriamente la calidad del agua de este importante ecosistema natural para México.

Beita (2008) ^[21] realizó una caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la Península de Osa, Puntarenas en Costa Rica. El objetivo principal planteado para este estudio consistió en conocer la calidad química de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la citada Península. Para ello seleccionaron 11 sitios de muestreo distribuidos en el área del estudio, donde tomaron seis muestras a lo largo de la época seca, la de transición y la lluviosa entre el año 2004 al 2005.

Las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón, se caracterizan por presentar una temperatura promedio de 26,8 °C y una concentración promedio de oxígeno disuelto de 7,7 mg/L. Beita (2008) ^[21] indica que las aguas de la cuenca se

clasifican como aguas moderadamente suaves. Por su parte, el rango de valores de pH medidos en la cuenca, estuvo entre 6,62 y 8,17, con una variación promedio de 0,5 unidades. La conductividad promedio en la cuenca fue 161,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El ámbito de concentraciones de HCO_3^- oscila entre 54,3 mg/L y 160,8 mg/L. Según la clasificación de Piper las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón son bicarbonatadas cálcicas. Beita (2008) afirma que se puede considerar que las actividades humanas realizadas en la cuenca, no han tenido un impacto negativo sobre la calidad del agua y más bien las concentraciones de los principales parámetros fisicoquímicos medidos, representan condiciones geogénicas de la cuenca, probablemente por la densidad poblacional.

Álvarez et al. (2010) ^[47] Realizaron un estudio físico-químico de aguas de pozo de la provincia de Villa Claracuyo en el estado de Hidalgo de México, en el período de 2006 a 2007, donde el rápido crecimiento de la población complementado con las actividades urbanas, agrícolas, pecuarias, forestales, además de las condiciones físicas y químicas del terreno en general, han resultado en un fuerte deterioro de la calidad del agua dentro de la cuenca. El objetivo principal del trabajo realizado por estos investigadores, fue desarrollar un estudio integral de la calidad del agua, que incluyó variables químicas, físicas y microbiológicas en los diferentes almacenamientos y corrientes, a fin de identificar problemas asociados con contaminantes específicos, así como establecer alternativas de solución de acuerdo a la problemática regional, que sirvan de base para programas y políticas de ordenamiento de los recursos hídricos.

Álvarez, J; et al.(2010) señala que lo más importante obtenido en esta investigación fue para los ríos Tulancingo y Amajac, evidenciando un deterioro de la calidad del agua en el río Tulancingo, registrando concentraciones de 0 mg/L de oxígeno disuelto; mientras que, la norma de este país, establece como mínimo 10 mg/L; igualmente se detectaron valores de 24000 NMP por cada 100 mL de bacterias coliformes fecales, lo cual supera 12 veces los valores establecidos en las normas de

este país; por otra parte, se detectaron valores entre 1000-2000 NMP por cada 100 mL y hasta 1215 mg/L de sólidos inorgánicos, siendo que la norma oficial establece los límites de 100 mg/L, lo cual indica fuerte grado de contaminación.

Por su parte, las aguas del Río Amajac no poseen un alto grado de contaminación, cuyos valores equivalen a una tercera parte de las concentraciones registradas en el río Tulancingo, lo que permitió concluir que el río Amajac pueden utilizarse para todos los usos requeridos por la población, sin ningún tipo de restricción, ya que para el momento que se llevó a cabo el estudio los resultados obtenidos indicaron, que para los parámetros de calidad estudiados este cuerpo de agua se encuentran por debajo de los niveles establecidos por la regulación del país, mientras que para el río Tulancingo se determinó que está contaminado.

El análisis aplicado en este estudio indica que los componentes principales que representan la calidad integral del agua dentro de la cuenca estudiada son: oxígeno disuelto, coliformes fecales, N, P, SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- y Mn, los cuales explican más del 90% de la variabilidad total.

3.4.2. Nacionales

Seguidamente son presentados algunos estudios nacionales realizados en esta área del conocimiento, que permite sustituir la base conceptual y la metodológica del presente trabajo de investigación.

Isava (1996) ^[48] 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. 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, Isava (1996) determinó que la salinidad y el oxígeno disuelto fueron los parámetros determinantes en la calidad ambiental del complejo lagunar, además que el tipo de sedimento predominante es franco-arcilloso-limoso hacia la zona central de la laguna; mientras que en los sectores cercanos de la barra litoral y la zona oriental, predominan los sedimentos arenosos. Los resultados generados a partir de esta investigación, le permitieron señalar que las condiciones en las que se encuentra este ecosistema, presenta una aceleración marcada en el proceso de evolución característico de las lagunas costeras.

Barrientos et al. (2005) ^[49] caracterizaron los acueductos rurales presentes en los ríos Osorio y Piedra Azul con el propósito de determinar la calidad microbiológica e identificar las posibles fuentes de contaminación antrópica; así como identificar los niveles de riesgos sanitarios después del evento hidro-meteorológico de 1999, que colapsó el suministro de agua potable del Estado Vargas. Esto condujo a los habitantes de los centros poblados asentados en las cuencas bajas de los ríos Osorio y Piedra Azul, a una dependencia total de los cursos de agua superficiales, por medio de acueductos rurales sin potabilización, con las consecuentes repercusiones en la salud de las personas.

Los indicadores microbiológicos de potabilidad del agua estudiados por Barrientos, et al. (2005), se obtuvieron por el método de filtro de membrana. Los niveles de riesgos de los acueductos rurales se determinaron mediante los formularios de la Organización Mundial de la Salud, igualmente, la identificación y ubicación de las fuentes de contaminación se realizó por análisis aerofotográfico y cartográfico. La concentración de coliformes fecales y coliformes totales obtenidas les permitieron determinar que las aguas de ambos ríos, no son aptas para el consumo humano y que requieren potabilización; además, observaron que los acueductos rurales poseen alto riesgo de contaminación, producto de la duplicación de los asentamientos agropecuarios desde 1984 hasta 2002 en las cuencas altas. Por otro lado, se incrementó en 300% la morbilidad del síndrome diarreico por contaminación del agua

y/o alimentos, durante el primer semestre del 2000. Por ello, estos investigadores concluyen que se debe promover la Educación Sanitaria y Ambiental en la población, la vigilancia, el control y el monitoreo permanente de estos cursos de agua.

Herrera y Suárez (2005) ^[50] llevaron a cabo un estudio referido a la identificación de indicadores bacterianos adecuados para medir la calidad del agua y la salud ambiental, desde el punto de vista microbiológico, en dos playas del litoral caribeño venezolano, específicamente en Tucacas, Edo. Falcón y Agua sal, Edo Miranda. Estos investigadores determinaron que los CF y los ENT son los indicadores más apropiados para identificar la presencia de contaminación de origen fecal en el cuerpo de agua.

Herrera y Suárez (2005), indican que la enumeración de los indicadores bacterianos en los ecosistemas marinos es de vital importancia porque permite estimar su calidad bacteriológica y el riesgo potencial para la salud pública, por el uso de las aguas con fines turísticos o de extracción de productos del mar.

Navas (2006) ^[51] 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.

3.5. Zona de estudio

3.5.1. Ubicación y superficie

El Parque 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. Este parque se encuentra localizado a 10°11' y 19°19' de la latitud norte y 65°41' y 53°57' de longitud oeste en Venezuela, específicamente en la costa oriental del estado Miranda, en el sector litoral de la región de Barlovento, entre las poblaciones de Machurucuto, Cúpira, El Guapo y Río Chico ^[52]. En la figura 13 se presenta la ubicación geográfica de la zona de estudio.

El ecosistema lagunar de Tacarigua, comprende una laguna costera permanente dominada por bosques de manglar, separada del mar Caribe por una restinga o barrera litoral de aproximadamente unos 30 km de largo. El parque está comprendido por un sector marino de 20.700 hectáreas que corresponden al 52,94% del área total y un sector terrestre de 18.400 hectáreas que abarcan el 47,06% restante; que incluye 7.800 hectáreas ocupadas por la laguna. En total el parque tiene 39.100 hectáreas, de las cuales aproximadamente 4.000 ha están cubiertas por bosques de manglar que crecen a orillas de la laguna e incluso forman densas islas hacia el centro. La laguna se nutre de agua dulce proveniente principalmente del río Guapo, aunque también de otros afluentes como los caños Pirital, San Nicolás, San Ignacio y la quebrada Chaguaramal ^[53].

En su sector nor-occidental de la cuenca del río Guapo, la laguna se comunica con el mar a través de una boca. En épocas de fuerte sequía la disminución de la entrada de agua dulce y la acumulación de sedimentos, originan la obturación de la boca, lo que trae como consecuencia el incremento de la salinidad de las aguas de la laguna [54].

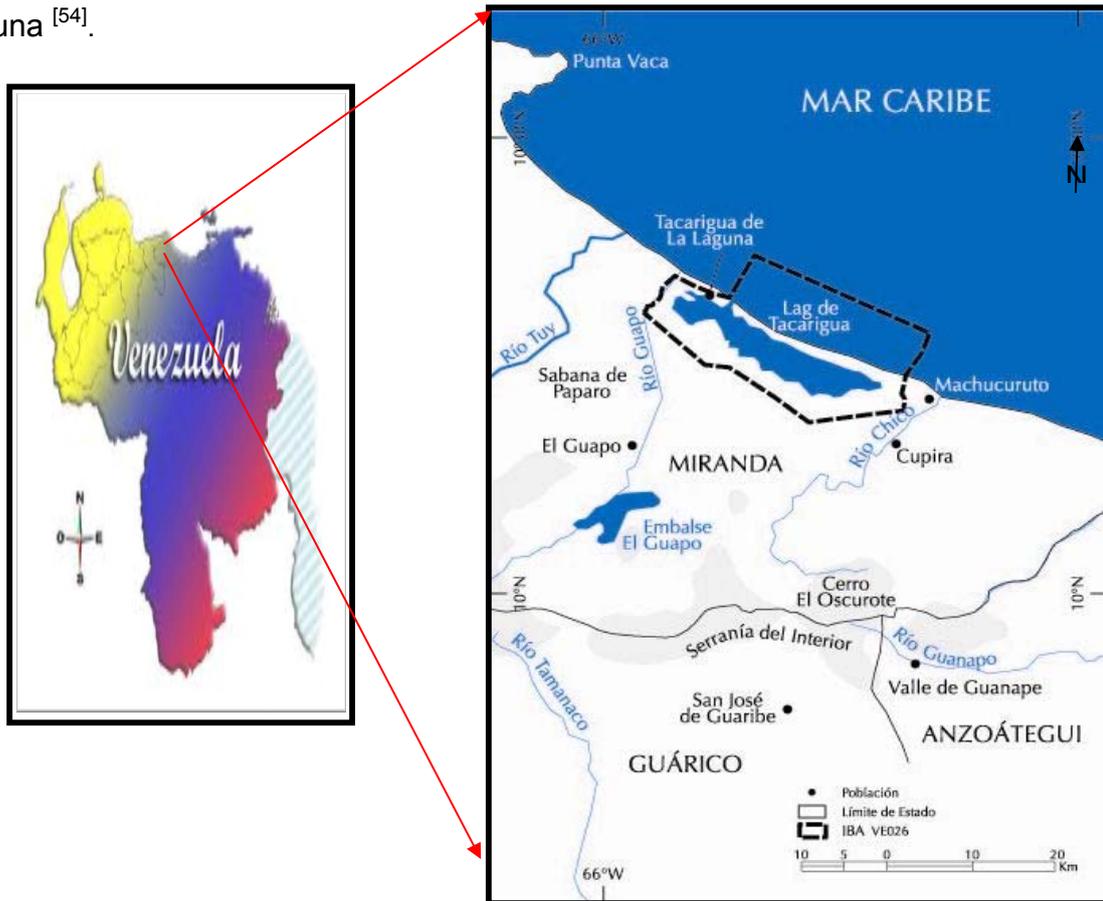


Figura 13: Ubicación Geográfica de la Laguna de Tacarigua, en el Estado Miranda.

La Laguna de Tacarigua se divide en cinco ambientes diferentes, de acuerdo a variables fisicoquímicas, topográficas y la naturaleza de sus sedimentos a saber: El Guapo, El Placer, Laguna Grande, El Cazote y Laguna Arenas [48]. En la figura 14 son mostrados los ambientes que constituyen la Laguna de Tacarigua.

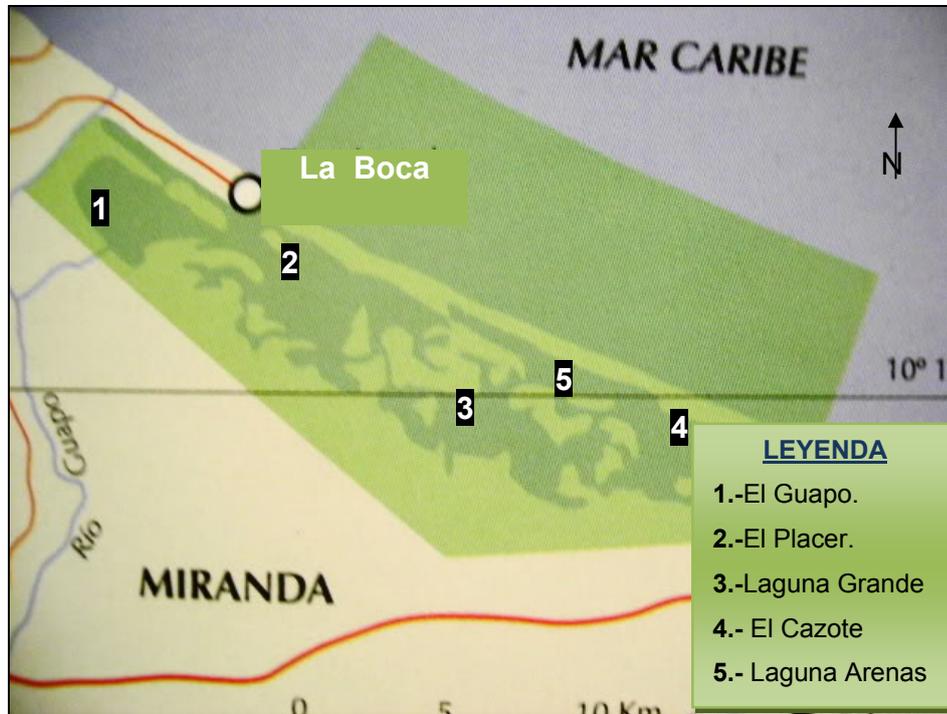


Figura 14: Mapa de la Laguna de Tacarigua que indica las 5 lagunas internas

1.- El Guapo: es la zona más occidental de la laguna y la de mayor influencia de las aguas dulces provenientes del río Guapo, tiene una salinidad que se mantiene por lo general a 16% y una profundidad que está entre 0,24 y 1,70 m. Esta zona está expuesta a un fuerte proceso de acumulación de sedimentos arrastrados por el río, además transporta las aguas provenientes de actividades domésticas, agrícolas y turísticas de la población adyacente al Río Guapo.

2.- El Placer: esta región 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. La profundidad varía entre 0,60 y 1,50 m; mientras que la salinidad está entre un 33 y 35%.

3.- Laguna Grande: esta área recibe la influencia del Caño San Nicolás, por lo que su salinidad es similar a la del Guapo; se trata además, de una zona con un intervalo de profundidad amplio que va desde 0,9m a 4,5m.

4.- El Cazote: es el extremo más oriental de la laguna, geográficamente afectada por la Quebrada Arenas cuya profundidad oscila entre 0,9-4,5 m. La salinidad por lo general está alrededor del 12%, es una de las zonas poco influenciada por las actividades antrópicas.

5.- Lagunas Arenas: es la región de la laguna que está en contacto con la berrera de arena que la separa del mar. Tiene una profundidad promedio de 0,6 a 1,20 m y su salinidad por lo general es de aproximadamente de 27%.

3.5.2. Clima

El clima en el parque Tacarigua es cálido y húmedo, con una temperatura media anual de 26 °C que oscila entre 24,8 y 27,5 °C y una precipitación media anual de 1.000 mm. Hay una estación lluviosa de junio a diciembre en la que se observa el 85 % de la precipitación anual. El mes más lluvioso es noviembre con un valor promedio de 169,5 mm y el más seco es marzo cuyo valor es 14,3 mm. Por la ubicación y orientación de su zona costera, el parque está fuertemente influenciado por los vientos alisios del noreste. La temperatura del agua se encuentra por encima de los 25°C durante el periodo lluvioso y 32,5 °C en plena sequía ^[56].

3.5.3. Tipo de suelo

Predominan las texturas arcillosas, arenosas y francas limosas. El color predominante del suelo es marrón amarillento con moteado gris, especialmente albuferas por estar pobremente drenados o inundados a lo largo del año, su permeabilidad es lenta, mientras que en la parte costera se encuentran arenas ^[57].

3.5.4. Biodiversidad

El parque comprende tres ecosistemas principales: 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 ^[57]. Está se encuentra dominada por bosques de manglares donde se pueden encontrar cuatro de las siete especies de mangles presentes en el país: *Avicennia Nitida*, en los suelos más consolidados y menos anegados; *Conocarpus Erectus*, que crece en las zonas más arenosas; *Rhizophora Mangle*, en los bordes de la laguna, la cual es la especie dominante que cubre hasta el 70 % del bosque de manglares; y *Laguncularia Racemosa*, que puede encontrarse en todo tipo de terreno ^[53].

La vegetación de la barra costera presenta principalmente hierbas halófilas como el saladillo (*Sporobolus Virginicus*), el bicho (*Philoxerus Vermicularis*) y el vidrio (*Batis Marítima*), además de arbustos como la uva de playa (*Cocoloba Uvifera*) y el cremón (*Thespecia populnea*), así como numerosos cocoteros (*Cocos Nucifera*) ^[52].

En la Laguna anidan cuatro especies de tortugas marinas: *Chelonia midas*, *Caretta*, *Dermochelys Coriacea* y *Eretmochelys Imbricata*, consideradas especies en peligro de extinción ^[55]. Asimismo, en el parque habita el caimán de la costa (*Crocodylus Acutus*), también en peligro de extinción. Otras 15 especies de reptiles y anfibios, 52 de peces, 17 de crustáceos y cuatro de moluscos han sido también reportadas para el parque ^[57].

Lentino (1990) ^[58] documentó 136 especies de aves de las cuales 35 eran migratorias, 80 residentes y 20 visitantes regulares del área. Un registro reciente no publicado del ornitólogo Jiménez ha llevado esta cifra a 212 especies de aves. Son comunes las aves acuáticas como garzas, corocoras, gaviotas, tirras, playeros, flamencos y alcatraces, aunque también hay una gran variedad de passeriformes en las zonas boscosas del parque.

3.5.5. 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 2 a 4 millones de años. La barra costera que separa al parque del mar, se originó durante la trasgresión del Caribe en el Holoceno, aunque hoy en día continúan depositándose las arenas que la cubren. La laguna forma parte de un complejo de lagunas costeras que incluyen también a la laguna de Unare y a la laguna de Píritu ^[54].

3.5.6. Actividades humanas cercanas a la zona de interés.

En el Parque Laguna de Tacarigua, están asentadas poblaciones cercanas cuya principal actividad económica es la pesca y siembra de cocos, además están presentes una serie de complejos hoteleros, sin embargo no se aprovecha las actividades de turismo en la zona.

La mayoría de los problemas en el parque se relacionan con la intensa actividad humana en sus alrededores, originados fuera del parque que son embargo afectan al ecosistema, cuya influencia podría incrementarse en el futuro. Por tal motivo, el estado del parque es considerado como vulnerable, esto a consecuencia de los diversos problemas que se presentan como la sedimentación y deforestación principalmente, así como por causas menores como la pescadería ilegal ^[54].

La sedimentación se considera como el problema de mayor relevancia, ya que origina un impacto ambiental negativo, puesto que debido a las características geológicas de la laguna y de su entorno, el destino de este paisaje es a desaparecer en un tiempo geológico relativamente corto, como producto de la acumulación de sedimentos provenientes de la cordillera de la costa. Este proceso natural se ha visto

acelerado con el incremento del aporte de sedimentos a la laguna producto de la erosión y deforestación de los bosques en las cabeceras de sus afluentes, además de este problema, se origina la contaminación de las aguas provenientes de varios pueblos asentados en los alrededores del parque con una importante afluencia de turistas y complejos hoteleros recreacionales ^[54].

4. METODOLOGÍA

La metodología seguida en este estudio comprendió tres etapas fundamentales:

- **1° etapa de pre-campo:** fue la etapa previa a la captación de muestras, donde se realizó una evaluación inicial de la zona de estudio, así como la preparación del material para la salida de campo (figuras 15 y 16).
- **2° etapa de campo:** esta etapa consistió en la toma de muestras en los distintos sectores de la Laguna y en la medición de parámetros fisicoquímicos in situ (figuras 20). Además en esta etapa se procesaron, se sembraron y se incubaron cada una de las muestras por duplicado, para cada indicador microbiológico.
- **3° etapa de post-campo:** esta etapa involucro las determinaciones de las concentraciones de cationes, aniones y elementos traza, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, alcalinidad, y DQO; así como el recuento de indicadores microbiológicos de calidad de agua, bacterias heterótrofas y de especies de *Vibrio*, en el laboratorio (figura 30).

A continuación serán descritas detalladamente cada una de estas etapas seguidas en este estudio.

4.1. Etapa de pre-campo:

En primer lugar, en esta etapa se realizó la revisión de la bibliografía acerca de algunos estudios previos llevados a cabo en la Laguna de Tacarigua, lo que permitió proponer un plan de muestreo en los sectores de mayor interés del complejo lagunar, como lo son sus cinco lagunas internas más el sector la boca (Figura 14).

También se procedió a la preparación del material que incluyó los envases y medios de enriquecimiento selectivos así como equipos, simultáneamente se procedió a la calibración de sonda, potenciómetro, GPS y turbidímetro, para poder llevar a cabo el muestreo.

En lo que respecta a la preparación de los envases que se usaron para la recolección de las muestras en la etapa de campo, para la determinación de los cationes mayoritarios y elementos minoritarios, se usaron envases de polietileno de 1000 mL, los cuales fueron curados con una solución de HNO₃ al 10% (v/v) por un período de 24 horas, luego se lavaron con agua destilada y desionizada, para evitar la absorción de los cationes en las paredes de cada uno de los envases; mientras que para la determinación de los aniones y alcalinidad, se utilizaron envases de polietileno de 1000 mL, pero solo se trataron con abundante agua destilada y desionizada; por su parte, para determinar la demanda química de oxígeno(DQO), se utilizaron envases de vidrio esmerilados, con tapa de 500 mL que fueron enjuagados varias veces con agua destilada y agua desionizada.

Para los análisis microbiológicos, las muestras fueron recolectadas en envases de vidrio de 500 mL de capacidad, de boca ancha y de rosca con tapa, previamente esterilizados. Para llevar a cabo el aislamiento e identificación de los microorganismos de interés en la posterior etapa de campo, se prepararon placas con medios de cultivos específicos o selectivos, con el fin de poder sembrar todas las diluciones de las muestras, para cada microorganismo a determinar, que fueron suministrados por el Laboratorio de Microbiología Ambiental del Instituto de Zoología y Ecología Tropical.

Así mismo se prepararon placas para: coliformes totales (CT) y Fecales (CF) con el medio líquido "Coliblu"; el cual viene preparado comercialmente; para enterococos ETS con el medio "Agar Bilis Esculina"; para Bacterias Heterótrofas (BHET) con el medio Agar de Crecimiento PCA "Plate Count Agar" y para las especies de Vibrio (VIB) con un medio conocido como TCBS que contiene "Tiosulfato, Citrato, Sales Biliares y Sacarosa". Además para las especies Vibrio se organizó para cada muestra, 100 mL de caldo "Tripticasa de Soya" CTS en frascos de dilución con tapa para activar estos microorganismos en la etapa de campo.

En esta etapa, también se prepararon los reactivos necesarios para llevar a cabo los análisis en la etapa de campo, se organizó y preparó todo los materiales de laboratorio y equipos de campo para realizar el muestreo, tratamiento y transporte de las muestras de aguas de interés.

Es importante destacar que en esta etapa se organizó toda la logística que requiere una salida de campo para la recolección de las diferentes tipos de muestras, así mismo, se identificaron cada uno de los envases con el nombre del punto del muestreo, número de muestra y análisis a ser realizado, esto para poder tener trazabilidad. Las figuras 15 y 16 presentan en forma esquemática, como se desarrolló esta primera etapa de pre-campo.



Figura 15: Diagrama de la etapa de pre-campo

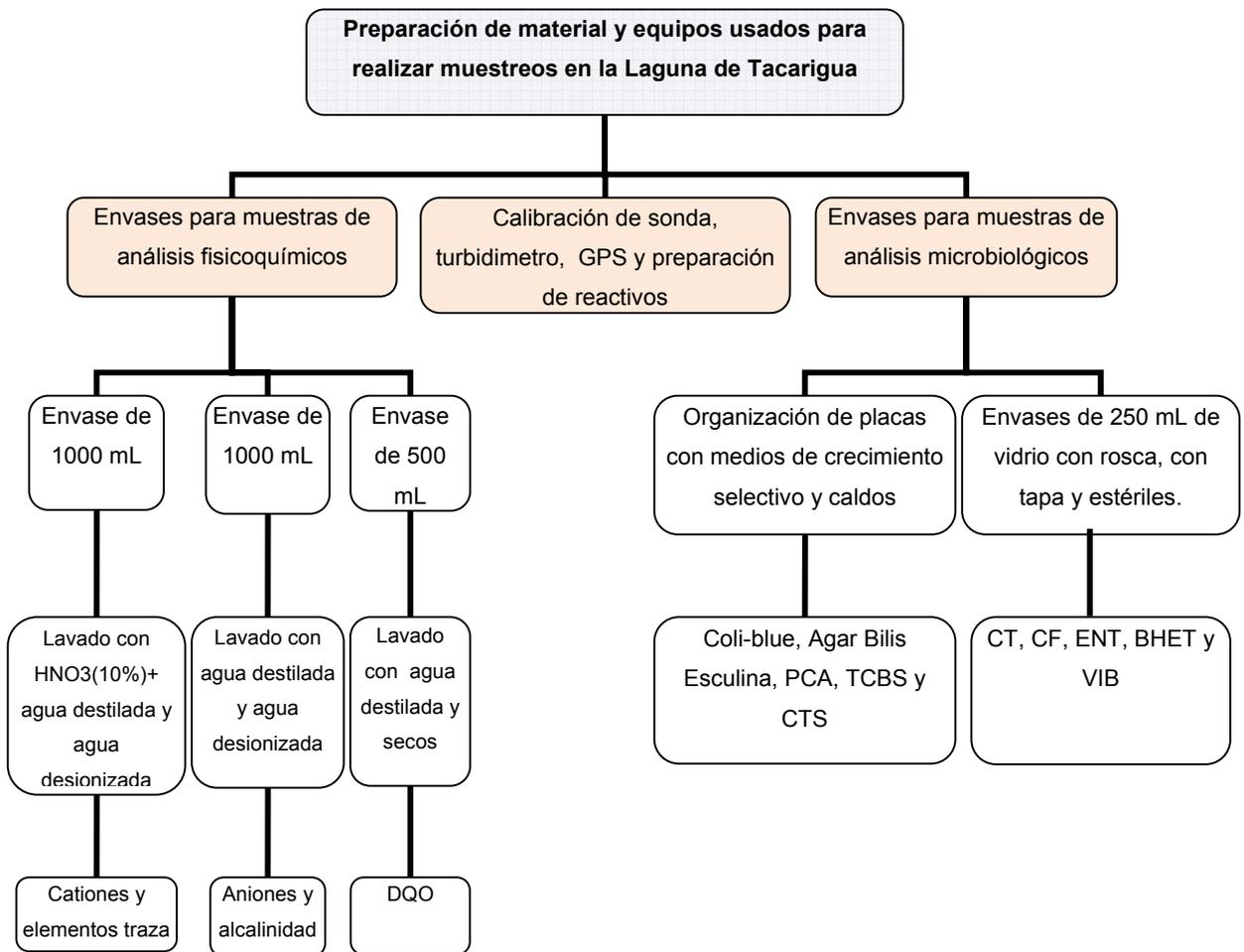


Figura 16: Diagrama de preparación de material y equipos para el muestreo.

4.2. Etapa de campo

Esta etapa fue la más exigente de todas, se llevó a cabo los días 1, 2 y 3 de marzo de 2011 en la Laguna de Tacarigua. Durante esos tres días tanto en la mañana como en la tarde se ubicaron, 16 lugares dentro de las cinco lagunas internas que constituyen el humedal costero como lo son El Guapo, El Placer, Laguna Grande, El Cazote y Laguna Arenas; así como en el sector la Boca. El recorrido se realizó en lancha bajo condiciones climáticas normales de zonas costeras, caracterizados por días

soleados y despejados por lo general, con los equipos y materiales necesarios para realizar la captación de las muestras para los distintos análisis.

Durante este proceso de forma simultánea se midieron “in situ” los parámetros fisicoquímicos pH, temperatura, conductividad, salinidad, turbidez y profundidad (Apéndice 9,1); igualmente se tomaron las medidas de las coordenadas, usando para ello un GPS (Garmin Modelo Vista Cx); mientras que, durante las noches se procesaron las muestras recolectadas durante la jornada diaria para la determinación de los distintos microorganismos de interés. La tabla 9 muestra los seis sectores de importancia de la laguna incluyendo la Boca, donde fueron medidos parámetros fisicoquímicos y se capturaron muestras de aguas.

Tabla 9: Puntos de muestreo seleccionados

Lagunas internas	N° muestra	Código de muestra	Nombre del punto
El Guapo	1	PNLT 2	Caño Tuy
	2	PNLT 3	Guapo
	3	PNLT 4	Caño Madre Casaña
El placer	4	PNLT 5	Caño el Mono
	5	PNLT 6	El Placer
	6	PNLT 7	Las Lapas
	7	PNLT 8	Caño Pirital
	8	PNLT 9	Carambola
Laguna Grande	9	PNLT 10	Caño San Nicolás
	10	PNLT 11	Caño San Ignacio
	11	PNLT 12	Laguna Grande
	12	PNLT 13	Manatí
El Cazote	13	PNLT 14	Marapata
Laguna Arena	14	PNLT 16	Miami
	15	PNLT 18	Túnel del Amor
La Boca	16	PNLT 19	Borde de la boca

Por su parte la figura 17 permite observar geográficamente, los puntos muestreados en la zona de estudio.

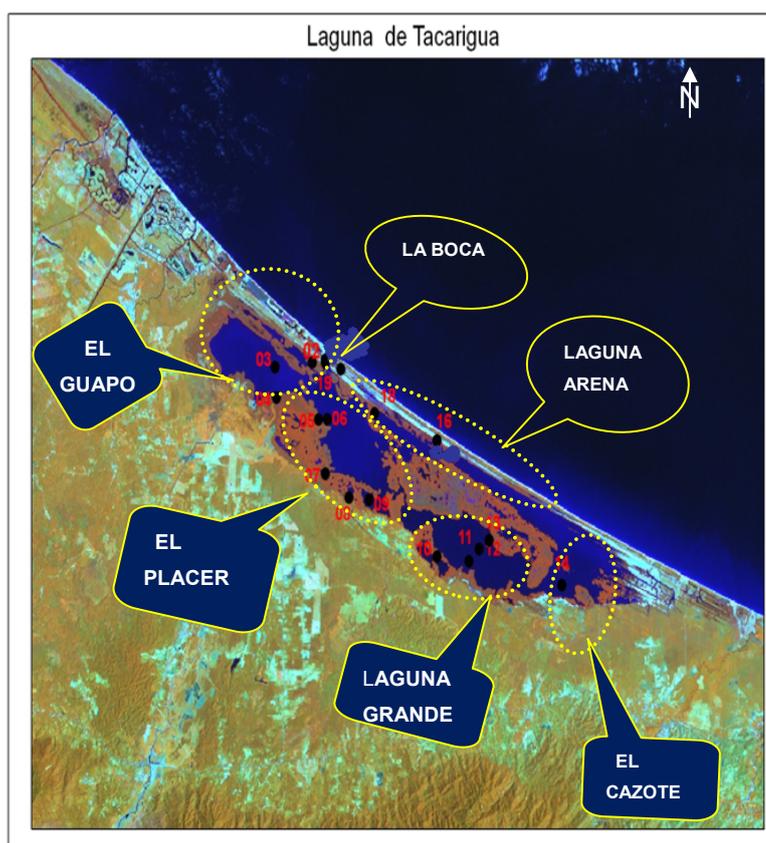


Figura 17: Mapa que indica los puntos de muestreo

Las mediciones de los parámetros fisicoquímicos se realizaron con equipos previamente calibrados, de este modo para las mediciones “*In Situ*” de pH, conductividad y temperatura se utilizó un potenciómetro marca Orión; la turbidez con un turbidímetro marca Thermo; la salinidad con un sonda multiparamétrica marca Horiba y la profundidad con una regleta graduada en centímetros.

En lo que respecta a la toma de muestra para los análisis fisicoquímicos, se procedió a curar los envases previamente preparados para los diversos análisis con las

aguas a ser captadas. Para el caso de las muestras correspondientes a la determinación de los cationes mayoritarios y elementos traza, se recolectaron y se colocaron en una cesta a temperatura ambiente; mientras que las muestras para la determinación de aniones y alcalinidad, luego de ser captadas se preservaron a una temperatura de aproximadamente de 5°C en una cava con hielo, durante la jornada diaria de muestreo y correspondiente traslado.

En cuanto a la toma de muestra para los análisis microbiológicos, el frasco de vidrio se llenó en sentido contrario a la corriente del agua, dejando un espacio vacío para facilitar la agitación u homogenización del mismo, en el momento en que se hizo el análisis ^[59]. Las muestras se colocaron en refrigeración hasta llegar al lugar donde se procesaron durante esta etapa; el cual fue adecuado de la forma más estéril posible, constituido por una mesa de trabajo, filtros, bombas de vacío, bombona de gas, mechero a gas, mechero a alcohol 70%, material volumétrico de vidrio estéril, estufa portátil, soluciones salinas estériles, placas, caldos, membranas y fósforos, para llevar a cabo las diluciones de las muestras, filtraciones, siembras e incubaciones en un máximo de 8 horas, después de que se tomaron cada una de las muestras para evitar el aumento o disminución del conteo de microorganismos que tiene la misma.

Para determinar los indicadores microbiológicos coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF) y enterococos (ENT) en esta etapa, se utilizó el método de membrana filtrante. Este método, consistió en filtrar 100 mL de cada una de las diluciones de la muestra, atendiendo a las mejores condiciones de esterilidad posibles, con una membrana filtro Millipore de 0,45 µm (figura 18). Luego se tomó y colocó dicha membrana en las placas que contienen: medios de enriquecimiento selectivo y diferencial como el COLI-BLUE, en el caso de CF y CT y en medios de enriquecimiento selectivo Agar esculina para ENT.

Seguidamente las placas fueron colocadas de forma inversa, con la membrana hacia abajo, agrupando las distintas diluciones realizadas por muestra y por microorganismo; posteriormente se organizaron y procedieron a incubar a 35°C por 24 horas en una estufa, para su posterior contaje.

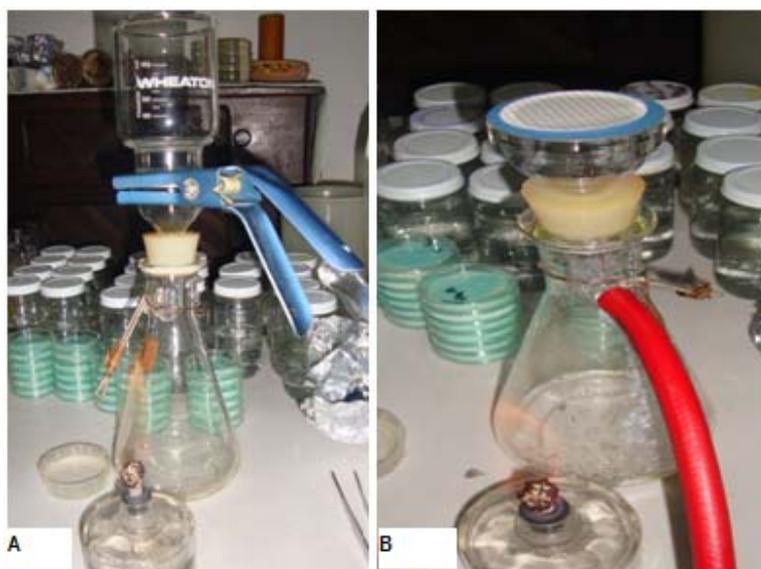


Figura 18: A. Sistema de filtración al vacío por membrana de 0,45 μm , B. Membrana 0,45 μm antes luego de filtración de muestras de agua y antes de sembrarla.

Para las especies de *Vibrio*, inicialmente se colocaron 10 mL de muestra en un CTS, para activarlas por un período aproximado de seis horas (figura 19 A), luego se procedió a realizar las diluciones seriadas necesarias para posteriormente procesarlas.

En el caso de las especies VIB y BHET, 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 colocar en la placa que contiene el medio de crecimiento sólido selectivo a saber: TBCS para especies VIB y PCA para BHET. Luego se procedió a dispersar las muestras sobre la superficie del medio, usando un rastrillo (figura 19 B), para finalmente agrupar las distintas diluciones realizadas por muestra y

por microorganismo, con la siguiente organización seguida de la incubación a temperatura ambiente por 24 horas, para su posterior conteo.



Figura 19: A. Caldo de activación de especies *Vibrio* antes de proceder a realizar diluciones B. Método de siembra por superficie utilizado para realizar la determinación de especies *Vibrio* y bacterias heterótrofas.

Es importante destacar que los materiales utilizados en todas las etapas del procesamiento de las muestras para la determinación de los diferentes microorganismos, fueron esterilizados y de uso exclusivo por cada muestra. Para la determinación de la DQO, se tomaron frascos de vidrio de 500 mL y se sumergieron en los sitios a muestrear, luego se procedió a agregar 1 mL de $H_2SO_{4(c)}$ para obtener un pH menor de 2, se taparon y se refrigeraron. La determinación de DQO se realizó a los cuatros días de haber tomado las muestras un día menos de lo que recomienda la literatura^[60]. A continuación se muestra de forma esquemática, la metodología seguida en la etapa de campo de este trabajo (figura 20).

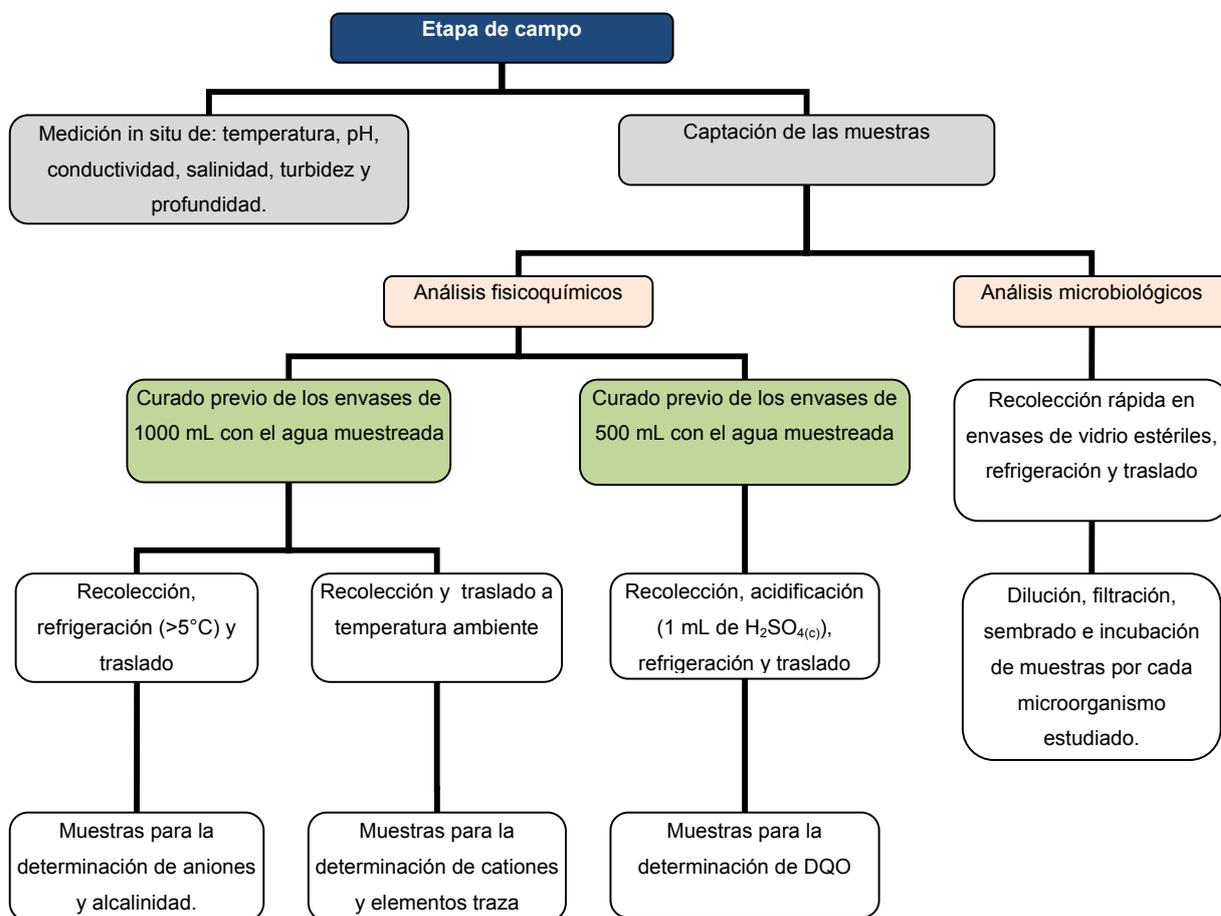


Figura 20: Diagrama de la etapa de campo

4.3. Etapa de post-campo

En esta etapa el trabajo de laboratorio, se realizó en las instalaciones de los institutos de Ciencias de la Tierra y Zoología y Ecología Tropical de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela, donde se realizaron las diversas determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas. A continuación se indican tanto las especies químicas como microbiológicas determinadas, así como los métodos y técnicas utilizados:

Para la determinación de la alcalinidad, las muestras se mantuvieron refrigeradas a una temperatura menor de 5 °C hasta que se comenzó el análisis, esto para evitar la pérdida de dióxido de carbono. Esta determinación se realizó aplicando el método Gran (1952) y se reportó como mg/L de HCO_3^- . Dicho método consistió en realizar una titulación potenciométrica de 25 ml de la muestra de agua con ácido sulfúrico 0,01937 M (previamente valorada), con la simultánea medición de los cambios de pH a medida que la solución titulante se iba añadiendo. Para llevar a cabo este método, se usó una bureta digital **Jencons Digital** (figura 21), con un volumen de enrase de 50 mL y un pHmetro portátil marca orión (previamente calibrado).



Figura 21: Bureta portátil

Es importante destacar que el método Gran permite determinación del volumen equivalente al graficar “**v**” contra la ecuación de Gran $(\mathbf{V} + \mathbf{v})10^{-\text{pH}}$, para cada muestra (apéndice 9.2). Donde “**V**” es el volumen inicial de la muestra y “**v**” es el volumen de ácido titulante añadido. Esto permite extrapolar hasta el valor cero de la función de Gran (figura 22) y obtener el volumen del punto final de la titulación, donde comienza un aumento de los iones hidronios libres y por ende de las especies alcalinas que han pasado a su forma ácida ^[61].

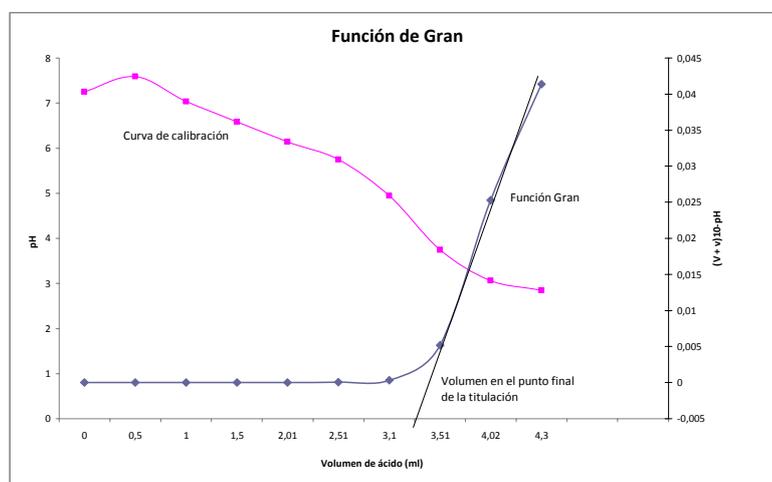


Figura 22: Función de gran, obtenida con una de las muestras estudiadas

Se debe señalar que para hacer las determinaciones de los elementos mayoritarios y traza, las muestras debieron ser filtradas a través de una membrana Millipore de 0,45 μm en un equipo de filtración al vacío (figura 23), lo cual se aprovechó para pasar por las mismas un volumen conocido de muestras de aguas. Luego se tomó cada membrana y se secó a 120°C por 24 horas para proceder a determinar los sólidos en suspensión de cada una de las muestras, mediante la diferencia del peso de la membrana después y antes de la filtración en un volumen conocido de muestra (apéndice 9.3).



Figura 23: Equipo de filtración al vacío con membrana de 0,45 μm .

Posterior a la realización de las diluciones correspondientes a cada una de las muestras con agua desionizada se llevó a cabo la preparación de una batería de patrones para cada una de las especies de interés, usando curvas de calibración, con el propósito de determinar las especies químicas Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr, Hg, Ba, Li y Fe, así como los aniones SO_4^{2-} y Cl^- mediante las técnicas que seguidamente se describen.

Na^+ y K^+ , se determinó a través de la técnica de Espectroscopia de Emisión Atómica (EEAT), apéndice 9.4 y 9.5) con el espectrofotómetro atómico marca Perkin Elmer, modelo Analist 200 (figura 24).

La concentración de las especies Ca^{2+} y Mg^{2+} se realizó a través de la técnica de Espectroscopia de Absorción Atómica a la Llama (EAA-LL) (apéndice 9.6 y 9.7), con el espectrofotómetro atómico marca Perkin Elmer, modelo Analist 200 (figura 24).



Figura 24: *Espectrofotómetro atómico Perkin Elmer analist 200*

Por su parte los elementos traza Sr, Hg, Ba, Li y Fe y silicio a través de la técnica de Espectroscopia de Emisión Atómica con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP), en un equipo de marca Horiba Jobin, modelo Xwn AS 500 (figura 25).



Figura 25: *Equipo de emisión atómica con fuente de plasma de acoplamiento inductivo marca Horiban Jobin, modelo Xwn AS 500*

La determinación de SO_4^{2-} , se realizó mediante la técnica de Cromatografía Iónica, usando un cromatógrafo marca Dionex, modelo Dx-120 Ion Chromatograph (figura 26). El método consistió en la inyección en el equipo de una batería de patrones y la posterior construcción de una curva de calibración de altura de los picos contra concentración de patrones (apéndice 9.8); posteriormente, se procedió a inyectar cada una de las muestras y se determinó la concentración de iones SO_4^{2-} .



Figura 26: *Cromatógrafo marca Dionex, modelo Dx-120 Ion Chromatograph*

Por su parte la determinación de iones cloruro se realizó por una titulación con nitrato de plata ^[29] (apéndice 9.9). Para ello se tomó una alícuota de la muestra de

agua, se le agregó 1 mL de cromato de potasio al 1% y 20 mL de agua desionizada, procediendo seguidamente a su valoración hasta obtener una coloración rojo ladrillo, tal como se observa en la siguiente figura.

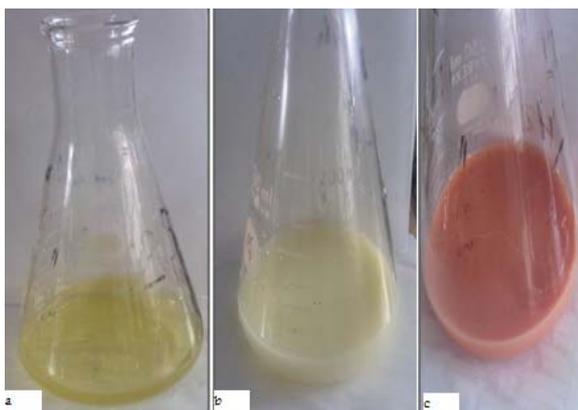


Figura 27: *a. Muestra + cromato de potasio, b. Muestra + nitrato de plata; c. Muestra en el punto final de la titulación*

En lo que respecta a la determinación de la demanda química de oxígeno, fue primero necesario conocer la concentración de cloruro, ya que la metodología recomendada señala que la concentración de esta especie no puede sobrepasar los 2000 mg/L. Por ello, la determinación de la demanda química de oxígeno solo se le realizó a seis de las 16 muestras captadas, puesto que fueron las que estuvieron por debajo de la concentración mencionada (apéndice 9,10).

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

Posteriormente, la muestra se tituló con sulfato ferroso amoniacal (sal de Mohr), para titular el exceso de dicromato de potasio, usando como indicador ferroína, el cual se usó para observar con claridad el punto final de la titulación (rojo ámbar). Este método 5220-B esta descrito en la ASTM ^[60] (figura 28).



Figura 28: a. Equipo de reflujo abierto. b. Coloración de punto final de titulación con sulfato ferroso amoniacal utilizando como indicador ferroína

En lo que respecta a los análisis microbiológicos, inicialmente se realizaron diluciones seriadas, filtración por el método de FM y luego se cuantificaron el número de colonias que indicaban la presencia de CT, CF y ENT (figura 29 y apéndice 9.11); posteriormente, se procedió a la cuantificación de la especie *Vibrio* y bacterias heterótrofas, que fueron procesadas por el método de diluciones seriadas y siembra por superficie (figura 30 y apéndice 9.11).

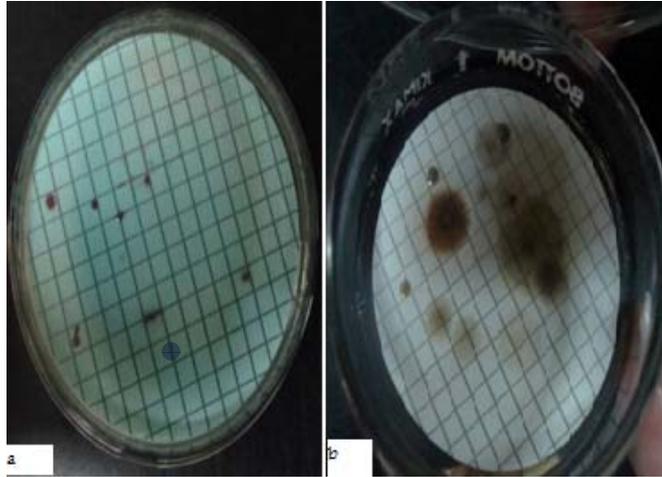


Figura 29: Indicadores microbiológicos de calidad obtenidos para una de las muestras estudiadas: **a.** se muestran las bacterias CT colonias de color rojo y CF colonias de color azul.
b. ENT colonias de color negro.

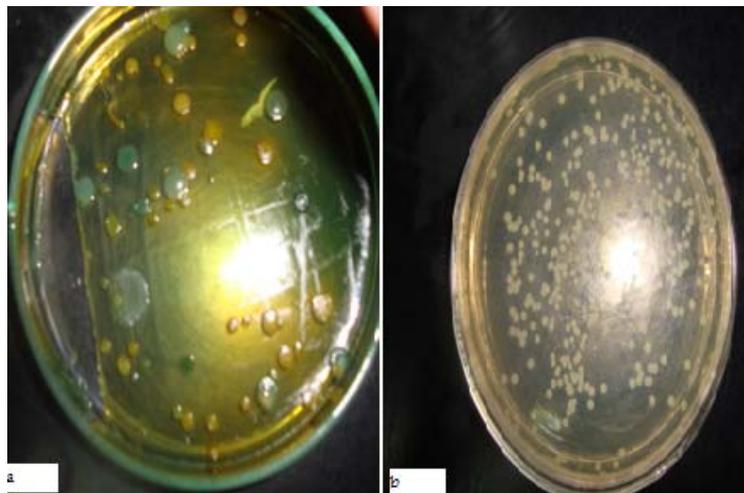


Figura 30: **a.** Colonias que representan diferentes especies de Vibrio; y **b** las colonias de las bacterias heterótrofas,

La figura 31 presenta el esquema de las determinaciones realizadas en esta etapa.

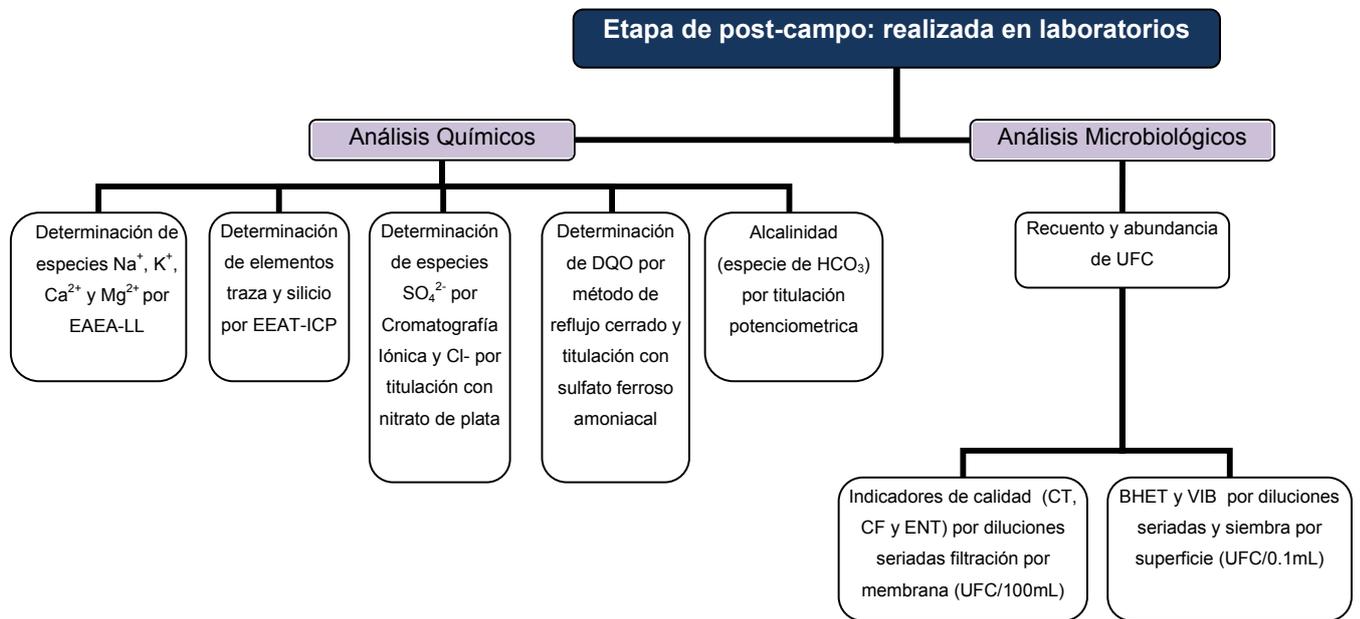


Figura 31: Metodología seguida en la etapa de post-campo

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objetivo principal de este estudio fue la evaluación actual (mes de marzo) de la calidad del agua del Humedal costero “Laguna de Tacarigua”. Esto implicó realizar un diagnóstico subjetivo en función de su uso, que de acuerdo a la normativa legal vigente en Venezuela para controlar la calidad de agua, Decreto 883, sería: **Aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva y de subsistencia; conocidas como Tipo 4 de contacto total o parcial**. El criterio de calidad para este tipo de agua podría definirse como una reacción de causa y efecto entre el nivel del indicador de calidad del agua involucrado y los riesgos potenciales para la salud asociados con el uso del agua para este tipo. Esta evaluación permitió la determinación de parámetros físicos, químicos y biológicos en cada uno de los seis ambientes que constituyen la Laguna de Tacarigua, a saber: el Guapo, el Placer, Laguna Grande, el Cazote, Laguna Arena y la Boca. Esta evaluación conllevó a su caracterización a nivel de sus condiciones físico-químicas a través de los parámetros temperatura, profundidad, conductividad, pH, salinidad y turbidez; de su composición química, mediante la determinación de especies mayoritarias, SiO_2 , sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos, dureza, demanda química de oxígeno y su grado de alteración mediante la determinación de elementos traza y parámetros microbiológicos y así determinar su calidad.

Seguidamente los resultados obtenidos son presentados básicamente en dos partes fundamentales; la primera titulada como “Datos Experimentales”, donde se plasmaron los datos atendiendo a los ambientes que constituyen el humedal costero Laguna de Tacarigua, para las determinaciones “in situ” de los parámetros físico-químicos. La segunda consistió en la Presentación y Discusión de Resultados, en todos los puntos muestreados por cada sector de importancia de la laguna, para las diversas determinaciones físico-químicas y microbiológicas realizadas.

5.1. Datos experimentales

El proceso de muestreo se llevo a cabo entre el 1 y 3 de marzo de 2011, tiempo durante el cual se realizaron las determinaciones “*in situ*”, como la recolección de muestras en los 16 puntos de la Laguna. Es importante destacar que Conde (1996) ^[62], realizo una trabajo acerca del Perfil de la Laguna de Tacarigua, donde mostró los datos suministrados por el Ministerio del Ambiente (1990) que indican normalmente que en la Laguna de Tacarigua la temporada de lluvias se extiende desde junio a diciembre, siendo noviembre el mes con lluvias más intensas; mientras que la estación más seca, empieza entre los primeros 4 o 5 meses del año, siendo el mes más seco marzo. Sin embargo, en el momento de llevar a cabo la etapa de muestreo, esto no ocurrió, debido a la influencia del evento climático La Niña (períodos de lluvias intenso) que origino que el período de invierno se extendiera al año 2011, lo cual creo una situación atípica en la Laguna, ya que el mes de marzo fue un período lluvioso, donde se observo en primer lugar que el nivel de la columna de agua era alto, presencia de sólidos en suspensión, mezcla entre corrientes de aguas y especialmente se favoreció la comunicación directa entre la Boca de la Laguna con el mar (figura 32); lo cual no ocurre en épocas de sequía extrema, ya que la laguna se mantiene cerrada. Obviamente lo señalado anteriormente, influye directamente en cada una de las determinaciones realizadas en los distintos sectores, debido a que se realizó el estudio luego de una temporda de lluvias. Isava (1996)^[48] señala que todas las determinaciones realizadas, podrían estar sujetas a un posible efecto de dilución en comparación a determinaciones realizadas en épocas de sequía, cuando el sector de la boca esta cerrada.

Figura 32: Imagen tomada durante salida de campo en el sector de la boca mostrando el contacto directo entre la laguna con el mar (Boca abierta).



Seguidamente son desarrollados los puntos referidos a la presentación de los resultados obtenidos para los parámetros fisicoquímicos medidos in situ, incluyendo datos como nombre de la muestra y la ubicación geográfica, donde fue captada el agua.

5.1.1. Nombre y ubicación de los puntos de muestreo.

En la siguiente tabla se presentan los nombres y los sitios donde fueron captadas las 16 muestras de agua en cada uno de los sectores que conforman este ecosistema, así como sus coordenadas geográficas.

Tabla 10: Ubicación y nombre de cada uno de los puntos muestreados.

Sector	N° Muestra	Muestras	Nombre de los puntos	Coordenadas
El Guapo	1	PNLT 02	Caño Tuy	N: 10°18'02,1" W:065°52'33,8"
	2	PNLT 03	Guapo	N: 10°18'00,0" W:065°52'53,03"
	3	PNLT 04	Caño Madre Casaña	N: 10°17'55,7" W:065°54'18,3"
El Placer	4	PNLT 05	Caño El Mono	N: 10°17'07,2" W:065°54'43,0"
	5	PNLT 06	El Placer	N: 10°16'43,5" W:065°52'44,4"
	6	PNLT 07	Las Lapas	N: 10°16'46,7" W:065°52'21,7"
	7	PNLT 08	Caño Pirital	N: 10°15'33,3" W:065°52'33,7"
	8	PNLT 09	Carambola	N: 10°14'58,8" W:065°51'10,9"
Laguna Grande	9	PNLT 10	Caño San Nicolás	N: 10°13'42,0" W:065°49'11,6"
	10	PNLT 11	Caño San Ignacio	N: 10°13'31,3" W:065°48'14,6"
	11	PNLT 12	Laguna Grande	N: 10°13'51,7" W:065°47'59,8"
	12	PNLT 13	Manatí	N: 10°14'21,7" W:065°47'23,2"
El Cazote	13	PNLT 14	Marapata	N: 10°13'03,8" W:065°45'33,8"
Laguna Arenas	14	PNLT 16	Club Miami	N: 10°16'19,4" W:065°49'31,3"
	15	PNLT 18	Tunel del Amor	N: 10°16'53,4" W:065°51'03,0"
La Boca	16	PNLT 19	El Borde de la Boca	N: 10°18'03,6" W:065°52'27,5"

5.1.2. Parámetros fisicoquímicos determinados “in situ” por cada sector

A continuación, son presentados los datos medidos “in situ” en cada uno de los seis (6) sectores de Laguna de Tacarigua, que según su uso asociado y de acuerdo a lo que indica la Revisión del decreto 883 (Tabla 7), se clasifica como **Tipo 4**, cuyo valor de pH debe estar dentro del rango de 6,5 – 8,5 unidades. La presentación de los resultados, se dividió atendiendo a los sectores que conforman el Complejo Lagunar, esto a fin de facilitar dicha presentación.

Tabla 11: Parámetros fisicoquímicos medidos *In situ* en cada sector de la Laguna de Tacarigua

Zona	Nombre	Punto	pH	Conductividad (µs/cm)	Temperatura (°C)	Salinidad (%)	Turbidez (NTU)	Profundidad (m)
El Guapo	C.Tuy	PNLT 2	8,5 ± 0,1	24794 ± 568	31,0± 0,2	1,7± 0,1	26 ± 3	1,9 ± 0,5
	El Guapo	PNLT 3	7,6 ± 0,2	892 ± 376	29,2± 0,3	0,16 ± 0,15	160 ± 20	0,8 ± 0,1
	Madre Casaña	PNLT 4	7,3 ± 0,1	163 ± 1	26,8 ± 0,1	0	143 ± 2	1,5± 0,5
El Placer	C. Mono	PNLT 5	6,9 ± 0,1	422 ± 367	26,6 ± 0,3	0	27 ± 5	1,1 ± 0,6
	El Placer	PNLT 6	7,8 ± 0,4	12370 ± 4757	29,0 ± 1,1	0,9 ± 0,6	35 ± 20	1,6 ± 0,3
	Las Lapas	PNLT 7	7,1 ± 0,1	897 ± 161	28,4 ± 1,2	0	16 ± 3	1,1 ± 0,1
	Caño Pirital	PNLT 8	6,73 ± 0,04	397 ± 46	29,4 ± 0,6	0	21 ± 2	1,1 ± 0,3
	Carambola	PNLT 9	7,7 ± 0,1	11687 ± 6000	30,6 ± 0,1	0,82 ± 0,04	9 ± 2	1,7 ± 0,2
Laguna Grande	C.San Ignacio	PNLT 10	7,7 ± 0,3	7996 ± 1936	31,3 ± 0,5	0,6 ± 0,1	16 ± 3	1,3 ± 0,2
	C. San Nicolas	PNLT 11	8,3 ± 0,2	29050 ± 5702	29,2 ± 1,3	1,93 ± 0,02	12 ± 3	1,1 ± 0,6
	Laguna Grande	PNLT 12	8,32 ± 0,03	32720 ± 130	29,2 ± 0,1	2,01 ± 0,02	10 ± 2	2,5
	Manatí	PNLT 13	7,4 ± 0,1	27192 ± 1060	27,8 ± 0,4	1,8 ± 0,2	21 ± 4	0,7 ± 0,1
El Cazote	Marapatá	PNLT 14	8,5 ± 0,1	25052 ± 309	29,8 ± 0,3	1,50 ± 0,02	11 ± 3	1,2 ± 0,1
Laguna Arena	Club Miami	PNLT 16	8,2 ± 0,1	28620 ± 418	31,2 ± 0,2	1,73 ± 0,06	8 ± 4	1,0 ± 0,4
	Tunel del Amor	PNLT 18	8,2 ± 0,2	18726 ± 2638	30,2 ± 0,8	1,7 ± 0,2	34 ± 27	1,0 ± 0,2
Boca	Boca	PNLT 19	8,72 ± 0,03	50400 ± 442	29,5 ± 0,3	3,2 ± 0,02	5,8 ± 0,3	2,4 ± 0,9

En la tabla 11 se presentan los parámetros pH, conductividad, temperatura salinidad, turbidez y profundidad para cada sector de la Laguna.

En primer lugar, nótese que el Caño Tuy es el lugar más profundo de los tres puntos muestreados en el sector el Guapo; así mismo posee los mayores valores de temperatura (31,0 °C); pH (8,49); conductividad (24794,0µS/cm) y salinidad (1,7%). Esto es consecuencia de la proximidad de este punto (PNLT 2), con la zona de la

Laguna que se encuentra en contacto directo con el agua de mar (figura 17). En los otros dos lugares los valores disminuyen, a medida que se encuentran más lejos de la influencia directa con el mar.

Es importante destacar que las aguas marinas tienen una cantidad de iones en solución mucho mayor que el agua dulce, por lo que cuando las zonas de agua dulce reciben directamente aguas del mar, aunado a su carga sedimentaria aumentan los iones en solución y por ende aumentan los valores de parámetros como conductividad y salinidad. Es así como el lugar conocido como caño Madre Casaña, su salinidad es cero y posee el valor más bajo de conductividad (162,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$), característicos de una zona de agua dulce ya que en este sector no ocurre la mezcla directa con aguas marinas (Tabla 8).

La salinidad es una medida de la concentración iónica en el medio ^[63]. Según Gamboa et al. (1971)^[64], en la

lagunas costeras y estuarios la salinidad es un parámetro variable que depende de los aportes de agua dulce por parte de los ríos, de la escorrentía superficial, penetración del agua marina, precipitación y evaporación. Por lo tanto el comportamiento observado en este sector con respecto a la variación de la salinidad se explica con lo anteriormente expuesto.

En lo que respecta a valores de pH, las aguas marinas son ligeramente alcalinas, a consecuencia de su relación con la concentración de dióxido de carbono disuelto en el agua, por lo que se entiende que zonas con aportes de agua dulce, como es el caso de Caño Tuy (pH: 8,5) que tengan influencia directa con aguas marinas adquieran ese carácter ligeramente alcalino con respecto a las que no tienen ese contacto directo con aguas marinas como es el caso de Caño Madre Casaña (pH 7,3).

Referente al parámetro de turbidez, es observado que las zonas donde se obtienen los mayores valores indican que son lugares donde existe un mayor aporte de sólidos en suspensión, en este caso, donde desemboca el río El Guapo etiquetado como PNLT 3 (160,4 NTU). Dicho lugar está expuesto a una fuerte acumulación de sedimentos arrastrados por el río, dado que es el lugar con menor valor de profundidad (0,8 m) de todo el sector.

En lo que respecta a la temperatura el valor más bajo se obtuvo en el Caño artificial Madre Casaña, mientras que el más alto fue medido para el Caño Tuy. Puede señalarse que el sector el Guapo es muy dinámico, donde los parámetros fisicoquímicos medidos indican que poseen lugares de aguas dulce y lugares de aguas salobres, además de ser ligeramente alcalinas con un valor de pH que se encuentra en el límite máximo establecido por la Gaceta Oficial para agua de la clase 4, que es 8,5 unidades.

Por su parte los parámetros medidos en el Sector el Placer tal como fueron presentados en la Tabla 11, nótese que los valores para la salinidad y la conductividad en este sector son directamente proporcionales, obteniéndose la mayor cantidad para los puntos el Placer (0,90 % y 12370,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y Carambola (0,82% y 11687,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$), indicando, que ambos sitios poseen una mayor cantidad de iones en solución; mientras que el valor menor se obtuvo para el Caño Pirital (0% y 397,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Este sector al igual que el del Guapo se caracteriza por tener zonas donde ocurre la mezcla con aguas dulces que provienen de caños (Mono y Pirital) que drenan hacia la Laguna. Lo contrario es notado en los puntos el Placer (PNLT 6) y Carambola (PNLT 9), cuya influencia es altamente de aguas salobres, en caso de la zona el Placer se ve afectada no solo por la descarga de desechos y sedimentos, sino por la cuña salina que penetra con la marea, mientras que en Carambola no existe aporte de agua dulce, porque no desemboca ningún caño (figura 34) y no hay una circulación de agua continua lo que favorece su condición de zona de agua salobre.

El pH en este sector indica que las aguas son de muy baja alcalinidad y acidez, pero más cercano a un valor neutro que oscila entre 6,73 para Caño Pirital y 7,78 para el Placer; intervalo que coincide con lo establecido mediante el Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021 año 1995). En cuanto a la temperatura, el sector con menor valor es Caño el Mono con 26,6°C y el de mayor valor es Carambola con 30,6°C. El punto con mayor concentración de sólidos suspendidos es el Placer con 35,0 NTU; mientras que el de menor cantidad es Carambola 8,8 NTU. En lo que respecta a los valores de la profundidad, estos son similares entre los cinco lugares muestreados en este sector, oscilando entre 1,1 m (Caño Pirital) y 1,7 m (Carambola).

Para sector Laguna Grande en la Tabla 11, se mostraron los resultados obtenidos durante las mediciones de los parámetros de interés en este estudio. En este sector se observó que las aguas presentes en los cuatro puntos muestreados son salobres, ya que los valores de salinidad son superiores a 0,05%; vale señalar en un intervalo de 0,60% para el caño San Ignacio, caracterizado por ser una zona de agua dulce y por aportar una cantidad considerable de sedimentos a la Laguna y 2,01% para Laguna Grande. Nótese, además que al igual que para los otros dos sitios, la relación entre la salinidad y la conductividad es directamente proporcional, indicando que los puntos San Ignacio (7996,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y Laguna Grande (32720,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$), son los que tienen respectivamente la menor y la mayor cantidad de iones disueltos en solución.

Por otro lado el pH observado varía de 7,37-8,32 (Manatí y Laguna Grande respectivamente); lo que permite señalar que esta zona posee un ligero carácter alcalino, encontrándose en el rango establecido Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021 año 1995). El lugar menos profundo de 0,7 m corresponde a Manatí (PNLT 13), nótese además que es el que tiene la mayor concentración de sólidos en suspensión cuyo valor es de 21,2 NTU; esto debido a que de los cuatro puntos muestreados en este

sector, Manatí es el que se encuentra en la zona central de la Laguna es dominada por bosque de manglar (figura 34), cuyas raíces son grandes retenedoras de sólidos suspendidos y por ende es uno de los lugares menos profundos de la laguna, de hecho en el momento de llevar a cabo el muestreo se dificultó llegar con la lancha a esta zona, porque es un lugar bajo, donde se observó una gran cantidad de sólidos en suspensión (que pueden ser tierra, sedimentos o plantón), en el momento de captar las muestras. Además este lugar es una de las zonas menos intervenida de la Laguna y es considerado por el Plan de Ordenamiento y Uso del Parque Nacional Laguna de Tacarigua ^[65] como una Zona de Protección Integral (PI-2).

El punto más profundo fue Laguna Grande (PNLT 12) de 2,5 m es el que tiene menor concentración de sólidos en suspensión de 10,0 NTU, ya que se encuentra en la zona central de esta laguna interna (figura 35) y no recibe el aporte directo de ningún afluente ni se encuentra cerca del bosque de manglar. En lo que respecta a la temperatura para este sector varía desde 27,8 °C en Manatí hasta 31,3° para el caño San Ignacio.

Para el sector el Cazote, en la Tabla 11 se presentaron los resultados para los parámetros medidos en el mismo. Es importante resaltar que el Cazote (sector oriental cerrado) no posee aportes de agua dulce directamente ^[48], lo que justifica los valores obtenidos tanto para el pH (8,54), como para la conductividad (25052 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y salinidad (1,50%), esto con respecto a valores obtenidos para lugares que reciben afluentes directamente. Obviamente en este sitio se encuentran aguas con una gran cantidad de iones disueltos, con características salobres (Tabla 8), ligeramente alcalinas. Este punto posee una cantidad considerable de sólidos suspendidos de 11,1 NTU lo que indica que puede deberse a material de origen orgánico, que se descomponen de forma natural, debido a la vegetación del lugar (figura 34). Esta zona tiene una profundidad y una temperatura que oscila entre los valores medidos (1,2 m y 29,8 °C) en la mayoría de los lugares muestreados.

Los valores obtenidos para los parámetros medidos en el sector Laguna Arena (Club Miami y Túnel del Amor), son mostrados en la Tabla 11. Esta región de la Laguna solo se encuentra separada del mar por una barrera de arena (figura 17 y 34), por lo que ocurren aportes de agua marina, como consecuencia del proceso de interconexión hidráulica que permite el flujo del agua marino hacia la laguna, atribuyéndole a este cuerpo de agua características alcalinas (pH: 8,2), una conductividad (28620 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para Club Miami y 18726 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para Túnel del Amor) y un porcentaje de salinidad (1,73 % Club Miami y 1,66% Túnel del Amor), que indican que existen una gran cantidad de iones en solución, confiriéndole características salobres a este sector.

No obstante, Túnel del Amor (PNLT 18), posee la mayor cantidad de sólidos en suspensión (33,6 NTU) y la menor temperatura 30,2 °C de los dos lugares muestreados en este sector, esto podría ser debido a que este punto se encuentra más cercano a una zona de mayor vegetación, (bosque de manglar) con respecto a club Miami (PNLT 17) que está más cercana a la barrera litoral o arenosa (figura 34); lo cual de cierta manera favorece a que en esta zona haya menor temperatura en el agua y que exista una cantidad considerable de partículas sólidas, quizás de origen orgánico que sean retenidas por las raíces del manglar. Por otro lado tanto los puntos Club Miami como el Túnel del Amor, poseen una profundidad similar.

Otro de los sectores pertenecientes al complejo lagunar estudiado fue la Boca, es la zona de la laguna que está en contacto directo con el mar, que en temporadas de sequía permanece cerrada y en época de continuas precipitaciones permanece abierta. Vale señalar que esta última situación fue la que se presentó durante la etapa de campo. La tabla 11 presenta los resultados obtenidos para los parámetros medidos en este sector.

Finalmente, la Boca es el sector de la Laguna cuyo intercambio con las aguas marinas es directo, por lo tanto se justifican los valores obtenidos tanto para el pH (8,72), como para la conductividad (50400 $\mu\text{S}/\text{cm}$), salinidad (3,2%) y turbidez (5,84 NTU). El valor de pH indica que el agua en esta zona posee un ligero carácter alcalino característicos de aguas marinas y los valores de conductividad y salinidad indican la presencia de una gran concentración de iones en solución; mientras que el valor de turbidez en comparación con otros puntos señala que en este sector la concentración de sólidos en suspensión es baja. Todos estos rasgos reafirman el carácter marino de esta agua. Por otro lado es uno de los puntos más profundos, cuya temperatura es de 29,5°C.

En el mismo orden de ideas en la Tabla 12 son presentados los rangos de los distintos parámetros medidos “in situ”, por cada sector que constituye este importante complejo lagunar.

Tabla 12: Valores promedio de parámetros fisicoquímicos medidos “in situ” por cada sector e intervalos determinados en la Laguna.

Sector	Temperatura (°C)	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Salinidad (%)	Turbidez (NTU)	Profundidad (m)
Guapo	26,8-31,0	7,3-8,5	162,9-24794,0	0,00-1,70	26,2-160,4	0,8-1,8
El placer	26,6-30,6	6,7-7,8	397,4-11686,7	0,02-0,82	8,8-35,0	1,1-1,7
Laguna Grande	27,8-31,3	7,4-8,3	7996,0-32720,0	0,60-2,01	10,0-21,2	0,7-2,5
El Cazote	29,8	8,5	25052,0	1,50	11,1	1,2
Laguna Arena	30,2-31,2	8,2	18726-28620	1,66-1,73	8,3-33,6	1,0
La Boca	29,5	8,7	50400,0	3,22	5,80	2,40
Intervalo general	26,6-31,3	6,7-8,7	162,9-50400,0	0-3,2	5,80-160,4	0,7-2,5

Nótese en la tabla 12 que los datos obtenidos para la temperatura, en las distintas zonas de la laguna oscilan entre 26,6°C para el sector el Placer (caño el Mono) y 31,3°C para el sector Laguna Grande (caño San Ignacio), valores muy cercanos a los

reportados por Linares (1996) ^[66], para este parámetro en la entrada de épocas de lluvia de 29-32°C. La diferencia mínima obtenida para los valores de temperatura en este estudio podría deberse a que algunos sectores de la Laguna presentan una mayor vegetación (manglares) que quizás impida la penetración directa de la luz solar ^[48].

En lo que respecta al valor de pH se obtuvo un intervalo de 6,7-8,7 para el sector el Placer (caño Pirital) y el sector la Boca respectivamente; lo que indica que en general, la laguna de Tacarigua mantiene aguas neutras o ligeramente alcalinas y que el valor de este parámetro en cada uno de los puntos recolectados, está determinado por la mezcla de aguas de río o de caños con aguas marinas en la Laguna (figura 34); como la variación es constante pero pequeña la Laguna se mantiene en una condición buffer, tal y como se refleja en los resultados obtenidos por Roa (1990) de 7,4-8,7^[67]; Isava (1996) de 7,4-8,3 ^[48].

Es importante destacar que para los valores de pH que se encuentran por encima del intervalo establecido de 6-8,5 por el Decreto 883 (Normativa Vigente Nacional) para este tipo de agua, se debe tomar en cuenta sus condiciones naturales, donde la Boca es un sector que está en contacto directo con el mar, lo que le atribuye sus características alcalinas.

De manera general, se puede señalar que existe un comportamiento similar en la mayoría de los sitios muestreados para los parámetros fisicoquímicos, como conductividad y salinidad tal como se observa en el siguiente gráfico.

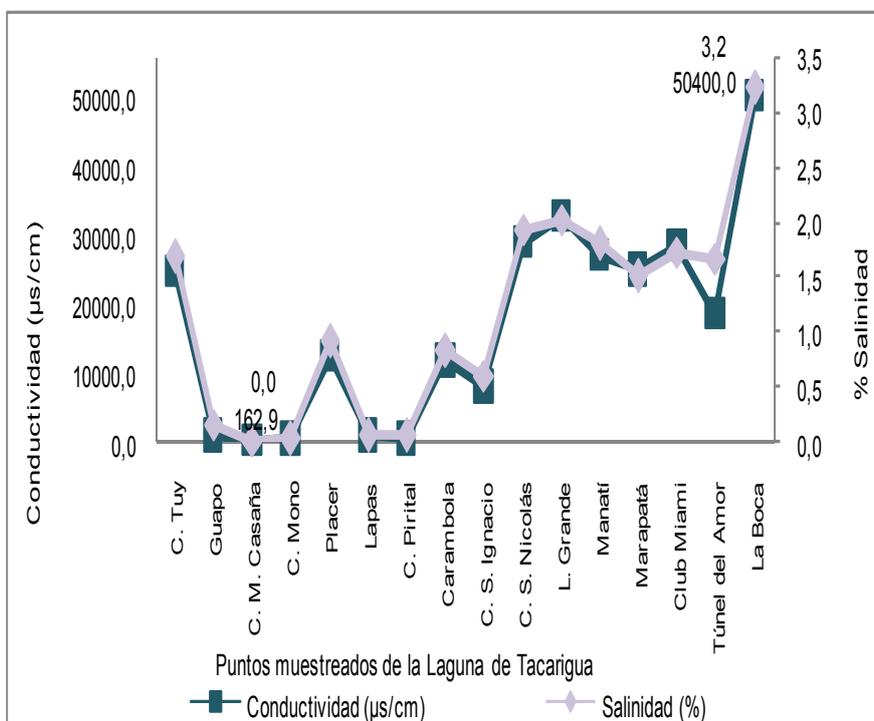


Figura 33: Variación de la conductividad con él % salinidad cada uno de los puntos muestreados

El menor valor para ambos parámetros se obtuvo para el caño Madre Casaña del sector el Guapo (recibe directamente aporte de agua dulce) y el mayor valor para el sector la Boca (recibe directamente aporte de agua marina) respectivamente.

Es importante observar que para el pH, la conductividad y la salinidad los valores más bajos se obtuvieron para las zonas de la laguna con un mayor aporte de agua dulce y una menor cantidad de iones en solución como los sectores el Guapo donde fluye el caño Madre Casaña y el río el Guapo, en el sector el Placer donde fluyen los caños el Mono y Pirital; mientras que los valores más altos fueron obtenidos respectivamente para el Sector la Boca; lo que refiere que es el sector con mayor cantidad de iones en disolución y con un comportamiento ligeramente alcalino característico de aguas marinas.

Se debe por ejemplo destacar que de acuerdo a los valores evidenciados en la **Tabla 8**, referidos a los tipos de agua según su salinidad indican, que de los puntos estudiados, aquellos que reciben aporte directo de agua dulce como los caños Madre Casaña, Mono y Pirital y la zona de las Lapas; no son aguas salobres. Por su parte, el valor de turbidez oscila entre 5,8 NTU para la Boca y 160,4 NTU para la zona el Guapo, valores lógicos, ya que en el caso de este último sector, sufre las descargas del río Guapo, de caños y de poblaciones cercanas que traen consigo una gran cantidad tanto de iones en solución como de sólidos suspendidos (figura 34). En lo que respecta a la profundidad, la zona más baja es Manatí, mientras que la zona más alta es Laguna Grande, ambas en el mismo sector.

La profundidad es un parámetro físico que está relacionado con un importante aporte de sedimentos a la Laguna ^[68], lo que permite conocer la distancia que existe desde la superficie hasta el fondo del cuerpo de agua en un lugar determinado.

De hecho los menores valores de profundidad se obtuvieron para las zonas donde ocurre una mayor cantidad de aporte de sedimentos, ya sea porque provienen de los distintos afluentes que desembocan en la Laguna de Tacarigua, o por la descomposición de materia orgánica que se genera de la vegetación circundante a los puntos muestreados. A continuación se muestra los principales afluentes que desembocan en el humedal costero laguna de Tacarigua.

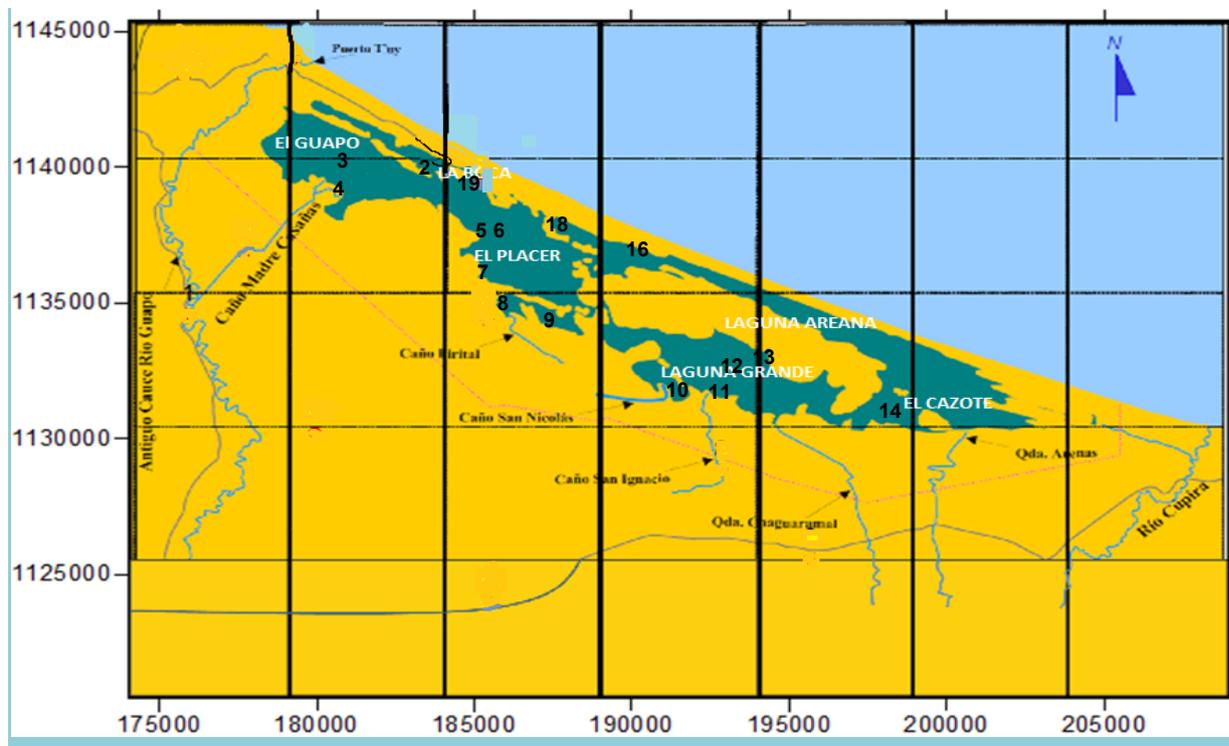


Figura 34: Principales afluentes que desembocan en la Laguna y las 16 zonas muestreadas.

5.2. Presentación y discusión de Resultados

En esta sección son presentados y discutidos los resultados obtenidos para la alcalinidad, las especies químicas mayoritarias, minoritarias y elementos traza. Asimismo, se discuten los parámetros de calidad, demanda química de oxígeno (DQO) y la dureza del agua expresada en mg/l de CaCO_3 , esto junto a las determinaciones microbiológicas realizadas. También se realizó la clasificación de las aguas presentes, en función de su composición química y se determinó la calidad del agua en las distintas zonas muestreadas. No obstante, es importante indicar que para poder iniciar la interpretación de las concentraciones obtenidas para cada especie química determinada, fue necesario determinar los límites de detección y validar los resultados.

5.2.1. Límites de detección

A continuación en la tabla 13 se presentan los límites de detección para cada especie determinada (ver apéndice 9,4 – 9,8).

Tabla 13: Límite de detección de las especies químicas determinadas.

Especie	Límite de detección
Na ⁺ (mg/L)	0,1
Mg ²⁺ (mg/L)	0,1
Ca ²⁺ (mg/L)	0,1
K ⁺ (mg/L)	0,1
Cl ⁻ (mg/L)	----
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	0,1
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	---
B (µg/L)	3246,3
Ba (µg/L)	28,0
Hg (µg/L)	1,5
Li (µg/L)	8,0
Sr (µg/L)	25,4
Fe (µg/L)	81,3

5.2.2. Validación de resultados

A manera de corroborar la validez de los datos generados a partir de las diferentes determinaciones químicas aplicadas en el laboratorio a las muestras de aguas de la laguna de Tacarigua, se elaboró el Balance Iónico y la relación de cationes contra aniones y la relación de campo frente a la conductividad teórica o ideal a 25 °C mostradas en las figuras 35 y 36 respectivamente.

- **Balance Iónico**

Como parte de la validación de las determinaciones obtenidas para cada una de las especies mayoritarias, fue utilizada una herramienta que permite verificar la calidad

de los análisis realizados, conocida como balance iónico. El Balance Iónico relaciona la concentración en meq/L de cationes y aniones determinados analíticamente en una muestra de agua. Un valor del porcentaje de balance iónico debajo del 10% refleja que los resultados obtenidos son confiables desde un punto de vista geoquímico ^[69] (apéndice 9.12). En la tabla 19 se presentan los resultados del balance iónico realizado para cada punto muestreado.

Tabla 14: Balance iónico obtenido para los dieciséis puntos de muestreo de la Laguna de Tacarigua

Puntos	Miliequivalentes (meq)/L										Balance Iónico
	Cationes					Aniones					
	Sodio (Na)	Magnesio (Mg)	Calcio (Ca)	Potasio (K)	Estroncio (Sr)	Σ Cationes	Cloruro (Cl ⁻)	Sulfato (SO ₄) ²⁻	Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	Σ Aniones	
PNLT 2	198,4	55,5	9,3	4,4	0,07	268	258,8	11,5	2,6	273	-1
PNLT 3	5,4	2,6	0,6	0,2	0,00	9	6,3	1,8	0,9	9	-2
PNLT 4	0,5	0,8	0,4	0,1	0,00	2	0,7	0,4	1,1	2	-7
PNLT 5	1,3	1,4	0,4	0,1	0,00	3	1,8	0,5	0,9	3	-1
PNLT 6	182,5	10,3	13,6	1,0	0,02	207	198,2	8,0	1,3	208	0
PNLT 7	3,0	1,6	0,6	0,2	0,00	5	5,0	0,2	1,3	6	-9
PNLT 8	2,1	0,8	0,5	0,1	0,00	3	2,6	0,4	1,1	4	-8
PNLT 9	111,0	20,3	4,6	2,5	0,04	138	143,9	13,8	1,7	159	-7
PNLT 10	47,2	10,9	2,5	1,1	0,02	62	54,5	6,3	1,4	62	0
PNLT 11	229,8	52,6	10,4	6,1	0,08	299	308,1	8,4	2,4	319	-3
PNLT 12	254,3	55,8	12,1	6,3	0,08	329	310,6	8,0	2,6	321	1
PNLT 13	203,9	56,3	9,6	5,8	0,08	276	242,4	7,3	3,3	253	4
PNLT 14	229,2	38,9	12,9	4,6	0,06	286	260,1	6,5	2,5	269	3
PNLT 16	236,5	50,1	8,6	5,7	0,07	301	265,1	6,5	2,7	274	5
PNLT 18	254,1	37,3	7,0	3,7	0,05	302	261,3	5,0	1,9	268	6
PNLT 19	387,3	54,8	18,7	9,9	0,11	471	457,0	17,1	2,6	477	-1

El balance iónico calculado para cada una de las muestras de agua captadas en los diferentes sectores de la Laguna de Tacarigua, fue en general, menor al 10% lo que permite indicar que los resultados obtenidos son confiables. Es importante destacar que

también se consideró para el cálculo del balance iónico al ión estroncio, para sumarlos a los cationes mayoritarios, ya que de los elementos traza fue el que arrojó mayor concentración.

La figura 35 presenta la relación entre las concentraciones en meq/L de los aniones y cationes para cada uno de los puntos muestreados. Dicha relación es descrita a través de la ecuación $y = (0,97 \pm 0,03)x + 1,49$; cuya pendiente es muy cercana a 1 y un coeficiente de correlación R^2 de 0,99. Estos resultados se corresponden con la alta correlación existente entre los aniones y los cationes como consecuencia de la baja incidencia en los errores cometidos durante las determinaciones químicas.

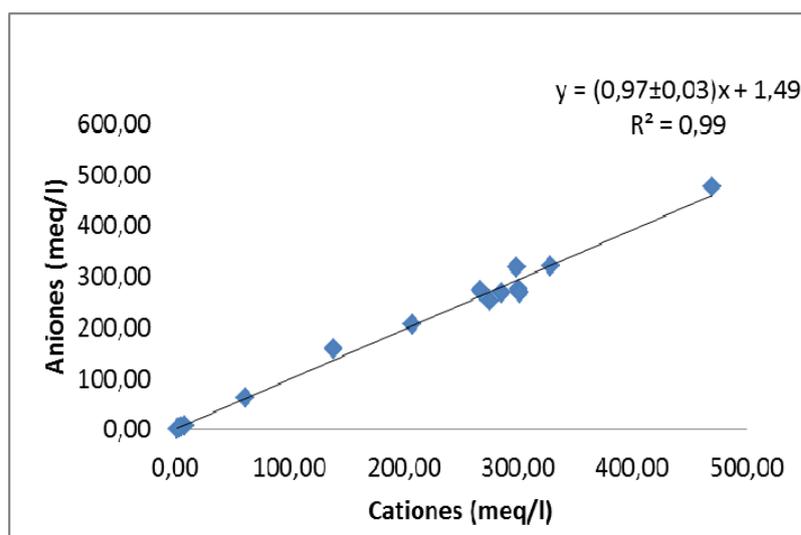


Figura 35: Relación en meq/ de los aniones en función de los cationes

- **Relación de la conductividad medida frente a la conductividad ideal**

La conductividad medida en campo debe ser similar a la conductividad ideal, la cual es calculada a través de las concentraciones de las especies mayoritarias Na, K, Ca, Mg, Cl⁻, SO₄²⁻ y HCO₃⁻ determinadas ^[70] en cada una de las muestras recolectadas (apéndice 9.13). En la tabla 15 se presentan los valores de la conductividad ideal

calculada, comparadas con las medidas en el campo, observándose que ambas están en el mismo orden de magnitud, pero que claramente la conductividad medida en el campo es menor que la conductividad ideal. Esto quizás puede estar asociado a un probable bajo tiempo de respuesta del electrodo frente a aguas naturales con matrices orgánicas e inorgánicas complejas.

Tabla 15: Conductividad ideal calculada con las determinaciones realizadas en el laboratorio y conductividad medida en campo.

Nombre de los puntos	Puntos	Conductividad ideal ($\mu\text{s/cm}$)	Conductividad medida en campo ($\mu\text{s/cm}$)
C. Tuy	PNLT 2	34407,77	24794,00
Guapo	PNLT 3	1110,26	892,40
C. M. Casaña	PNLT 4	232,43	162,90
C. Mono	PNLT 5	390,92	421,70
Placer	PNLT 6	26297,07	12370,00
Lapas	PNLT 7	737,51	896,60
C. Pirital	PNLT 8	458,29	397,40
Carambola	PNLT 9	19176,82	11686,72
C. S. Ignacio	PNLT 10	7868,32	7996,00
C. S. Nicolás	PNLT 11	39491,77	29050,00
L. Grande	PNLT 12	41169,58	32720,00
Manatí	PNLT 13	33292,35	27192,00
Marapatá	PNLT 14	34986,08	25052,00
Club Miami	PNLT 16	36161,97	28620,00
Túnel del Amor	PNLT 18	35675,37	18726,00
La Boca	PNLT 19	60266,45	50400,00

Sin embargo, al igual que para el balance iónico se procedió a realizar una relación directa entre ambas conductividades (figura 35), obteniéndose una pendiente de 1,2442 y un coeficiente de correlación lineal de 0,95.

Nótese que esta pendiente está algo alejada de 1, indicando una baja correlación como producto de la diferencia entre ambas conductividades, reflejado además en la dispersión observada que permite obtener el R^2 señalado.

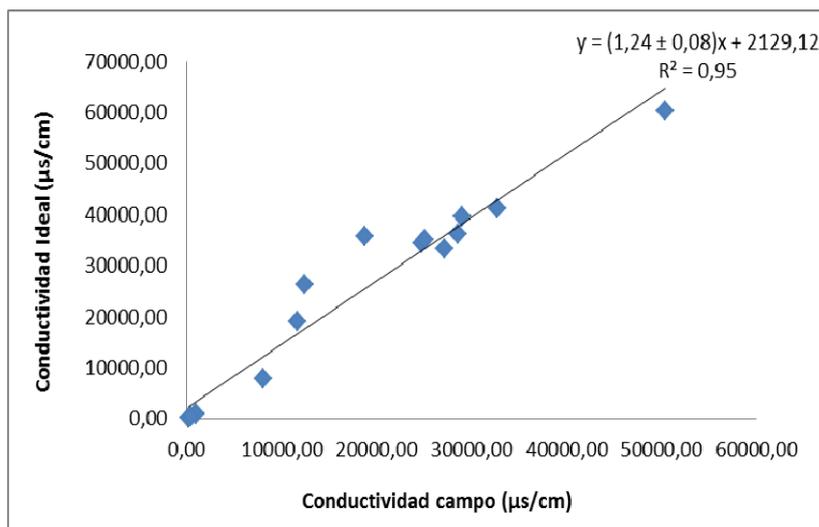


Figura 36: Relación entre la conductividad ideal con la medida en el campo.

Resumiendo, las herramientas usadas para validar los resultados obtenidos, permiten señalar que las determinaciones de las especies mayoritarias y minoritarias son confiables desde el punto de vista analítico.

5.2.3. Alcalinidad

La alcalinidad indica la capacidad que posee el agua para neutralizar ácidos, esta es causada principalmente por la presencia de algunos iones en solución, pero en esta oportunidad está determinada por la concentración del HCO_3^- , ya que es la especie predominante a valores de pH entre 7 y 9^[34], intervalo en el que se encuentran todos los pH de las muestras recolectadas (Apéndice 9.2).

Al observar los valores obtenidos en la Tabla 16, específicamente por sectores de interés, se puede señalar que el valor más bajo (54,65 mg/L de HCO_3^-) se obtuvo para el sector el Guapo, zona de la Laguna que recibe el mayor aporte de agua dulce con un valor de pH neutro, mientras que los valores más altos para la zonas de Manatí (54,65 mg/L de HCO_3^-), Túnel del Amor (164,88 mg/L de HCO_3^-) y la Boca (160,17 mg/L de HCO_3^-); las cuales poseen valores de pH de 7-8,7 lo que le da un carácter ligeramente alcalino a las aguas de esta zona, por lo tanto existe una relación directa entre ambos parámetros.

Tabla 16: Determinación de alcalinidad de cada una de las muestras de la Laguna de Tacarigua

Sector	Nombre de los puntos	Puntos	Alcalinidad (mg/L) HCO_3^-
El Guapo	C. Tuy	PNLT 2	155,5
	Guapo	PNLT 3	54,6
	C. M. Casaña	PNLT 4	65,9
El Placer	C. Mono	PNLT 5	56,5
	Placer	PNLT 6	77,3
	Lapas	PNLT 7	80,1
	C. Pirital	PNLT 8	65,9
	Carambola	PNLT 9	102,7
Laguna Grande	C. S. Ignacio	PNLT 10	87,6
	C. S. Nicolás	PNLT 11	145,1
	L. Grande	PNLT 12	155,5
	Manatí	PNLT 13	197,9
El Cazote	Marapatá	PNLT 14	150,8
Laguna Arena	Club Miami	PNLT 16	164,0
	Túnel del Amor	PNLT 18	117,8
La Boca	La Boca	PNLT 19	160,2

Tomando en cuenta lo indicado en la revisión bibliográfica sobre la alcalinidad, los valores de bicarbonato que se encuentran 90 y 180 mg/l indican una alcalinidad

media en el cuerpo de agua lo que se observa para las zonas Caño Tuy, Caño San Nicolás, Laguna Grande, Marapatá, Club Miami, Túnel de Amor y la Boca; mientras que los valores de bicarbonato que se encuentren por debajo de 90 (mg/L) HCO_3^- presentan una alcalinidad baja, tal como es el caso la zona el Guapo, caño Madre Casaña, caño Mono, el Placer, las Lapas, caño Piritál, caño San Ignacio y la Boca; solo para la zona conocida como Manatí, se obtuvo un valor de alcalinidad alta mayor a 180 (mg/L) HCO_3^- .

La alcalinidad representa el principal sistema amortiguador del agua dulce (mantiene un valor de pH fijo), además que desempeña un papel relevante en la productividad de los cuerpos de aguas naturales, sirviendo como fuente de reserva para la fotosíntesis [71].

5.2.4. Especies químicas mayoritarias Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- y SO_4^{2-}

Con el propósito de caracterizar químicamente las aguas captadas, fueron determinadas las especies químicas Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- y SO_4^{2-} . En la Tabla 22 son presentadas las concentraciones obtenidas tanto para las especies catiónicas como aniónicas por cada punto de muestreo; a su vez son mostrados los rangos obtenidos para cada uno de los sectores de la Laguna de Tacarigua.

Nótese que la tendencia obtenida es la misma tendencia que se esperaba desde la medición en campo de parámetros como salinidad y conductividad, es decir, en puntos donde la conductividad y la salinidad fueron altos, se obtuvo una mayor concentración de iones mayoritarios en solución, mientras que en las zonas donde se midieron valores bajos de ambos parámetros se obtuvo una menor concentración de iones en solución.

A continuación son presentadas las concentraciones de las especies químicas mayoritarias determinadas en la tabla 17.

Tabla 17: Concentración en mg/L de las especies mayoritarias determinadas en los dieciséis puntos de muestreo de la Laguna de Tacarigua, son mostrados además los rangos de cada sector.

Sector	Puntos	Concentración (mg/l)						
		Cationes				Aniones		
		Sodio (Na)	Magnesio (Mg)	Calcio (Ca)	Potasio (K)	Cloruro (Cl)	Sulfato (SO ₄) ²⁻	Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)
El Guapo	Caño Tuy	4560	674	187	171	9188	554	156
	Guapo	123	31	11	7	224	84	55
	Caño M. Casaña	12	10	9	2	25	18	66
	Intervalo	12-4560	10-674	9-187	2-171	25-9188	18-554	55-156
El Placer	Caño el Mono	30	18	8	2	65	26	57
	El Placer	4194	125	273	40	7037	385	77
	Las Lapas	69	19	12	9	176	10	80
	Caño Piritál	48	10	9	4	93	17	66
	Carambola	2550	246	92	97	5109	663	103
	Intervalo	30-4194	10-246	8-273	2-97	65-7037	10-663	57-103
Laguna Grande	Caño San Ignacio	1085	133	49	42	1936	301	88
	Caño San Nicolás	5280	639	208	240	10936	403	145
	Laguna Grande	5844	678	243	246	11025	385	156
	Manatí	4686	684	193	228	8605	349	198
	Intervalo	1085-5844	133-684	49-243	42-246	1936-11025	301-403	88-198
El Cazote	Marapatá	5266	473	259	179	9233	313	151
Laguna Arena	Club Miami	5436	609	171	225	9412	313	165
	Túnel del Amor	5840	453	140	145	9278	241	118
	Intervalo	5436-5840	453-609	140-171	145-225	9278-9412	241-313	118-165
La Boca	La Boca	8900	665	375	388	16224	819	160

Analizando los datos presentes en la Tabla 17, se observa que existen sectores donde la concentración de las especies químicas determinadas varían en sus valores dentro de los distintos puntos muestreados para un sector en particular, tal es el caso del sector el Guapo, donde el Caño Tuy, afluente de este sector, presenta una concentración de especies mayoritarias mayor que el Caño Madre Casaña, evidenciando esto tanto en sus valores de conductividad como del porcentaje de salinidad (explicado anteriormente).

En el mismo orden de ideas, al observar los resultados por zonas, se determina que el sector con mayor concentración de especies mayoritarias es La Boca, particularmente en lo referente a las concentraciones de Cl^- y Na^+ ; mientras que, la menor concentración para estas especies, se presentan en los puntos muestreados donde se ubican los aportes de agua dulce en zonas como El Guapo, C. Madre Casaña, C. Mono, Las Lapas y C. Pirital.

Estos resultados guardan una relación directa con la conductividad y la salinidad medidos, ya que ambos parámetros fisicoquímicos presentan los mayores valores en las zonas, donde la concentración de los iones mayoritarios (Na^+ y Cl^-) determinados es alta y en aquellas zonas donde se presentan valores menores para ambos parámetros fisicoquímicos la concentración de las especies determinadas es baja.

De las especies mayoritarias determinadas los iones Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y SO_4^{2-} la mayor concentración se obtuvo para zonas como la Boca y Caño Tuy mientras que los más bajos en el Caño Madre Casaña. La presencia del Mg^{2+} en aguas naturales, es considerada de cierta importancia porque es un catalizador de reacciones bioquímicas, además forma parte esencial de la clorofila y junto al Ca^{2+} son elementos indicadores de la dureza del agua ^[48]. Es importante destacar que la presencia de elementos como potasio en el agua indica la presencia de sales acumuladas, así mismo es un indicador de la descomposición de materia orgánica. La presencia de iones SO_4^{2-} en aguas naturales, esta frecuentemente asociada a su contacto con aguas que contienen sales marinas en disolución ^[72]. Es importante destacar que las concentraciones de estas especies van a depender de la entrada de aguas marinas, aportes de los ríos, aportes de los caños, frecuencia de las precipitaciones y aportes de las actividades antrópicas.

5.2.5. Clasificación química de las aguas estudiadas

Con el propósito de clasificar las 16 muestras de aguas captadas en la Laguna de Tacarigua según su composición química, se recurrió al uso del diagrama de Piper (figura 37). Para ello, se debió pasar las concentraciones de meq/L (obtenidas para determinar el balance iónico a partir de mg/L) a porcentajes de meq/l, para luego introducir los datos de las especies mayoritarias Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , SO_4^{2-} y HCO_3^- en el programa RockWorks/14. A través de este diagrama se determinó la presencia de tres tipos de agua en el muestreo realizado en la Laguna de Tacarigua; cloruradas sódicas (Na^+-Cl^-), cloruradas magnésicas ($\text{Mg}^{2+}-\text{Cl}^-$) y cloruradas sódicas magnésicas ($\text{Na}^+-\text{Mg}^{2+}-\text{Cl}^-$). Aunque se clasifican en tres tipos, todas tienen en común la especie anionica mayoritaria Cl^- , lo cual se pudo inferir desde el momento en que se realizaron las determinaciones de esta especie química, puesto que se obtuvieron valores altos para todos los puntos de muestreo en comparación con los valores de las demás especies determinadas.

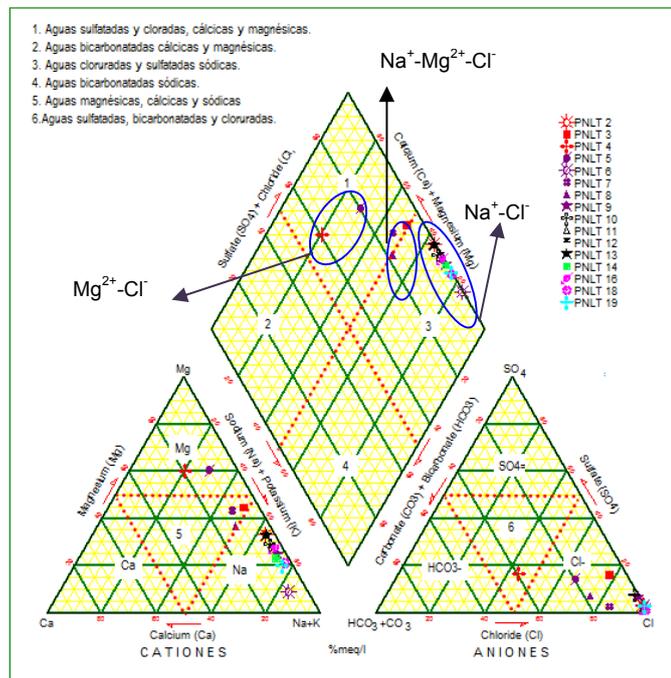


Figura 37: Diagrama de Piper para las muestras captadas en la Laguna de Tacarigua

Las aguas cloruradas sódicas ($\text{Na}^+\text{-Cl}^-$), representan aproximadamente el 69 % de la población total de las muestras captadas específicamente 11 de las 16 se corresponden con este tipo de agua. Como es observado en la tabla 18, dichas aguas poseen los valores más altos, tanto de salinidad como de conductividad.

Por otro lado, lugares como Caño Tuy, Laguna Grande y la Boca, atendiendo al valor de salinidad de sus aguas son salobres, estando afectadas directamente por el contacto directo con el agua de mar que a su vez reciben un intercambio con aguas continentales, que aunado a ello aportan una concentración importante no solo de sedimentos, sino también de iones en solución; configurando las zonas presentes en la laguna con valores intermedios de salinidad pueden también incluirse el caso de otros sectores como Laguna Arena o el Cazote, que debido a la presencia de islas de manglar permite la restricción de la circulación libre del agua, lo que conlleva a que las aguas mantengan altas concentraciones de salinidad que influye en las concentraciones de iones en solución características de estas zonas^[73]; debe resaltarse que además el sector El Cazote está ubicado en la parte más oriental de la laguna, donde las condiciones como la restricción de la circulación del agua favorecen las características hipersalinas que presenta este sector.

Existe un 19% de las muestras recolectadas en los lugares como El Guapo, Las Lapas y el Caño Pirital que agrupa a las aguas que tienen una proporción ligeramente mayor de Mg^{2+} con respecto al Na^+ , estas tienen como característica en común, valores bajos tanto de salinidad como de conductividad (Tabla 18), en comparación con otros puntos mencionados anteriormente. Estas sufren descargas de agua dulce con una cantidad apreciable de sedimentos, no obstante los resultados obtenidos, indican que su concentración de iones en solución es baja.

Los otros dos puntos que se corresponden con los sectores Caño Madre Casaña (Caño artificial lleva agua dulce del río Guapo) y Caño el Mono conforman el 12%

restante, son las zonas de la Laguna que mayor descarga de agua dulce reciben. Debe señalarse que en la época cuando se llevó a cabo el muestreo, quizás por efecto de dilución ocasionado por las continuas precipitaciones, no se detectaron importantes concentraciones de iones en solución, ya que en estos sectores se midieron los valores más bajos tanto de conductividad como de salinidad.

Tabla 18: Clasificación de las aguas en los puntos muestreados en la Laguna atendiendo a sus principales constituyentes, mediante el Diagrama de Piper.

Puntos (PNLT)	Sector de la Laguna	Nombre del punto	Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Salinidad (%)	Composición Química Agua Según Diagrama de Piper
2	El Guapo	Caño Tuy	24794	1,68	Cloruradas Sódicas
3		El Guapo	892	0,16	Cloruradas Sódicas – Magnésicas
4		Caño M. Casaña	163	0,00	Cloruradas Magnésicas
5	El Placer	Caño el Mono	422	0,02	Cloruradas Magnésicas
6		El Placer	12370	0,91	Cloruradas Sódicas
7		Las Lapas	897	0,05	Cloruradas Sódicas – Magnésicas
8		Caño Pirital	397	0,05	Cloruradas Sódicas – Magnésicas
9		Carambola	11687	0,82	Cloruradas Sódicas
10	Laguna Grande	Caño S. Ignacio	7996	0,60	Cloruradas Sódicas
11		Caño S. Nicolás	29050	1,93	Cloruradas Sódicas
12		Laguna Grande	32720	2,01	Cloruradas Sódicas
13		Manatí	27192	1,80	Cloruradas Sódicas
14	El Cazote	Marapatá	25052	1,50	Cloruradas Sódicas
16	Laguna Arena	Club Miami	28620	1,73	Cloruradas Sódicas
18		Túnel del Amor	18726	1,66	Cloruradas Sódicas
19	La Boca	Boca	50400	3,22	Cloruradas Sódicas

5.2.6. Elementos traza

Con el propósito de realizar la caracterización hidroquímica de las aguas estudiadas en los diferentes sectores de la laguna, se realizó la determinación de los elementos traza B, Ba, Hg, Li, Sr y Fe. Nótese en la Tabla 19, que los elementos Sr y Hg se detectaron en todos los sectores de la laguna, mientras que el Fe se detectó en El Guapo, Caño Madre Casaña, Caño El Mono, Las Lapas, Caño Pirital, Carambola y

Caño San Nicolás; el Li en Caño Tuy, Carambola, Caño San Nicolás, Caño San Ignacio, Laguna Grande, Manatí, Marapatá, Club Miami, Túnel del Amor y la Boca; el Ba se detectó en Caño San Ignacio, Manatí, Marapatá y Club Miami y por último el B se detectó en Caño San Ignacio, Laguna Grande, Manatí y la Boca.

Tabla 19: Elementos traza determinados en las distintas zonas de la Laguna, expresados mg/L.

Sector	Muestras	PNLT	Trazas					
			Concentración (µg/L)					
			B	Ba	Hg	Li	Sr	Fe
El Guapo	Caño Tuy	2	< LD	< LD	19	83	3054	< LD
	Guapo	3	< LD	< LD	9	< LD	142	224
	Caño Madre Casaña	4	< LD	< LD	8	< LD	57	265
El Placer	Caño El Mono	5	< LD	< LD	8	< LD	62	182
	El Placer	6	< LD	< LD	14	< LD	750	< LD
	Las Lapas	7	< LD	< LD	9	< LD	135	341
	Caño Pirital	8	< LD	< LD	15	< LD	77	786
	Carambola	9	< LD	< LD	5	40	1521	114
La Laguna Grande	Caño San Nicolás	10	< LD	< LD	10	16	757	572
	Caño San Ignacio	11	3267	30	18	121	3611	< LD
	Laguna Grande	12	3474	< LD	13	123	3642	< LD
	Manatí	13	3297	29	9	99	3422	< LD
El Cazote	Marapatá	14	< LD	78	16	76	2742	< LD
La Laguna Arena	Club Miami	16	< LD	45	6	82	3202	< LD
	Túnel del Amor	18	< LD	< LD	10	58	2185	< LD
La Boca	Boca	19	5366	< LD	7	266	4688	< LD

Desde el punto de vista de la variabilidad en las concentraciones de los elementos traza determinados en la tabla 19 se observa en las diferentes zonas muestreadas, los siguientes intervalos de concentraciones en µg/L para cada elemento **Sr**: 57-4688 para Caño Madre Casaña y la Boca; **Hg**: 5-19 para Carambola y Caño Tuy; **Fe**: 114-786 para Carambola y Caño Pirital; **Li**: 16-266 para Caño San Nicolás y la

Boca; **Ba**: 29-78 para Manatí y Marapatá y por último **B**: 3267-5366 para Caño San Nicolás y la Boca respectivamente.

De acuerdo al Decreto 883 (Gaceta Oficial 5021, 1995), que clasifica las aguas según su uso, para el **Tipo IV “aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia”** al cual corresponde la Laguna de Tacarigua, no indica valores mínimos establecidos para ninguno de los elementos traza determinados, sin embargo, 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.

Las concentraciones más altas para los elementos traza determinados se obtuvieron para los elementos Sr y B en el sector La Boca. 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 ^[74].

El boro (B) procede por lo general de aguas marinas, lo que explica las altas concentraciones obtenidas en cuatro lugares de la Laguna, sin embargo el valor encontrado en el sector la Boca, está ligeramente por encima de lo establecido por el Decreto 883 para descargas en un cuerpo de agua, pero no se puede tomar como referencia este valor, ya que esta zona está en contacto directo con aguas marinas y estas poseen concentraciones altas de este elemento.

El Hg en aguas naturales puede estar generalmente asociado a contaminación antrópica, cuyas concentraciones altas pueden ser altamente tóxicas para los distintos niveles tróficos; sin embargo en la laguna se encontraron valores considerablemente

muy bajos (5-19 µg/l) si se toma como referencia el valor 2000 µg/l, indicado en la normativa nacional vigente para descargas a cuerpos de agua. Es importante resaltar que la determinación de Hg se debe realizar por una técnica más sensible para este elemento, como la espectroscopia de absorción atómica asociada a una técnica de atomización con vapor frío.

En la naturaleza, el Fe suele encontrarse como Fe^{3+} , $\text{Fe}(\text{OH})$ y Fe^{2+} , esto dependiendo del pH, concentración de oxígeno disuelto y del ambiente oxidante o reductor imperante, así como en función de la concentración de otros iones como CO_3^{2-} , HCO_3^- y SO_4^{2-} presentes en las aguas. Su concentración en el agua está controlada por procesos de equilibrio químico como oxidación - reducción, precipitación y disolución de hidróxidos, carbonatos y sulfuros, formación de complejos especialmente con materia orgánica y también por la actividad metabólica de animales, plantas y microorganismos. Valores entre 100 y 10000 µg/L se pueden tomar como comunes en cuerpos de aguas; sin embargo, en los sectores de la Laguna donde se encontró este elemento tiene valores por debajo de 786 µg/L, lo cual indica que está dentro del rango que normalmente se presenta este elemento en un cuerpo de agua. Es importante destacar que el período donde se llevó a cabo el muestreo, fue de muchas precipitaciones, por lo tanto las determinaciones realizadas podrían estar sujetas a un efecto de dilución, lo que permite inferir del porque no se encontró concentraciones altas de algunos elementos traza.

5.2.7. Sílice disuelta (SiO_2), sólidos suspendidos y sólidos disueltos

La mayor cantidad de sílice disuelta (SiO_2), en la Laguna lo aportó el Caño Madre Casaña 13,8 mg/l, sin embargo, si se observa por puntos muestreados, la mayoría de los caños, excepto San Nicolás y el río Guapo que desembocan a la laguna, son los que aportan esta especie química en el agua del sistema lagunar en estudio.

Desde el punto de vista de la calidad química, de acuerdo al Decreto 883 (Gaceta Oficial 5021, 1995), que clasifica las aguas según su uso, para el **Tipo IV “aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia”** al cual corresponde la Laguna de Tacarigua, no indica valores mínimos establecidos para esta especie.

El término de sólidos hace alusión a la materia suspendida o disuelta en un medio acuoso determinado ^[29], en este sentido en la tabla 20, se presentan los valores de concentración sílice disuelta (SiO₂), sólidos disueltos y sólidos suspendidos. Los sólidos disueltos son una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, mientras que los sólidos suspendidos son aquellos no sedimentados, los cuales son retenidos por filtración ^[29].

Tabla 20: Valores de la concentración de la sílice disuelta (SiO₂), sólidos disueltos y sólidos suspendidos en cada una de las muestras de agua captadas en los sectores que conforman la Laguna de Tacarigua.

Sector	Puntos (PNLT)	Nombre	SiO ₂ (mg/L)	Sólidos disueltos (mg/L)	Sólidos suspendidos (mg/L)
El Guapo	2	Caño Tuy	1,8	15491	31
	3	El Guapo	13,5	549	58
	4	C. Madre Casaña	13,8	155	72
El Placer	5	Caño el Mono	12,8	217	16
	6	El Placer	10,5	12142	50
	7	Las Lapas	12,4	387	21
	8	Caño Pirital	13,3	260	14
Laguna Grande	9	Carambola	7,4	8867	11
	10	Caño San Ignacio	9,7	3643	15
	11	Caño San Nicolás	<LD	17851	14
	12	Laguna Grande	<LD	18577	15
	13	Manatí	<LD	14943	34
El Cazote	14	Marapatá	<LD	15873	20
Laguna Arena	16	Club Miami	<LD	16330	29
	18	Túnel del Amor	5,6	16220	11
Boca	19	Boca	5,5	27532	19

Así mismo se obtuvieron valores de sólidos disueltos desde 155 mg/l; para el Caño Madre Casaña hasta 27532,3 mg/l para el sector La Boca. Es pertinente señalar que la tendencia observada coincide con la obtenida para los valores de conductividad y salinidad para ambas zonas, lo que indica que al existir una mayor cantidad de iones en solución, aumenta de forma directa la conductividad y la salinidad.

Davis y Wiest (1971) ^[10] y Hem, J. (1985) ^[69] señalan que las aguas con concentraciones entre 0-1000 mg/L son consideradas dulces, mientras que aquellas que presentan concentraciones entre 1000-10000 mg/L como aguas salobres, así mismo valores de SDT entre 10000 y 100000 mg/L, se asumen como saladas y finalmente valores de SDT mayores a 100000 mg/L se clasifican como salmueras. En tal sentido, se puede indicar que los valores obtenidos para SDT en la mayoría (11 de 16) de los lugares muestreados indican que la Laguna posee aguas salobres; sin embargo, al observar los valores obtenidos en los puntos donde desembocan los principales ríos y caños como el Guapo, Madre Casaña, El Mono, Las Lapas y Pirital, sus valores se encuentran por debajo de 1000 mg/l por lo que en estos sitios las aguas son catalogadas como dulces. Atendiendo a la concentración de los SDT obtenidos para las aguas de los sectores El Guapo, El Pacer, Laguna Grande; Laguna Arena, El Cazote y La Boca de la Laguna de Tacarigua, aproximadamente un 69% (11 puntos) correspondiente a las muestras tomadas, se clasifican como aguas salobres; mientras que un 31% (5 puntos) de las muestras captadas, son aguas dulces.

Por su parte el lugar de la Laguna, con la menor cantidad de sólidos suspendidos (11 mg/L) es Carambola que pertenece al sector Laguna Grande, mientras que el lugar con mayor cantidad de sólidos suspendidos (72mg/L) es el Caño Madre Casaña que pertenece al sector el Guapo (53,9 mg/l), donde gráficamente se ubican los sistemas fluviales que mayor carga de sedimentos poseen, contribuyendo así con el aporte directo de ríos como el Guapo que trae consigo una carga considerable de sedimentos.

5.2.8. Demanda química de oxígeno y dureza de las aguas de cada sector de La Laguna.

Otros parámetros determinados en este estudio fueron la demanda química de oxígeno (DQO) y la dureza; aunque estos no aparecen como requisitos usados en la norma para el tipo de agua en estudio, no obstante pueden ser usados como parámetros de calidad del agua de la Laguna de Tacarigua (Tabla 21). En ese sentido, atendiendo a lo recomendado por la ASTM (1992), la DQO solo se pudo medir para las muestras cuyo valor de concentración en iones cloruros se encontraba por debajo de 2000 mg/L, ya que ocasiona interferencias en el método, por ello la determinación solo se realizó para seis de los dieciséis puntos muestreados, cuyo aporte a la laguna está básicamente asociado al agua dulce con valores bajos de iones cloruros a saber: el Guapo, Madre Casaña, Caño el Mono, Las Lapas, Caño Pirital y Caño San Ignacio. Por su parte la determinación de la dureza se realizó, a partir de las concentraciones obtenidas para cada punto tanto de Ca como de Mg.

Tabla 26: Demanda química de oxígeno (DQO) y dureza (mg/L CaCO₃) en las diferentes zonas muestreadas de la Laguna de Tacarigua.

Sector	Nombre	DQO (mg/L) O ₂	Dureza (mg/L) CaCO ₃
El Guapo	Caño Tuy	No realizado	3243
	El Guapo	404	157
	C. Madre Casaña	545	65
El Placer	Caño el Mono	222	93
	El Placer	No realizado	1196
	Las Lapas	949	109
	Caño Pirital	767	64
	Carambola	No realizado	1242
Laguna Grande	Caño San Ignacio	1352	670
	Caño San Nicolás	No realizado	3151
	Laguna Grande	No realizado	3397
	Manatí	No realizado	3299
El Cazote	Marapatá	No realizado	2593
Laguna Arena	Club Miami	No realizado	2933
	Túnel del Amor	No realizado	2214
Boca	Boca	No realizado	3676

De acuerdo a la normativa vigente para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Aguas y Vertidos o Efluentes Líquidos (1995) en su Sección IV, que se refiere específicamente a las descargas al medio marino-costero, establece un valor límite para la DQO de 350 mg/L de O₂. Nótese en la Tabla 26 que solo el punto conocido como Caño el Mono, con un valor de 222 mg/L de O₂ se encuentra por debajo del límite establecido; los restantes puntos están por encima de lo establecido por la norma, particularmente el Caño San Ignacio con un valor 1352 mg/L de O₂. Sin embargo, es importante señalar que esta parte de la norma se aplica específicamente a los afluentes y estos puntos fueron muestreados en la zona donde estos caen en la Laguna. La DQO es una determinación 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 ^[75].

En resumen las aguas con niveles superiores al límite establecido por la normativa nacional, se pueden considerar contaminadas con una gran cantidad de materia orgánica como es el caso de los puntos El Guapo, Madre Casaña, Las Lapas, Caño Pirital, y Caño San Ignacio.

En lo que respecta a la dureza en el agua, en función a su concentración de CaCO₃ estas se clasifican en: aguas suaves con valores entre 0-75 mg/L, aguas blandas cuyos valores oscilan entre 75-150 mg/L, aguas duras que están entre 150-300 mg/L y aguas muy duras que poseen concentraciones > 300 mg/L. Obsérvese en la Tabla 26 los resultados por puntos de muestreo la dureza en el agua varía desde 64 mg/L CaCO₃ para Caño Pirital, hasta 3676 mg CaCO₃ para el sector La Boca; lo cual indica que en la Laguna hay lugares con aguas suaves, como los caños Madre Casaña y Pirital; y aguas muy duras como Caño Tuy y el sector la Boca.

5.2.9. Análisis microbiológicos.

El riesgo de contaminación 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, se comportan como los microorganismos patógenos, pero son más fáciles de aislar y cuantificar.

En este estudio se procedió no solo a la determinación de los indicadores microbiológicos de calidad de las aguas mencionados, sino a la determinación de dos grupos de microorganismos como 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].

A continuación son presentados los resultados obtenidos para los distintos microorganismos determinados en los puntos de muestreo de cada uno de los seis sectores de mayor importancia de la Laguna de Tacarigua. En primer lugar, son mostrados los resultados obtenidos para los microorganismos indicadores de calidad sanitaria del agua, como coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF) y enterococos (ENT).

En segundo lugar, son presentados los resultados obtenidos para las bacterias heterótrofas (HET) indicadoras de abundancia de materia orgánica (calidad ambiental) y para las especies *Vibrio* cuya presencia es característica en aguas salobres o con características de hipersalinidad (en la actualidad se plantea que son indicadores de cambio climático).

5.2.9.1. 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 ^[76].

Es importante destacar que la normativa venezolana implementada a través del Decreto 883 Gaceta Oficial N° 5021 (1995) encargada de regular todo lo relacionado con las aguas, en particular para agua Tipo 4, indican los límites establecidos para los coliformes totales entre 1×10^3 - 5×10^3 UFC/100 mL (Tipo 4A y 4B respectivamente), mientras que para coliformes fecales 2×10^2 – 1×10^3 UFC/100 ml (Tipo 4A y 4B respectivamente). En este sentido todo tipo de agua cuyos valores de microorganismos indicadores antes referidos se encuentren por encima de estos intervalos establecidos como límites máximos, se ubicaran por encima de las especificaciones oficialmente normadas, es por ello que en lo referente a su calidad microbiológica, no son aptas, para el uso destinado.

En lo que respecta a los enterococos, no existe una regulación nacional que indique un límite establecido para este tipo de microorganismo; sin embargo, según la normativa de la Agencia Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y referenciada por investigadores en Perú (2006) los límites para las aguas naturales de contacto primario o secundario son 35 UFC/100 ml ^[77].

En la siguiente tabla 22 se muestran los resultados obtenidos para los distintos indicadores de calidad para los sectores que constituyen el Complejo Lagunar Laguna de Tacarigua. Seguidamente, son discutidos los resultados obtenidos en este estudio para las aguas captadas en cada uno de los sectores que conforman la Laguna.

Tabla 22: Indicadores de calidad microbiológicos presentes en las distintas zonas muestreadas en la Laguna de Tacarigua.

Sector	Puntos (PNLT)	Nombres	Abundancia (UFC/100 mL)					
			CT	CF	ENT	Normativa Nacional		Normativa EPA*
						CT	CF	
El Guapo	PNLT 2	Caño Tuy	4×10^4	$< 10^3$	1×10^5	5×10^3	1×10^3	35
	PNLT 3	El Guapo	4×10^5	6×10^8	2×10^5			
	PNLT 4	Caño m. Casaña	3×10^9	5×10^5	$< 10^3$			
El Placer	PNLT 5	Caño el Mono	7×10^8	$< 10^3$	1×10^5			
	PNLT 6	El Placer	6×10^6	$< 10^3$	4×10^5			
	PNLT 7	Las Lapas	$< 10^3$	$< 10^3$	6×10^5			
	PNLT 8	Caño Pirital	4×10^6	$< 10^3$	5×10^7			
	PNLT 9	Carambola	$< 10^3$	$< 10^3$	4×10^9			
Laguna Grande	PNLT 10	Caño S. Nicolás	7×10^8	9×10^3	5×10^5			
	PNLT 11	Caño S. Ignacio	$< 10^3$	$< 10^3$	$< 10^3$			
	PNLT 12	Laguna Grande	6×10^7	$< 10^3$	7×10^9			
	PNLT 13	Manatí	5×10^1	$< 10^3$	1×10^2			
El Cazote	PNLT 14	Marapatá	9×10^1	$< 10^1$	4×10^9			
Laguna Arena	PNLT 16	Club Miami	1×10^2	10×10^0	4×10^7			
	PNLT 18	Túnel del Amor	3×10^1	$< 10^1$	6×10^1			
La boca	PNLT 19	la boca	4×10^0	$< 10^1$	3×10^1			

*EPA: Agencia Ambiental de Estados Unidos (1986)

CT: coliformes totales CF: coliformes fecales ENT: enterococos

• Coliformes Totales (CT)

La tabla 22 y la figura 38, permite observar que los valores de coliformes totales más altos, se obtienen para el sector el Guapo, específicamente la zona de Madre Casaña 3×10^9 UFC/100 ml; mientras que el valor más bajo se obtuvo para el sector la

Boca 4×10^0 UFC/100 ml. Estos valores indican que el sector el Guapo está siendo sometido 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. Es importante señalar que el Guapo es la zona que contiene mayor descarga de aguas que traen consigo una cantidad considerable tanto de sedimentos como de aguas residuales, provenientes de las diversas poblaciones cercanas de la Laguna.

Las dos zonas que le siguen en orden de magnitud como Caño el Mono (sector El Placer) y Caño San Nicolás (sector Laguna Grande) también se caracterizan por ser influenciados por corrientes de aguas superficiales, que drenan a través de pequeños poblados; situación diferente se presentan en sectores como El Cazote, Laguna Arena y La Boca, con valores de CT inferiores a los indicados por la norma, quizás debido el impacto directo de escorrentías superficiales y de alta salinidad.

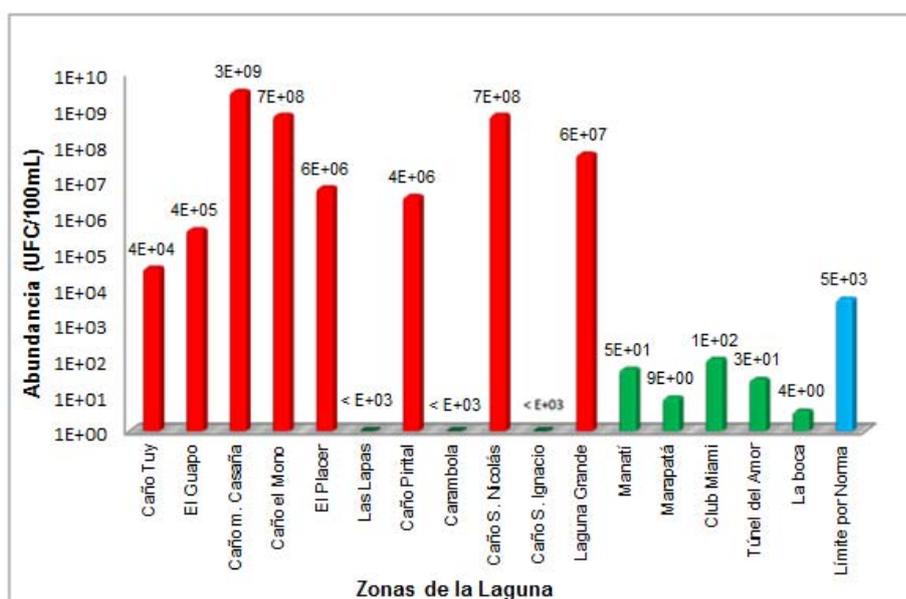


Figura 38: Abundancia de CT hallados en las zonas muestreadas de la Laguna de Tacarigua y el valor de referencia en la normativa vigente.

Al observar la abundancia de CT (por encima de 5×10^3 UFC/100mL) de las zonas C. Madre Casaña, C. El Mono, C. San Nicolás, Laguna Grande, El Placer, El Guapo y C. Tuy que se evidencian en la figura 38 con barras de color rojo poseen una calidad microbiológica **no aceptable**, lo cual trae como consecuencia que se declaren zonas **no aptas** para el uso al cual se le tiene destinado como aguas Tipo 4 para balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia de contacto humano total y parcial

Con respecto a la abundancia de CT (por debajo de 5×10^3 UFC/100mL) en la figura 38 para las barras de color verde; solo las zonas de Las Lapas, Carambola, Manatí, Marapatá, Club Miami, Tunel del Amor y la Boca se encuentran por debajo de los límites establecidos para el Tipo 4 de agua de este ecosistema lagunar, ya que poseen una calidad microbiológica **aceptable**; por lo tanto son zonas **aptas** para el uso de aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia de contacto humano total y parcial, de acuerdo a la Normativa Nacional. No obstante estas zonas como Club Miami y Túnel del amor están ubicadas cerca de la barrera de arena que separa la Laguna con el mar y que generalmente sufren descargas de aguas con suficiente carga microbiana por estar cerca de asentamientos turísticos, que obviamente pueden poner en riesgo su calidad de agua actual como zona de la Laguna apta. Es importante destacar que en zonas como Las Lapas, C. San Ignacio y Carambola no se encontraron microorganismos en la menor dilución (10^3) que se realizó para estas zonas, por lo que se asume que en estos lugares, la abundancia es menor a 1000 UFC/100mL, esto conllevó a inferir que son zonas menos contaminadas por descargas, ya que se encuentra por debajo de los límites establecidos por la Normativa Nacional, para el momento que se llevo a cabo el muestreo, es importante destacar el posible efecto de dilución sobre las distintas determinaciones realizadas debido a las intensas lluvias antes y durante el mes de muestreo.

- **Coliformes fecales (CF)**

Los CF se siguen utilizando en muchos países como bacteria indicadora de calidad de aguas, esto debido a que es recomendado por la EPA (Agencia Ambiental de los Estados Unidos) desde 1986 ^[77].

En nuestro país la Normativa Nacional Vigente también usa este indicador microbiológico como referencia para la evaluación de la calidad de aguas. En este sentido esta evaluación se sustenta en los valores establecidos por el Decreto 883 para CF de 2×10^2 – 1×10^3 UFC/100 ml (Tipo 4A y 4B respectivamente) con respecto a los resultados obtenidos en este trabajo para la Laguna de Tacarigua, tal como es mostrado en la Tabla 22 y en la figura 39.

La abundancia obtenida (UFC/100mL) en los diferentes sectores del ecosistema lagunar Laguna de Tacarigua para los CF, indica de manera similar a los valores obtenidos para los CT que el sector más comprometido en lo que respecta a su calidad microbiológica sigue siendo el Guapo específicamente las zonas C. Madre Casaña (5×10^5 UFC/100mL) y el Guapo (5×10^8 UFC/100mL), porque sufren la descarga directa de aguas servidas, agrícolas y domésticas sin pasar por un sistema de tratamiento (ya que no existen y las que están no funcionan) del Río Guapo como del Caño Artificial Madre Casaña; ya que los valores obtenidos se encuentran por encima de los límites establecidos en el **Decreto 883**, para agua Tipo 4 de contacto directo e indirecto respectivamente con el hombre.

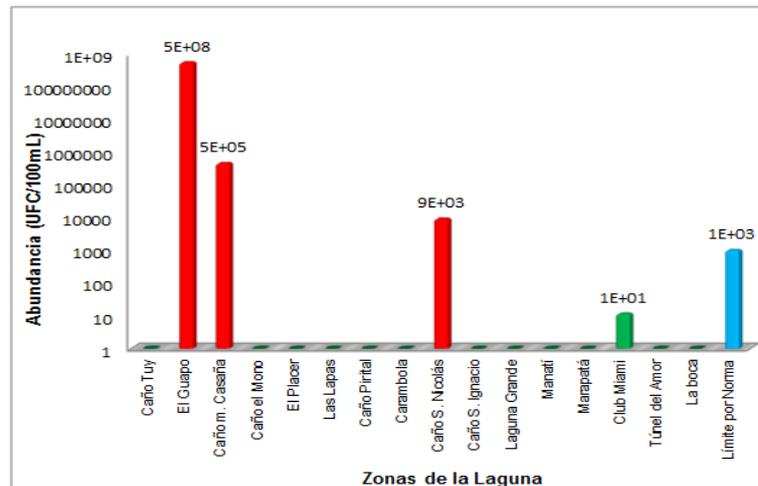


Figura 39: Abundancia de CF medidos en las zonas muestreadas de la Laguna de Tacarigua y el valor de referencia en la Normativa Nacional Vigente.

En la figura 39, se puede observar que las barras de color rojo indican que las zonas C. Madre Casaña, El Guapo y C. San Nicolás; la abundancia (UFC/100mL) esta por el orden de 5×10^5 , 5×10^8 y 9×10^3 respectivamente, por lo que exceden los límites establecidos por la Normativa Nacional (1×10^3), y son zonas de la Laguna que poseen una calidad microbiológica **no aceptable**, lo cual trae como consecuencia que se declaren zonas **no aptas** para el uso al cual se le tiene destinado como aguas Tipo 4 para balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia de contacto humano total y parcial.

Asi mismo, en la figura 39 las barras de color verde indican que en Club Miami; la abundancia (UFC/100mL) esta por el orden de 1×10^1 o como es el caso de zonas como C.Tuy, C.Mono, El Placer, Las Lapas, C. Pirital, Carambola, C. San Ignacio, Laguna Grande, Manatí, Marapatá y La Boca; las cuales no se obtuvo contaje en las diluciones más altas sembradas de 10^3 , 10^1 y 10^0 respectivamente; poseen una calidad microbiológica **aceptable**; por lo tanto son zonas **aptas** para el uso de aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de

subsistencia de contacto humano total y parcial, de acuerdo a la Normativa Nacional; sin embargo, la no detección de estos microorganismos en las zonas mencionadas anteriormente podría estar sujeto a un efecto de dilución.

- **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 rango de temperatura de 10 a 45 °C y en cloruro de sodio al 6,5%; por lo tanto estos se distinguen por su capacidad de sobrevivir en agua salada, lo que permite decir 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, esto en lo que respecta al riesgo para la salud ^[77].

Lo anteriormente señalado, permite sustentar la aplicación en este estudio de los ENT como indicadores de calidad microbiológica, esto a pesar de que la normativa nacional aún no lo contemple en sus especificaciones vigentes. No obstante, es pertinente indicar que se debe tomar en cuenta que de acuerdo a normativas internacionales específicamente la Agencia Ambiental de los Estados Unidos (EPA), 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 (tipo de agua en estudio) no deben superar las 35 UFC/100 ml aunado a que este indicador permite determinar contaminación fecal no puntual sino de vieja data y discriminar entre contaminación fecal humana y animal. Es importante destacar que en el Parque Nacional de la Laguna de Tacarigua hay una gran diversidad de aves, lo cual puede contribuir al incremento de los valores de ENT en comparación con los valores de CT.

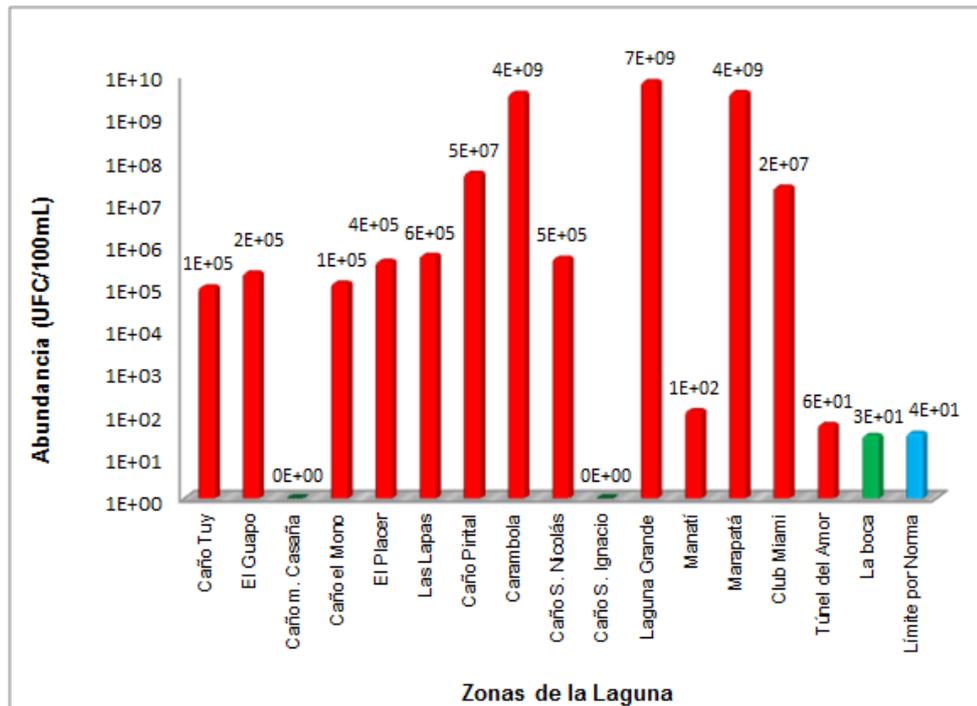


Figura 40: Abundancia de enterococos (ENT) hallados en todas las zonas muestreadas de la Laguna y el valor recomendado por la normativa internacional (EPA).

Obsérvese la figura 40, que el sector la Boca (barra de color verde) es la única zona, cuyo valor de concentración (3×10^1) de ENT es inferior al límite señalado por la EPA; en los C. Madre Casaña y San Ignacio no se detectaron; mientras que las zonas restantes presentan una alta contaminación fecal antigua (barra de color rojo), con la abundancia (UFC/100mL) más alta para Laguna Grande, Marapatá y C. Piritál por el orden de 10^9 respectivamente.

Laguna Grande y Marapatá tiene en común valores altos de salinidad, en Marapatá no existe flujo continuo de agua, conllevado a que está prácticamente se estanque bajo condiciones de hipersalinidad, poca profundidad y alta evapotranspiración lo que favorecería la presencia de enterococos, en el caso de C. Piritál quizás se deba a que no exista un flujo continuo de agua.

Es pertinente resaltar que si se evalúa cada punto muestreado los lugares de la Laguna donde se detectan los más altos valores de contaminación fecal están asociados a las descargas del río Guapo y del caño Madre Casaña; mientras que los lugares con menor contaminación, son aquellos considerados como menos intervenidos a saber: Carambola y Manatí, sitios que según Isava en 1996 consideró como áreas de control debido a su poca intervención, lo cual se corroboró en este estudio.

En lo que respecta a Marapata, Tunel del Amor y la Boca, son zonas que no sufren descargas directas de ningún caño o río, además se debe destacar que son zonas con una salinidad alta, lo cual indicadores como CT y CF no resisten, por lo que se justifica en estos lugares los valores más bajos de estos indicadores de calidad.

Así mismo, en lo que se refiere a los valores de concentración para ENT, a pesar de no estar contemplados en la normativa nacional, se puede indicar que gran parte de la Laguna presenta contaminación fecal tanto humana como animal de vieja data, mientras que de acuerdo a normativas internacionales, solo el sector La Boca poseería una calidad de agua **aceptable** y por lo tanto es una zona **apta** para el uso que se le da actualmente.

A continuación se muestra en la Tabla 23 a manera de resumen como se encontró la calidad de agua en las diversas zonas de la Laguna muestreada, se puede observar que para los indicadores de calidad microbiológica establecidos por la Normativa Nacional CT y CF; indican que los sectores que tienen calidad de agua aceptable son El Cazote, Laguna Arena y la Boca y algunas zonas como Manatí, C. San Ignacio, Carambola y Las Lapas, porque su abundancia (UFC/100 ml), no supera los límites establecidos. Sin embargo, para indicadores como los enterococos según normativa internacional solo tendrían agua de calidad aceptable C. San Ignacio y la Boca.

Tabla 23: Estatus de la calidad del Agua de las zonas muestreadas de la Laguna de Tacarigua

Sector	Nombres	Abundancia (UFC/100 mL)					
		CT	CF	ENT	Sectores		
					CT	CF	ENT
El Guapo	Caño Tuy	No Apta	Apta	No Apta	No apta	No apta	No Apta
	El Guapo	No Apta	No Apta	No Apta			
	Caño m. Casaña	No Apta	No Apta	Apta			
El Placer	Caño el Mono	No Apta	Apta	No Apta	Apta	No apta	No Apta
	El Placer	No Apta	Apta	No Apta			
	Las Lapas	Apta	Apta	No Apta			
	Caño Pirital	No Apta	Apta	No Apta			
	Carambola	Apta	Apta	No Apta			
Laguna Grande	Caño S. Nicolás	No Apta	No Apta	No Apta	No apta	No apta	No Apta
	Caño S. Ignacio	Apta	Apta	Apta			
	Laguna Grande	No Apta	Apta	No Apta			
	Manatí	Apta	Apta	No Apta			
El Cazote	Marapatá	Apta	Apta	No Apta	Apta	Apta	No Apta
Laguna Arena	Club Miami	Apta	Apta	No Apta	Apta	Apta	No Apta
	Túnel del Amor	Apta	Apta	No Apta			
La Boca	La Boca	Apta	Apta	Apta	Apta	Apta	Apta

5.2.9.2. Heterótrofas y especies Vibrio

Como se mencionó anteriormente la determinación de bacterias heterótrofas (BHET) y especies Vibrio (VIB), se realizó con el fin de cuantificar su presencia en las distintas zonas de la Laguna de Tacarigua, ya que no son requisito de la normativa nacional para evaluar la calidad microbiológica del agua. No obstante, seguidamente se discuten los valores de concentración obtenidos para ambas especies microbiológicas, mostradas en la Tabla 24.

Tabla 24: Valores de abundancia BHET y VIB, presentes en las distintas zonas muestreadas en la Laguna de Tacarigua.

Sector	Puntos	Nombres	Abundancia (UFC/0,1 ml)	
			Heterótrofas	Especies Vibrio
El Guapo	PNLT 2	Caño Tuy	5×10^5	9×10^2
	PNLT 3	El Guapo	4×10^7	2×10^4
	PNLT 4	C. Madre Casaña	1×10^{10}	1×10^2
El Placer	PNLT 5	Caño Mono	$< 10^3$	2×10^4
	PNLT 6	El Placer	3×10^7	6×10^3
	PNLT 7	Las Lapas	1×10^8	1×10^2
	PNLT 8	Caño Pirital	5×10^2	< 1
	PNLT 9	Carambola	3×10^5	9×10^3
Laguna Grande	PNLT 10	Caño S. Nicolás	4×10^5	5×10^5
	PNLT 11	Caño S. Ignacio	4×10^2	1×10^5
	PNLT 12	Laguna Grande	4×10^3	2×10^6
	PNLT 13	Manatí	2×10^4	8×10^2
El Cazote	PNLT 14	Marapatá	3×10^3	< 1
Laguna Arena	PNLT 16	Club Miami	2×10^4	2×10^3
	PNLT 18	Túnel del amor	1×10^5	2×10^4
La Boca	PNLT 19	La Boca	9×10^3	1×10^3

- **Heterótrofas**

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

En este estudio se determinaron en todas las zonas de interés de la Laguna; sin embargo, la zona donde se encuentran en mayor abundancia (UFC/mL) es el Caño Madre Casaña del sector El Guapo con el mayor valor de concentración 1×10^{10} (figura 41) coincidiendo esto con el mayor valor de turbidez y con una concentración de DQO superior a los límites establecidos (350 mg/L de O_2). Este valor indica que es la zona de

la Laguna donde existe la mayor descomposición de materia orgánica, probablemente asociada a la carga suspendida de los ríos y caños que drenan hacia la Laguna de Tacarigua y que traen consigo una carga de nutrientes, aguas residuales de origen doméstico (detergentes desechos orgánicos), agropecuario e industrial (fertilizantes, desechos orgánicos y otros residuos ricos en fosfatos y nitratos) que traen consigo.

En la literatura se señala que valores superiores a $2,7 \times 10^4$ UFC/ml, son característicos de condiciones eutróficas ^[39]; por lo tanto zonas como Caño Tuy, El Guapo, C. Madre Casaña, El Placer, Las Lapas, Carambola, C, San Nicolás y Túnel del Amor; cuyo valores superan el orden 10^4 , podrían estar sometidas a serias complicaciones en la calidad del agua, ya que debido a un exceso de nutrientes se origina proliferación de algas y con ello una disminución de oxígeno disuelto que terminaría perturbando seriamente las condiciones de muchas especies acuáticas características de la zona.

El estudio realizado por Linares (1996) ^[66], indica que los valores más bajos de oxígeno disuelto en todas las zonas estudiadas de la Laguna, los obtuvieron para el Sector el Guapo, tomando en cuenta que una mayor concentración de BHET disminuye los valores de oxígeno disuelto en el agua, de cierta forma ratifica que a medida que han pasado los años este sector sigue siendo la zona con mayor cantidad de materia orgánica en descomposición.

Por su parte las zonas con menor cantidad de BHET los Caños Pirital, San Ignacio, Laguna Grande, Manatí, Marapatá, Club Miami y la Boca por el orden de 5×10^2 , 4×10^2 , 4×10^3 , 2×10^4 , 3×10^3 , 2×10^4 y 9×10^3 respectivamente, que a pesar de ser los valores más bajos ya indican cierto enriquecimiento orgánico, tendiendo a la condición eutrófica ^[78]. Solo en el sector Caño el Mono no se detectaron BHET.

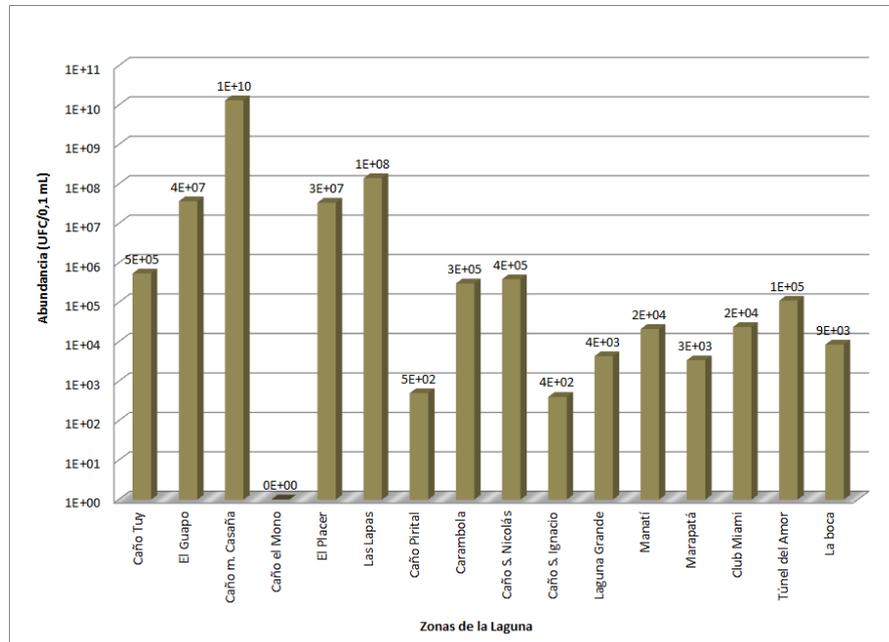


Figura 41: Abundancia de BHET halladas en todas las zonas de la Laguna.

- **Especies Vibrio**

En lo que respecta a las especies de Vibrio, se puede apreciar en la figura 42 que la mayor concentración (2×10^6 UFC/0,1mL), se obtuvo para la zona Laguna Grande, mientras que para el Caño Pirital y Marapatá, no se encontró crecimiento bacteriano, ni siquiera en la siembra directa realizada. Para este fue un poco atípico, ya que de acuerdo a la revisión bibliografía que previamente se realizó, la aparición de estos microorganismos está influenciada positivamente en lugares con condiciones de alta salinidad, como es el caso de Marapatá del sector El Cazote caracterizado por la presencia de aguas hipersalinas, quizás esto no ocurrió, debido a el posible efecto de dilución provocado por las intensas precipitaciones que se dieron en el Estado Miranda y por ende en la Laguna de Tacarigua desde el mes de diciembre, hasta marzo, cuando se llevó a cabo el muestreo. Sin embargo, en las restantes zonas de los sectores que conforman la Laguna, se observó presencia de estas bacterias en el agua (ver figura 42).

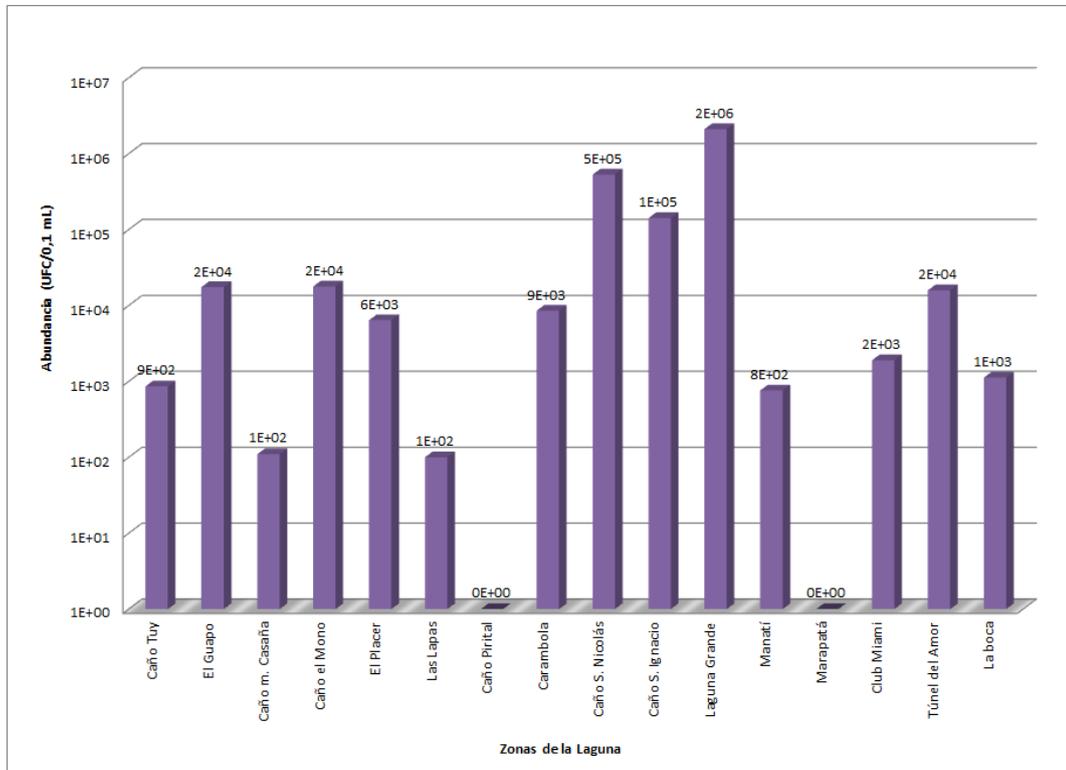


Figura 42: Abundancia de VIB halladas en todas las zonas de la Laguna.

Es importante destacar que la ingesta de este microorganismos a través de alimentos como 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, esto si no se usan las condiciones mínimas de cocción. Por ello es imprescindible la concientización de la comunidad sobre la presencia de los mismos y alertar a los organismos competentes.

Los Vibrios patógenos, en particular *V. cholerae*, también pueden recuperarse de las cuencas de agua dulce de los estuarios, donde además pueden introducirse por contaminación fecal. No obstante, es posible encontrar una correlación positiva entre la

contaminación fecal y los niveles de *V. cholerae* en zonas donde ocurren los brotes de cólera ^[40].

Es importante destacar que tanto las determinaciones químicas como microbiológicas, podrían estar sujetas a un efecto de dilución, debido a que en el momento de realizar el muestreo, se llevó a cabo en un periodo saliente de intensas precipitaciones producidas por el efecto de un fenómeno meteorológico que ocasiono que marzo del 2011 fuera atípico, por ser un mes generalmente seco.

5.2.10. Análisis de componentes principales

Con el fin de facilitar la visualización de la relación que existe entre las variables fisicoquímicas y microbiológicas determinadas en cada una de las 16 zonas muestreadas en los sectores de la Laguna de Tacarigua, el Guapo, el Placer, Laguna Grande, el Cazote, Laguna Arenas y la Boca; se procedió a elaborar un Análisis de Componentes Principales (ACP), el cual es una técnica estadística que permite sintetizar la información de un gran número de variables, en un conjunto de nuevas dimensiones con una mínima pérdida de información (se utilizó el paquete estadístico PAST versión 2.15). Con el ACP se puede inferir cuáles son las variables que determinan el funcionamiento del sistema, es decir, las que mayor influencia tienen sobre el ecosistema.

En primer lugar se presenta un ACP para todas las determinaciones fisicoquímicas realizadas (figura 43), luego para las determinaciones microbiológicas (figura 44) y finalmente para ambos tipos de determinaciones (figura 45).

En lo que respecta al ACP para las variables fisicoquímicas (figura 43) determinadas en la Laguna de Tacarigua, se observó que la turbidez y sólidos

suspendidos tienen una correlación positiva y directa; los valores más altos se obtuvieron para las zonas de la Laguna que reciben un constante aporte de sedimentos como es el caso de Caño Madre Casaña y el Guapo, mientras el menor valor de estos parámetros se obtuvieron para la Boca y Laguna Grande; para ambos parámetros se aprecia una correlación negativa con la temperatura.

Así mismo, se observó una correlación positiva entre las variables como pH, salinidad, sólidos disueltos, dureza conductividad y profundidad, cuyos valores más altos se obtuvieron para sectores como la Boca y Laguna Grande, lugares donde el agua posee una gran cantidad de iones en solución y son ligeramente alcalinas lo que les confiere características de aguas salobres; mientras que los menores valores se apreciaron para zonas como Caño Madre Casaña, El Guapo, Caño Pirital y Caño Mono lugares donde el agua posee una cantidad menor de iones en solución, son neutras o de muy baja alcalinidad, lo que es una característica del agua dulce; de hecho son las zonas donde desembocan los principales afluentes de agua dulce de la Laguna.

Es importante señalar que al observar el ACP para las determinaciones fisicoquímicas se corrobora lo señalado por muchos investigadores de este importante ecosistema, que indican la dinámica excepcional de este humedal costero Laguna de Tacarigua que le confiere la mezcla de aguas dulces y saladas.

Las variables fisicoquímicas que presentaron un mayor peso en el análisis fueron sólidos suspendidos, turbidez, pH, salinidad, sólidos disueltos y conductividad.

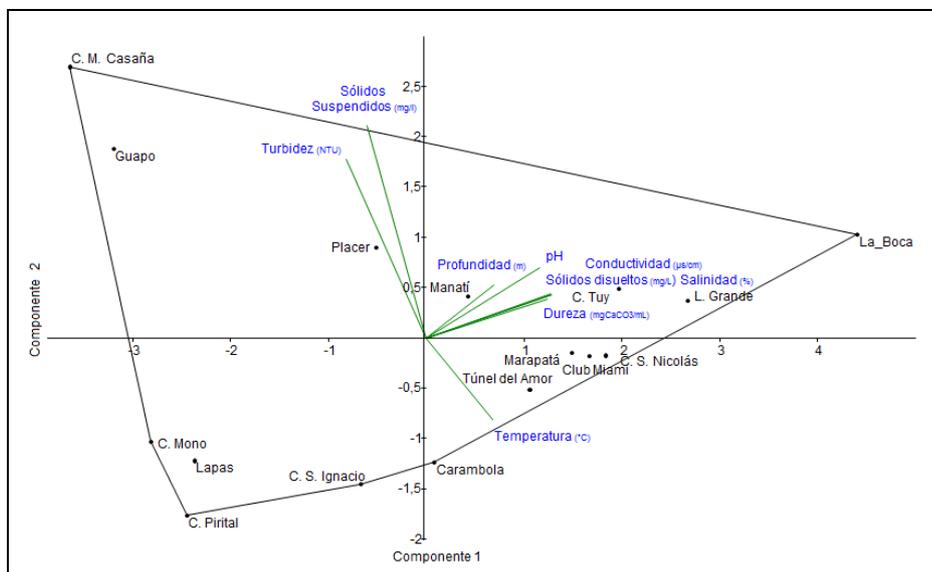


Figura 43. Diagrama de componentes principales para las determinaciones fisicoquímicas realizadas en los 16 puntos muestreados en la Laguna de Tacarigua.

En el ACP para las determinaciones microbiológicas que se presentan a continuación, se observó para el componente 1, que existe una correlación positiva entre los indicadores de contaminación fecal CT y las indicadores de contaminación ambiental BHET, donde el lugar de la Laguna que posee un mayor grado de contaminación tanto bacteriana como ambiental (mayor concentración de CT y BHET) es el Caño Madre Casaña (Sector el Guapo); mientras que ambas tienen una correlación negativa con los CF, los cuales poseen la mayor incidencia en la zona El Guapo de la Laguna. Por otra parte, las especies VIB y los ENT tienen una correlación positiva entre ambos y poseen la mayor incidencia en Laguna grande. Las variables microbiológicas que presentaron mayor peso son CT y BHET.

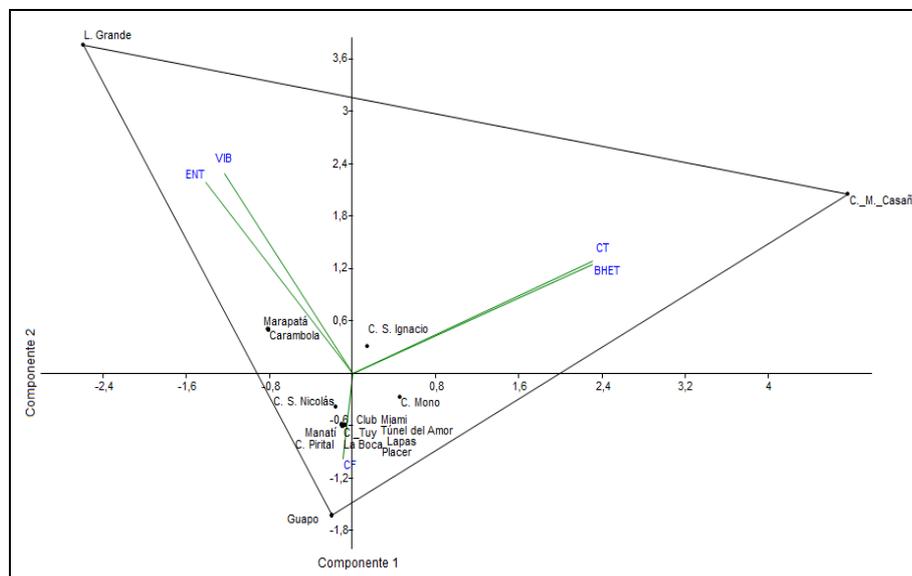


Figura 44: Diagrama de componentes principales para las determinaciones microbiológicas realizadas en los 16 puntos muestreados en la Laguna de Tacarigua.

Para finalizar se presenta el ACP para todas las variables estudiadas. En primer lugar se observó que en el componente principal 1, los microorganismos ENT y VIB, mantienen una relación positiva con variables fisicoquímicas como conductividad, pH, profundidad, dureza, salinidad, sólidos disueltos y temperatura; lo que indica que estas especies para el momento del muestreo (marzo de 2011) se encontraban en mayor proporción en lugares como La Boca y Laguna Grande, los más profundos de la Laguna de Tacarigua, que poseen las aguas con mayor concentración de iones disueltos, ligeramente alcalinas y con una mayor temperatura; es importante destacar que los ENT indican contaminación fecal de vieja data en cuerpos de agua, tanto humana como animal, son resistentes a condiciones de alta salinidad y temperatura; mientras que los VIB son especies que pueden ocasionar enfermedades gastrointestinales si se consumen a través de aguas o alimentos contaminados. Se puede decir que las zonas que se encuentran en el lado positivo del componente 2 se ven influenciadas directamente por las variables fisicoquímicas y microbiológicas mencionadas anteriormente.

En lo que respecta a los indicadores de contaminación fecal CT y CF y las indicadoras de contaminación ambiental BHET en el componente 1, se ven influenciadas directamente con las variables fisicoquímicas turbidez y sólidos suspendidos, donde se determina que los sectores más comprometidos de la Laguna son Caño Madre Casaña (CT y BHET) y el Guapo (CF). De forma general se puede decir que las zonas que se encuentran en el lado negativo del componente 2 se ven influenciadas directamente por las variables fisicoquímicas y microbiológicas mencionadas anteriormente, además se debe señalar que todas estas zonas: Madre Casaña, El Guapo, El Mono, Las Lapas y Caño Pirital en forma decreciente se asocian con zonas de alta actividad antrópica.

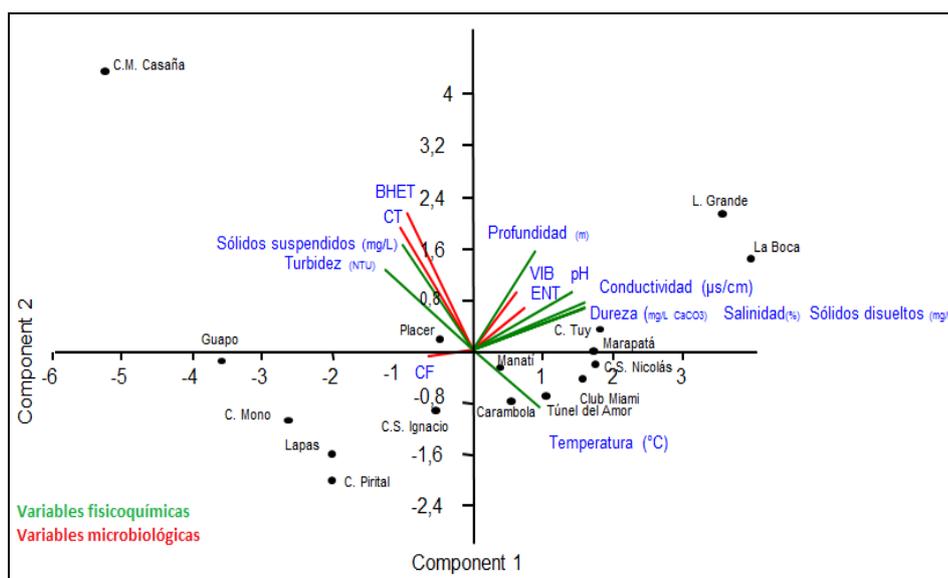


Figura 45: Diagrama de componentes principales para todas las determinaciones realizadas en los 16 puntos muestreados en la Laguna de Tacarigua.

Tomando en cuenta el ACP de todas las determinaciones realizadas se observó, que tanto los parámetros fisicoquímicos como microbiológicos son complementarios en los procesos de evaluación de la calidad del agua en la Laguna de Tacarigua.

6. CONCLUSIONES

- De acuerdo a las determinaciones fisicoquímicas realizadas en la Laguna existen zonas como el Caño Madre Casaña, que se caracterizan por poseer aguas neutras o ligeramente alcalinas, con una menor concentración de iones disueltos, pero con una mayor concentración de sólidos suspendidos; sin embargo, también existen zonas como la Boca y Laguna Grande que se caracterizan por poseer aguas ligeramente alcalinas con una mayor concentración de iones disueltos, pero con una menor concentración de sólidos suspendidos.
- En la zona de estudio se identificaron tres tipos de agua a saber: un 69% corresponde a aguas **cloruradas sódicas** (C. Tuy, Carambola, C. San Ignacio, el Placer, C. San Nicolás, Laguna Grande, Manatí, Marapatá, Club Miami, Túnel del Amor y la Boca); un 19% **cloruradas sódicas –magnésicas** (El Guapo, Las Lapas y C. Pirital) y un 12% **cloruradas magnésicas** (C. Madre Casaña y C. Mono).
- El agua que constituye la Laguna de Tacarigua presenta aguas muy duras en el sector la Boca, así mismo zonas como caños San Ignacio, caño El mono, El Guapo y las Lapas las aguas son duras, mientras que en los caños Madre Casaña y Pirital las aguas son blandas.
- Caño el Mono presento valores de concentración de DQO aceptables, los restantes sectores se pueden considerar contaminados con una gran cantidad de materia orgánica. Este parámetro guarda relación directa con la cantidad de BHET determinadas para estos lugares, lo cual permite verificar que estas zonas están ciertamente contaminadas por acumulación de materia orgánica.
- De las 16 zonas, donde se determino CT y CF los cuales son los indicadores de calidad referenciados en la Normativa Vigente, solo poseen aguas de calidad **aceptable (aptas)** para ambos parámetros (abundancia en UFC/100mL por debajo de los límites establecidos): Las Lapas, Carambola, C. San Ignacio, Manatí, Marapatá, Club Miami, Túnel del Amor y La Boca. Si se mira por

sectores, solo poseen aguas de calidad **aceptable (aptas)** para ambos parámetros microbiológicos El Cazote, Laguna Arena y La Boca.

- Para los indicadores de calidad microbiológica de agua ENT, según los límites establecidos por Normativas Internacionales (APA) para el tipo de agua estudiado solo están **aptas** para su uso asociado de las zonas C. Madre Casaña, C. San Ignacio y La Boca, si se toma en cuenta los sectores solo las Boca.
- La presencia de BHET en la Laguna, indican que hay una alta descomposición de materia orgánica y el sector donde se encontró la mayor abundancia fue en el Sector el Guapo.
- La presencia VIB, en 14 de las 16 zonas muestreadas indica que se debe tomar la precaución de informar a la comunidad que tome las previsiones necesarias para evitar enfermedades gastrointestinales producidas por el consumo de aguas o alimentos contaminados con esta especie.
- Tomando en cuenta el ACP las variables que representan un mayor peso en la variabilidad del sistema son sólidos suspendidos, turbidez, pH, salinidad, sólidos disueltos, conductividad, CT y BHET.
- Luego de todas las determinaciones realizadas en las distintas zonas del el complejo lagunar Laguna de Tacarigua se puede considerar como un ecosistema **vulnerable**, que posee conjunto de microambientes los cuales presentan características particulares como consecuencia de descargas directas de los diversos afluentes sin ningún tipo de tratamiento previo y del constante intercambio con aguas marinas y de la influencia de fenómenos climáticos como períodos de extensas sequías o de constante precipitación que afectan directamente la dinámica del sistema.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar la determinación de nitrógeno orgánico total, fosforo y de oxígeno disuelto, en todas las zonas de la Laguna de Tacarigua, para verificar la existencia de materia orgánica.
- Verificar la presencia de Hg en todas las zonas de la Laguna por medio de una técnica más sensible, como la vaporización en frío seguida de espectrofotometría de absorción atómica.
- Incluir en el monitoreo de calidad del agua de la Laguna, los afluentes que desembocan en la misma, 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 de la Laguna de Tacarigua.
- Establecer programas de monitoreo ambiental con la participación de equipos multidisciplinarios, entes gubernamentales y la comunidad, para brindar sus aportes desde su perspectiva a la actualización del Plan de Ordenamiento y Uso del Parque Nacional de la Laguna de Tacarigua de manera articulada, con el único fin de garantizar la conservación y el buen manejo del ecosistema lagunar.

8. REFERENCIAS

- [1] Ramsar Convention. **“Servicios de los ecosistemas de humedales”**. Disponible en: <www.ramsar.org/cda/es/ramsar-pubs-info-ecosystem-services/main/ramsar/1-30-103%5E24258_4000_2_>. Consultada: septiembre de 2010.
- [2] Ciencia Guayana. **“Humedales: ¿Pesca del futuro?”**. Disponible en: <Cienciaguayana.5.blogspot.com/2007/02/humedales-pesca-para-el-futuro.html>. Consultada: octubre de 2010
- [3] Spiniello, P. (1997). **“Estudio experimental de la limitación por nutrientes y del pastoreo por el zooplancton como mecanismos reguladores del fitoplancton de la Laguna de Tacarigua”**. Tesis de Doctorado, Universidad Central de Venezuela. Pgs.1-142.
- [4] Wetlands International y Cambio Climático Argentina. (2010). **“Informe del Taller sobre Humedales Costeros y Adaptación al cambio Climático”**. Argentina. Pgs. 1-22.
- [5] Mata, E. **“Cuidemos de nuestros humedales – una respuesta al cambio climático”**. Disponible en: <www.fundacionarmoniaglobal.blogspot.com>. Consultada: octubre de 2010.
- [6] Álvarez, J. (1996). **Ubicación, origen, características y problemática ambiental del Parque Nacional Laguna de Tacarigua**. Coordinación PNLT. Informe Técnico. Imparques.
- [7] Bird Life International. **“VE026. Parque Nacional Tacarigua”**. Disponible en. <www.birdlife.org > Data Zone. Consultada: octubre de 2010.
- [8] Novo T., Morales L., Martínez G., Rodríguez C. (1997). **“Ciencia y conservación en el sistema de Parques Nacionales de Venezuela: Una experiencia de cooperación interinstitucional”**. Componentes de estudios básicos del programa. Fortalecimiento del Sistema de Parques Nacionales de Venezuela. INPARQUES. Caracas Pgs. 15-35.

- [9] Flores, A. y Rodríguez, C. **“Aguas y su problemática”**. Disponible en: <www.sifoceo.com.mx>. Consultada: octubre de 2010
- [10] Davis, S. N y de Wiest (1971). **“Hidrogeología”**. Ediciones Ariel, Barcelona – España. Pg. 563
- [11] Drever, J.J; (1988). **The Geochemistry of Natural Waters**. Editorial Prentice Hall. Pg.435
- [12] Pitto, M. (2006). **“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. Pgs. 1-40.
- [13] Mason, B., Moore, C.B. (1982). **Principles of Geochemistry**. Ed. John Wiley y Sons, New York, U.S.A., 4° Edition, pp. 344.
- [14] Luque, M. eat. (2005). **“Gran Enciclopedia Espasa”**. Editorial Planeta. Colombia. Pgs. 6810 y 10147
- [15] Emison. **“Humedales Artificiales”**. Disponible en: <www.emison.es/medio-ambiente/.../humedales%20artificiales.pdf>. Consultada: octubre de 2010.
- [16] Diaz, D. **“Importancia de los Humedales”**. Disponible en: www.vitalis.net/actualidad/23.htm. Consultada: octubre de 2010.
- [17] Lillo, J. (2010). **“Técnicas Hidrogeoquímicas”**. Universidad Rey Juan Carlos. España. Pgs.1-140
- [18] **Parámetros fisicoquímicos como salinidad**. Disponible en: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-salinidad.pdf>. Consultada: octubre de 2010.

[19] Ministerio del Ambiente. (2006). **“Water Quality”**. British Columbia Approved Water Quality. Guidelines. V́ictoria, Columbia Británica, Canadá.

[20] 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. Pgs. 1-32.

[21] Guerrero, J. P., I. Pla-Sentís & R. Camacho. (2004). **“Génesis de un suelo sódico alcalino en Chaguaramas, Venezuela”**. Agronomía Tropical. Pgs: 54: 433-46026.

[22] Beita, W. (2008). **“Caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica”**. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Química. Universidad de Costa Rica. Pgs. 2-25.

[23] Benoit y Stephan. (1988). **“Ambient Aquatic Life Water Quality Criteria for Chloride”**. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, Duluth, Minnesota. EEUU.

[24] Osorio, A. & R. Céspedes. (2002). **“Efecto de Métodos de riego localizado en la salinidad del perfil de suelo en Vid de Mesa: Conductividad Eléctrica, Sodio, Cloro y Boro en distintos puntos del perfil”**. Técnica Agrícola. Pgs: 178-194.

[25] USEPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos). (2006). **“National Recommended Water Quality Criteria”**. Columbia, Washington, EE UU.

[26] Lenntech. **“Sulfatos en aguas”**. Disponible en: <http://www.lenntech.es/sulfatos.htm#ixzz17v6eJOdp>. Consultada: octubre de 2010.

[27] McNeely, R.; Neimanis & L. Dwyer. (1979). **“Water Quality Sourcebook: A guide to water quality parameters”**. Ottawa, Canada.

[28] **Diagramas Hidroquímicos**. Disponible en:

<www.bdh.lapampa.gov.ar/lapampa/common/themes/pampa/help/Diagramas_Hidroqu_micos.htm>. Consultada: octubre de 2010

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

[30] **Turbidez**. Disponible en:

http://gemini.industrial.edu.com/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/calaguas_cap6.pdf. Consultada: noviembre de 2010.

[31] Lenntech. “**pH y Alcalinidad**”. Disponible en: <<http://www.lenntech.es/ph-y-alcalinidad.htm#ixzz15VkclbIQ>> Consultada: noviembre de 2010.

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

[33] **Manual de Ecología Microbiana**. Disponible en: www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual. Consultada: mayo de 2011

[34] Lenntech. “**pH y Alcalinidad**”. Disponible en: <<http://www.lenntech.es/ph-y-alcalinidad.htm#ixzz15VkclbIQ>> Consultada: noviembre de 2010.

[35] CAMPOS. C. (1999). “**Indicadores de contaminación fecal en la reutilización de aguas residuales para riego agrícola**”. Tesis doctoral. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona. Pgs: 120-230.

[36] **Indicadores Microbiológicos**. Disponible en:

<<http://65.55.141.121/att/GetAttachment.aspx.files6336ec34.d87a-1f.0cb444ef6cf7.mht>>

Consultada: noviembre de 2010

[37] **Capitulo Enterococos.** Disponible en:
http://app1.semarnat.gob.mx/playas/nuevo/analisis_tecnico03.shtml. Consultada en:
noviembre de 2010.

[38] Donald J. Reasoner, Ph.D. “**Curso de Certificación de Microbiología (OPS). Recuento heterotrófico en placas**”. División de Contaminantes Microbiológicos, WSWRD, NRMRL Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos Cincinnati, Ohio 45268. Pgs. 1-16.

[39] Miravet, M. (2003). **Abundancia, actividad y diversidad de las bacterias heterótrofas en el Golfo de Batabanó y su uso como indicadores ambientales.** Habana Cuba. Pp. 190. Disponible en:
<[http://www.oceandocs.net/bitstream/1834/3398/1/MIRAVET%20ME_TESIS%20DOCTORADO conISBN.pdf](http://www.oceandocs.net/bitstream/1834/3398/1/MIRAVET%20ME_TESIS%20DOCTORADO%20conISBN.pdf)>. Consultada: octubre de 2011.

[40] **Evaluación de riesgos de Vibrio SPP en pescados y mariscos.** Disponible en:
<http://www.fao.org/docrep/008/y8145s/y8145s08.htm>. Consultada: noviembre de 2010.

[41] Fontáñez, Y. (2005). **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.** Puerto Rico. Pgs 3-5.

[42] Guzmán, B.; Ramírez, J. (1996), “**Estudio de la calidad microbiológica de las aguas superficiales en las bahías de Mayagüez y Añasco en Puerto Rico**”. Departamento de Salud Ambiental, Recinto de Ciencias Médicas, Universidad de Puerto Rico. Pgs.1-8.

[43] Pérez, F.; Prieto F.; Rojas A.; Galán, C.; Marmolejo, Y.; Santillán, C.; Castañeda, O.; Rodríguez, A.; y Barrado, E. (2003). **“Caracterización química de aguas subterráneas en pozos y un distribuidor de agua de Zimapán, Estado de Hidalgo”**. México. *Hidrobiológica* 13 (2). Pgs. 95-102.

[44] Stephen, J., Characklis. G.; Noble, R.; (2007). **“Sediment–water exchange of *Vibrio* sp. and fecal indicator bacteria: Implications for persistence and transport in the Neuse River Estuary, North Carolina, USA”**. Water Research. Disponible en: Journal Homepage: www.elsevier.com/locate/watres. Available: www.sciencedirect.com. Consultada: diciembre de 2010.

[45] Evanson, M., Ambrose R. (2005) **“Sources and grow dynamics of fecal indicator bacteria in a coastal wetland system and potential impacts to adjacent waters”**. Water Research. University of California at Los Angeles. Disponible en: Journal Homepage: www.elsevier.com/locate/watres. Available: www.sciencedirect.com. Consultada: diciembre de 2010.

[46] Méndez, M. (2007). **Contaminación costera en la zona de Xcalak, Quintana Roo**. Universidad Autónoma Metropolitana, División de Ciencias Biológicas y de la Salud. México. Pgs. 80-82.

[47] Álvarez, J.; Panta, J.; Ayala, C.; y Acosta, E. **“Estudio físico-químico de aguas de pozo de la provincia de Villa Claracuyo en el estado de Hidalgo de México en el período (2006-2007)”**. Pgs. 1-12. // Disponible en: www.scielo.cl/pdf/infotec/v19nc/art04.pdf. Consultada: noviembre de 2010.

[48] 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. Pgs. 150.

[49] Barrientos, Y.; Suárez C., Pacheco, H., Ruiz, S., Devia, B., Perdomo, Y. (2005). **“Calidad Microbiológica del agua y riesgo sanitario de dos acueductos rurales en el Estado Vargas, Venezuela”**. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Caracas, Venezuela.

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

[51] Navas, C. (2006). **“Caracterización y aspectos ecológicos de Vibrio spp., asociados a Litopenaeus schimitti (Decapoda, Penaidae) en tres zonas con distintos niveles de perturbación antropogénica en la laguna de Tacarigua, Edo. Miranda”**. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Biología. Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Pgs. 1-84.

[52] Novo T., Morales L., Martínez G., Rodríguez C. y Hertelandy I. (1997). **“Ciencia y Conservación en el sistema de Parques Nacionales de Venezuela: Una experiencia de cooperación institucional, Componentes de estudios básicos del programa. Fortalecimiento del Sistema Venezuela”**. INPARQUES, Caracas, Pgs. 15-35.

[53] Álvarez, J. (1996). **“Ubicación, origen, características y problemática ambiental del Parque Nacional Laguna de Tacarigua”**. Coordinación PNLT. Informe técnico INPARQUES. Pgs. 1-45.

[54] Birdlife org. **“Parque Nacional Laguna de Tacarigua”**. Disponible en: <www.birdlife.org/action/science/.../Ve_723-730.pdf>. Consultada: septiembre de 2010.

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

[56] Parkswatch.org. Venezuela, **Parque Nacional Laguna de Tacarigua**. Disponible en: <www.parkswatch.org/parkprofiles/pdf/tinp_spa.pdf> Consultada: octubre de 2010

[57] Olivo, M., (2008). “**El potencial incremento del nivel del mar como un resultado del cambio climático global en Venezuela: caso Cabo Cordera-Laguna de Tacarigua, Estado Miranda**”. Tesis Doctoral. Universidad Central de Venezuela. Caracas. Pgs. 224.

[58] Lentino, M. 1990. “**Importancia de los humedales costeros y de las aves acuáticas en Venezuela, Taller Sobre Aves Playeras Migratorias y sus Ambientes. 1990. BIOMA-Universidad del Zulia**” Caracas. Pgs. 96-112.

[59] Zumaeta, M. (2004). “**Manual para análisis básicos de calidad del agua de bebida**”. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima. Pgs. 1-123.

[60] Greemberg, A. (1992). “**Standard Methods. For the examination of wáter and waswater**”. 18 Edition 1992. Pgs: 5-1 y 5-3.

[61] Andreina, F. (2008). **Estudio hidrogeoquímico de las aguas subterráneas de los sectores Barbacoas. Edo. Aragua y Cachamas, Edo. Guárico**”. Caracas, Venezuela. Pgs. 40-108.

[62] Conde, J. (1996). **A profile of Laguna de Tacarigua, Venezuela: a Tropical Coastal Lagoon**. Interciencia 21(5) 282-292. Disponible en: <www.interciencia.org.ve>. Consultada: marzo de 2011.

[63] Jacson M. (1964). **Análisis Químico del Suelo**. Ediciones Omega. Barcelona 662pp.

[64] Gamboa et al (1971). **Estudio de las condiciones Hidrográficas y Químicas en la Laguna de Tacarigua**. Boletín. Instituto de Oceanografía. Oriente. 10 (2). Pgs. 55-72.

[65] **Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso. Parque Nacional “Laguna de Tacarigua”**. República de Venezuela. Presidencia de la República. Decreto n° 1643 de 5 de junio de 1991. Gaceta oficial n° 34.758 de 18 de julio de 1991.

[66] Linares A. (1996). **Distribución espacial y temporal de las bacterias acuáticas y su implicación en la calidad del agua de la Laguna de Tacarigua**. TEG.UCV. Pgs. 2-89.

[67] Roa, P (1990). **Parámetros ambientales de los sedimentos y la interface en la laguna de Tacarigua**. Caracas. TEG. UCV. Pgs. 50-75.

[68] Calzadilla, A. (1995). **Diagnóstico y evaluación del medio físico natural de la cuenca del río Guapo con fines de conservación y aprovechamiento del recurso pesquero en la Laguna de Tacarigua. Edo. Miranda**. Trabajo Especial de Grado. Licenciatura en Geografía. Facultad de Humanidades y Educación. U.C.V. Caracas.

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

[70] 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. Pgs. 203.

[71] Rivera, N,R., Encina, F. (2004). **La calidad de las aguas en los Ríos Cautín e Imperial, IX Región Chile**. Información Tecnológica- Volumen 5. N° 5. Pgs. 89-111.

[72] Bastardo, H. (1988). **Estudio del proceso de descomposición del Bosque de Manglar de la Laguna de Tacarigua**. Acta científica venezolana 39. Pgs. 184-185.

[73] Okuda, T. Benitez, J. (1985). **Evaluación comparativa de las condiciones hidrogeoquímicas en el Sistema Lagunar Tacarigua-Unare-Piritu**. Boletín del Instituto Oceanográfico de la Universidad de Oriente. Venezuela. 24 (1-2). Pgs. 199-211.

[74] Collins, A. (1975). **Geochemistry of oilfield waters**. Elsevier. Amsterdam. Holanda. Pgs. 496

[75] RODIER, J. (1981). **Análisis de Aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar**. Omega, Barcelona.

[76] Soares Paulo, Silva Carlos y Da Cruz Odir. (1996). **Pseudomonas aeruginosa como indicador en análisis bacteriológicas de aguas de abastecimiento público. Asociación Brasileña de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**. Tomo II-014.

Disponible en:
http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/Tesis/Basic/Marchand_P_E/concl.htm. Consultada: octubre de 2011.

[77] Vergaris. G. et al. (2006). **Enterococcus y Escherichia coli como indicadores de contaminación fecal en playas costeras de Lima**. Lima Perú.

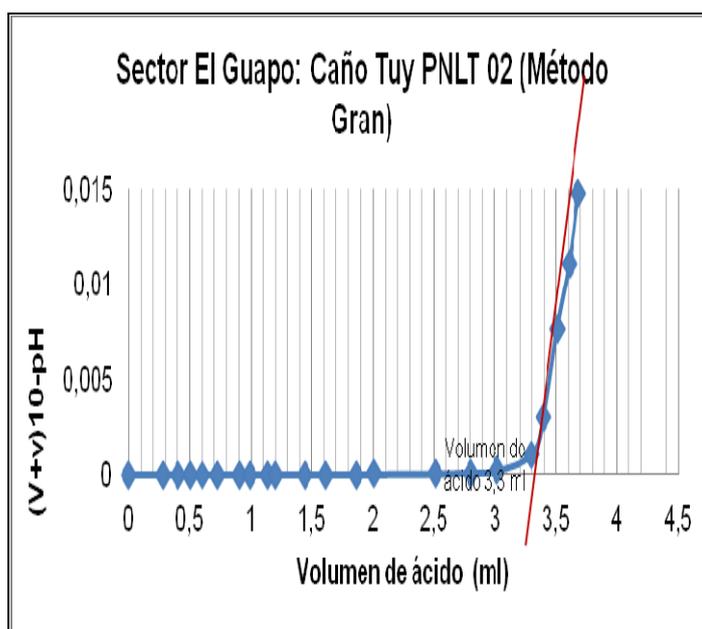
Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/iigeo/v10n20/a11v10n20.pdf>. Consultada: octubre de 2011.

9. APÉNDICE

9.1. Promedio y DEVEST de Parámetros Físicoquímicos

Parametros	PNLT 2					Promedio	DEVEST	PNLT 3					Promedio	DEVEST
pH	8,4	8,5	8,5	8,5	8,6	8,5	0,1	7,9	7,5	7,5	7,6	7,6	7,6	0,2
conductividad (µs/cm)	25700	24740	24430	24220	24880	24794	569	1009	269	849	1094	1241	892	376
temperatura (°C)	30,9	30,7	31	31,1	31,1	30,96	0,17	29,7	28,8	29,1	29,2	29,2	29,20	0,32
turbidez (NTU)	26	28	27	29	21	26	3	131	147	174	176	174	160,40	20
salinidad (%)	1,6	1,5	1,8	1,8	1,7	1,68	0,13	0,4	0	0,1	0,2	0,1	0,16	0,15
profundidad (m)	2,4	1,7	2,2	1,8	1,2	1,9	0,5	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,1
Parametros	PNLT 4					Promedio	DEVEST	PNLT 6					Promedio	DEVEST
pH	7,4	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	0,1	6,7	6,9	6,9	6,9	7,0	6,9	0,1
conductividad (µs/cm)	164	165	162	162	162	163	1	262	277	241	253	1076	422	366
temperatura (°C)	27	26,8	26,6	26,7	26,8	26,78	0,15	26,6	26,4	26,6	26,5	27,1	26,64	0,27
turbidez (NTU)	142	144	144	140	144	143	2	34	29	26	23	21	27	5
salinidad %	0	0	0	0	0	0,0	0,00	0	0,02	0,01	0,01	0,07	0,02	0,03
profundidad (m)	1,01	1,13	1,48	1,77	2,19	1,52	0,48	1	1,3	0,7	1,5	1,0 M	1,13	0,59
Parametros	PNLT 6					Promedio	DEVEST	PNLT 7					Promedio	DEVEST
pH	7,7	8,2	8,0	8,0	7,0	7,8	0,5	7,2	7,1	7,0	7,0	7,0	7,1	0,1
conductividad (µs/cm)	4890	13890	10670	16100	16300	12370	4757	996	813	899	1096	679	896,60	161
temperatura (°C)	29,2	29,6	29,6	29,7	27,1	29,04	1,10	27,4	29,2	29,1	29,4	26,7	28,36	1,23
turbidez (NTU)	64	34	43	13	21	35	20	20	18	18	14	11	16	3
salinidad %	1,51	1,35	0,67	0,94	0,07	0,91	0,57	0,05	0,08	0,04	0,04	0,02	0,05	0,02
profundidad (m)	1,7	1,7	1,7	1,8	1,0	1,6	0,3	1,2	1,0	1,1	1,1	1,0	1,1	0,1
Parametros	PNLT 8					Promedio	DEVEST	PNLT 9					Promedio	DEVEST
pH	6,7	6,8	6,8	6,7	6,7	6,7	0,0	7,5	7,8	7,9	7,7	7,7	7,7	0,1
conductividad (µs/cm)	421	338	368	403	457	397	46	1014	14970	15000	13770	13680	11687	6000
temperatura (°C)	30,1	28,7	29,3	29,9	29	29,40	0,59	30,5	30,6	30,8	30,5	30,5	30,58	0,13
turbidez (NTU)	20	20	23	20	22	21	2	6	10	9	9	10	9	1
salinidad %	0,05	0,08	0,04	0,04	0,02	0,05	0,02	0,78	0,87	0,86	0,79	0,78	0,82	0,05
profundidad (m)	0,6	1,2	1,1	1,1	1,3	1,1	0,3	1,4	1,6	1,7	1,9	1,7	1,7	0,2
Parametros	PNLT 10					Promedio	DEVEST	PNLT 11					Promedio	DEVEST
pH	7,5	7,5	7,9	8,2	7,5	7,7	0,3	8,4	8,0	8,4	8,3	8,4	8,3	0,2
conductividad (µs/cm)	6550	6550	9270	10790	6820	7996	1936	31600	18850	31600	31700	31500	29050	5702
temperatura (°C)	31,8	31,8	31,1	30,7	31,2	31,32	0,48	29,9	26,8	29,8	29,8	29,5	29,16	1,33
turbidez (NTU)	11	19	16	15	19	16	3	14	9	12	16	8	12	3
salinidad %	0,59	0,54	0,65	0,75	0,47	0,60	0,11	1,92	1,93	1,93	1,96	1,92	1,93	0,02
profundidad (m)	1,2	1,2	1,1	1,3	1,7	1,3	0,2	1,4	1,1	0,4	0,8	2,0	1,1	0,6
Parametros	PNLT 12					Promedio	DEVEST	PNLT 13					Promedio	DEVEST
pH	8,3	8,3	8,3	8,4	8,3	8,3	0,0	7,2	7,4	7,4	7,4	7,5	7,4	0,1
conductividad (µs/cm)	32500	32700	32800	32800	32800	32720	130	27800	26900	28490	27110	25660	27192	1060
temperatura (°C)	29,2	29,2	29,1	29,3	29,3	29,22	0,08	28,4	27,8	28,1	27,6	27,3	27,84	0,43
turbidez (NTU)	8	10	10	9	14	10	2	23	22	23	24	14	21	4
salinidad %	1,99	2,03	2,01	2	2,02	2,01	0,02	1,9	1,9	1,9	1,75	1,57	1,80	0,15
profundidad (m)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,0	0,7	0,6	0,8	0,9	0,6	0,7	0,1
Parametros	PNLT 14					Promedio	DEVEST	PNLT 16					Promedio	DEVEST
pH	8,5	8,6	8,6	8,6	8,6	8,5	0,1	8,2	8,3	8,2	8,2		8,2	0,0
Conductividad (µs/cm)	24750	24710	25180	25200	25420	25052	309	28470	29230	28500	28280		28620	418
Temperatura (°C)	29,7	29,4	30,3	29,8	29,7	29,78	0,33	31,5	31,1	31	31,2		31,20	0,22
Turbidez (NTU)	15	12	9	10	10	11	3	2	11	8	11		8	4
Salinidad (%)	1,48	1,48	1,51	1,51	1,5	1,50	0,02	1,76	1,79	1,71	1,66		1,73	0,06
Profundidad (m)	1,3	1,2	1,0	1,2	1,1	1,2	0,1	0,7	0,7	1,0	1,6		1,0	0,4
Parametros	PNLT 18					Promedio	DEVEST	PNLT 19					Promedio	DEVEST
pH	8,1	8,0	8,2	8,4	8,1	8,2	0,2	8,7	8,8	8,7	8,7	8,7	8,7	0,03
Conductividad (µs/cm)	23200	18340	18410	16360	17320	18726	2638	51110	50100	49990	50300	50500	50400	442
Temperatura (°C)	31,4	30,1	29,2	30,1	30,4	30,24	0,79	29,20	29,40	30,00	29,40	29,60	29,52	0,30
Turbidez (NTU)	24,0	82,0	25,0	19,2	17,8	33,6	27,2	6,2	5,9	5,8	5,3	5,8	5,8	0,3
Salinidad (%)	1,71	1,69	1,35	1,69	1,85	1,66	0,18	3,25	3,20	3,21	3,20	3,22	3,22	0,02
Profundidad (m)	1,0	1,0	0,9	0,8	1,4	1,0	0,2	2,7	2,7	1,0	3,4	2,2	2,4	0,9

9.2. Alcalinidad: Gráficos para determinar el Volumen de ácido ideal y la ecuación para la determinación de la alcalinidad en mg/l de HCO_3^- .



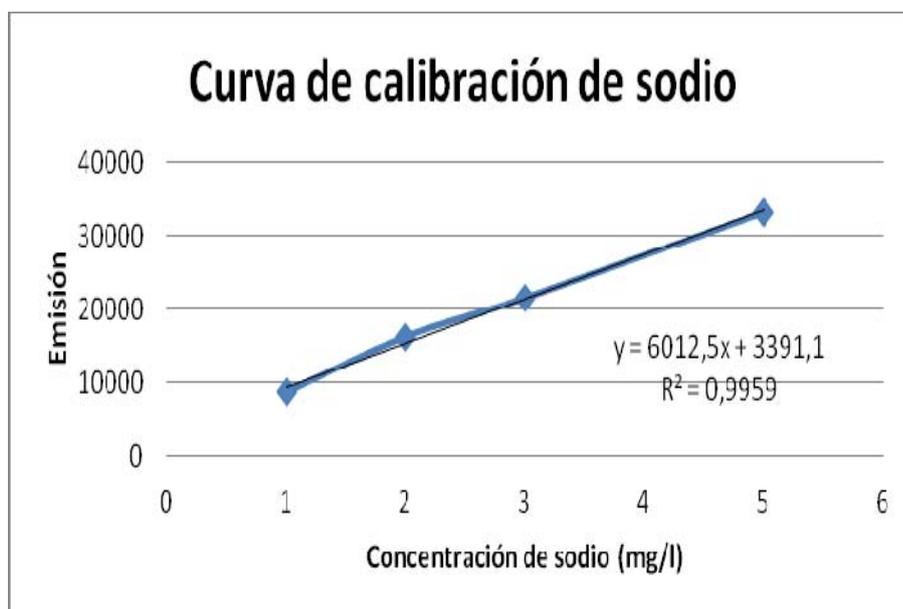
$$\text{Alcalinidad} \left(\text{mg } \text{HCO}_3^- / \text{l} \right) = \frac{(M \text{ ácido} \times \text{Volumen ácido}) \times 50000}{\text{Volumen } M_x} \times 1,22$$

9.3. Sólidos suspendidos: Ecuación utilizada para determinar la cantidad de sólidos suspendidos por 1l de muestras de agua analizada

$$\text{Sólidos}_{\text{suspendidos}} (\text{mg } /) = \frac{[(\text{Masa filtro} + \text{Masa muestra}) - \text{Masa filtro}] \text{ mg}}{\text{Volumen Agua} (l)}$$

9.4. Curva de calibración de Sodio: Valores utilizados para realizar la curva de Na y el límite de detección y el límite de cuantificación calculados con ayuda de Excel.

Patrones(mg/l)	Señal (emisión)
0	0
1	8703
2	16264
3	21558
5	33177

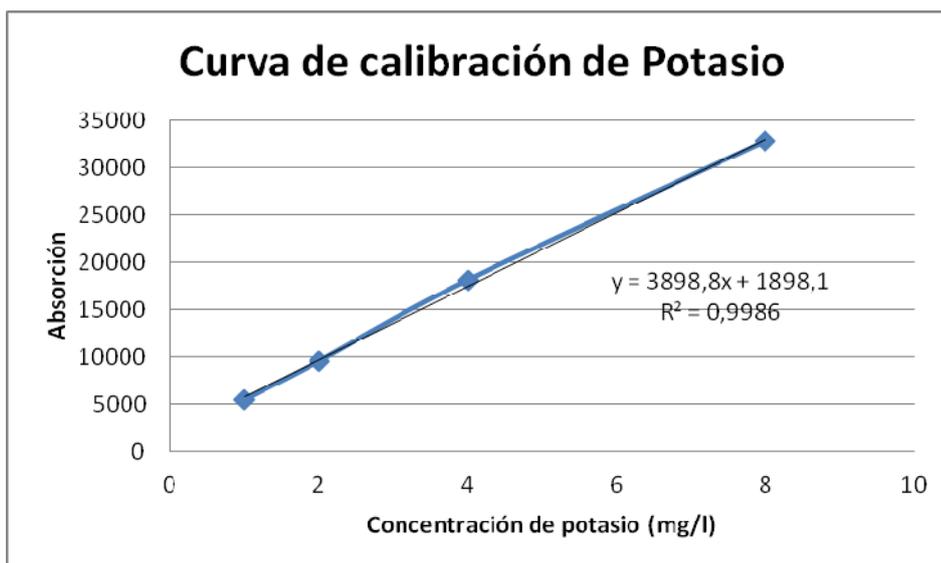


LD = (3* Error Típico Intercepción) / pendiente		Error del intercepto
LD	0,136	272,8712

LC = (10* Error Típico Intercepción) / pendiente		Error del intercepto
LC	0,454	272,8712

9.5. Curva de calibración de Potasio: Valores utilizados para realizar la curva de K y el límite de detección y el límite de cuantificación calculados con ayuda de Excel.

Patrones (mg/l)	Señal (Emisión)
1	5513
2	9589
4	18150
8	32822

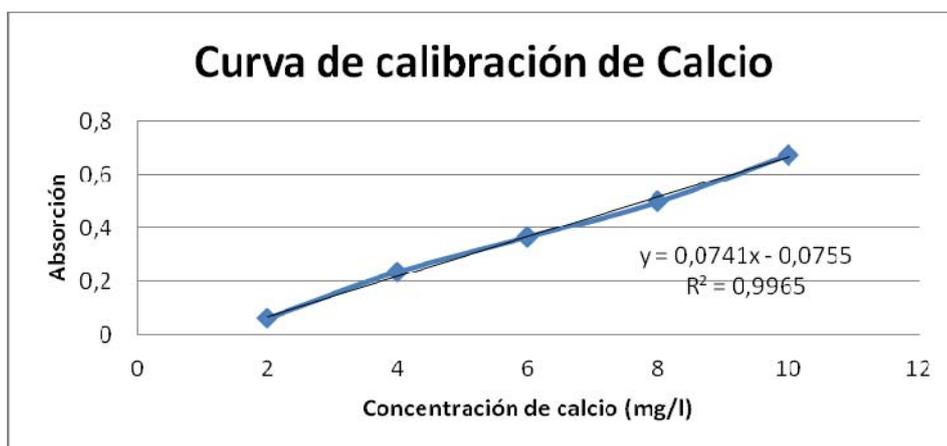


LD = (3* Error Típico Intercepción) / pendiente	Error del intercepto
LD	0,078

LC = (10* Error Típico Intercepción) / pendiente	Error del intercepto
LC	0,261

9.6. **Curva de calibración Calcio:** Valores utilizados para realizar la curva de Ca y el límite de detección y el límite de cuantificación calculados con ayuda de Excel.

Patrones (mg/l)	Señal (Absorción)
2	0,065
4	0,238
6	0,367
8	0,499
10	0,675

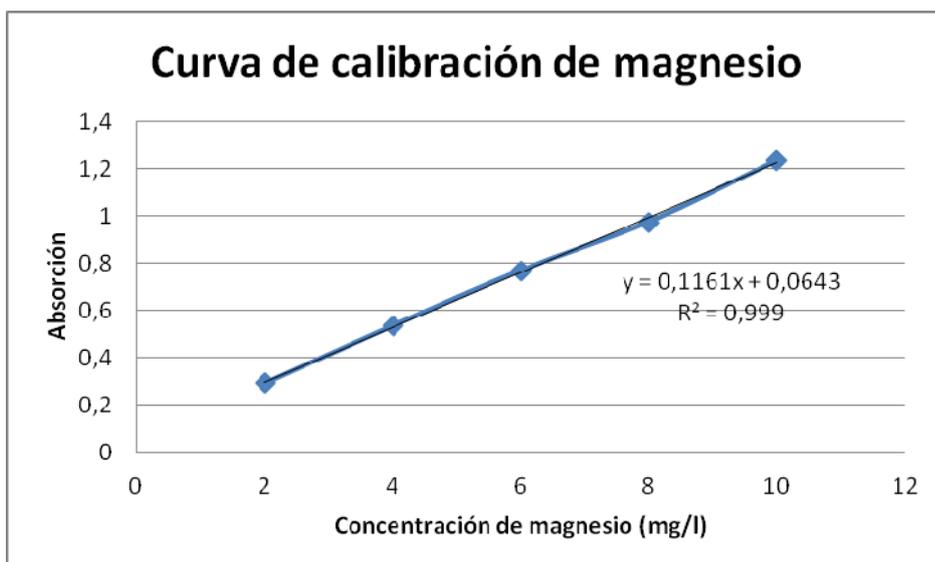


LD = (3* Error Típico Intercepción) / pendiente	Error del intercepto
LD	0,103

LC = (10* Error Típico Intercepción) / pendiente	Error del intercepto
LC	0,344

9.7. Curva de calibración de Magnesio: Valores utilizados para realizar la curva de Magnesio y el límite de detección y el límite de cuantificación calculados con ayuda de Excel.

Patrones (mg/l)	Señal (Absorción)
2	0,292
4	0,535
6	0,769
8	0,974
10	1,233

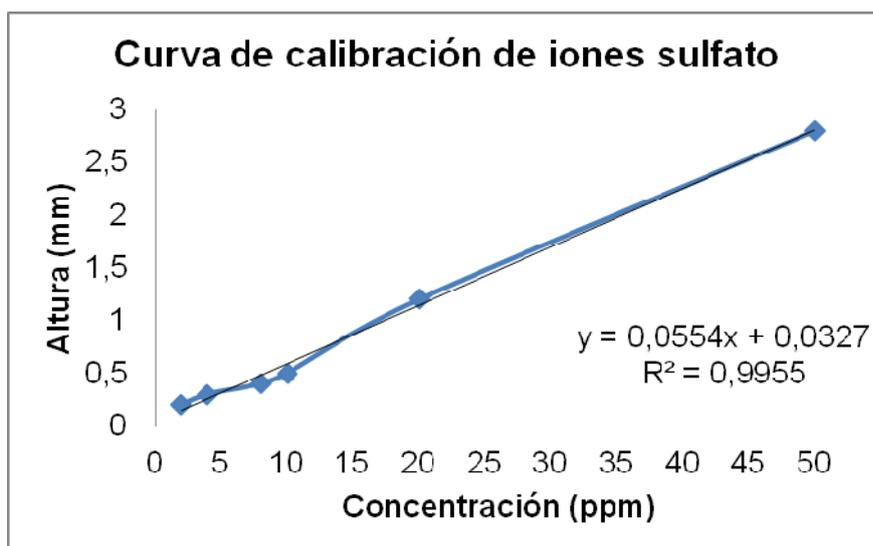


LD = (3* Error Típico Intercepción) / pendiente	Error del intercepto
LD	0,055

LC = (10* Error Típico Intercepción) / pendiente	Error del intercepto
LC	0,184

9.8. Curva de calibración de sulfatos: Valores utilizados para realizar la curva de iones Sulfato y el límite de detección y el límite de cuantificación calculados con ayuda de Excel.

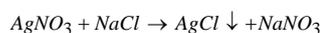
Patrón mg/l	Altura (mm) Sulfatos
2	0,2
4	0,3
8	0,4
10	0,5
20	1,2
50	2,8



LD = (3* Error Típico Intercepción) / pendiente		Error del intercepto
LD	0,100	0,0019

LC = (10* Error Típico Intercepción) / pendiente		Error del intercepto
LC	0,334	0,0019

9.9. Obtención de cloruros por titulación con nitrato de plata



$$(mg/l)_{Cl^-} = \frac{M_{AgNO_3} * V_{AgNO_3} * P_{atomoCl} * 1000}{V_{muestra}}$$

9.10. Obtención de DQO: se obtiene a través de la siguiente ecuación.

$$mg/l_{O_2} = \frac{\left(V_{blanco} - V_{FAS \text{ (consumido)}} \right) * Concentración_{FAS} * 8000}{V_{mx}}$$

Donde:

V_{blanco} = es el volumen de blanco (agua destilada) con todo el tratamiento indicado en la metodología.

V_{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.

9.11. Obtención de la abundancia de los diferentes microorganismos estudiados.

Se obtuvo la abundancia para cada microorganismo a partir de la siguiente ecuación:

$$Titulo = \frac{n^{\circ} colonias * Factor_{dilución}}{V_{siembra} (ml)}$$

9.12. Balance Iónico

Se determina a través de la siguiente ecuación.

$$\% BI = \left[\frac{\left(\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones} \right)}{\left(\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones} \right)} \right] \times 100$$

Donde:

Σ cationes= sumatoria de los cationes determinados, en meq/L

Σ aniones= sumatoria de los aniones determinados, en meq/L

9.13. Calculo 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 (CI) 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:

$$CI_{\text{cationes}} (\mu\text{S/cm}) = \Sigma (C_{\text{cationes}} \times \mu_{\text{cationes}}) + [H^+] \times 1000 \times 349,8$$

Donde C_{cationes} es la concentración determinada de cada uno de los cationes mayoritarios en miligramos por litro (mg/L) y μ_{cationes} es la conductividad equivalente iónica de cada especie catiónica en microsiemens-litro por centímetro-miligramos ($\mu\text{S-L/cm-mg}$) a 25 °C y $[H^+]$ es la concentración de los protones del agua, determinado a partir de la medida del pH.

Tomando en cuenta sólo la contribución aniónica, la conductividad ideal obedece a la siguiente ecuación:

$$CI_{aniones} (\mu S/cm) = \Sigma (C_{aniones} \times \mu_{aniones})$$

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 $\mu S-L/cm-mg$ a 25 °C.

Finalmente, la conductividad ideal total a 25 °C para una muestra de agua en particular es:

$$CI (\mu S/cm) = CI_{cationes} + CI_{aniones}$$

Conductividades equivalentes de los iones en solución a 25 °C (Cravotta, 1986) Especie iónica	Conductividad a 25 °C ($\mu S-L/cm-mg$)
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