

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO HENRÍQUEZ UREÑA

Facultad de Ciencias y Tecnología

Escuela de Química

**“Indicadores Físico-Químicos Y Biológicos Del Proceso De Eutrofización Del
Oeste Y Norte Del Lago Enriquillo”**



Trabajo de grado presentado por:

Emely Paola Rodríguez Guzmán

Pegui Franchesca Liriano Mateo

Raisa Pérez

Para optar por el título de

Ingeniera Química

Santo Domingo, República Dominicana

2017

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Vida, maestra de todos nosotros. A mis padres Paula Guzmán y Tomás Rodríguez por siempre haber confiado en mí, estar presentes y apoyarme. A mis hermanos Tomás E. y Emmanuel por brindarme su ayuda al necesitarlos. A mis abuelas Claudelina de la Cruz y Felicia Reyes por su apoyo y amor. A mi profesor Pablo Vargas, por ser quien inconscientemente me invitara a estudiar esta carrera.

Agradezco a la Fundación Brugal y a FUDPHU por darme la oportunidad de estudiar lo que amo. A mis amigos Andrickson Núñez y Harlow Malexis Jiménez, a mis colegas Guillermina Florián, Ramón Pérez, Francis Santos, Alan Díaz, Jose Paulino y Eriennys Abreu por estar y brindar su granito de arena durante mi proyecto.

Agradezco a mis compañeras Raisa Pérez y Franchesca Liriano, por su dedicación y entrega. A Arismendis Gómez por su ayuda. A nuestros asesores Doris Peña y Emgelberth Vargas por sus consejos y enseñanzas. A todos los que nos apoyaron.

Emely Paola Rodríguez Guzmán

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Dios, por ayudarme a alcanzar esta meta. A mis padres, Pelagia Mateo y Francisco Liriano, y a mis hermanos por apoyarme y confiar en mí. A mis amigas, July Reyes, Denisse Gonzalez y Vilenia Peguero, por estar siempre presentes, creyendo en mí.

Agradezco a mis colegas Nicole Ortega, Lissa Rubio, Ambar Ventura y Gregory Ferreras por su amistad, cooperación y aliento durante el transcurso. A mis compañeros Rafael Garcia, Ana Hernández, Julia Perozo y Francisco Martinez por brindarme su apoyo y amistad durante la primera parte de mi carrera universitaria.

Agradezco a la UNPHU por darme la oportunidad de ser parte de su equipo de estudio. A mis profesores, gracias a su dedicación. A mis compañeras, Emely Rodriguez y Raisa Pérez. A mis asesores, Doris Peña y Emgelberth Vargas por su aporte y apoyo. A toda persona que de una u otra forma fue parte de este proyecto, en especial a Arismendis Gomez, Ramón Pérez, Alan Díaz, Jose Paulino y Eriennys Abreu.

Pegui Franchesca Liriano Mateo

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios, por ser el motor que me impulso a seguir adelante por encima de las adversidades. A mis familiares, en especial a mi madre Austria Pérez, por haberme apoyado a lo largo de todo este camino. A mi querido esposo Raúl Mejía por siempre apoyarme en los momentos más difíciles y por la familia tan hermosa que tenemos.

Agradezco a la Fundación Brugal y a FUDPHU por su confianza y ayuda económica. A Arismendis Gómez, Alan Díaz, Jose Paulino y Eriennys Abreu por ser entes importantes en la culminación de este logro.

Agradezco a todos los que me han ayudado y estuvieron conmigo en los momentos de alegría, tristeza y que nunca me dejaron sola en este trayecto tan importante en mi vida, a ti: Medeline Amador y Guillermina Feliz Florián. A mis queridas colegas y compañeras: Emely Rodríguez y Franchesca Liriano. A todos mis maestros que me enseñaron a valorar los estudios y a superarme cada día, en especial a mis asesores Emgelberth Vargas y Doris Peña.

Raisa Pérez

DEDICATORIA

DEDICATORIA

A la Vida, a mis padres, Paula Guzmán y Tomás Rodríguez, a mis hermanos, Tomás E. y Emmanuel, al Lic. Pablo Vargas, a toda persona curiosa y persistente.

Emely Paola Rodríguez Guzmán

A Dios, a mis padres Pelagia Mateo y Francisco Liriano, a mis hermanos, Farah y Frandy Liriano, a toda mente apasionada por la investigación.

Pegui Franchesca Liriano Mateo

A Dios, a mi familia, en especial a mi madre Austria Pérez, a mi esposo, Raúl Mejía, al Lic. Manuel Jiménez, a toda persona luchadora y perseverante.

Raisa Pérez

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA.....	v
ÍNDICE.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	11
OBJETIVOS	14
Objetivos Generales.....	15
Objetivos Específicos.....	15
PRIMERA PARTE	
MARCO TEÓRICO	
CAPÍTULO I Marco Descriptivo Lago Enriquillo	17
I.1 Ubicación.....	18
I.2 Geología.....	19
I.3 Suelos de la Hoya del Enriquillo	19
I.4 Islas en el Lago.....	20
I.5 Salinidad	21
I.6 Temperatura y pH.....	21
I.7 Climatología.....	22
I.8 Hidrografía.....	23
I.9 Diversidad Biológica.....	24
I.9.1 Fauna.....	24
I.9.2 Flora	25
I.10 Turismo.....	25
I.11 Perfil Económico.....	26
I.12 Oscilación Natural del Lago Enriquillo	27
I.12.1 Fases de la ONLE	28
I.12.2 Fases de la Última Crecida	29
I.13 Estudios Previos.....	31
CAPÍTULO II Marco Conceptual	37
II.1 Estado Trófico	38
II.2 Causas de la Diversidad Trófica.....	39

II.3 Eutrofización.....	39
II.4 Causas de la Eutrofización.....	40
II.5 Proceso Eutrofización y Alteraciones Físico-Químicas y Biológicas del Agua	41
II.6 Cambios en Proceso de Eutrofización Indicadores del Estado Eutrófico.....	43
II.6.1 Indicadores del Estado Eutrófico.....	43
II.6.2 Indicadores Físicos.....	44
II.6.2.1 Color	44
II.6.2.2 Olor y sabor	45
II.6.2.3 Temperatura	45
II.6.2.4 Espuma	46
II.6.2.5 Sólidos Totales	47
II.6.2.6 Conductividad	47
II.6.3 Indicadores Químicos.....	48
II.6.3.1 pH y Gases Disueltos en el Agua	48
II.6.3.2 Oxígeno Disuelto	49
II.6.3.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno	50
II.6.3.4 Demanda Química de Oxígeno	51
II.6.3.5 Relación entre DBO y DQO	52
II.6.3.6 Fósforo Total	52
II.6.3.7 Dureza Total	53
II.6.4 Indicadores Biológicos.....	54
II.6.4.1 Clorofila α	55
II.6.4.2 Fitoplancton	55
II.6.4.3 Macrófitos	57
II.6.4.4 Coliformes Totales	57
II.7 Efectos Secundarios de la Eutrofización.....	57

SEGUNDA PARTE

ASPECTOS PRÁCTICOS

CAPÍTULO III Metodología.....	60
III.1 Protocolo y Puntos de Muestreo.....	62
III.2 Métodos.....	63
III.2.1 Potenciometría.....	63

III.2.2 Método Volumétrico.....	64
III.2.3 Método del secado.....	65
III.2.4 Conductimetría.....	66
III.2.5 Método del Numero Más Probable.....	66
III.2.6 Método del DBO en 5 días.....	67
III.2.7 Método de Reflujo Abierto.....	68
III.2.8 Digestión del Persulfato de Amonio.....	68
III.3 Muestreo.....	69
CAPÍTULO IV Resultados	71
CAPÍTULO V Análisis de Resultados	77
TERCERA PARTE	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
CAPÍTULO VI Conclusiones.....	89
CAPÍTULO VII Recomendaciones.....	93
CUARTA PARTE	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
Bibliografía.....	96
Web-grafía.....	97
QUINTA PARTE	
ANEXOS	
Anexo 1	
Glosario.....	106
Anexo 2	
Figuras.....	111
Anexo 3	
Mapas	118
Anexo 4	
Tablas.....	124
Anexo 5	
Reportes de Análisis	135

Anexo 6	
Artículos.....	144
Anexo 7	
Imágenes.....	148
Anexo 8	
Documento Análisis Antiplagio	161

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Los lagos y lagunas son ambientes que sufren procesos de envejecimiento o colmatación. Estos sistemas reciben el aporte de materiales provenientes de la cuenca, los cuales van sedimentando con el transcurso del tiempo, reduciendo el volumen de los cuerpos de agua e incrementando gradualmente la carga de nutrientes.

La eutrofización es el enriquecimiento de un ecosistema de agua o suelo mediante la adición de nutrientes, que se traduce en un crecimiento excesivo de plantas, algas u otros productores primarios. Este puede ser un proceso natural o el resultado de la actividad humana.

El fósforo y la clorofila α se reconocen como indicadores aptos para identificar el estado trófico de un sistema acuático. Estos y otros parámetros se relacionan con los cambios físicos, químicos y biológicos presentados en el ecosistema.

A partir del análisis de estudios anteriores y de la observación del ecosistema a lo largo del tiempo se estima que el lago Enriquillo presenta indicios de eutrofización desde antes del año 1986; a pesar de que ninguna organización se haya concentrado en estudiar y clasificar sus aguas según su estado de trofia.

En el libro del Limnólogo Ramón Margalef, de título *Oecología Acuática*, se encuentra el capítulo *Limnología del lago Enriquillo*. El autor menciona en los pasajes descriptivos que en el 1986 el lago muestra la presencia de muchas algas y que sus aguas presentan una turbidez de magnitud suficiente para que el disco de Secchi no pueda notarse bajo un metro de profundidad: dos cualidades que son de los principales indicadores de eutrofización utilizados para clasificar una cuenca.

La República Dominicana no posee un plan para seguir las variaciones por estaciones de las aguas del lago Enriquillo, que pueden verse afectadas de forma natural por el paso del tiempo, o por actividades humanas. La presente investigación trazará una línea base para posteriores estudios de los nutrientes en el agua del lago.

El conocimiento del estado trófico es importante y útil para crear un plan de preservación de los recursos naturales, un programa de monitoreo y control en las oscilaciones positivas del lago, y un plan para concienciar a la población aledaña sobre el uso del agua, consumo de peces y plantas que se sustentan de las aguas del lago en estudio.

La investigación se centra en identificar y evaluar los nutrientes provenientes de la parte oeste y norte del lago Enriqueillo, debido al proceso de contaminación causado por el aumento del volumen hídrico por su oscilación natural. Estos datos son importantes para clasificar el acuífero según el estado trófico y sirven de base para futuras investigaciones, acerca del porqué se producen estos efectos y las posibles medidas de prevención.

La investigación está estructurada por partes que se conjugan en capítulos y subtemas. La introducción y los objetivos sirven para establecer la base de la misma. La primera parte está dividida en dos marcos: el marco descriptivo, que ilustra la cuenca estudiada en términos de sus características actuales, y el marco conceptual, que puntualiza todas las nociones significativas del tema eutrofización.

La segunda parte se compone por los aspectos prácticos que son la metodología utilizada para el muestreo y la presentación de los resultados. En la tercera parte se resume toda la información en conclusiones y recomendaciones. La cuarta parte es exclusiva para las fuentes bibliográficas consultadas; y la última parte, la quinta, contiene todos los anexos.

La investigación presenta cinco limitantes en el transcurso del estudio. Inicialmente se tenía planeado muestrear en siete zonas del lago, pero al llegar al perímetro del mismo se notó que no en todos los lugares pensados se podía tener un acceso libre de riesgos.

El equipo de análisis in situ presentó incoherencias respecto a datos que deben ser puntuales y estables para un análisis efectivo, por lo que no se pudo medir características físicas y químicas, tales como la temperatura y el oxígeno disuelto en el momento de muestreo.

La limitada cantidad de recursos económicos impidió que se hiciera un segundo día de campo para muestrear nuevamente las zonas anteriormente visitadas.

OBJETIVOS

Objetivos Generales

- Identificar los parámetros que servirán de indicadores físico-químicos y biológicos del proceso de eutrofización de la parte oeste y norte del lago Enriquillo.
- Evaluar los indicadores físico-químicos y biológicos del proceso de eutrofización de la parte oeste y norte del lago Enriquillo.

Objetivos Específicos

- Determinar los principales indicadores de eutrofización: fosforo total (P total) y clorofila α (Clorf α) de las aguas de la parte oeste y norte del lago Enriquillo.
- Determinar las características físico-químicas: pH, dureza total (D Total), conductividad (σ), sólidos totales (ST) y demanda química de oxígeno (DQO) de las aguas de la parte oeste y norte del lago Enriquillo.
- Establecer los niveles de contaminación determinando la demanda biológica de oxígeno (DBO) y los coliformes totales de las aguas de la parte oeste y norte del lago Enriquillo.
- Analizar cualitativamente los parámetros: color, olor y presencia de algas macrófitos, de las aguas de la parte oeste y norte del lago Enriquillo.

PRIMERA PARTE

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO I

MARCO DESCRIPTIVO LAGO ENRIQUILLO

CAPÍTULO I MARCO DESCRIPTIVO LAGO ENRIQUILLO

El nombre del lago Enriquillo proviene del cacique indígena Enriquillo, el cual se sublevó contra los españoles en la Sierra de Bahoruco durante el siglo XVI. Los geólogos nacionales lo han considerado como un sitio único en el mundo desde el año 1985. El lago es el mayor de las Antillas y forma parte del Parque Nacional Lago Enriquillo e Isla Cabritos desde 1986 y de la Reserva de Biosfera de Jaragua-Bahoruco-Enriquillo.

En el año 2016, el lago Enriquillo se extendió a 375 kms², razón por la cual disminuyó su salinidad hasta el punto de ser inferior a la del mar. Su clasificación corresponde al tipo de agua superficial clase D-2 por su gran valor ecológico, y se caracteriza por ser endorreico, es decir que sus aguas no tienen salida hacia el océano.

El lago es el remanente de un canal marino que existió hace 5 millones de años cuando se cerró la placa tectónica ubicada en una hoya natural y se extiende dentro de la Hoya unos 404 km² aproximadamente.

En el año 2009 tiene una longitud de 35 km y de anchura 12 km. Goza de ser el punto más bajo en el Caribe al estar situado a una profundidad aproximada de 30 a 40 metros (m) bajo el nivel de mar. Periódicamente sus aguas son aumentadas en tamaño y disminuidas paulatinamente, debido a procesos naturales que causan el escurrimiento de aguas superficiales hacia el lago y más tarde la evaporación de sus aguas. Su profundidad máxima es de 24 metros.

I.1 Ubicación

El lago Enriquillo se localiza en el valle de Neiba entre las provincias Bahoruco e Independencia al suroeste de la República Dominicana. Tiene sus límites al norte en la Sierra de Neiba y al sur en la Sierra de Bahoruco, en la parte oeste la línea fronteriza con Haití y al este una divisoria de aguas que lo separa de la Laguna de Cabral.

Alrededor del lago se encuentran municipios de gran importancia como Jimaní, La Descubierta, Duvergé, Villa Jaragua y Neiba. Las coordenadas geográficas de la ubicación del lago son 18° 29' 8" norte, 71° 36' 55" oeste.

I.2 Geología

El lago Enriquillo ocupa el fondo de una plegadura hacia abajo del graben de Enriquillo comprendido entre las fallas normales que se observan en la Sierra de Neiba por la parte norte y la Sierra de Bahoruco por la parte sur.

Hace 5 millones de años se forma el lago Enriquillo junto con el lago Azuei del vecino país Haití. Y unos 10 millones de años atrás, éste ojo de mar le pertenece a un canal marino que divide dos paleoislas. Es el tiempo geológico en el que el fondo del lago es un brazo de mar que se extiende desde la bahía de Neiba, en dominicana, hasta el golfo de Gonaives en Haití.

La Hoya del lago Enriquillo se crea en el mioceno por movimientos tectónicos de las placas de N-Americana y el Caribe. Esto durante dos períodos geológicos hasta que ocurren nuevos movimientos tectónicos, en los inicios del pleistoceno, donde se desplazan las cordilleras. Este canal marino comienza a secarse lentamente, por procesos simultáneos de emersión, evaporación y sedimentación, hasta adquirir la forma actual. Al quedar cerrado dicho canal sus ocupan las depresiones a ambos lados del anticlinal de Jimaní, de esta manera en el oeste queda el lago Etang Sumatre y Trou Caiman, y en la parte oriental el lago Enriquillo y la Laguna Del Ricon.

I.3 Suelos de la Hoya del Enriquillo

El lago Enriquillo está orlado por una terraza de caliza coralífera cuya altura es de unos 35 metros sobre el nivel del mar. Esta caliza se encuentra notablemente desarrollada en Neiba y Duvergé. En varios lugares hacia el este fue reconocida como una caliza plana.

Este lago posee orillas con fondo duro donde predominan las placas de roca caliza con sales depositadas por el mismo lago a través de la alta evaporación en las playas, encontrándose mayormente en la costa sur del lago y partes de la isla Cabritos. En torno al mismo, se aprecian calizas arrecifales del eoceno-mioceno, y en los restos del techo se aprecian los arrecifes holoceánicos.

En la cuenca, los suelos de la zona del lago Enriquillo están compuestos por materiales con alta capacidad de almacenamiento de agua como lo son los abanicos y terrazas aluviales, además de tener caliza y conglomerados.

I.4 Las islas

El lago contiene tres pequeñas islas: la isla Cabritos, la única visible en la actualidad; la Barbarita y la Islita. Entre ellas la isla Cabritos es la más importante, y las otras dos tienen la particularidad de que, en tiempos de sequías prolongadas, se convierten en penínsulas pudiéndose llegar a ellas caminando, mientras que para épocas de grandes tormentas pueden encontrarse bajo el nivel de las aguas del lago.

En el 1974, la Isla Cabritos es declarada como parque nacional. Esta cuenta con un área de 30 km², extendiéndose 12 km en su lado más largo y 2.5 km en su lado más ancho y se encuentra situada a 40 metros bajo el nivel del mar.

Los suelos de la Isla Cabritos están formados por depósitos lacustres marinos, básicamente arenas calcáreas, fragmentos de coral y restos de conchas de moluscos impermeables. Este tipo de suelo, común en zonas de playas oceánicas, yace allí por la acción del oleaje en los últimos niveles del lago, cuando todavía éste era un brazo de mar durante el Pleistoceno.

I.5 Salinidad

En años anteriores al 2004 la reserva de agua tiene una concentración salina superior a la del mar, aproximadamente 45 ppm, cuya variación de volumen depende principalmente de la evaporación. Para esos mismos años en el fondo de la parte norte se registran valores máximos de salinidad que superan los 66 ppm, haciéndolo un lago hipersalino.

En la tabla no. 1 se presenta una recopilación de las salinidades de investigaciones previas a esta donde la salinidad varía por período de 10 a 20 unidades por año, según unidad utilizada por autor. La más cercana a la fecha actual, en 2004, tiene una salinidad tres veces mayor que la del mar para ese año según autor.

Tabla 1 Datos de Salinidad entre el 1967 al 2004.

Año	1967	1968	1977	1983	1999	2001	2002	2003	2004
Autor	Inchaestegui	Inchaestegui	Inchaestegui	Inchaestegui	Andreas Schubert	Buck et al.	Buck et al.	Buck et al.	Andreas Schubert
Salinidad	40.6 g/kg	58.1 g/kg	79 g/kg	54 g/kg	61 g/L	80 ppt	102 ppt	103.97 ppt	110 g/L

Nota. Extraído de varias fuentes. Adaptado por Rodríguez, Pérez y Liriano

I.6 Temperatura y pH

La temperatura en toda la zona es relativamente alta en comparación con otras regiones, dicha temperatura oscila entre los 28 y los 31° C. En la parte norte está entre 28.6 y 30.5°C, con la temperatura más baja presentándose en marzo del 2003.

En noviembre del 2002 se obtuvieron unas temperaturas de 29.7°C y en marzo del año 2003 unas de 27.9°C en la parte sur. En el 1981 su pH estuvo en 8,3. En la tabla no.2 se muestran valores de temperatura y pH recolectados de diversas fuentes.

Tabla 2 Datos de Temperatura y pH entre el 1981 al 2011.

Año	1981	1983	2000	2001	2002	2003	2011
Autor/es	Canela, Castro & Méndez	Ramón Margalef	Andreas Schubert	Buck et al.	Buck et al.	Buck et al.	Andreas Schubert
Temperatura	24° C	31.4°C	22.3–33.7 °C	28.1°C	29.7°C	27.9 °C	28 y 31°C
pH	8.3	8.19	-	8.1	8.3	7.9 - 8	7.5 y 8.4.

Nota. Extraído de varias fuentes. Adaptado por Rodríguez, Pérez y Liriano

I.7 Climatología

Las condiciones climatológicas de la región de esta área protegida son variables y están influenciadas por las épocas más activas de los ciclones, huracanes y tormentas, por los vientos alisios calientes provenientes de la Bahía de Neiba, y las altas radiaciones solares.

En épocas no-ciclónicas la precipitación es baja puesto que el lago se encuentra en una zona seca. Su precipitación media anual es de 500 mms concentrándose en las épocas: de mayo-junio y septiembre-octubre. En los meses de mayo-octubre se pueden registrar unos 767,5 mms, de los 950 milímetros de precipitación total anual de la región.

La ausencia de nubosidad presentada en el área del Lago tiene gran influencia en su ciclo hidrológico y el balance hídrico, lo que conlleva a una menor posibilidad de precipitación y una evaporación diaria de entre 7 a 8 milímetros.

Otro punto son las circulaciones secundarias del viento y la confluencia que regula el transporte de la humedad en forma de vapor.

I.8 Hidrografía

El lago Enriquillo es endorreico, lo que significa que sus aguas no tienen salida. Su hidrografía se encuentra concentrada en la Hoya de Enriquillo, pues en la Isla Cabritos no existen ríos o afluentes de agua dulce para consumo

Los afluentes principales de aguas subterráneas provienen de la Sierras de Neiba al norte y de la Sierra de Bahoruco al sur, siendo el lago Azuey uno de los proveedores subterráneo permanentes. En esta zona se encuentran muchas fuentes hídricas que llevan sus aguas al lago, algunas son superficiales y otras son caudales pequeños o intermitentes. Estos nacen como consecuencia de la pluviometría de la zona concentrándose en un gran número de manantiales cuyo origen está principalmente entre el Valle de Neiba y la Sierra de Neiba.

Los ríos de mayor caudal se encuentran al lado norte de la hoya y al este se encuentra el flujo de agua más intenso cerca de las fallas. Dentro de los ríos que mantienen un caudal permanente hacia el lago están El Guayabal, El Barrero, el río Las Damas y el Río Bermesí. Otros afluentes que están más o menos a nivel del mar y que se utilizan como balnearios son Boca de Cachón, Las Barías, Las Marías, La Furnia y La Surza, de aguas sulfurosas, los cuales se encuentran en su mayoría en la parte norte del lago. En los alrededores del lago se encuentran algunos borbollones y manantiales que aportan aguas dulces y azufradas de forma permanente, estos se encuentran en los lugares llamados Los Borbollones y La Azufrada.

El lago posee conexiones con otras cuencas de agua como son el río Yaque del Sur y el lago Etang Saumatre. La abundancia de agua subterránea podría explicarse por la peculiar geología de las sierras que rodean al lago.

I.9 Diversidad Biológica

La Hoya del lago Enriquillo goza de un ecosistema acuático y terrestre que ha permitido la permanencia de especies exóticas poco encontradas en alguna otra parte de la isla La Hispaniola y también el planeta tierra. Gracias a sus orígenes miocénicos especies como el flamenco rosado, el cocodrilo americano, la iguana ricord y la rinoceronte tienen su hábitat en las orillas o dentro del lago Enriquillo, fauna que depende de las condiciones naturales del lago para continuar con una saludable supervivencia.

I.9.1 Fauna

Su fauna es muy diversa e interesante, especialmente sus reptiles y aves. Los reptiles que se destacan son dos especies de iguanas: la iguana de ricord, y la iguana rinoceronte, y la especie cocodrilo americanus. La población del cocodrilo americanus es la única que queda en la República Dominicana; en los años 80 es considerada como la población de cocodrilos más grande del mundo en estado natural, con 336 a 504 animales adultos. Actualmente continúa siendo una de las mayores poblaciones del mundo en estado silvestre.

La fauna aviaria de la zona está constituida por la garza, las cucharetas, el cao y la llamativa ave flamenco rosado, las cuales han desaparecido en su mayoría.

La salinidad que presentan las aguas del lago evita que la cantidad de especies de peces dentro del mismo sea numerosa. Se conoce que la especie introducida tilapia habita las aguas del Enriquillo y es la comida de los caimanes. Este tipo de peces de origen africano goza resistir altos niveles de contaminación hídricas razón por la que actualmente sigue siendo parte del lago Enriquillo.

I.9.2 Flora

La vegetación en los alrededores del lago y en sus islas es típica del bosque seco. Las especies más comunes de plantas son las cactáceas, guayacán, bayahonda o cambrón. Una especie importante es la saona pues sus frutos son comidos por las iguanas.

A la orilla del lago, la vegetación está constituida de manglares y de otras especies acuáticas como el *Nepenthes lutea* y el *Nymphaea* amplia. En sectores próximos al lago, como la Descubierta y Duvergé, se encuentran palmeras, de latanias y cocoteros, y las frondas las cuales están en lugares que son regados por el agua dulce.

Dentro del lago Enriquillo, en la isla Cabritos, se encuentra un bosque seco hiperxerofítico el cual es el único de su especie que existe bajo el nivel del mar en el continente americano.

I.10 Turismo

El lago Enriquillo es considerado parque nacional, siendo este el lago más grande de las Antillas y declarado reserva de la biosfera por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) el 6 de noviembre del 2002. Estas y otras cualidades lo califican como uno de los mejores lugares del mundo para practicar ecoturismo. El lago ha sido nominado para ser una de las 7 nuevas maravillas del mundo. Las visitas se desarrollan principalmente en La Azufrada temprano en la mañana y luego de allí pasan a la Isla Cabritos porque luego del mediodía el oleaje es muy fuerte.

Los Borbollones es una de las zonas más bellas pero también más sensibles del lago Enriquillo. En ella se observan cocodrilos de diferentes edades y aves acuáticas de distintas especies como lo es el flamenco. Esto ha provocado que se prohíba el desembarque de botes para mantener el equilibrio ecológico.

La bahía de Boca de Cachón es vital para la observación de más de mil flamencos, cucharetas y varias especies de garzas que pueblan la bahía. Al igual que los arrecifes de Postrer Río, a dos kilómetros antes de llegar al pueblo del mismo nombre, los cuales son un mirador natural desde donde se tiene una vista panorámica del lago. Cabe destacar que Poco antes de La Azufrada se encuentra un conjunto de petroglifos indígenas, quizás pre-taínos, Las Caritas desde donde se tiene una excelente vista del lago con sus islas. Alrededor del lago podemos observar senderos que nos llevan a través del bosque seco donde podemos apreciar numerosas especies de plantas desérticas, entre ellos, una gran cantidad de cactus.

La crecida del lago Enriquillo ha disminuido el potencial de su atractivo turístico ya que no es solo la inmensidad de aguas de tonalidad azul la que atrae la atención de los visitantes, sino que también los atractivos que lo rodean, en su encantadora vuelta, contentiva de innumerables atractivos, unos desaparecidos bajo sus aguas, y otros en los mismos derroteros.

La encantadora agua azufrada situada frente a los petroglifos, en el Iguanario, los Cocodrilos y el espejo de sus aguas, la flora, fauna y las plantas endémicas, atractivos sin igual, un inmenso caudal de humedales, balnearios y aves son un ejemplo de la belleza natural observada en esa área.

I.11 Perfil Económico

En la provincia Bahoruco, el porcentaje de pobreza es 76.4% y la incidencia de la indigencia es de 30.2%. Para la provincia Independencia, la pobreza es del 70% y la indigencia de 22.5%. En contraste, la incidencia de la pobreza a nivel nacional es 40.9% y la de la indigencia es de 7.8%, según los datos recolectados y presentados por el gobierno dominicano en el censo del años 2002.

I.12 Oscilación Natural del Lago Enriquillo (ONLE)

El lago Enriquillo, recurso hídrico dominicano, valorado y entendido por pocos, en el 2004 sorprende a la población nacional, a entidades curiosas ajenas al país y sobre todo, a los moradores de sus orillas, al crecer de manera constante durante los siguientes años hasta el 2016.

En el año 1986, el ecólogo español Ramón Margalef presenta el estudio sobre algunas de las oscilaciones más notables del lago en el siglo pasado, donde en 1969 este lago presenta una dimensión de 286 m². Para 1977, su dimensión disminuye a unos 265 m², tiempo en que la isla cabritos se había unido a tierra firme. Dos años más tarde, según un mapa levantado por una empresa petrolera, el lago se encuentra en un nivel muy bajo, de 20 m de profundidad y 175 m² de tamaño, donde sus orillas estaban alejadas y se notaba como península a la acostumbrada Isla cabritos. Luego para el 1983 su profundidad aumenta 3 metros al presentarse un aumento de su volumen.

En la Figura no.1, extraída de la publicación del ingeniero meteorólogo Antonio Cocco, sobre la Oscilación Natural del Lago Enriquillo (ONLE), se muestran los niveles del lago desde 1893 hasta el 2009, donde se destaca la oscilación hídrica por medio de su profundidad, dando a notar el ciclo de la cuenca por décadas.

Figura 1. Niveles del Lago Obtenidos de Diferentes Fuentes, 1893-2009

AÑO	FECHA	NIVEL(m)	Area(Km ²)	FUENTE	Elevación (mbnm)	Area (kms. 2)
1893		+0.63		Wells		
1900	Ene-00	-34.00		Tippenhwer		
1913	Ene-13	-40.00		Central Barahona		
1918	Ene-18	-31.00		Scoenrich		
1919	Ene-19	-44.00		Candil y Rasz		
1948	Ene-48	-44.00		Límites Geográficos	- 30.0	352
1951	Ene-51	-44.30		Inst. Cartográfico Militar		
1952	Ene-52	-44.00		Cook	- 40.0	241
1959	Ene-59	-40.10		Inst. Cartográfico Militar		
1965	Ene-65	-30.00		Mapa OEA	- 42.0	220
1967	Ene-67	-40.50		Roberto Culstak		
1969	Ene-69	-41.10	280.0	Canadian Oil	- 43.8	205
1972	Ene-72	-41.39		Inst. Geográfico Universitario		
1976	Ene-76	-40.00		Cucurullo		
1978	Ene-78	-44.00		Tesis UASD Duquela		
1979	Ene-79	-45.70	180.0	Canadian Oil	-45.7	180
1980	Ene-80	-40.70	280.0	Schubert		
1983			254.0	Schubert		
1986	Ene-86	-42.00		Tesis UASD		
1992	Jun-92	-43.30	222.0	Roberto Cruz		
1993	Dic-93	-43.54		Roberto Cruz		
1994	Oct-94	-43.68		Roberto Cruz		
1996	May-96	-44.06		Roberto Cruz		
1997	Abr-97	-44.68		Roberto Cruz		
1998	20-Dic-98	-44.00		Roberto Cruz		
1999	05-Dic-99	-43.31		Roberto Cruz		
2000	19-Nov-00	-43.79	205.4	Roberto Cruz/NASA		
2001	18-Nov-01	-44.79		Roberto Cruz		
2002	01-Dic-02	-45.62		Roberto Cruz		
2003	30-Mar-03	-45.90		Roberto Cruz		
2003	03-Ago-03	-46.42		Roberto Cruz		
2009	08 abril09	-36.924	335.9	Roberto Cruz/José Fabrillat/NASA		

Existen informaciones de diferentes investigadores, centros de observación, instituciones científicas que permiten estudiar algunas características importantes de las oscilaciones del Lago. La primera observación que aparece ha sido discutida en los Conversatorios, siendo descartada, por la imposibilidad de que las aguas puedan subir 31 metros mas sobre el nivel actual. Sin embargo, a partir del 1900 los datos son mas confiables y con ellos se ha logrado construir una tabla de datos y una gráfica que permiten obtener resultados satisfactorios. Se considera una variable de 113 años, muy representativa.

Fuente: Santo Domingo. Conversatorios sobre Meteorología, Clima y Desastres, Biblioteca Nacional Pedro Henríquez Ureña. La Oscilación Natural del Lago Enriquillo, ONLE. Cocco Quezada, 2013.

En su publicación del 2013, Antonio Cocco enuncia que "La expansión y retroceso de las aguas del lago Enriquillo es una Oscilación Natural recurrente, producto de eventos hidrometeorológicos, que responden a la variabilidad climática de la República Dominicana".

Y concluye en que "Estando el Clima de la República Dominicana influenciado por los centros regionales reguladores, la ONLE está influenciada por la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), y la Oscilación de las temperaturas oceánicas del Pacífico Ecuatorial (ENSO)."

El análisis anterior muestra que la crecida del lago Enriquillo, desde el 2004, no tiene otra explicación que el despertar del ciclo hidrológico del lago desde que la tormenta tropical Odette atravesó la República Dominicana en diciembre del 2003, dejando a su paso una gran cantidad de agua sobre el territorio dominicano.

I.12.1 Fases de la ONLE

Los científicos dividen en tres las fases de la oscilación del lago Enriquillo, según el nivel de masa de agua:

- Fase negativa: Donde comienza a crecer, pero aún tiene como penínsulas a los territorios nombrados como islas: La Islita, Barbarita y Cabritos.
- Fase normal: Donde el volumen del lago está al nivel que cubren las penínsulas temporales y estas vuelven a tener agua por todas sus orillas.
- Fase positiva: Donde el volumen del lago ha continuado aumentando hasta llegar a territorios pocas veces tocados por las aguas, fase donde algunas de las islas desaparecen quedando solo la Cabritos a la vista.

De la publicación de Cocco también se extrajo una gráfica Figura no. 1.2 en la cual están representadas las alturas de las aguas superficiales de acuerdo a las fases que representan y en los años ocurridos, desde 1900 a 2010.

Figura 2. Oscilación Niveles Lago Enriquillo, 1900-2010



Fuente: Santo Domingo. Conversatorios sobre Meteorología, Clima y Desastres, Biblioteca Nacional Pedro Henríquez Ureña. La Oscilación Natural del Lago Enriquillo, ONLE. Cocco Quezada, 2013.

I.12.2 Fases de la Última Crecida

Las fases de la última crecida, del período 2003 al 2016, se dividen por años:

Fase negativa: Las tres islas aparentan ser penínsulas. Esta fase se desarrolla desde el 2003 al 2005, años en los que ocurre la tormenta Odette, y las lluvias del río Soliette o Blanco, que inundaron Jimaní. El Mapa no. 1 muestra vista satelital del lago en el 2003, correspondiente a esta fase.

Fase normal: Las tres islas vuelven a verse como tales. Fase desarrollada días previos al paso de la tormenta Noel, en octubre del 2005, hasta la tormenta Olga en diciembre del 2007. El Mapa no. 2 exhibe el estado del lago en 2005, correspondiente a esta fase.

Fase positiva: La isla Cabritos es la única sobre la superficie acuática. Comenzó en el 2007 continuando hasta el 2016, año hasta dónde se tienen registros de crecida. El Mapa no. 3 presenta una vista satelital posterior al paso de las tormentas Isaac y Sandy en 2012, correspondiente a esta fase.

Mapa 1. Fase Negativa de la ONLE, Lago Enriquillo, Mayo 2003



Fuente: Extraído de la Fotosíntesis, La Oscilación Natural del Lago Enriquillo –ONLE-. Gonzales Tejera, 2013.

Mapa 2 Fase Normal de la ONLE, Lago Enriquillo de Octubre 2007



Fuente: Extraído de la Fotosíntesis, La Oscilación Natural del Lago Enriquillo –ONLE-. Gonzales Tejera, 2013.

Mapa 3 Fase Positiva de la ONLE, Lago Enriquillo de Noviembre 2012



Fuente: Extraído de la Fotosíntesis, La Oscilación Natural del Lago Enriquillo –ONLE-. Gonzales Tejera, 2013.

I.13 Estudios previos

En octubre del 2015, en la revista Verdor, revista especializada en ecología y medio ambiente, se encuentra el artículo Parque Nacional Lago Enriquillo, del experto en áreas protegidas José Manuel Mateo Félix.

El artículo describe el lago Enriquillo y tiene por fin informar que este pertenece a las áreas protegidas de la República Dominicana, basándose en la recopilación de datos de otras fuentes de forma cualitativa y cuantitativa acerca del parque nacional.

Este artículo conduce y orienta al levantamiento de datos teóricos básicos para el desarrollo de esta investigación y sirve como guía de apoyo para nombrar y cuantificar los indicadores físicos y biológicos.

En noviembre del 2013, Manuel G. Tejera presenta un documento llamado La Oscilación Natural del Lago Enriquillo ONLE. En él se exponen las fases de desarrollo de dicho ciclo, explicando por medio de fotografías de la NASA en diferentes tiempos entre los años 2003-2013, al señalar gráficamente en qué consisten las fases de la ONLE.

Esta publicación permite entender que la última crecida del lago está relacionada con su ciclo natural de crecimiento sobre todo por aumento de precipitaciones y desembocaduras de los ríos hasta el lago, además de haber adquirido mayor volumen por la catástrofe de Jimaní en 2004.

Información que permite tener una idea más concreta acerca de la calidad de las aguas del lago, y conocer que las razones de la crecida.

En el 2012, en la revista Deutsche Nationalbibliothek, se encuentra el artículo lagos Enriquillo y Azuei “donde la naturaleza siempre tiene una sorpresa” publicada por Andreas Schubert biólogo de profesión. Este documento tiene por objetivo describir el proceso de formación de los lagos Enriquillo y Azuei, destacando sus condiciones geográficas así como su historia natural que lo hacen una importante reserva a nivel mundial.

Este apartado conduce y asienta al levantamiento de datos teóricos básicos para el desarrollo de esta investigación y sirve como sustento para denotar los cambios hidrológicos que han sufrido los lagos Enriquillo y Azuei a lo largo del periodo 1970- 2005.

La investigación consiste en la formación de los lagos Enriquillo y Azuei, la cual expone la razón de la crecida del lago, con el fin de explicar que esta es parte de un proceso natural a lo de su historia, para lo misma se basa en describir las características físicas y cualidades de las cuencas hidrográficas que forman parte de los lagos anteriormente mencionados.

Esta investigación de campo se basa en estudios del lago y sus especies, resaltando que el mismo y sus especies desde muchos años han sido sujetos de estudios, tanto por geólogos, hidrólogos, botánicos y zoólogos han visitado la hoya del lago. Fruto de los estudios existen varias publicaciones de alta importancia que sirven para entender mejor de la peculiaridad del lago y su entorno. Para sustentar los datos obtenidos El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI) realizó estudios sobre la hidrología del lago y de los geólogos americanos Mann et.al. acerca de fenómenos geológicos de la zona. En cuanto a la ecología hay que mencionar los estudios del Centro de Biología Marina (CIBIMA) y del ecólogo español Margalef.

Los resultados obtenidos en esta investigación sugieren un avance de los procesos hidrológicos cercanos a las cuencas hidrográficas de los lagos Enriquillo y Azuei, debido principalmente procesos geológicos naturales, causa que a su vez desmiente las diversas teorías del porqué el cambio en el volumen hídrico de los mismos. Este estudio proporciona la base para esta investigación debido a que explica la razón del crecimiento hídrico y al mismo tiempo sirve de apoyo para explicar los cambios que este pudo sufrir en las características físicas, químicas y biológicas de sus aguas.

En noviembre del 2011, Reynaldo Payano y Ojilve Medrano, ambos másteres en Ingeniería Civil, publican el artículo titulado Análisis De La Situación Actual Del Lago Enriquillo De La República Dominicana. Este estudio se enfoca en el análisis sobre diferentes teorías acerca de las crecidas ocurridas en el lago y los impactos provocados por este fenómeno.

Presenta en sus hallazgos la mala gestión y el mal estado de las infraestructuras hidráulicas que drenan en la cuenca del Enriquillo, la geología de la zona, la deforestación, los eventos climáticos, movimientos tectónicos y las consecuencias del cambio climático, fomentando el debate entre los emisores de políticas y tomadores de decisiones involucrados.

Este estudio afirma que el aumento del nivel de agua del Lago Enriquillo probablemente es debido a un mayor número de eventos de alta precipitación durante los últimos años, superior a la capacidad del suelo y a aportaciones de aguas subterráneas del Lago Étang Saumâtre. Por último, los autores recomiendan una mejor planificación hidrológica de la cuenca Enriquillo, con la finalidad de comprender el funcionamiento hídrico de dicha zona, y explican que hace falta una investigación más profunda en torno a la dinámica de relación hidrogeológica del Lago Enriquillo con el Lago Étang Saumâtre.

El 16 de abril del año 2009, el meteorólogo Antonio Cocco Quezada publica el estudio titulado El Ciclo Hidrológico Del Lago Enriquillo Y La Crecida Extrema Del 2009, el cual se basa en definir las características geológicas, geográficas y climatológicas presentadas por el lago desde el 2003 de una forma conceptual. El estudio se basa en una investigación de causas y relaciones de todos los fenómenos oscilatorios del lago haciendo referencia a la crecida extrema presentada por el mismo durante el periodo 2004-2009.

En este estudio la crecida del lago se asocia a la variabilidad climática de la República Dominicana, y a la vez no descarta que la formación del lago y los cambios en su volumen sean provocados por el movimiento tectónico. Por último, con el fin de informar un poco acerca de los caudales que proveen sus aguas al lago e, se presenta una pequeña tabla en la sección de hidrología, donde se indica el área, la ubicación y el tipo de agua de los mismos.

En el año 2005, en la revista *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* se publica el artículo *Physical and chemical properties of hypersaline Lago Enriquillo, Dominican Republic*, cuyos autores Buck, Brenner, Hodell, Curtis, Martin y Pagani estudiaron las características fisicoquímicas presentadas por el lago durante el periodo 1950 -2000, mediante la recolección y análisis de datos de estudios anteriores. Este estudio describe los cambios en las dimensiones del acuífero debido al aumento de la profundidad por tormentas y huracanes relativos a esa época. De igual forma, explica las consecuencias de tal cambio en factores como la salinidad, conductividad, temperatura, pH, flora de sus aguas.

Existe una investigación similar a ésta, acerca del Lago Titikaka de Bolivia, auspiciada por el Departamento Académico de Biología de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en Lima Perú, de diciembre del 2005; investigación titulada *Indicadores Fisicoquímicos y Biológicos del Proceso De Eutrofización del Lago Titikaka, Bolivia*, por Francisco Fontúrbel Rada.

La investigación consiste en la evaluación del grado de avance del proceso de eutrofización del lago Titikaka analizando las macrófitas, la diversidad de fitoplancton, los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del lago Titicaca, con la finalidad del estudio comparativo del estado de los procesos eutróficos ubicados en cuatro localidades del lago.

Esta investigación de campo se concentra en datos cualitativos y cuantitativos, enfocados en las localidades Cohana, Copacabana, Tiquina y Alaya de la parte boliviana del lago Titikaka. En cada localidad, se seleccionan tres áreas de muestreo, cada una de 100 m², definidos por un rectángulo de 20 metros a lo largo de la orilla y 5 metros (en perpendicular) hacia adentro del lago, con excepción de Tiquina donde las facilidades del criadero de truchas de la Cooperación Japonesa permiten trabajar en un área de 140 m².

Los resultados obtenidos en esta investigación sugieren un avance de los procesos eutróficos en la parte boliviana del lago Titikaka, debido principalmente a las actividades antropogénicas, factor que aumenta a su vez por el crecimiento demográfico de la región. Este estudio proporciona la base para esta investigación debido a que es el mismo estudio, en una región diferente.

En diciembre del 1986 el limnólogo y oceanógrafo Ramón Margalef publica el libro *Oecología Acuática*, representando el departamento de ecología de la Facultad de Biología, de la Universidad de Barcelona.

El libro se divide por varias secciones, cada una de ellas contiene una investigación en particular. La primera investigación tiene como nombre *Limnología del lago Enriquillo*. Esta sección de interés consiste en una descripción profunda del Lago, una breve mención de sus antecedentes del siglo XX que establece que las crecidas del lago son fenómenos cíclicos. Contiene resultados de muestreo de sus propiedades físicas según profundidad a estudiada. Menciona presencia de plancton en las aguas del lago, además de la turbidez que este presentaba en la prueba del disco de secchi.

En la investigación de la limnología del lago Enriquillo, Margalef expresa su observación al reconocer varios tipos de algas en las aguas del Lago, y presencia de peces introducidos en a cuenca como es el caso de la tilapia.

La investigación del lago Enriquillo presentada en la primera sección de este libro brinda conocimiento único acerca del estado del lago en el siglo pasado, y la confirma la presencia de algas, turbidez y peces eusaprobios en el agua.

En esta misma labor de investigación y consulta se encuentra que en el año 1981, Canela, Castro y Méndez publican como requisito, para optar por el título de licenciados en química; el trabajo de grado titulado *Investigación Salina Del Agua Del Lago Enriquillo*, el cual se presenta en la Escuela de Química de la Universidad Autónoma de Santo Domingo, de República Dominicana.

La investigación se basa en un estudio analítico de la composición química de las aguas del lago Enriquillo, con la finalidad de determinar la salinidad de sus aguas en ese año y su grado de dureza. El estudio se concibe como una investigación de campo del tipo numérico, concentrado en la zona hídrica del Caribe de lago Enriquillo. La recolección de los datos se realiza por medio de toma de muestras en tres puntos en la sección noroeste del Lago, específicamente a dos kilómetros de la orilla del mismo, donde se obtiene la muestra.

El análisis permite determinar otros parámetros como pH, sólidos totales y los nutrientes disueltos en éste; a partir de estos datos y su comparación con los parámetros que dictan las normas de calidad del agua potable del Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillado (INAPA), se permite reconocer al Lago como lago de aguas hipersalinas, duras y no aptas para el uso agrícola o doméstico. Ese estudio aporta al conocimiento de parámetros de calidad de aguas que se realizan en el lago Enriquillo.

CAPÍTULO II

MARCO CONCEPTUAL

CAPÍTULO II MARCO CONCEPTUAL

El estado trófico es un medio útil para clasificar los ecosistemas acuáticos y describir los procesos que tienen lugar en el mismo, en términos de productividad del sistema. Este declara la relación entre la concentración de nutrientes de un cuerpo de agua y el crecimiento de la materia orgánica, dando cuenta del grado de eutrofización.

II.1 Estado Trófico

La clasificación del estado trófico normalmente se basa en el nutriente que presenta limitaciones, en la mayoría de los casos es el fósforo por ser un nutriente básico en la alimentación vegetal y protoctista.

La compleja interacción que resulta de todas las variables que intervienen en la eutrofización impide la delimitación estricta entre las distintas clases tróficas. Forsberg & Ryding las clasifican en cuatro estados tróficos: oligotróficos, mesotróficos, eutróficos e hipereutróficos según los criterios sobre la variación de los niveles de productividad biológica, cantidad de peces y vegetación, turbidez del agua, presencia y cantidad de clorofila α , nitrógeno total y fósforo total.

Naumann lo clasifica en siete tipos de estados tróficos considerando características y concentraciones de otros nutrientes como el hierro, calcio, el color húmico y la acidez, estos se nombran como oligotróficos, eutróficos, acidotróficos, alcalitróficos, sargillotróficos, siderotróficos y distróficos.

II.2 Causas de la Diversidad Trófica

El estado trófico en que se encuentre un ecosistema acuático dependerá de su geología, topología y morfología. Los ecosistemas lénticos no tienen corriente, por lo tanto no presentan una dinámica que les proteja de la acumulación de nutrientes a diferencia de los ecosistemas lóticos.

Los ecosistemas lénticos, es decir, los lagos, pantanos, estanques, charcos, cenotes y lagunas originalmente reciben aportes de nutrientes, sedimentos y otros materiales de sus cuencas de drenaje durante millones de años sin que estos puedan regular su concentración por estar estancados y tener profundidad variable. Las consecuencias de este fenómeno natural conllevan a una variación de la concentración y el tipo de nutrientes así como de otros parámetros físicos y biológicos.

Los paisajes que rodean los lagos pueden ser de diversas clases y de esto dependerá la caracterización trófica que se le designe. Los lagos oligotróficos y mesotróficos, por ejemplo, se les conoce como lagos jóvenes o que gozan de suelos infértiles quienes liberan relativamente poco nitrógeno y fósforo.

Los lagos catalogados como eutróficos o hipereutróficos poseen cuencas hidrográficas con suelos orgánicos ricos. Su causa puede ser natural pero si se trata de una rápida carga de nutrientes este proceso de eutrofización notablemente será antropogénica.

II.3 Eutrofización

La eutrofización es un proceso natural, debido a la acción propia de la naturaleza; o antropogénica, por la acción de las actividades humanas, que describe la variación de un estado trófico a otro de nivel superior, por adición de nutrientes como desechos agrícolas o forestales. Esto ocurre a una velocidad que no puede ser compensado por la mineralización total, provocando que la descomposición del exceso de materia orgánica reduzca el oxígeno en las aguas profundas.

Se produce normalmente por aporte de fósforo y nitrógeno desde la cuenca del drenaje que se manifiesta en una intensa proliferación y acumulación excesiva de microalgas y plantas superiores.

La definición más sencilla y específica que existe sobre el proceso llamado eutrofización está vinculada más bien a la presencia de mayor biomasa vegetal citado a continuación de Carlson, R.E. & J. Simpson: "En lugar de vincular el proceso a los nutrientes, que puede causar todo tipo de problemas de interpretación, simplemente definirlo como un movimiento del estado trófico del lago en la dirección de más biomasa vegetal."

Esta declaración está hecha bajo la convicción de que existen ambigüedades respecto a la valoración de uno a otro grado trófico en ecosistemas, por presentar éstos distintas concentraciones de nutrientes y numerosas variables a considerar, aunque se entiende que la palabra "eutrofización" señala una abundancia anormalmente alta de nutrientes en el medio.

II.4 Causas de la eutrofización

Los sistemas estancados pueden verse eutrofizados de dos formas: por causas naturales o por efectos culturales, ambos incluyen compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos o dispersos en el agua.

De las causas naturales, la sobrecarga de nutrientes es provocada por la materia arrastrada por precipitación, el desbordamiento de ríos, nuevos canales de aguas subterráneas, y la erosión natural de la depresión. Las causas culturales se presentan con la agricultura, el urbanismo y la industrialización, las cuales combinadas dan paso a la contaminación atmosférica.

La agricultura aporta contaminantes a la tierra por el uso de fertilizantes y pesticidas, además de un exceso de nutrientes por la deforestación, quema de restos de árboles y el estiércol de las áreas agrícolas. Estos nutrientes contaminantes de ecosistemas estancados se agrupan en: materia orgánica disuelta, carbonatos, fosfatos, nitratos, sulfatos, potasio y magnesio; y el efecto secundario de erosionar la tierra.

El urbanismo causa efecto mediante las descargas de las aguas residuales municipales a ecosistemas lóticos y lénticos, y el desarrollo de residenciales cercanos. Estos aportan negativamente materia orgánica en descomposición, coliformes, nitratos, amonio y detergentes a base de fosfatos.

La industrialización en los pueblos cercanos a los sistemas acuáticos lénticos influye por el aporte de sulfatos, cloruros, cianuros, fluoruros, nitratos, dióxido de carbono, metano, etano, óxidos de nitrógeno, cloruro de hidrógeno, dióxido de azufre, metales pesados por la quema de combustibles fósiles y los vertidos de desechos industriales.

La contaminación atmosférica, la cual causa la lluvia acida, produce óxidos de nitrógeno y azufre que reaccionan con el agua de la atmósfera produciendo ion sulfato e ion nitrato, teniendo como efecto el aumento de la lixiviación y el lavado de los nutrientes del suelo que son arrastrados por el agua superficial y subterránea hasta incorporarse a los ecosistemas lénticos y lóticos.

Las causas no-naturales de los diversos grados tróficos existentes aceleran los procesos autóctonos de envejecimiento de los ecosistema lénticos, alterando sus características fisicoquímicas y microbiológicas.

II.5 Proceso de Eutrofización y Alteraciones Físico-Químicas y Biológicas del Agua

El ecosistema acuático que experimenta eutrofización se presenta en una de las cuatro etapas. Estas son secuenciales, por tanto al identificar cualquiera de ellas en un sistema estancado se denotará que el sistema está en envejecimiento.

Primera etapa: Gran aporte de fósforo. Los fosfatos provienen de corrientes hídricas que arrastran el agua de tierras que forman parte del ciclo natural del fósforo, de tierras agrícolas, residuos alimenticios y vertidos industriales, los cuales también poseen nitratos. La gran cantidad de fosfatos acumulados en los sistemas acuáticos estancados favorece a la etapa siguiente puesto que es función del nutriente limitante: fósforo.

Segunda etapa: Proliferación algal y bacterial. Para la mayoría de plantas y protoctistas algales el fósforo juega un papel fundamental en su nutrición. Una cantidad excesiva de fosfatos en el agua provoca la aparición y abundancia de plantas acuáticas enraizadas y flotantes, y vegetación algal, siendo las más favorecidas macrófitas y el fitoplancton. En esta etapa las algas consumen el nutriente biolimitante fósforo, mediante la fotosíntesis, proceso de alimentación vegetal que en efecto aporta oxígeno en exceso al agua. Por la presencia de estas algas, la mayoría microscópicas, se recubren y enturbian las aguas adquiriendo una coloración verde, amarillenta y/o parda característica.

Las zonas hipolimnias son aquellas situadas debajo de las zonas de máximo gradiente de temperatura de una masa de agua. La presencia de algas limita la entrada de luz a las zonas hipolimnias desencadenando la muerte de la vegetación que se encuentra en el fondo.

Los restos de materia orgánica son aprovechados por las bacterias que realizan fotosíntesis oxigénica: cianobacterias descomponedoras. Estas bacterias utilizan el nitrato encontrado como amonio en la materia viva, y el hidrógeno que está en el agua para la fotosíntesis oxigénica. El exceso de fotosíntesis también agota las concentraciones de nitratos, quienes son los segundos nutrientes biolimitantes del proceso.

Tercera etapa: Degradación aerobia del material orgánico. El agotamiento de nutrientes, la insuficiencia del espacio y de luz produce la muerte de las cianobacterias de la zona hipolimnia. Las bacterias aerobias, organismos de respiración oxigénica, se encargan de la nueva degradación, en donde utilizarán el oxígeno disuelto (OD) elaborado en los procesos de fotosíntesis. En esta etapa se establece una nueva demanda de nutrientes: la de oxígeno. Al haber abundante material orgánico (MO) y OD en el agua, condiciones precisas para la vida de las bacterias con respiración aeróbica, éstas se reproducirán en demasía disminuyendo pronto el oxígeno, creando estado de hipoxia, provocando la muerte de las poblaciones de animales que habitan el medio y empobreciéndose la vida acuática.

Cuarta etapa: Degradación anaerobia del material orgánico. La muerte de organismos aerobios como las bacterias, peces, anfibios y algunas plantas declaran el ambiente acuático como el nuevo ecosistema de las bacterias anaerobias las cuales descomponen la materia orgánica

restante y la liberan al ambiente en forma de gases tóxicos y sustancias como el amonio, ácido sulfhídrico y metano, un gas inflamable.

Este proceso se produce naturalmente en todo embalse cuya afluencia de elementos nutritivos sea superior a la salida de los mismos.

II.6 Cambios en el Proceso de Eutrofización: Indicadores del Estado Eutrófico

La elevada contaminación de las masas de agua produce alteraciones en su calidad, manifestándose de forma biológica, física y química. Los cambios biológicos se presentan por aumento del plancton y la productividad bacteriana responsables de la degradación de la materia orgánica.

Los cambios físicos que se presentan son variaciones en el color, sabor, olor, viscosidad, transparencia y conductividad. Y los cambios químicos se presentan como consecuencia de la producción de gases y cambios en la concentración de ciertos elementos como: oxígeno, fósforo y nitrógeno. Los cambios presentados en el proceso de eutrofización son propios del mismo y por tanto pueden ser utilizados como indicadores eutróficos del estado de otros cuerpos de agua con cambios similares.

II.6.1 Indicadores del Estado Eutrófico

El estado trófico de un acuífero puede determinarse gracias al estudio y caracterización de sus indicadores que ayudan a clasificar la calidad o estado de la masa de agua en estudio. Un indicador es un parámetro de comparación que permite la valoración y el conocimiento de las características de un medio, el cual puede ser medido por métodos físicos, químicos o análisis biológicos.

Los indicadores físicos se basan en las características del agua que son detectadas por los sentidos de la vista, el tacto, gusto y olfato, mientras que los indicadores químicos están

vinculados con la capacidad del agua como agente disolvente. Ambos indicadores sirven para describir las condiciones estéticas y de calidad del agua.

Los métodos físico-químicos suelen ser más rápidos en sus análisis y pueden ser monitoreados con mayor frecuencia, en comparación con los métodos biológicos, basados en la observación y medición de ciertas comunidades de seres vivos en las aguas.

I.6.2 Indicadores Físicos

Son todas las alteraciones que afectan físicamente las condiciones del agua e intervienen con la flora y fauna presentes en el ecosistema. A partir de estas se puede determinar el estado trófico del mismo. Dentro de estos cambios están: las alteraciones físicas en el color, olor y sabor, temperatura, espuma, sólidos totales y conductividad.

I.6.2.1 Color

Las alteraciones en el color de las aguas son el resultado de la presencia de materia orgánica y metales como hierro, manganeso, cobre y cromo, disueltos o en suspensión. La tonalidad dependerá de las sustancias disueltas en ella. Sus efectos en la vida acuática se centran principalmente en la disminución de la transparencia, entorpeciendo así la visión de los peces y causando un efecto barrera a la luz solar.

El color azul es característico de aguas puras que contienen bajas concentraciones de algas, sólidos y materia orgánica, gran transparencia y que se presentan de forma común en áreas con suelos de drenaje rápido y cuencas de pequeños lagos. Este representa un carácter prístino u original del agua además del bajo impacto humano en la cuenca circundante.

Los colores verdosos, amarillentos o parduscos de un ecosistema representan su estado eutrófico. Estos son causados por el excesivo crecimiento de algas unicelulares y plantas acuáticas, en su mayoría dañinas, que aumentan las concentraciones de clorofila e impide el paso de la luz a profundidades que alcanzaba previamente.

El color marrón se presenta generalmente en aguas rodeadas por bosques y humedales, y proporcionan una gran cantidad de material orgánico oscuro que se disuelve en el agua. En general, los lagos marrones tienden a ser ligeros. Las algas en estos acuíferos sobreviven a través de adaptaciones que les permiten desarrollarse a bajos niveles de luz. Estos también pueden ser ácidos y contener pocos peces u otros organismos.

I.6.2.2 Olor y sabor

Estos dos sentidos están estrechamente relacionados, aunque usualmente solo se hacen las determinaciones de olor cuando se refiere a condiciones físicas y calidad del agua.

Durante el proceso de eutrofización se producen cambios que se manifiestan en el olor y sabor de las aguas del ecosistema. El agua puede adquirir olores específicos debido a la presencia de compuestos químicos tales como fenoles, amonio, sulfatos, cloruros, cianuros, fluoruros, nitratos, y dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, cloruro de hidrógeno, dióxido de azufre, metales pesados, esencias liberadas por diferentes algas y hongos, así como materia orgánica en descomposición.

Los procesos anaeróbicos realizados por las bacterias debido a la descomposición de los restos de materia orgánica, producen toxinas a temperatura ambiente, generando gases como el amoníaco (NH_3), el metano (CH_4) y el gas sulfhídrico (H_2S), que se forma por la reacción de sulfuros con el agua, cuyo olor característico es parecido al de huevo podrido. Estos gases confieren un olor nauseabundo y mal sabor a las aguas y la tornan más ácida. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor.

I.6.2.3 Temperatura

La temperatura es un factor importante en la determinación de la calidad de las aguas, esta depende de la profundidad y de la radiación solar que penetra a ellas.

El gradiente de temperatura afecta la vida, propiciando la aparición o desaparición de poblaciones acuáticas. El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases como el oxígeno e incrementa la disolución de las sales, acelera la velocidad de las reacciones del metabolismo, difusión, reacciones químicas y bioquímicas causando un aumento en la putrefacción.

En un lugar específico de acuífero, la temperatura representa un estado de equilibrio entre los aportes y las extracciones caloríficas en el agua. Por otro lado, hay que tomar en cuenta que la temperatura de un ecosistema depende de la conductividad térmica e hidráulica del medio, de la relación longitud/profundidad de la cuenca, entre otros factores.

I.6.2.4 Espumas

La presencia de espumas es una característica importante del proceso de eutrofización, la cual puede ser causada por diferentes factores, como son:

- Generación biológica de espuma, proceso por el que las bacterias filamentosas producen una espuma espesa, de colores entre blanco y marrón, las cuales se acumulan en la superficie de las aguas.
- La sustitución de las algas verdes por las denominadas cianobacterias productoras de espumas flotantes.
- Los detergentes productores de espumas, los cuales añaden fosfato al agua como parte de la eutrofización. Estos interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras.
- La salinidad que disminuye la concentración de oxígeno disuelto y aumenta la presión osmótica.

La espuma se encuentra presente debido a factores fisicoquímicos como la agitación, alcalinidad, la descomposición de materia orgánica presente en el agua, y la distribución de las floraciones de algas y microorganismos en su mayoría plancton, característica que le confiere tenso-actividad.

I.6.2.5 Sólidos Totales (ST)

Los sólidos totales (ST) son el resultado de la suma de los sólidos disueltos y los suspendidos. Los sólidos disueltos (SD), son índice de la cantidad de sustancias disueltas en el agua, y proporciona una indicación general de la calidad química.

El SD determina la salinidad total del medio y en consecuencia la conductividad del mismo. Además de estar disueltos, estos sólidos no decantan de forma natural y pueden ser retenidos en un filtro. Incluye materia orgánica, como grasas, pelos, serrín, fibras, e inorgánica, tales como limos, arena y arcillas.

Los principales aniones inorgánicos disueltos en el agua son carbonatos, fosfatos, nitratos, bicarbonatos, cloruros, y sulfatos, mientras que los principales cationes son calcio, magnesio, sodio, potasio y amonio.

Los sólidos en suspensión (SS) son sólidos sedimentables no disueltos, que afectan la transparencia hídrica y producen el color aparente en las aguas, interfiriendo en la radiación captada por el sistema acuático. Su presencia en las aguas provoca una disminución de la fotosíntesis y debido a los procesos anaeróbicos, la muerte de flora. Pueden ser nutrientes contaminantes de ecosistemas estancados que se agrupan en aniones inorgánicos, que tienen como efecto secundario la erosión la tierra.

I.6.2.6 Conductividad (σ)

La conductividad eléctrica es un indicador total de las sales disueltas en el agua, por lo tanto el agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. La disociación de las sales genera cationes, tales como el Ca^{+2} que es el más abundante, seguido del Mg^{+2} , Na^+ y el K^+ y aniones como el CO_3^{-2} , HCO_3^- , SO_4^{-2} , el Cl^- y el NO_3^- los cuales son menos abundantes. Estos iones en una disolución son capaces de transportar la energía eléctrica a un campo eléctrico.

Esta propiedad se mide en microsiemens/centímetros ($\mu\text{S}/\text{cm}$) o en milisiemens/centímetros (mS/cm), la misma varía con el tiempo debido a cambios en la concentración de sales y con la temperatura, por lo que las mediciones se deben hacer a 20°C .

II.6.3 Indicadores Químicos

Los cambios que tienen lugar en las propiedades químicas de cuerpos acuáticos constituyen un conjunto de indicadores que ayudan a clasificar el tipo de agua de acuerdo a su calidad. Estos pueden ser pH, gases disueltos en el agua, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, fósforo total y nitrógeno total.

II.6.3.1 pH y Gases Disueltos en el Agua

El pH es la medida de acidez o alcalinidad que tiene un líquido como producto de la concentración del ion hidronio y su rango varía de 0 a 14, siendo 7 el pH neutro. En las aguas naturales identifica los efectos sobre la concentración de dióxido de carbono disuelto. El CO_2 proviene de la atmósfera o los seres vivos: por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo, como desecho de la respiración de animales, plantas, y bacterias descomponedoras.

La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico (CaCO_3) que puede reaccionar con el CO_2 formando un sistema tampón o sistema de pH equilibrado, entre el carbonato y el bicarbonato. Este sistema tampón protege a la biótica acuática de variaciones en concentración de nutrientes que tienen un pH alcalino o ácido, al mantenerse regulado.

El pH tiene una gran influencia en los procesos químicos que tienen lugar en el agua, como son la actuación de los floculantes y los tratamientos de depuración. Para los ecosistemas acuáticos su rango debe estar entre 6.5 a 8.5 para un desarrollo saludable de la biótica. Las aguas contaminadas con vertidos mineros o industriales suelen tener convertirse en un medio ácido de 6, o menos o en medio básico de 9.5 o más.

Los lagos eutróficos que poseen un desequilibrio en la materia orgánica suelen presentar valores de pH generalmente entre 3.3 a 6. La mayoría de las plantas y animales acuáticos

prefieren vivir en un intervalo de pH entre 6 y 7,2, estos se han adaptado a un pH específico, por lo que si su rango se desvía de estos límites podrían morir, dejar de reproducirse o emigrar.

II.6.3.2 Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto se origina en la mezcla del agua con el aire, principalmente como producto del metabolismo de las plantas acuáticas sumergidas en el proceso de fotosíntesis, y/o a causa del viento.

Se define como oxígeno disuelto (OD) a la cantidad de oxígeno gaseoso, en forma de O_2 , que se encuentra en el agua. Este gas disuelto es muy necesario para la respiración aeróbica de los peces y otros organismos acuáticos. La solubilidad del OD depende de la presión atmosférica, la salinidad y profundidad del medio, y la variación de su temperatura, por lo que es inversamente proporcional a esta.

Las aguas superficiales pueden ser clasificadas según la cantidad de oxígeno disuelto que tengan, donde:

- Aguas carentes de oxígeno disuelto o anóxicas, tienen 0 mg O_2 /L de agua.
- Aguas con cantidad insuficiente de OD para desarrollar vida, llamadas hipóxicas, contienen entre 1 a 4 mg O_2 /L de agua. Estos valores son síntomas de aguas con presencia de material orgánico en descomposición, donde hay una gran actividad respiratoria.
- Aguas de concentración suficiente para desarrollar vida, catalogadas como aceptables presentan desde 5 a 8 mg O_2 /L de agua.
- Aguas adecuadas para la vida de la mayoría de especies de flora y fauna, llamadas buenas tienen de 9 a 12 mg O_2 /L de agua.
- Aguas con sobresaturación del gas O_2 presentan concentraciones mayores a 12 mg O_2 /L de agua, debido a especies fotosintéticas dentro del ecosistema acuático.

La concentración de oxígeno disuelto es un indicador secundario de la etapa de eutrofia que tiene un cuerpo hídrico. Este tenderá a la sobresaturación en la segunda etapa por las presencia de algas micro y macroscópicas; en la tercera etapa se habrá reducido hasta llegar al

estado de hipoxia gracias a su utilización en la respiración de las bacterias aeróbicas. El oxígeno disuelto de la última etapa de eutrofia en el ecosistema acuático sería nulo.

El OD es nutriente vital en los procesos de solubilidad de minerales, la oxidación de material orgánico, la fotosíntesis, y la oxidación-reducción de compuestos químicos presentes en el agua.

II.6.3.3 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno utilizada por los cuerpos reductores del agua para oxidar completamente por medios químicos los compuestos orgánicos a CO_2 y H_2O , sin intervención de los organismos vivos.

El análisis de la demanda química de oxígeno es una medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable que está contenida en el agua, mediante la medida de la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en ella.

Existen varios métodos de determinarlo dependiendo del tipo de agua a analizar. Para aguas residuales cuya concentración de DBO esté por encima de los 50 mg O_2/L se utiliza el método de reflujo abierto, y para aguas superficiales que contienen concentraciones más bajas de intervalo entre 50 y 5 mg O_2/L , se utiliza el método modificado.

Las aguas no contaminadas tienen valores DQO de 1 a 5 ppm, o algo superiores. Las aguas residuales domésticas suelen contener entre 250 a 600 ppm, y en las residuales industriales las concentraciones dependerán del proceso de fabricación.

A pesar de que el análisis de la demanda química de oxígeno presenta las desventajas:

- No poder diferenciar entre materia biodegradable y el resto de componentes.
- No poder suministrar información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales.

Puesto que este análisis se trata de saber la cantidad de oxígeno que está consumiendo los microorganismos presentes en el agua, estas desventajas no afectan el uso de los resultados del análisis.

II.6.3.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una medida indirecta del contenido de materia orgánica biodegradable. Expresa la cantidad de oxígeno disuelto requerida por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua, a una temperatura estandarizada de 20°C. Si la medición se realiza al quinto día, el valor se conoce como DBO5.

La DBO es utilizada desde hace unos cincuenta años, y es prácticamente la única conocida para determinar la contaminación del carbono biodegradable. Como su cálculo presenta algunos problemas conviene utilizarla en paralelo con otros análisis de aguas tales como Demanda Química de Oxígeno (DQO), Carbono Orgánico Total (COT) y Demanda Total de Oxígeno (DOT), evitándose así equivocaciones.

Existen factores que afectan el análisis de la DBO por su interacción en el medio de estudios, estos son:

- La relación de la materia orgánica soluble a la materia orgánica suspendida
- Los sólidos sedimentables y los flotables
- La presencia de compuestos azufrados, peróxido y cloro

No se debe tomar como punto de referencia que un pequeño valor de DBO es un nivel bajo de contaminación orgánica, dado que existen sustancias difícilmente biodegradables, sustancias que son refractarias, o que incluso inhiben el proceso biológico, por tanto la detección de contaminación orgánica se realiza con los distintos análisis que en conjunto determinarán el grado de contaminación que existe en el agua.

II.6.3.5 Relación entre DBO y DQO

La DBO₅ es necesario para determinar cuanta materia orgánica biodegradable está presente en el efluente de aguas residuales. No obstante, es recomendable medir también en paralelo la demanda química de oxígeno DQO para obtener información acerca de la biodegradabilidad de los compuestos orgánicos presentes en el efluente.

La relación entre los valores de DBO y DQO es indicativo de la bio-degradabilidad de la materia contaminante, en especial aceites y grasas. El valor de DQO ha de ser mayor que el de DBO₅, pues no toda la materia oxidable químicamente en condiciones enérgicas ha de ser bio-oxidable en condiciones suaves.

La relación entre DQO y DBO da una aproximación cuantitativa de la bio-degradabilidad de un efluente. A partir de ensayos de DBO₅ y DQO sobre el mismo tipo de aguas residuales se puede determinar el coeficiente F_b, el cual es útil para calcular la cantidad de materia orgánica para ser biológicamente eliminada. De este índice se tiene una referencia acerca de la biodegradabilidad de un efluente determinado. Cuando la relación es menor que 2.5 se habla de un efluente o compuesto biodegradable, pudiéndose utilizar sistemas biológicos como fangos activos o lechos bacterianos. Cuando la razón DQO/DBO₅ es mayor de 2.5 y menor de 5 significa que este es biodegradable siendo recomendable el empleo de lechos bacterianos.

II.6.3.6 Fósforo Total (P Total)

El fósforo (P) es un nutriente encontrado en el medio ambiente combinado en fosfatos inorgánicos. Interviene en la composición del ADN siendo parte esencial de la distribución de energía de todo organismo viviente. Puede encontrarse en la tierra de forma orgánica e inorgánica pero nunca en forma nativa.

La excesiva cantidad de fosfatos no-naturales en aguas superficiales del medio ambiente se origina en la emisión de residuos de la industria minera; a los cultivos que utilizan fertilizantes fosfatados, y a las descargas de aguas residuales industriales, que contienen detergentes y productos químicos utilizados en el tratamiento de las aguas.

Las fuentes de fósforo natural se encuentran en depósitos y rocas fosfóricas las cuales desprenden fósforo por erosión. En aguas frescas y sistemas marinos el fósforo está sujeto a procesos de transformación continua que incluyen consumo o desprendimiento del elemento en sus diferentes formas o especies.

El fósforo utilizado en los fertilizantes orgánicos e inorgánicos es removido por las plantas, el agua de las lluvias y escorrentías, o es absorbido por la tierra hasta alcanzar niveles de aguas subterráneas las que transportan a ecosistemas hídricos como ríos, lagunas, estuarios y lagos beneficiando a estado tróficos elevados.

La cantidad de fósforo presente determina la calidad del medio acuático. La medida se conoce como fósforo total (F_T), su análisis consiste en el fósforo inorgánico disuelto y el fósforo encontrado en suspensión en materia particulada, constituido por la materia orgánica, el fósforo de las rocas y el que la materia orgánica muerta ha absorbido; al incrementarse la concentración de fósforo en las aguas superficiales esto provoca el crecimiento de organismos que se nutren de este como son las algas, protozoos, bacterias y hongos.

II.6.3.7 Dureza Total (D Total)

La dureza o grado hidrotimétrico, es la suma de todas las concentraciones de cationes metálicos en el agua, con la excepción de los metales alcalinos y el hidrógeno. Los principales cationes que causan la dureza del agua en las cuencas son calcio (Ca) y magnesio (Mg). Estos cationes disueltos en el agua son el producto de reacciones naturales entre rocas calizas, dióxido de carbono, gotas de lluvia y cuencas donde van a parar las lluvias, en el ciclo del agua.

Otros cationes como el hierro (Fe), estroncio (Sr) y manganeso (Mn) influyen en menor medida, en la dureza que presenta las aguas gracias a su divalencia.

La dureza total (D Total) se refiere a las concentraciones de Mg y Ca que puede contener cualquier tipo de agua analizada. Esta se expresa comúnmente con unidades miligramos (mg) de carbonato de calcio ($CaCO_3$) entre litros (L). Se considera blanda a aquella agua con dureza inferior a 60 mg/L de $CaCO_3$. Si la dureza es superior a 270 mg/L de $CaCO_3$, el agua se considera dura.

El grado de dureza de las aguas está relacionado con la calidad de esta. Las algas, el plancton, el zooplancton y los peces requieren de la dureza del calcio para su correcto crecimiento y desarrollo apropiado. El agua que es baja en compuestos de dureza tenderá a ser fangosa, con presencia de organismos filamentosos, causando problemas de turbidez, disponibilidad de nutrientes y desarrollo de enfermedades en las branquias de los peces. Los cambios de dureza están relacionados con los cambios de acidez y alcalinidad de los acuíferos.

II.6.4 Indicadores Biológicos

Los indicadores biológicos son atributos de los sistemas que se emplean para descifrar factores de su ambiente; se utilizan en estudios de contaminación de aguas de un acuífero en cuestión.

Las especies bioindicadoras deben ser, en general, abundantes; muy sensibles al medio de vida; fáciles y rápidas de identificar; bien estudiadas en su ecología y ciclo biológico; y con poca movilidad, con el objetivo de facilitar su detención y análisis. Estas especies suelen utilizarse para definir la calidad del agua o suelo, un ejemplo de este es la utilización de organismos planctónicos como indicadores de eutrofización.

Otros indicadores biológicos son las especies de hongos, animales o vegetales utilizados para determinar la integridad ambiental al dar información sobre ciertas características ecológicas, es decir, fisicoquímicas, microclimáticas, biológicas y funcionales del medio ambiente, o sobre el impacto de ciertas prácticas en el medio.

Para cada tipo de ecosistema o calidad de agua hay un indicador determinante que ayuda a clasificar el ambiente según el estado de trofía que presente.

II.6.4.1 Clorofila α (clorf α)

La clorofila es un pigmento foto-receptor responsable de la coloración verde de las plantas y las algas protoctistas. Son utilizadas en la primera etapa de la fotosíntesis, encargándose de absorber los fotones de la energía solar y transformarla en energía química, por medio de la excitación de los electrones dentro del organismo. Este estudio se centra en la clorofila contenida en el agua, concretamente en la clorofila α (clorf α) que es la mayoritaria.

La concentración de clorf α se relaciona significativamente con la cantidad de materia orgánica vegetal presente en aguas superficiales. Este pigmento se usa como indicador de eutrofización puesto que indican la biomasa fitoplanctónica presente en ecosistemas acuáticos, además de ser utilizada para medir la potencialidad productiva.

Un cuerpo de agua que contenga una gran cantidad de clorf α indicará que presenta más plantas superiores o macrófitas, y más algas protoctistas de lo que una masa de agua normalmente posee, indicando indirectamente un aumento en los nutrientes disueltos en el agua. Todos los organismos fotosintéticos que producen oxígeno a partir del agua contienen clorofila α . La medición sistemática de la clorf α es recomendada ampliamente como un índice confiable, pues permite evaluar la salud del ecosistema.

II.6.4.2 Fitoplancton

Se define como fitoplancton la comunidad de microorganismos, en su mayoría fotosintéticos, entre ellos las microalgas, cianobacterias, flagelados heterótrofos y otros grupos sin clorofila, quienes viven suspendidos en la masa de agua.

Valor del fitoplancton como indicador de eutrofización con relación a la calidad de agua de lagos y embalses. Hay varios factores que definen la composición y abundancia del fitoplancton en lagos y embalses como son:

- Condiciones físicas e hidrológicas del lago o embalse: tales como turbulencia o estabilidad del agua, temperatura, luz, tasa de sedimentación del plancton y tiempo de residencia.
- Así como la composición química del agua: como materia orgánica y nutrientes, mineralización de las agua, oligoelementos entre otros.
- Sobre todo a los factores biológicos:
 - Depredación por parte de filtradores planctófagos y relaciones entre especies.
 - Parasitismo fúngico. Infecciones por parte de hongos y cromistas heterótrofos los cuales son capaces de reducir densas poblaciones Fitoplanctónica.

Por cada una de estas razones el fitoplancton se ha usado ampliamente como indicador del estado trófico de las masas de agua de lagos y embalses.

Por otro lado, este es adecuado para la detección y seguimiento de las presiones fisicoquímicas relacionadas con: la contaminación térmica; los cambios en la mineralización del agua; composición de los iones mayoritarios disueltos; la eutrofización por concentraciones de nitrógeno, fósforo, sílice o hierro, y la contaminación orgánica, soluble y particulada; por lo que el fitoplancton además es indicador de las presiones hidro-morfológicas que determinan los cambios en la tasa de renovación de lagos y embalses.

Para su detención y análisis se tuvo como base:

- El análisis de pigmentos, en general Clorofila “a” ya que esta es un indicador biológico potencial del fitoplancton.
- Muestreo del fitoplancton: en este se presentan las directrices metodológicas para la toma de muestras de fitoplancton y de clorofila “a”.

II.6.4.3 Macrófitos

El término macrófito se refiere a las plantas acuáticas observables a simple vista, de tipo vasculares, briófitas y macro-algas, englobando también las cianobacterias.

Tomando en cuenta que para su identificación puede ser en aguas corrientes y de lagos, especialmente a los hidrófitos, su identificación como indicador proporciona confianza a la hora de evaluar la calidad de agua de un lago o embalse. Estos se consideran útiles para detención y seguimiento de las presiones fisicoquímicas que produzcan: reducción de la transparencia del agua, variación de la mineralización, y sobre todo eutrofia.

II.6.4.4 Coliformes Totales (C totales)

Los coliformes totales son bacterias de la familia enterobacteriaceae lactosa-positivas que se caracterizan por su capacidad para fermentar la lactosa con producción de ácido y gas, aproximadamente de 24 a 48 horas a una temperatura de incubación comprendida entre 30 a 37° C. Son bacilos gramnegativos, aerobios y anaerobios facultativos, no espatulados.

Estas bacterias del grupo coliforme forman parte de varios géneros: Escherichia, Enterobacter, Klebsiella y Citrobacter. Se encuentran en el intestino del hombre y de los animales, pero también en otros ambientes tales como: agua, suelo, plantas y cáscara de huevo.

II.7 Efectos Secundarios de la Eutrofización

La eutrofización de un cuerpo de agua implica efectos secundarios además de las consecuencias notorias en el transcurso de sus etapas a escalas físicas, químicas y biológicas de la zona. Estos efectos adversos afectarán de forma directa la manera en la que el ser humano, los animales y las plantas utilizan el acuífero.

Los principales efectos secundarios son:

- Degradación de la flora nativa e inofensiva del ecosistema

- Producción de toxinas por flora nociva

- Disminución de transparencia del agua: menor alcance de la luz hacia su interior.

- Aumento de la cantidad de peces adaptativos a las nuevas condiciones y muerte de peces intoxicados, asfixiados e inadaptados a niveles de pH ácidos.

- Colmatación y obstrucción de los canales de riego por la presencia de macrófitas

- Disminución de la capacidad autodepuradora de las aguas

- Desoxigenación del agua y desequilibrio ecológico

La calidad del agua es deteriorada recibiendo cambios negativos en el olor, sabor y coloración, lo cual interfiere con los usos recreacionales, la pesca, natación, la obtención de agua potable y la navegación.

SEGUNDA PARTE
ASPECTOS PRÁCTICOS

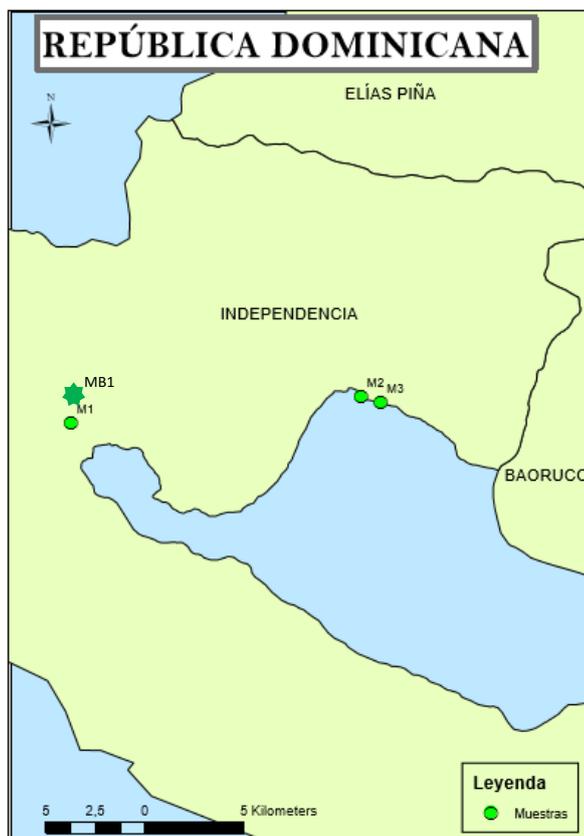
CAPÍTULO III
METODOLOGÍA

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

El método utilizado para la toma de muestras tiene como objetivo establecer con exactitud los resultados de la investigación. Se siguieron los lineamientos establecidos del documento Técnicas de Muestreo y Técnicas Analíticas Protocolo de Contaminantes Emergentes y Prioritarios, y del documento Metodología para el Establecimiento del Estado según la Directiva Marco del Agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro, con la finalidad de evitar errores por contaminación cruzada o cambios en las propiedades fisicoquímicas y biológicas de las muestras.

Al igual que los parámetros analizados a partir de las muestras tomadas, las características organolépticas observadas in situ, son factores que marcan un papel importante en la interpretación de los resultados. En el Mapa no. 4 se presenta la localización geográfica de los puntos del muestreo en el lago.

Mapa 4. Localización Geográfica Puntos del Muestreo en el lago Enriquillo, Zona Independencia



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

III.1 Protocolo y Puntos de Muestreo

El muestreo se realiza en la parte oeste y luego en la norte del lago Enriquillo, en las orillas de las comunidades Jimaní y La Descubierta, provincia Independencia, República Dominicana. La toma de muestras se desarrolló en tres puntos, seleccionados en lugares claves con ayuda de sistemas como el GPS y Google Maps. Los puntos de muestreo se presentan en la Figura no. 6 y tabla no. 1.

El primer punto de muestreo está ubicado en las coordenadas $18^{\circ}32'54''$ N, $71^{\circ}50'11''$ O, a 72° del este, en la capital de Jimaní próximo al balneario azufrado del Distrito Municipal Boca de Cachón, a un nivel de -30 metros de elevación del mar.

Tabla 3 **Coordenadas Geográficas de los Puntos Muestreados**

No.	Código	Coordenadas		Elevación
		Norte	Oeste	
1	M1	$18^{\circ}32'54''$	$71^{\circ}50'11''$	-30 m
1	MB1	$18^{\circ}33'21''$	$71^{\circ}50'5''$	- 30 m
2	M2	$18^{\circ}33'45''$	$71^{\circ}41'52''$	-40 m
3	M3	$18^{\circ}33'36''$	$71^{\circ}41'18''$	-10 m

El segundo punto de muestreo está ubicado dentro del área protegida Las Iguanas en el municipio La Descubierta. En la tabla no.3 se presentan las coordenadas y la elevación.

El tercer punto de muestreo está ubicado en las coordenadas $18^{\circ}33'36''$ N, $71^{\circ}41'18''$ O, a 129° del sur, próximo a las cuevas turísticas Las Caritas del municipio La Descubierta, a un nivel de -10 metros de elevación del mar.

En la planificación del muestreo se toman todas las medidas necesarias para cumplir con los requerimientos, protocolos y normas establecidas.

Se utilizan frascos esterilizados de vidrios color ámbar y plástico blanco según el compendio sobre el muestreo y conservación de muestras: Compendio de Metodologías Analíticas de Referencia y Preservación de Parámetros Ambientales de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE). En cada punto se tomaron muestras adicionales a las necesarias como una medida de prevención.

Los frascos de vidrio ámbar se utilizan para el muestreo de análisis fisicoquímicos posteriores, muestras las cuales se conservaron en frío a un pH igual o inferior a 2, utilizando una solución de ácido nítrico al 0.1 normal (N) para mantener el medio ácido.

Tomando en cuenta las indicaciones del compendio de la OCDE, los parámetros fisicoquímicos como el fósforo, DBO, conductividad y pH y las muestras de biológicas se envasaron en recipientes plásticos blancos opacos y se preservaron en frío, sin conservantes.

Se utilizó un registro de información pertinente en el transcurso del muestreo donde se anotaban los datos referentes a cada punto, tanto las características físicas apreciables a la vista como las posiblemente medidas con aparatos como los celulares inteligentes sobre la ubicación geográfica, el clima y la temperatura.

III.2 Métodos

En este apartado se presentan y describen de forma concisa los tipos de análisis de laboratorio que fueron realizados en las muestras con el fin de conocer los valores de los parámetros seleccionados en la investigación bibliográfica.

III.2.1 Potenciometría

La potenciometría es un método analítico electroquímico basado en la medida de la diferencia de potencial entre electrodos sumergidos en una solución, siendo el potencial de uno de los electrodos función de la concentración de determinados iones presentes en la solución. La medida de los potenciales de electrodo permite obtener de forma directa la concentración de una sustancia o seguir su evolución a lo largo de una reacción química.

El electrodo de membrana de vidrio es el pH-metro más utilizado para medir el potencial de Hidrógeno (pH). La membrana de vidrio consta de una capa hidratada o de gel en su superficie, que cuando se sumerge en una solución acuosa es capaz de medir el pH. La medición ocurre por medio de una disociación en el sitio de unión entre el vidrio y la solución, los iones del vidrio entran en solución, se disocian, y son reemplazados por protones de la solución acuosa. Esto produce una capa delgada que contiene abundantes grupos hidroxilo.

Dependiendo del pH de la muestra, los protones se difunden en la capa hidratada o fuera de ella. Esto crea un potencial electroquímico donde el número de protones que pueden difundirse en esta capa hidratada está limitado por el número de iones Hidroxilo (OH^-) y Oxonio (H_3O^+).

En el interior de la membrana, el amortiguador interior garantiza un potencial constante. El potencial en la membrana de vidrio se mide contra un electrodo de referencia. El electrodo de referencia tiene un potencial constante que es independiente de la muestra, cuyo se compone de un elemento de referencia que se sumerge en una solución con una composición conocida y constante.

III.2.2 Método Volumétrico

En la volumetría complejométrica se mide el volumen de solución necesario para formar un complejo con un catión metálico del compuesto que se analiza. Los complejos llamados quelatos, se producen por la coordinación de un catión y un ligando, en los que el catión metálico es parte de uno o varios anillos de cinco o seis miembros. El ácido etilendiaminetetracético (EDTA) es un compuesto orgánico de los más empleados en análisis cuantitativos, actúa como acomplexante formando quelatos al coordinarse con un catión en solución.

La dureza es una característica química del agua que está determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y nitratos de calcio y magnesio. Se representa calculando la cantidad de iones Ca^{+2} y Mg^{+2} que se encuentran en un volumen medido de agua.

La determinación de la dureza del agua es una prueba analítica que proporciona una medida de la cantidad del agua potable para uso doméstico e industrial, de allí su importancia.

Este método es aplicable a aguas potables, superficiales, contaminadas y aguas residuales. El EDTA y sus sales de sodio forman un complejo de quelato soluble al añadirlo a las soluciones de algunos cationes metálicos. Cuando se añade EDTA al agua que contiene calcio y magnesio, aquél se combina primero con el calcio. De acuerdo con los criterios actuales, la dureza total se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, ambos expresados como carbonato de calcio, en miligramos por litro.

La nitidez del punto final en el método volumétrico de EDTA, aumenta con los incrementos de pH. Sin embargo, el pH no puede aumentar indefinidamente debido al peligro de precipitación de carbonato de calcio (CaCO_3) o hidróxido magnésico, $\text{Mg}(\text{OH})_2$, y porque la titulación cambia de color a pH alto. El valor de pH especificado de 10 constituye una solución satisfactoria.

III.2.3 Método del Secado

La determinación de sólidos totales en muestras de agua por desecación es un método muy utilizado, algunas de sus aplicaciones son: determinación de sólidos y sus fracciones fijas y volátiles en muestras sólidas y semisólidas como sedimentos de río o lagos, lodos aislados en procesos de tratamiento de aguas limpias y residuales y aglomeraciones de lodo en filtrado al vacío, de centrifugación u otros procesos de deshidratación de lodos. La determinación de sólidos totales permite estimar la cantidad de materia disuelta y en suspensión que lleva una muestra de agua. Una muestra bien mezclada se evapora en una capsula secada a peso constante en una estufa a $103\text{-}105^\circ\text{C}$, el incremento de peso de la capsula vacía representa los sólidos totales.

La temperatura a la cual el residuo es secado es importante e interfiere en los resultados debido a que la pérdida de peso por la volatilización de la materia orgánica, agua de cristalización y gases de la descomposición química termo-inducida, como bien la ganancia de peso debido a la oxidación, dependen de la temperatura y el tiempo de calentamiento.

III.2.4 Conductimetría

La conductimetría es un método electro-analítico basado en la conducción eléctrica de los iones en solución, que se utiliza para medir la molaridad de una disolución, determinada por su carga iónica, de gran movilidad entre dos puntos de diferente potencial. Esta conducción involucra la migración de especies cargadas positivamente hacia el cátodo y especies cargadas negativamente hacia el ánodo. Además, unido a esto, los iones positivos y negativos no transportan igual cantidad de corriente de manera que se produce un gradiente de concentración en la solución electrolítica en estudio.

La conductancia de una solución, es una medida del flujo de corriente que resulta de la aplicación de una fuerza eléctrica dada, depende directamente del número de partículas cargadas que contiene. Todos los iones contribuyen al proceso de conducción, pero la fracción de corriente transportada por cada especie está determinada por su concentración relativa y su movilidad inherente en el medio.

III.2.5 Método del Número Más Probable

Los coliformes totales se pueden determinar a partir del método del número más probable (NMP) o de los tubos múltiples. En este los volúmenes decreciente de la muestra son infectados con un medio de cultivo que contenga sales biliares, es decir, proveniente de ácidos biliares. Este método se basa en la capacidad de este grupo microbiano de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas al incubarlos a $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas

Esta determinación consta tres fases:

- La fase presuntiva que permite la recuperación de los microorganismos dañados que se encuentren presentes en la muestra y que sean capaces de utilizar a la lactosa como fuente de carbono, indicando que la prueba presuntiva es positiva para la presencia de bacterias.
- La fase confirmativa reduce la posibilidad de resultados falsos gas-positivos que pueden ocurrir por la actividad metabólica de los organismos formadores de esporas o por la reducción de gas debido a que algunas cepas bacterianas no pueden producirlo a partir de la fermentación de la lactosa.

- La prueba complementaria, la cual será positiva cuando haya producción de gas a partir de la fermentación de la lactosa y por el examen microscópico, sea demostrada la presencia de bacilos gram-negativos no esporulados en las bacterias desarrolladas en el agar inclinado. Se consideran positivas las colonias típicas que son nucleadas con o sin brillo metálico y las colonias atípicas que son opacas, anucleadas, mucoides y de color rosado.

III.2.6 Método del DBO a 5 días.

La DBO es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas, en cinco días a 20 °C. En aguas residuales domésticas, el valor de la DBO a cinco días representa en promedio un 65 a 70% del total de la materia orgánica oxidable. La DBO, como todo ensayo biológico, requiere cuidado especial en su realización, así como conocimiento de las características esenciales que deben cumplirse, con el fin de obtener valores representativos confiables.

El ensayo supone la medida de la cantidad de oxígeno consumido por organismos vivos en la utilización de la materia orgánica presente en un residuo; por tanto, es necesario garantizar que durante todo el periodo de ensayo exista suficiente oxígeno disuelto para ser utilizado por los organismos. Además, debe garantizarse que se suministran las condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo y trabajo de los microorganismos, así que hay que proporcionar los nutrientes necesarios para el desarrollo bacteriano, tales como N y P y eliminar cualquier sustancia tóxica de la muestra.

Es también necesario que exista una población de organismos suficiente en cantidad y en variedad de especies, llamada “Cepa” o “semilla”, durante la realización del ensayo, para la degradación de la materia orgánica. El método se aplica en este laboratorio para la matriz aguas naturales superficiales y residuales industriales. Es empleado para el intervalo de 2 a 5000 mg/L. Es un método electrométrico, en el que se determina el oxígeno disuelto consumido, en sus procesos metabólicos, por los microorganismos, en la degradación de la materia orgánica, incubando la muestra en la oscuridad a $20 \pm 30^{\circ}\text{C}$, por cinco días

III.2.7 Método de Reflujo Abierto

La mayoría de los tipos de materia orgánica se oxidan por ebullición de ácidos crómico y sulfúrico. Una muestra es llevada por reflujo en una solución fuertemente ácida con un exceso conocido de dicromato de potasio. Después de la digestión, el resto no reducido se titula con sulfato de amonio ferroso para determinar la cantidad de dicromato de potasio consumida y la cantidad oxidable. La materia se calcula en términos de oxígeno equivalente. Se deben mantener las relaciones de pesos de reactivos, volúmenes y fuerzas constantes cuando se utilicen volúmenes de la muestra diferentes a 50 ml.

El tiempo estándar de reflujo es de 2 horas y puede reducirse, ya que se ha demostrado que en periodos más cortos se pueden obtener los mismos resultados. Algunas muestras con muy baja DQO o con contenido de sólidos altamente heterogéneos pueden necesitar ser analizadas en repetición para obtener los datos más confiables. Los resultados se potencian adicionalmente haciendo reaccionar una cantidad máxima de dicromato, con la condición de que permanezca algo de dicromato residual.

III.2.8 Digestión del Persulfato de Amonio

El fósforo se puede presentar en combinación con materia orgánica, por lo que un método de digestión para determinar fósforo total debe ser capaz de oxidar la materia orgánica eficazmente para liberar el fósforo como ortofosfato. El método más sencillo, es el de la oxidación con persulfato. La oxidación con persulfato es complementada con luz ultravioleta para tener una digestión más eficiente.

Este método somete a la muestra a un proceso previo y en continuo de digestión de dos etapas en autoclave a 110°C y alta presión (0,09 MPa). En la primera etapa se añade un agente oxidante de persulfato alcalino y, en segunda etapa, se añade un ácido inorgánico. Una vez digerida el P se determinan los por colorimetría previa reacción con molibdato y reducción con ácido ascórbico, de manera que el complejo azul de molibdeno final es detectado en el interior de un fotómetro a 800 nm

III.3 Muestreo

El método de recolección de las muestras fue directo y manual, teniendo una duración de aproximadamente 4 horas, comenzando desde las 12:30 p.m. hasta las 4:30 p.m. Al tener los puntos seleccionados por acuerdo con los implicados, se prosiguió a dirigirse a ellos.

Punto No.1

En el primer punto las muestras se toman de 10 a 12 metros de la orilla dentro del Lago, sin tocar el agua, posicionándose sobre bloques de concreto colocados en forma de camino en el lugar. Este punto no. 1 presentó brisa ligera en dirección al noreste, temperatura ambiental de 30°C, baja marea, el color de las aguas color era café mediano con olor a huevos podridos, presencia de espumas y burbujas cangrejos muertos, ortigas acuáticas como representantes de la flora y la fauna. La muestra microbiológica se tomó en una cuenca que desemboca al lago.

Punto No.2

En el segundo punto se tomaron las muestras desde un puerto de barcas que estaba a una profundidad de 1.5 m aproximadamente. La brisa de este punto no. 2 era ligera, con el cielo parcialmente despejado, una temperatura de aproximadamente 30°C, baja marea y con agua color amarillo-verdoso, sin olores, con presencia de espumas, burbujas y poca cantidad de algas.

Punto No.3:

En el tercer punto, se adentró al lago a una distancia de 3 metros de la orilla. El tiempo estuvo calmado, sin brisa, parcialmente nublado, con una temperatura aproximada de 30°C, marea baja y aguas color verde con olor a huevos podridos y presencia de espumas, burbujas y restos de flora muerta por todos lados.

En todos los puntos las muestras se tomaron a un nivel donde no hubiera fluctuaciones de sedimento. Se buscó una profundidad adecuada donde al introducir el recipiente este no tocara la superficie o removiera el fondo de las playas del lago. Los frascos se colocaron en una posición horizontal dentro de las aguas y fueron tapados antes de ser extraídos. Las muestras para los análisis fisicoquímicos fueron llenadas casi completamente dejando espacio para el conservante, mientras que las microbiológicas no se llenaron completamente para permitir la presencia de aire.

Al tomar las muestras se utilizó un par de guantes desechables nuevos en cada punto. En todas las áreas de muestreo se llevaron los frascos supuestos a utilizarse en dicha área desde el vehículo. Durante el muestreo realizado, dos de las muestristas

tomaban las muestras en los frascos mientras que la tercera llenaba el formulario de características del paisaje.

Al finalizar la toma de muestras, todos frascos fueron colocados en una nevera portátil con hielo para fines de conservación. Los materiales y equipos utilizados en la toma de las muestras fue el siguiente:

- Contenedores o frascos esterilizados
- Guantes y mascarillas
- Nevera de conservación llena de hielo
- Toallas
- Etiquetas y rotuladores
- Ácido Nítrico 0.1 N
- GPS
- Cámara
- Fundas ziploc
- Formulario de muestre

CAPÍTULO IV
RESULTADOS

CAPÍTULO IV RESULTADOS

Los parámetros físico-químicos y biológicos estudiados en el lago, en febrero del 2017, se presentan en las tablas no. 4, 5, 6, 7, 8 y 9. En los Mapas no. 4, 5, 6 y 7 se presentan los puntos geográficos de la Hoya del Enriquillo, donde se realizaron la toma de muestras.

Tabla 4 Resultados de los Análisis Físicoquímicos en el Punto Uno, Jimaní, Lago Enriquillo

Parámetro / Abreviatura	Resultado	Unidades	Métodos
Fosforo Total P _{Total}	< 0.06	mg/L	HACH DRB 200 HACH DRB 3900
Potencial de Hidrogeno pH	8.49	---	HACH HQ11D
Dureza D	15,678.57	mg/L	Volumetría
Conductividad σ	18.32	mS/cm	HACH HQD Fiel Case
Sólidos Totales ---	11.96	mg/L	HACH HQD Fiel Case

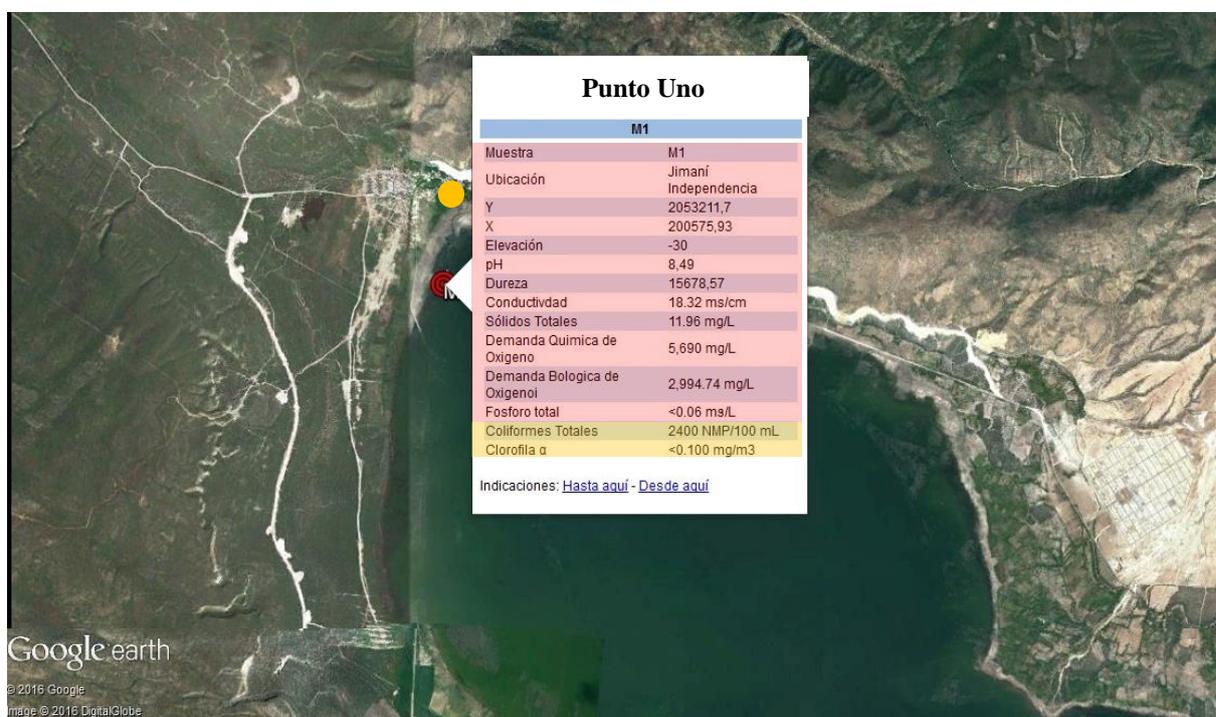
Tabla 5 Resultados de los Análisis Biológicos en el Punto Uno, Jimaní, Lago Enriquillo

Parámetro / Abreviatura	Resultado	Unidades	Métodos
Demanda Química de Oxígeno DQO	5,690.00	mg/L	HACH DRB 200 HACH DRB 3900
Clorofila α^* Clorf α	Bajo del límite de detección (BDL)	mg/ m ³	SM 10200 H
Coliformes Totales* ---	2,400	NMP/100 mL	SM 9221 B
Demanda Biológica de Oxígeno DBO	2,994.74	mg/L	HACH DRB 200 HACH DRB 3900

Nota:

^a Resultado de muestras tomadas en zona próximo a balneario Boca de Cachó: punto diferente al Punto Uno.

Mapa 6 Localización Geográfica del Primer Punto del Muestreo con los Parámetros Analizados en el Lago Enriquillo, Jimaní, Independencia.



Fuente: Modificado de Google Earth, por Rodríguez, Pérez & Liriano

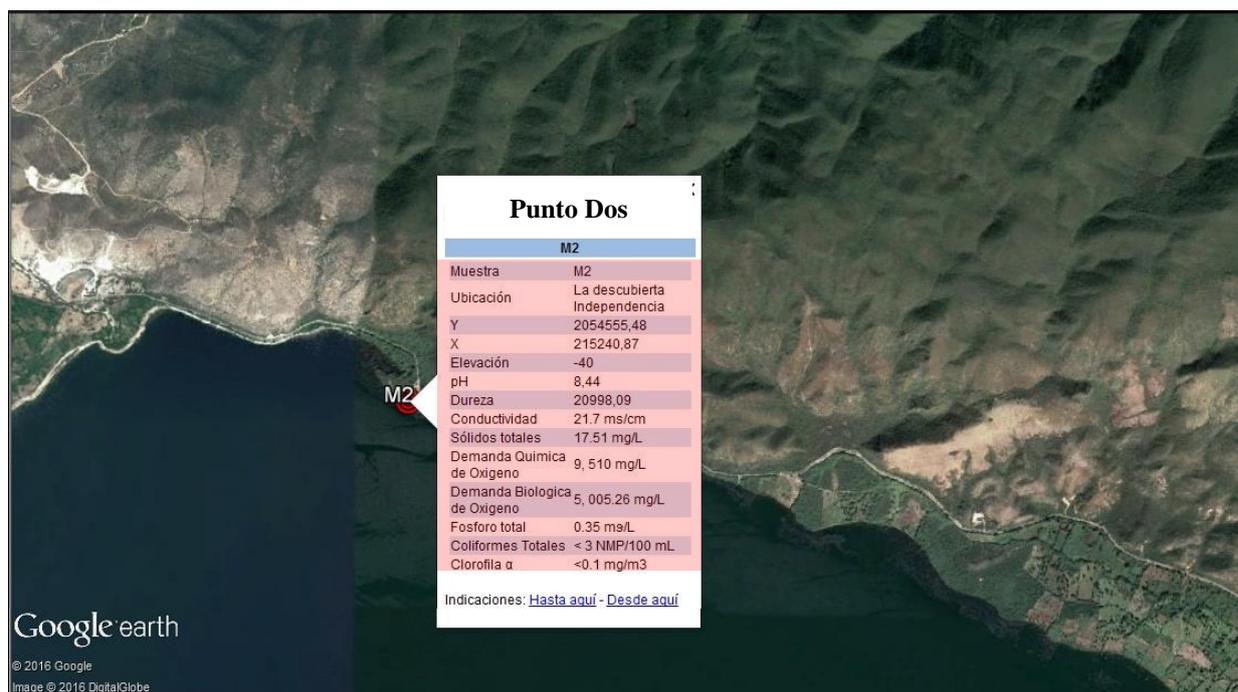
Tabla 6 Resultados de los Análisis Físico-químicos en el Punto Dos, La Descubierta, Lago Enriquillo

Parámetro / Abreviatura	Resultado	Unidades	Métodos
Fosforo Total P _{Total}	0.35	mg/L	HACH DRB 200 HACH DRB 3900
Potencial de Hidrogeno pH	8.44	---	HACH HQ11D
Dureza D	20,998.09	mg/L	Volumetría
Conductividad σ	21.7	mS/cm	HACH HQD Fiel Case
Sólidos Totales ---	17.51	mg/L	HACH HQD Fiel Case

Tabla 7 Resultados de los Análisis Biológicos en el Punto Dos, La Descubierta, Lago Enriquillo

Parámetro / Abreviatura	Resultado	Unidades	Métodos	
Demanda Química de Oxígeno	DQO	9, 510.00	mg/L	HACH DRB 200 HACH DRB 3900
Clorofila α	Clorf α	Bajo del límite de detección (BDL)	mg/ m ³	SM 10200 H
Coliformes Totales	---	< 3	NMP/100 mL	SM 9221 B
Demanda Biológica de Oxígeno	DBO	5, 005.26	mg/L	HACH DRB 200 HACH DRB 3900

Mapa 7. Localización Geográfica del Segundo Punto del Muestreo con los Parámetros Analizados en el Lago Enriquillo, La Descubierta, Independencia.



Fuente: Modificado de Google Earth, por Rodríguez, Pérez & Liriano

Tabla 8 Resultados de los Análisis Físicoquímicos en el Punto Tres, La Descubierta, Lago Enriquillo

Parámetro / Abreviatura	Resultado	Unidades	Métodos
Fosforo Total P _{Total}	< 0.06	mg/L	HACH DRB 200 HACH DRB 3900
Potencial de Hidrogeno pH	8.54	---	HACH HQ11D
Dureza D	22,397.09	mg/L	Volumetría
Conductividad σ	23.3	mS/cm	HACH HQD Fiel Case
Sólidos Totales ---	13.73	mg/L	HACH HQD Fiel Case

Tabla 9 Resultados de los Análisis Biológicos en el Punto Tres, La Descubierta, Lago Enriquillo

Parámetro / Abreviatura	Resultado	Unidades	Métodos
Demanda Química de Oxígeno DQO	3, 420.00	mg/L	HACH DRB 200 HACH DRB 3900
Clorofila α Clorf α	Bajo del límite de detección (BDL)	mg/ m ³	SM 10200 H
Coliformes Totales ---	230	NMP/100 mL	SM 9221 B
Demanda Biológica de Oxígeno DBO	1, 800.00	mg/L	HACH DRB 200 HACH DRB 3900

Mapa 8. Localización Geográfica del Tercer Punto del Muestreo con los Parámetros Analizados en el Lago Enriqueillo, La Descubierta, Independencia.



Fuente: Modificado de Google Earth, por Rodríguez, Pérez & Liriano

Mapa 9. Localización Geográfica del Primer Punto del Muestreo con los Parámetros Biológicos Analizados en el Lago Enriqueillo, Balneario Boca de Cachón, Jimaní, Independencia.



Fuente: Modificado de Google Earth, por Rodríguez, Pérez & Liriano

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CAPÍTULO V ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado se discuten los resultados analíticos obtenidos en cada una de las pruebas de laboratorio. Para el análisis de los mismos se tomaron los parámetros mostrados en las siguientes tablas no. 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18 extraídas de diversas fuentes de origen dominicanas y extranjeras. Los rangos de calificación que presentan estas fuentes están basados en el nivel trófico o grado de contaminación encontrados en aguas superficiales continentales.

Para los principales indicadores de eutrofización

Según la tabla no. 4 en el Punto Dos de muestreo, el P Total se encuentra en 0.35 mg/L, concentración que está dentro de la clasificación del estado eutrófico de la tabla no. 10. Los valores del parámetro P Total en los demás puntos de muestreo, se encuentran por debajo del límite cuantificable por el equipo.

Tabla 10 **Parámetro P Total. Escala de valores de fósforo total relacionado al estado trófico de aguas superficiales.**

P Total				
Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipertrófico	Unidad
< 10	10 a 72	73 a 576	> 576	mg/m ³
Conversiones de µg/L a mg/L				
< 0.010	0.010 a 0.072	0.073 a 0.576	> 0.576	mg/L

Nota. Adaptado de la tabla 1: Escala de valores del estado trófico en los cuerpos de agua. Métodos para Identificar, Diagnosticar y Evaluar el Grado de Eutrofia, 2010.

Publicado en: <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n78ne/eutrofia2.pdf>

Los valores de la clorofila α mostrados en las tablas no. 3, 5 y 7 presentes en los tres puntos de muestreo, de unidades en mg/m³, se encuentran por debajo del límite cuantificable por el equipo.

Tabla 11 **Parámetro Clorf α** . Escala de valores de clorofila α relacionado al estado trófico de aguas superficiales.

Clorf α					
Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipertrófico	Unidad
< 1	1 a 2.5	2.5 a 7.9	8 a 25	> 25	$\mu\text{g/L} = \text{mg/m}^3$

Nota. Adaptado de la tabla 1: Escala de valores del estado trófico en los cuerpos de agua. Métodos para Identificar, Diagnosticar y Evaluar el Grado de Eutrofia, 2010.

Publicado en: <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n78ne/eutrofia2.pdf>

Para las características físico-químicas

El pH en los puntos 1 y 2 mostrados en las tablas no. 2 y 4, se presenta variando entre 8.49 a 8.44, respectivamente, valores que están dentro de lo establecido en la norma dominicana Norma de Calidad de Aguas Superficiales y Costeras. El pH en el Punto Tres, mostrado en la tabla no. 6, se presenta con 8.54 valor que se muestra superior al rango máximo permitido en aguas superficiales tipo E presentada en la tabla no. 12.

Tabla 12 **Parámetro pH**. Valores máximos y mínimos aceptables presentes en cuerpos hídricos costeros, con base en el pH.

pH		
Mínimo	Máximo	Unidad
7.5	8.5	---

Nota. Adaptado de la norma: Norma Ambiental Sobre la Calidad de agua y el Control de Descargas. Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales, 2012. Publicado en:

[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/99222C6086A3A87F05257DCD004F3460/\\$FILE/N A-AG-001-03.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/99222C6086A3A87F05257DCD004F3460/$FILE/N A-AG-001-03.pdf)

La D Total de los tres puntos en las tablas 2, 4 y 6 presenta un rango de 15,678.57 mg/L a 22,397.09 mg/L, valores que sobrepasan el rango normal de clasificación del agua presentada en la tabla no. 13.

Tabla 13 **Parámetro D. Escala de la clasificación de la calidad del agua, con base en la dureza.**

D			
Productividad Baja	Productividad Media	Eutrofia	Unidad
< 40	40 a 80	> 80	g/m ³ = mg/L

Nota. Adaptado del gráfico: Índice de contaminación para la dureza. Cuatro Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales. Formulaciones y Aplicación, 1997.
Publicado en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5587866.pdf>

La σ se presenta en un rango variable de 18.32 mS/cm, 21.7 mS/cm y 23.3 mS/cm en los tres puntos de muestreo de las tablas 2, 4 y 5, valores muy altos con relación al parámetro de comparación de la tabla no. 14.

Tabla 14 **Parámetro σ . Escala de valores máximos y mínimos que caracterizan las aguas superficiales, con base en la conductividad.**

σ					
Alta Montaña	Cuenca Media	Cuenta Baja	Contaminación	Salobre	Unidad
< 50	50 a 150	150 a 200	200 a 275	> 275	μ S/cm
Conversiones de μ g/cm a mS/cm					
< 0.05	0.05 a 0.15	0.15 a 0.2	0.2 a 0.275	> 0.275	mS/cm

Nota. Adaptado del gráfico: Índice de contaminación para la conductividad. Cuatro Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales. Formulaciones y Aplicación, 1997.
Publicado en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5587866.pdf>

Los sólidos totales presentan valores por debajo del máximo aceptable de cualquier clase de agua establecida en la norma dominicana Norma de Calidad de Aguas Superficiales y Costeras presentada en la tabla no. 15.

Tabla 15 **Parámetro Sólidos Totales. Valores máximos y mínimos aceptables presentes en cuerpos hídricos costeros, con base en Sólidos Totales.**

Sólidos Totales	
Máximo	Unidad
---	mg/L

Nota. Adaptado de la norma: Norma Ambiental Sobre la Calidad de agua y el Control de Descargas. Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales, 2012. Publicado en:
[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/99222C6086A3A87F05257DCD004F3460/\\$FILE/N A-AG-001-03.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/99222C6086A3A87F05257DCD004F3460/$FILE/N A-AG-001-03.pdf)

Para los parámetros biológicos indicadores de contaminación

Las coliformes totales se presentan con valores muy distintos según el punto analizado, en la tabla no. 3 el Punto Uno presentó 2,400 NMP/100mL; en la tabla no. 5 el Punto Dos tenía menos cantidad que las pueden detectar los equipos y en la en la tabla no. 7 el Punto Tres presentó una valor de 230 NMP/100mL; las concentraciones en los tres puntos son inferiores a los 15,000 NMP/100mL del parámetro de comparación sobre aguas agrícolas, de la tabla no. 16.

Tabla 16 **Parámetro Coliformes Totales. Escala de la clasificación de la calidad del agua, con base en coliformes totales.**

Coliformes Totales			
Pesca	Agrícola	Contaminación	Unidad
< 1,500.00	>1,500.00 y < 6,000.00	≥ 6,000.00	NMP/100 cm ³
Conversiones de NMP/100 cm ³ a NMP/100 mL			
< 15,000.00	>15,000.00 y < 60,000.00	≥ 60,000.00	NMP/100 mL

Nota. Adaptado del gráfico: Índice de contaminación para coliformes totales. Cuatro Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales. Formulaciones y Aplicación, 1997.
 Publicado en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5587866.pdf>

Los valores de la DBO oscilan entre 2,994.74 mg/L; 5,005.26 mg/L y 1,800 mg/L, respectivos a los puntos 1, 2 y 3 de las tablas 3, 5 y 7, siendo significativamente muy superiores a los parámetros de comparación de la tabla no. 17.

Tabla 17 **Parámetro DBO. Escala de valores de grados saprófitos para clasificación de aguas superficiales, con base en la DBO.**

DBO			
Oligos aprobio	Mesos aprobio	Poli-Eusaprobio	Unidad
< 3.5	3.5 a 13.5	> 13.5	g/m ³ = mg/L

Nota. Adaptado del gráfico: Índice de contaminación para la DBO. Cuatro Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales. Formulaciones y Aplicación, 1997. Publicado en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5587866.pdf>

El análisis de la DQO arrojó resultados que van desde 5,690 mg/L, 9,510 mg/L y 3,420 mg/L, en los puntos 1, 2 y 3 respectivamente, presentando valores que están por encima de los valores del parámetro de comparación sobre la calidad del agua presentado en la tabla no. 18.

Tabla 18 **Parámetro DQO. Escala de la clasificación de la calidad del agua, con base en la demanda química de oxígeno.**

DQO					
Excelente	Buena calidad	Aceptable	Contaminada	Fuertemente Contaminada	Unidad
≤ 10	>10 y ≤ 20	>20 y ≤ 40	>14 y ≤ 200	> 200	mg/L

Nota. Adaptado de la tabla 4: Escala de la clasificación de la calidad del agua, con base en la demanda química de oxígeno. Perspectivas sobre Conservación de Ecosistemas Acuáticos en México, 2007. Publicado en: <https://books.google.com.do/books?id=uWlrkIx-r3oC&lpg=PA124&ots=8Mso51-tWR&dq=la%20tabla%204%20Escala%20de%20la%20Clasificaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20agua%20=false>

Para los parámetros cualitativos

Primer punto. Localizado en Jimaní, se muestreó en dos zonas distintas. En la primera zona, el muestreo físico-químico ocurrió en el lago: el color de las aguas era café mediano, sin mucho movimiento y con olor a huevos podridos, representativo de aguas con niveles tróficos altos. La presencia de espumas y burbujas señala que las aguas tienen niveles de DBO altos siendo los microorganismos los causantes de estas características, según las características de las etapas de la eutrofización, como se muestra en la Imagen no. 1.

Imagen 1. **Punto Uno-FQ: Recolección de muestras para análisis físico-químicos. Orillas del Enriquillo, provincia Jimaní, La Independencia.**



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

En la segunda zona del punto uno, el muestreo biológico en la cuenca Boca de Cachón, el agua era cristalina, tenía movimiento constante, y se presentó con una variada y numerosa población de algas verdes y rojas, como se muestra en la Imagen no. 2.

Se reconoce al alga verde filamentososa *enteromorpha compressa* como uno de los tipos de algas en la cuenca, mostrada en las Imágenes no 3, 4 y 5. La presencia de esas algas denota eutrofización creciente según la tabla no. 19 descriptivas de criterios tróficos.

Imagen 2 Presencia de algas macrófitos en el afluente de Boca de Cachón. Identificación del alga verde enteromorpha compressa, Punto Uno-B.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 3 Muestra de la alga verde enteromorpha compressa.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 4 Alga verde enteromorpha compressa dentro del agua.



Fuente: Google-imágenes. En <https://nas.er.usgs.gov/XIMAGESERVERX/2009/20090611112410.jpg>

Imagen 5 Alga enteromorpha compressa en la superficie del agua.



Fuente: Google-imágenes. En <http://www.biopedia.com/wp-content/uploads/2013/05/image362.jpg>

Tabla 19 Características generales de lagos y pantanos oligotróficos y eutróficos. Parte 1.

PARAMETRO	TIPO DE MASA DE AGUA	
	OLIGOTRÓFICA	EUTRÓFICA
I- BIOLÓGICO		
Producción de plantas y animales	Baja	Alta
Número de especies de plantas y animales	Numerosas	Muchas; pueden estar reducidas sustancialmente en aguas hipertrofias
Niveles generales de biomasa en la reserva de agua	Bajos	Altos
Aparición de Proliferación de algas	Rara	Frecuente
Cantidad relativa de algas verdes y verde-azuladas	Baja	Alta
Grado distribución de algas	En el hipolimnio, en masas de agua estratificadas térmicamente	Por lo general sólo en las aguas superficiales
Crecimiento de plantas acuáticas en el área poco profunda de la línea costera (Litoral)	Puede ser escaso o abundante; si ocurre consiste por lo general en vegetación sumergida y en desarrollo	Con frecuencia abundante; generalmente aumento de algas filamentosas y disminución de macrófitas
Emigración diaria de algas	Grande	Limitada
Tipos característicos de peces	Peces que viven en las profundidades y agua fría (salmón, trucha, cisco)	Peces que viven en la superficie y agua caliente (lucio, perca, róbalo etc.)

Nota. Extraído del documento: Eutrofización de Cuerpos de Agua, s.f.

Publicado en: http://www.proyectopandora.es/wp-content/uploads/Bibliografia/13101319_eutrofizacion_cuerpos.Pdf

Segundo punto. La marea era baja, sin corriente, no tenía cuenca cerca que agregase aguas nuevas por la zona. Las orillas presentaban poca cantidad de espumas. La zona del lago no presentaba algas filamentosas o macrófitas, como se presenta en la Imagen no. 6 El agua tenía color amarillo-verdoso, sin olores, se notó presencia de burbujas, cualidad específica de la etapa tres de un proceso de eutrofización.

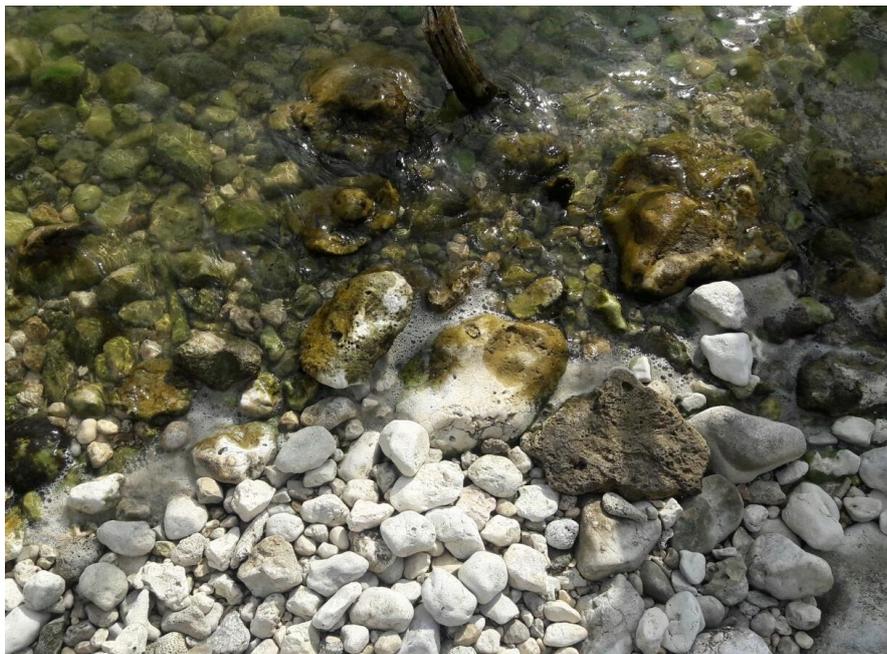
Tercer punto. La marea era baja, sin corriente, la zona carece de cuenca cerca que vierta las aguas en ella, como se presenta en la Imagen no. 7. La masa de agua color verde tenían olor a huevos podridos, con presencia de espumas, burbujas y restos de flora muerta por todos lados, características que se presentan en las etapas tres y cuatro de un proceso de eutrofización.

Imagen 6 Puerto de botes en Las Iguanas, La Descubierta, provincia Independencia, Punto Dos.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 7 Espuma en las orillas del lago Enriquillo en Las Caritas en La Descubierta, provincia Independencia, Punto Tres.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

TERCERA PARTE
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES

CAPÍTULO VI CONCLUSIONES

A partir del análisis de los resultados del estudio sobre los índices físicos, químicos y biológicos del proceso de eutrofización del lago Enriquillo, se concluye que sus aguas están eutrofizadas de acuerdo a las características y parámetros analizados.

En el Punto Uno, las aguas del lago se presentan en la tercera etapa de eutrofización, correspondiente a la degradación aeróbica del material orgánico. En el Punto Dos, las aguas del lago se presentan segunda etapa eutrófica de proliferación algal y bacterial. En el Punto Tres, las aguas del lago se presentan en la tercera etapa del proceso de eutrofización, la degradación aerobia del material orgánico.

Conclusión del Punto Uno, Jimaní, Independencia

El pH de este punto está dentro del rango aceptado por la norma. El alto valor de D Total permite clasificarlo como zona de aguas en estado eutrófico. El valor de la DBO declara que estas aguas son hábitat de organismos poli-eusaprobios, indicando indirectamente que este punto está en estado eutrófico.

La alta σ confirma que el agua es salobre. El valor de la DQO clasifica a esta parte del lago como fuertemente contaminada. El valor de las coliformes totales indica que las aguas de este punto son tipo agrícolas. Los sólidos totales presentan valores inferiores al máximo en aguas potables.

El color de las aguas y las burbujas presentes en la superficie de las zonas con más corriente, indican que las aguas de este punto están en la tercera etapa de eutrofización, correspondiente a la degradación aeróbica del material orgánico. El olor y la presencia de gran cantidad de espumas en las orillas, indica que dichas zonas de este punto están en la etapa de degradación anaeróbica del material orgánico, cuarta etapa de un proceso de eutrofización.

Las concentraciones de P total coinciden con la evidencia gráfica y física, reflejada por la ausencia de algas filamentosas y superficiales en el lago, en la zona de muestreo físico-químico. En la zona de muestreo biológico, cuenca Boca de Cachón, el color, movimiento de las

aguas y reconocimiento de algas filamentosas, señala que dichas aguas están en la segunda etapa de un proceso de eutrofización.

Conclusión del Punto Dos, La Descubierta, Independencia

Las altas concentraciones de P Total y D Total en el Punto Dos indican que las aguas de esta zona están en el proceso de eutrofización. La DBO que presenta este punto indica que sus aguas son hábitat de organismos poli-eusaprobios, los cuales también indican que el agua está en estado eutrófico.

El pH de las aguas del Punto Dos está dentro de las normas. El alto valor de σ indica que el agua es salobre. Las concentraciones presentadas de DQO clasifican al lago como fuertemente contaminado, y sus valores se correlacionan con el color percibido en el muestreo. El valor de las coliformes totales indica que las aguas de este punto son tipo pesca. Los sólidos totales presentan valores inferiores al máximo en aguas potables.

Las burbujas en la superficie de sus aguas, indican que esta parte del lago se encuentra en la segunda etapa eutrófica de proliferación algal y bacterial. La espuma de sus orillas es una característica de la etapa de degradación aerobia del material orgánico, tercera etapa de un proceso de eutrofización.

Conclusión del Punto Tres, La Descubierta, Independencia

El pH en el Punto Tres está por encima del máximo permitido, por tanto las aguas son más alcalinas de lo habitual. El alto valor de D Total de este punto indica que está en la clasificación de zona eutrófica. La σ de este punto es la más alta de los tres puntos de muestreo, esta indica que las aguas de la zona son muy salobres. La alta concentración de la DQO permite clasificar al lago como fuertemente contaminado.

Las coliformes totales permiten una clasificación de las aguas de tipo pesca. Los valores de la DBO indican que estas aguas contienen organismos poli-eusaprobios, que indirectamente expresa que la zona presenta estado eutrófico. Los sólidos totales presentan valores inferiores al máximo en aguas potables.

El color de las aguas, el olor, la presencia de muchas burbujas, la mínima cantidad de espuma en la orilla, y los restos de flora muerta suspendida indican que la zona del Punto Tres está en la tercera etapa del proceso de eutrofización, la degradación aerobia del material orgánico.

La baja concentración del P Total afirma que en la zona no existen condiciones para la supervivencia de algas, dato que coincide con la ausencia de estas plantas y protistas acuáticos.

CAPÍTULO VII
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO VII RECOMENDACIONES

1. Diseñar un plan de monitoreo periódico al lago que permita adquirir los datos de su estado natural, conocer el grado de contaminación por períodos, y determinar razones naturales y antropogénicas de su estado.
2. Delimitar un perímetro que evite el paso y asentamiento de las comunidades a terrenos que el lago reclama en sus períodos de oscilación positiva.
3. Orientar a la población alledaña por medio de un plan de educación por parte de las autoridades del Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales, para el manejo más consciente de los recursos naturales del lago.
4. Diseñar un plan de concienciación para los habitantes sobre el estado del lago con el fin de reducir el impacto de contaminantes por causas antropogénicas.
5. Realizar nuevas investigaciones, enfocándose en el análisis de metales pesados en el lago.
6. Actualizar el estudio geológico de la zona del lago, con el fin de caracterizar los minerales presentes y asociarlos con los valores de contaminación obtenidos en la investigación.

CUARTA PARTE

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía

1. Canela, C. y. (1981). Investigación Salina Del Agua Del Lago Enriquillo.
2. Díaz, A. R., & Paulino, J. L. (2016). Cuantificación de contaminantes orgánicos e inorgánicos en el afluente al lago Enriquillo Boca de Chachón.
3. Mateo Feliz, M. J. (2005). Parque Nacional Lago Enriquillo. Verdor, 1, 19-27.
4. Schubert, A. (2012). Lagos Enriquillo y Azuei. Deutsche Nationalbibliothek.
5. Harris, Daniel. (2011). Análisis Cuantitativo. Cuarta Edición.
6. Vogel, Arthur. (1956). Química Analítica Cualitativa, Segunda Edición.
7. Vidal, M. & Chavalier, P. (2009) Nomenclatura Química, Editorial Ciencias Médicas.
8. Tello Peinado, Ildefonso. (1965) Química con su Metodología. Editorial Madrid.
9. González, R., Castellanos, M. & Lavín L. (2003) Metodología de la Investigación Científica para las Ciencias Técnicas. Primera parte: Diseño teórico y formulación del proyecto de investigación.

Web-grafía

1. (s.f.). Principales ríos y lagos del mundo. Ambientum.com. Recuperado el 20 de julio de 2016, de http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/Rios_y_lagos_del_mundo.asp.
2. (, F. y. (2015). LAKEWATCH. Obtenido de http://lakewatch.ifas.ufl.edu/database/water_chemistry/estuary/Charlotte%20County%20Estuary%20Jan%202016%20Reports.pdf.
3. al., M. e. (2010). Técnicas de Muestreo y Técnicas Analíticas Protocolo de Contaminantes Emergentes y Prioritarios. Obtenido de http://www.consolidertagua.com/documentos/protocolo_muestreo_analisis.pdf
4. Ambiente, M. d. (2012). Norma Ambiental de Calidad de Aguas Superficiales y Costeras. Obtenido de ambiente.gob: <http://www.ambiente.gob.do/transparencia/wp-content/uploads/2015/06/Norma-Ambiental-de-Calidad-de-Aguas-Superficiales-y-Zonas-Costeras.pdf>
5. Andramunio-Acero, C., & Caraballo, P. (2012). Análisis De Las Relaciones Tróficas En Un Lago De Inundación. Obtenido de dialnet.unirioja.es: <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/3968790.pdf>
6. Apolinar, B. (2010). INTEC indagará causas de crecida del lago Enriquillo. Listín Diario. Recuperado el 20 de juio de 2015, de INTEC indagará causas de crecida del

lago Enriquillo.: <http://www.listindiario.com/la-republica/2010/04/21/139150/intec-indagara-causas-de-crecida-del-lago-enriquillo>.

7. Aznar Jiménez, A. (2000). Determinación de los Parámetros Fisico-Químicos de Calidad de las Aguas. Obtenido de <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>

8. Báez, F. (Dirección). (2014). Lago Enriquillo: Preludio del Cambio Climático [Película]. Obtenido de Youtube: <https://youtu.be/zMdxKKjzkXE>

9. Calderon. (1997). Demanda Química de Oxígeno. Obtenido de http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_de_DQO.htm

10. Carlson, R. &. (1996). A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods. Obtenido de The secchi dip-in: <http://www.secchidipin.org/index.php/monitoring-methods/defining-trophic-state/>

11. Cocco, A. (15 de abril de 2009). El ciclo hidrológico del lago Enriquillo y la crecida extrema del 2009. República Dominicana. Obtenido de <http://www.acqweather.com/EL%20CICLO%20HIDROLOGICO%20DEL%20LAGO%20ENRIQUILLO.pdf>

12. Cocco, A. (2013). La oscilacion natural del lago Enriquillo. Obtenido de <http://www.acqweather.com/LA%20ONLE%20Final.pdf>

13. Condit, D. D. (s. f.). GEOLOGÍA DE LAS PROVINCIAS DE BARAHONA Y AZUA. Obtenido de
- <http://www.jmarcano.com/ecohis/estudios/estudios/vaughan/vaughan10.html>
14. Confederación Hidrográfica del Ebro. (s.f.). Metodología para el Establecimiento del Estado según la Directiva Marco del Agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro,. Obtenido de
- http://www.mapama.gob.es/es/agua/publicaciones/Protocolos_muestreo_biologico_con_portada_tcm7-16059.pdf
15. Confederación Hidrográfica del Ebro. (2000). Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro. Obtenido de mapama.gob:
- http://www.mapama.gob.es/es/agua/publicaciones/Protocolos_muestreo_biologico_con_portada_tcm7-16059.pdf
16. Díaz de Neira J. A., e. a. (2007). Aplicación de la cartografía de procesos activos a la Hoya de Enriquillo, 406. Obtenido de
- http://aiplanetatierra.igme.es/Boletin/2007/118_2_2007/ART.%2012.pdf
17. Eliacin, J. (octubre de 2003). La region de los lagos Azuei y Enriquillo: zonificación y borrador del plan de ordenamiento. Obtenido de
- <http://taigüey.net/bohio.org/IMG/pdf/informeZonificacion.pdf>
18. Estructplan. (2000). Contaminantes del Agua. Obtenido de
- <http://www.estrucplan.com.ar/contenidos/eflulioq/contamiquimicos.asp>

19. Europea, U. (2015). Cambio climático y eutrofización. Recuperado el 12 de julio de 2016, de http://cordis.europa.eu/result/rcn/159590_es.html

20. Fontúrbel, F. (2005). Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del Lago Titikaka (Bolivia). Universidad Nacional Agraria La Molina, Departamento Académico de Biología. Lima: Scielo. Recuperado el 2016, de <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v4n1-2/a18v4n1-2.pdf>

21. García, R., & Báez, A. (2012). Recuperado el octubre 24, 2016, de INTECH: <http://www.intechopen.com/books/atomic-absorption-spectroscopy/atomic-absorption-spectrometry-aas->

22. Gonzales, M. (2013). La oscinacion natural del lago Enriquillo (Fases del desarrollo 2003-2013). Obtenido de http://www.cedaf.org.do/publicaciones/oscilacion_natural.pdf

23. Gonzalez, M. (21 de noviembre de 2013). La Oscilación Natural del Lago Enriquillo-ONLE- FotoSintesis. Obtenido de http://www.cedaf.org.do/publicaciones/oscilacion_natural.pdf

24. Herbas, R., RIVero, F., & Gonzales, A. (2006). Indicadores Biológicos de la Calidad del Agua. Obtenido de pnuma.org: [http://www.pnuma.org/agua-miaac/Curso%20Regional%20MIAAC/Conferencias/Dia%205%20\(14-agosto-2010\)/MIAAC%20PNUMA%20PAN%20AGO%2010%20MAX/BIBLIOGRAFIA/indicadoresBiologicosCalidadAgua.pdf](http://www.pnuma.org/agua-miaac/Curso%20Regional%20MIAAC/Conferencias/Dia%205%20(14-agosto-2010)/MIAAC%20PNUMA%20PAN%20AGO%2010%20MAX/BIBLIOGRAFIA/indicadoresBiologicosCalidadAgua.pdf)

25. Jourdan, M. (2014). El crecimiento del Lago Enriquillo: Un fenómeno relacionado con el cambio climático, que exige medidas de adaptación que abarquen los principios del

desarrollo sostenible. Recuperado el 20 de julio de 2016, de <https://muestracine.wordpress.com/2014/01/17/el-crecimiento-del-lago-enriquillo-un-fenomeno-relacionado-con-el-cambio-climatico-que-exige-medidas-de-adaptacion-que-abarquen-los-principios-del-desarrollo-sostenible/>.

26. Kiersch, B., & Mühleck, R. &. (2002). Las macrófitas de algunos lagos alto-andinos del Ecuador y su bajo potencial como bioindicadores de eutrofización. Obtenido de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442004000400001&script=sci_arttext&tlng=pt#me99

27. Laboratorio de Aduanas, R.D. (s.f). Infraestructura Tecnológica. Obtenido de <https://siga.aduanas.gob.do/laboratorio/equipos.html>

28. Leon, Y. M. (1 de Marzo de 2011). Estrategia de Monitoreo para Especies Amenazadas de la Reserva de Biosfera Enriquillo-Bahoruco-Jaragua. Obtenido de http://www.grupojaragua.org.do/documents/GJ%20Estrategia%20de%20monitoreo_final.pdf

29. Marcano, J. (2009). El Lago Enriquillo. Obtenido de http://www.jmarcano.com/mipais/geografia/rios/l_enriquillo.html

30. Marcano, J. E. (s.f.). El Lago Enriquillo. Obtenido de <http://www.jmarcano.com/mipais/index.html#indice>

31. Melzer, A. (1999). The Ecological Bases for Lake and Reservoir Management. Obtenido de http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-017-3282-6_17

32. Mirabal, J., Reyna, E., & Santana, Á. (2011). Estrategia nacional de conservación y uso Sostenible de la Biodiversidad. Obtenido de <https://www.cbd.int/doc/world/do/donbsap-01-es.pdf>.
33. Moreno, D., Quintero, J., & López, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofía. Obtenido de <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n78ne/eutrofia2.pdf>
34. Moreno, Q. &. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. Obtenido de <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n78ne/eutrofia2.pdf>
35. Olivos Lara, O. (2010). Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas y Deagues. Obtenido de <http://www.uap.edu.pe/intranet/fac/material/24/20102BT240224506240109011/20102BT24022450624010901117911.pdf>
36. Orrego, D. R. (s.f.). Bioindicadores y biomarcadores de contaminación ambiental. Recuperado el 4 de diciembre de 2016, de <http://www.eula.cl/doc/Bioindicadores%20y%20biomarcadores%20de%20contaminacion.pdf>
37. Payano, R., & Medrano, O. (2011). Análisis De La Situación Actual Del Lago Enriquillo De La República Dominicana. Instituto IMDEA agua. Recuperado el 2016, de <https://environmentalmigration.iom.int/an%C3%A1lisis-de-la-situaci%C3%B3n-actual-del-lago-enriquillo-de-la-rep%C3%BAblica-dominicana>

38. Perez, G. (s.f.). Espectrometria.com. Obtenido de Espectrometria:
http://www.espectrometria.com/espectrometra_de_absorcin_atmica
39. Periodico HOY. (19 de julio de 2011). Geólogo afirma aumento lagos Enriquillo y Azuei no es nuevo. Obtenido de <http://hoy.com.do/geologo-afirma-aumento-lagos-enriquillo-y-azuei-no-es-nuevo/>
40. Prim, L. E. (s.f.). Contaminación del agua: Eutrofización. Recuperado el 20 de Julio de 2016, de [//www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/150Eutro.htm](http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/150Eutro.htm)
41. Propagas, F. (Dirección). (2009). Documentales de la Reserva de la Biosfera Jaragua, Bahoruco, Enriquillo [Película]. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=PBtFF8KHL98>
42. PUND. (agosto de 2013). Plan estratégico de recuperación y transición al desarrollo de la zonas del Lago Enriquillo. Obtenido de http://www.do.undp.org/content/dam/dominican_republic/docs/reducciondesastres/publicaciones/pnud_do_planlagoenriquillo.pdf
43. Quino, M. E., & Rodríguez, L. (2010). Scribd. Obtenido de Espectrometría de absorción atómica: <https://es.scribd.com/doc/35172981/Espectroscopia-de-Absorcion-Atomica>
44. Ramón, M. (diciembre de 1986). Limnología del lago Enriquillo. Oecología acuática, 8, 1-10. Obtenido de <https://books.google.com.do/books?id=zi1Xc4gq5KcC&pg=PA5&lpg=PA5&dq=,+Limnologia+del+Lago+Enriquillo+en+Oecologia+aquatica&source=bl&ots=HAGBxHF1cc&sig=2KYd3V1fTZdgS3DjNSkewpJ4uaQ&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwia1JKZq4XTAhVC6yYKHbdxCiQQ6AEIJTAC#v=onepage&q=%2>

45. Recinto Universitario de Mayagüez. (s.f.). Biomasa Fototrofos: Clorofilas. Obtenido de <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p4-clorofila.pdf>
46. Rivas, J. (16 de junio de 2010). Lago Enriquillo: Reserva de biosfera. Obtenido de <https://turismoverde.wordpress.com/2010/06/16/lago-enriquillo-reserva-de-biosfera/>
47. Rizzo, A. e. (2009). Concentraciones de metales pesados en distintos compartimentos de lagos andinos de Patagonia Norte. Obtenido de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2010000200006
48. Ronzano, E., & Dapena, J. L. (2002). Medida de la Contaminación Orgánica. Obtenido de <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/organica.pdf>
49. Sánchez de Fuentes, J. (2001). EL FOSFORO, PARAMETRO CRITICO DE CALIDAD DE AGUA. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/v-100.pdf>
50. Sánchez, O. e. (2007). Perspectivas sobre conservacion de ecosistemas acuáticos en México. Obtenido de https://books.google.com.do/books?id=uWlrkIx-r3oC&pg=PA124&lpg=PA124&dq=lo+que+significa+que+cada+numero+sucesivo+de+pH;+la+descomposicion+del+material+organico+en+la+muestra&source=bl&ots=8Msmbh_mSV&sig=WjDVRn3ecsyZlqjDzD0gFSDv0AA&hl=es-419&sa=X&ved=0ahU
51. Tavera, M. (s.f.). La lenteja de agua: dos caras de un mismo problema. Recuperado el 10 de Julio de 2016, de <http://www.monografias.com/trabajos101/lenteja-agua-dos-caras-mismo-problema/>
52. Unión Europea . (2003). Programa Medioambiental y Transfronterizo Haití-Republica Dominicana. Obtenido de La Región De Los Lagos Azuei Y Enriquillo: Zonificación Y Borrador Del Plan De Ordenamiento: <http://taigüey.net/bohio.org/IMG/pdf/informeZonificacion.pdf>

QUINTA PARTE
ANEXOS

ANEXO 1
GLOSARIO

Glosario

Aguas anóxicas.- Son zonas de agua marina, agua dulce o de aguas subterráneas en las que el oxígeno disuelto está agotado. Anoxia significa ausencia total de oxígeno.

Afluentes.- Río que entrega sus aguas a otro mayor.

Anticlinal.- Plegamiento en el cual las rocas estratificadas divergen a partir de un plano denominado axial.

Autóctono.- Significa que se ha originado o ha nacido en el mismo país o lugar en que se encuentra: sinónimo de natural.

Aviaria.- Se refiere a las aves.

Axial.- Término usado para referirse a los ejes de las estructuras geológicas que pueden ser planos (plano axial) o líneas (ejes propiamente dichos).

Borbollón.- Erupción de agua a presión sobre la superficie.

Ecosistemas lénticos.- Son cuerpos de agua cerrados que permanecen en un mismo lugar sin correr ni fluir.

Ecosistemas lóticos.- Son ecosistemas de aguas superficiales dinámicas, que tienen corriente y presentan una protección contra el envejecimiento por aumento de nutrientes, estos son los conocidos ríos, manantiales y arroyos.

Eoceno.- Período geológico comprendido entre el Paleoceno y el Mioceno de la Era Cenozoica o Terciaria.

Fallas.- Desplazamiento de un bloque rocoso con respecto a otro colindante o que queda cerca a éste o de ambos bloques, a través de un plano denominado "plano de falla".

Floculación.- La floculación es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado.

Fotosíntesis oxigénica.- Es la modalidad de fotosíntesis en la que el agua es el donante primario de electrones y que, por lo tanto, libera oxígeno (O₂) como subproducto.

Graben o fosa tectónica.- Es una estructura geológica correspondiente a un juego de fallas múltiple compuesta de tres bloques, donde el bloque central desciende y los dos laterales se levantan.

Gradiente geotérmico.- Es la tasa de incremento de la temperatura por unidad de profundidad existente en la Tierra.

Hidrografía.- Parte de la geografía física que trata de la descripción de los mares y las corrientes de agua

Hipolimnias.- Es la capa de agua situada por debajo de la zona de máxima discontinuidad, en masas de agua estratificadas térmicamente.

Hipolimnion.- Se refiere a la región baja de todos los lagos la cual se extiende al fondo del lago. En los lagos eutróficos, esta capa inferior del agua no tiene oxígeno y está cargada con materiales tóxicos y en descomposición.

Hipoxia.- O reducción de oxígeno, es un fenómeno que se presenta en ambientes acuáticos cuando la concentración de oxígeno disuelto en el agua (OD), disminuye hasta el punto que las condiciones son detrimentes para los organismos acuáticos que habitan el sistema.

Holoceno.- Período geológico correspondiente a la época presente. También se le denomina Presente o Cuaternario superior.

Lacustre.- Es aquello que sucede en el espacio interno del lago, así como también el tipo de ecosistema que se crea alrededor suyo dependiendo de las condiciones climáticas de cada lugar habitan el sistema.

Macrófitos.- Plantas acuáticas grandes. Los macrófitos acuáticos designan un grupo funcional de vegetales muy heterogéneo desde el punto de vista sistemático y evolutivo, que es considerado elemento-clave en las cadenas tróficas de los ecosistemas acuáticos. Este grupo abarca grupos tan distintos como plantas vasculares acuáticas, briófitos, carófitos y algas filamentosas.

Mioceno.- Período geológico del Cenozoico comprendido entre el Oligoceno infrayacente y el Plioceno suprayacente. Tuvo una duración de 12 millones de años.

Paleo.- Elemento prefijal de origen griego que entra en la formación de nombres y adjetivos con el significado de ‘viejo’, ‘antiguo’.

Petroglifos.- Son diferentes especies marinas fosilizadas en rocas y grabados en piedras que revelan un potencial histórico, geológico y turístico.

Plancton.- Se denomina como plancton a una serie de organismos muy pequeños, microscópicos, que pueden ser de origen animal, los zooplancton, o vegetal, fitoplancton, que se haya presentes flotando en las aguas marinas y en los lagos. Pueden encontrarse en aguas saladas o dulces, y que son el alimento más básico de animales superiores.

Pleistoceno.- Período de la Era Cuaternaria, transcurrido entre el Plioceno, último período del Cenozoico o Terciario y el Holoceno o Presente suprayacente. Su duración fue de aproximadamente un millón de años.

Plegadura.- Alteración producida en la corteza terrestre por el movimiento conjunto de rocas sometidas a una presión lateral.

Presiones hidro-morfológicas.- Es el estudio de la morfología y la dinámica de los cursos de agua, especialmente, de la evolución de los perfiles longitudinales y transversales, y del trazado planimétrico, etc.

Prístino.- Se refiere a algo antiguo, primitivo, original, cuyo no ha tenido modificación, presentándose en estado virgen.

Protocista.- Es el reino donde se incluyen dos tipos de seres vivos: los protozoos y las algas.

Pluviometría- Es el estudio y tratamiento de los datos de precipitación que se obtienen en los pluviómetros ubicados a lo largo y ancho del territorio.

Saprobios.- Son organismos, macro o microorganismos, que se alimentan de materia orgánica y que se utilizan como indicadores biológicos de la contaminación por materia orgánica. Se dividen en polisaprobios que toleran elevadas concentraciones de materia orgánica y medio anóxico, mesosaprobios que toleran concentraciones medias y oligosaprobios viven en aguas con concentraciones muy bajas de materia orgánica y bastante oxigenada.

Sedimentación.- Es el proceso geológico mediante el cual los materiales detríticos erosionados de las rocas preexistentes se acumulan en un determinado lugar, que pueden ser los fondos marinos, los fondos lacustres, las depresiones continentales, etc.

Tenso-actividad.- Es el fenómeno por el cual una sustancia reduce la tensión superficial al disolverse en agua u otra solución acuosa.

Vientos alisios.- Son vientos constantes que soplan del NE en el hemisferio norte y del SE en el hemisferio sur.

Xerofítico.- Se aplica en botánica a la vegetación y asociaciones vegetales específicamente equipadas para la vida en un medio seco o en medios áridos.

ANEXO 2
FIGURAS

Figuras

Figura 1. Niveles del Lago Obtenidos de Diferentes Fuentes, 1893-2009

AÑO	FECHA	NIVEL(m)	Area(Km ²)	FUENTE	Elevación (mbnm)	Area (kms. 2)
1893		+0.63		Wells		
1900	Ene-00	-34.00		Tippenhwer		
1913	Ene-13	-40.00		Central Barahona		
1918	Ene-18	-31.00		Scoenrich		
1919	Ene-19	-44.00		Condil y Ross		
1948	Ene-48	-44.00		Límites Geográficos	- 30.0	352
1951	Ene-51	-44.30		Inst. Cartográfico Militar		
1952	Ene-52	-44.00		Cook	- 40.0	241
1959	Ene-59	-40.10		Inst. Cartográfico Militar		
1965	Ene-65	-30.00		Mapa OEA	- 42.0	220
1967	Ene-67	-40.50		Roberto Cústak		
1969	Ene-69	-41.10	280.0	Canadian Oil	- 43.8	205
1972	Ene-72	-41.39		Inst. Geográfico Universitario		
1976	Ene-76	-40.00		Cucurullo		
1978	Ene-78	-44.00		Tesis UASD Duquela	-45.7	180
1979	Ene-79	-45.70	180.0	Canadian Oil		
1980	Ene-80	-40.70	280.0	Schubert		
1983			254.0	Schubert		
1986	Ene-86	-42.00		Tesis UASD		
1992	Jun-92	-43.30	222.0	Roberto Cruz		
1993	Dic-93	-43.54		Roberto Cruz		
1994	Oct-94	-43.68		Roberto Cruz		
1996	May-96	-44.06		Roberto Cruz		
1997	Abr-97	-44.68		Roberto Cruz		
1998	20-Dic-98	-44.00		Roberto Cruz		
1999	05-Dic-99	-43.31		Roberto Cruz		
2000	19-Nov-00	-43.79	205.4	Roberto Cruz/NASA		
2001	18-Nov-01	-44.79		Roberto Cruz		
2002	01-Dic-02	-45.62		Roberto Cruz		
2003	30-Mar-03	-45.90		Roberto Cruz		
2003	03-Ago-03	-46.42		Roberto Cruz		
2009	08 abril09	-36.924	335.9	Roberto Cruz/José Febrillet/NASA		

Existen informaciones de diferentes investigadores, centros de observación, instituciones científicas que permiten estudiar algunas características importantes de las oscilaciones del Lago. La primera observación que aparece ha sido discutida en los Conversatorios, siendo descartada, por la imposibilidad de que las aguas puedan subir 31 metros mas sobre el nivel actual. Sin embargo, a partir del 1900 los datos son mas confiables y con ellos se ha logrado construir una tabla de datos y una gráfica que permiten obtener resultados satisfactorios. Se considera una variable de 113 años, muy representativa.

Fuente: Santo Domingo. Conversatorios sobre Meteorología, Clima y Desastres, Biblioteca Nacional Pedro Henríquez Ureña. La Oscilación Natural del Lago Enriquillo, ONLE. Cocco Quezada, 2013.

Figura 2. Oscilación Niveles Lago Enriquillo, 1900-2010



Fuente: Santo Domingo. Conversatorios sobre Meteorología, Clima y Desastres, Biblioteca Nacional Pedro Henríquez Ureña. La Oscilación Natural del Lago Enriquillo, ONLE. Cocco Quezada, 2013.

Figura 3. Fotografía de pantalla. Coordenadas geográficas del Punto Uno. Muestras Físico-químicas.



Fuente: Teléfono Inteligente de Rodríguez, Pérez & Liriano

Figura 4. Fotografía de pantalla. Coordenadas geográficas del Punto Uno. Muestras Biológicas.



Fuente: Teléfono Inteligente de Rodríguez, Pérez & Liriano

Figura 5. Fotografía de pantalla. Coordenadas geográficas del Punto Tres. Muestras físicas, químicas y biológicas.



Fuente: Teléfono Inteligente de Rodríguez, Pérez & Liriano

Figura 6. Fotografía de pantalla. Coordenadas geográficas del Punto Dos. Muestras físicas, químicas y biológicas.



Fuente: Teléfono Inteligente de Rodríguez, Pérez & Liriano

Figura 7. Gráfica donde se extrajo el parámetro de comparación de la D Total.

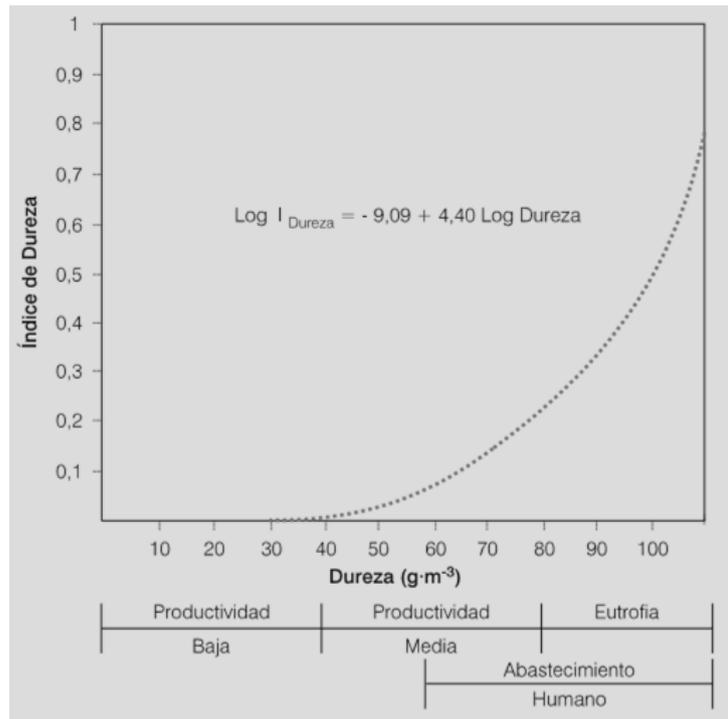
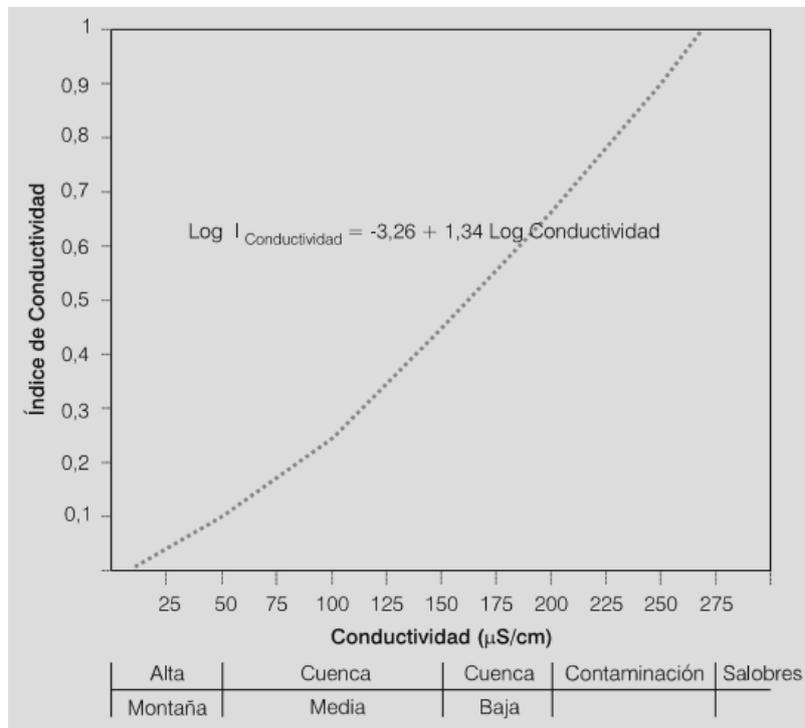
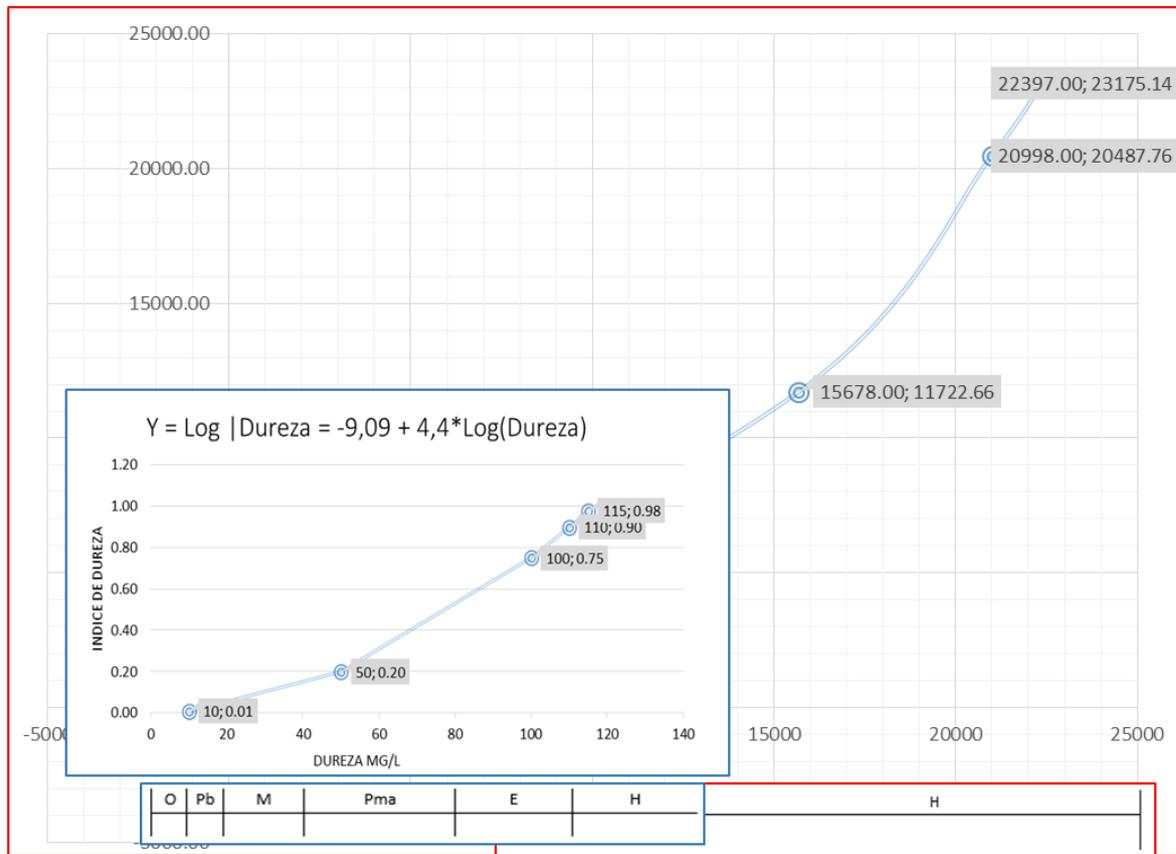


Figura 8. Gráfica donde se extrajo el parámetro de comparación de la σ .



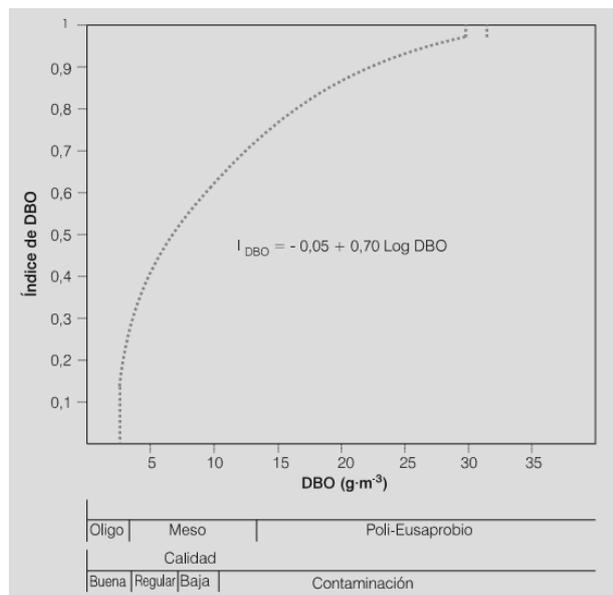
Fuente: Extraído de Cuatro Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales. Formulaciones y Aplicación, 1997. Publicado en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5587866.pdf>

Figura 9. Representación de gráfica índice de contaminación por la D Total de los valores obtenidos en esta investigación. Tres puntos graficados fuera de los parámetros de la gráfica original.



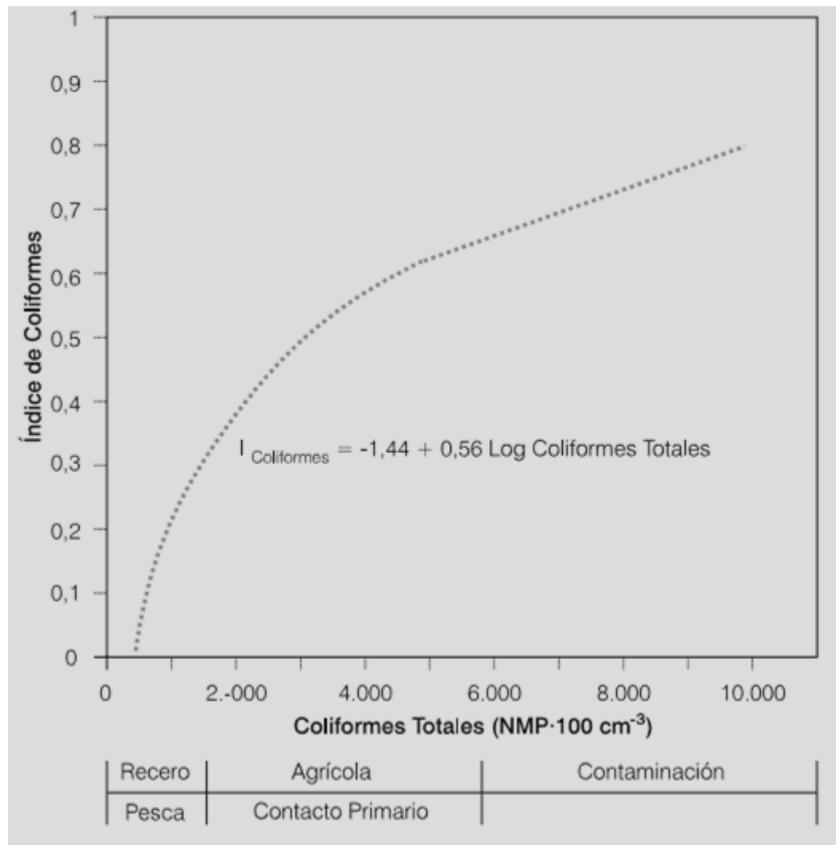
Fuente: Modificado y Adaptado por Rodríguez, Pérez & Liriano

Figura 10. Gráfica donde se extrajo el parámetro de comparación de la DBO.



Fuente: Modificado y Adaptado por Rodríguez, Pérez & Liriano

Figura 11. Gráfica donde se extrajo el parámetro de comparación de las coliformes totales



Fuente: Extraído de Cuatro Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales. Formulaciones y Aplicación, 1997. Publicado en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5587866.pdf>

ANEXO 3
MAPAS

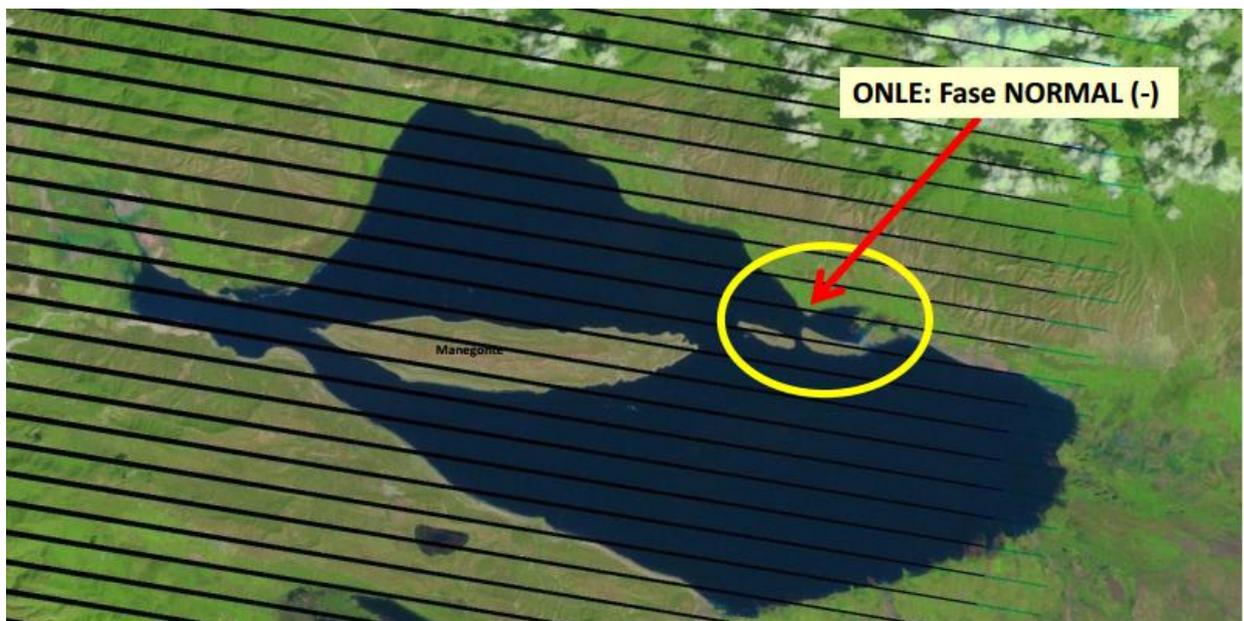
Mapas

Mapa 1. Fase Negativa de la ONLE, Lago Enriqueillo, Mayo 2003



Fuente: Extraído de la FotoSÍNTESIS, La Oscilación Natural del Lago Enriqueillo –ONLE-. Gonzales Tejera, 2013.

Mapa 2 Fase Normal de la ONLE, Lago Enriqueillo de Octubre 2007



Fuente: Extraído de la Fotosíntesis, La Oscilación Natural del Lago Enriqueillo –ONLE-. Gonzales Tejera, 2013.

Mapa 3 Fase Positiva de la ONLE, Lago Enriquillo de Noviembre 2012



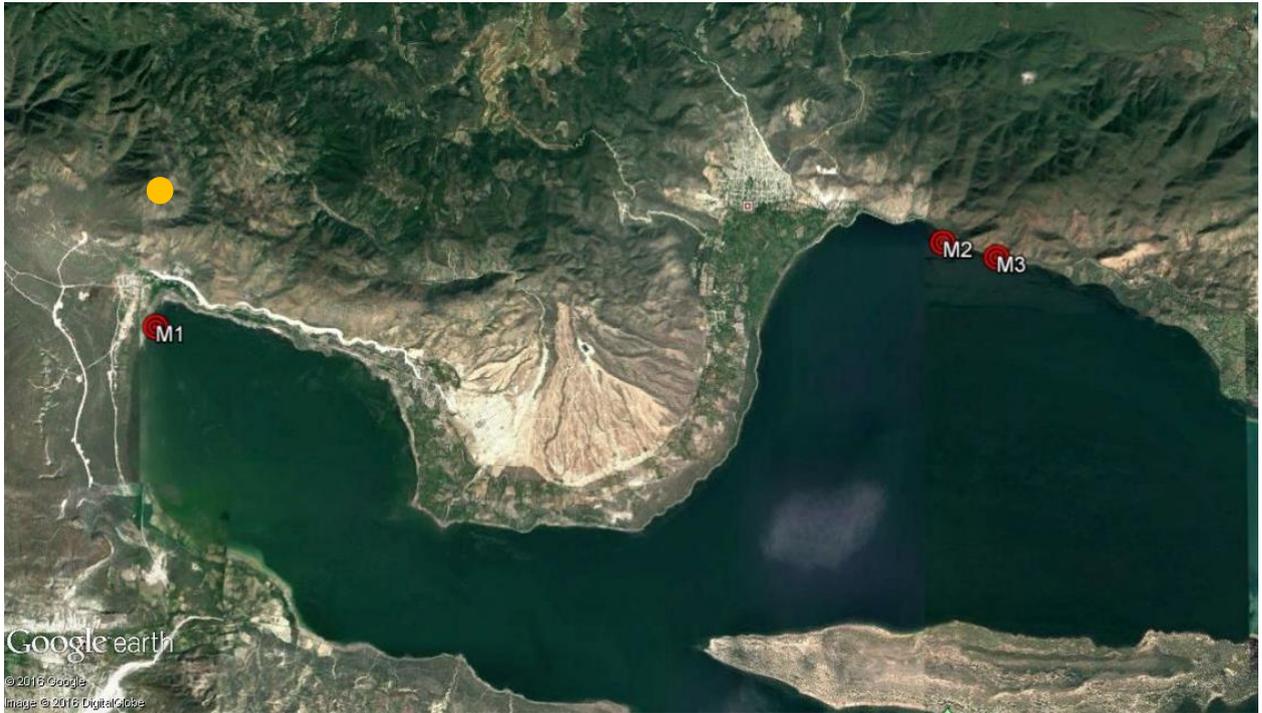
Fuente: Extraído de la Fotosíntesis, La Oscilación Natural del Lago Enriquillo –ONLE-. Gonzales Tejera, 2013.

Mapa 4. Localización Geográfica Puntos del Muestreo en el lago Enriquillo, Zona Independencia



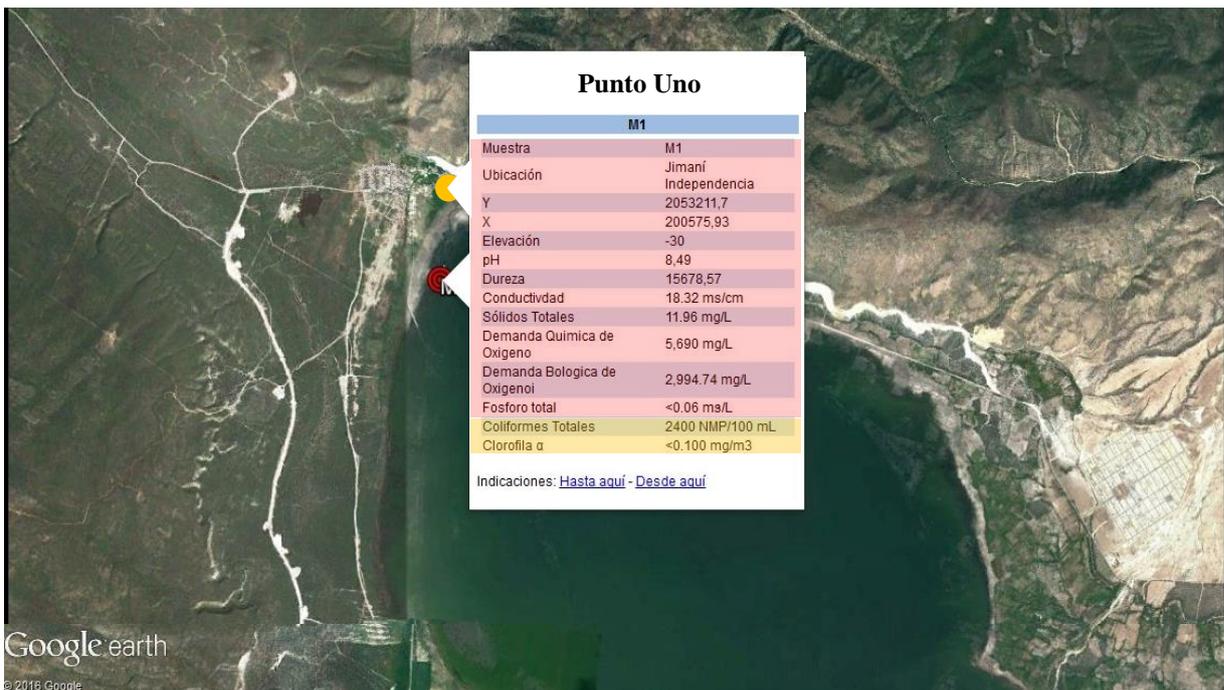
Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Mapa 5. Localización Geográfica de los Tres Puntos del Muestreo en el lago Enriquillo, provincia Independencia.



Fuente: Modificado de Google Earth, por Rodríguez, Pérez & Liriano

Mapa 6. Localización Geográfica del Primer Punto del Muestreo con los Parámetros Analizados en el Lago Enriquillo, Jimaní, Independencia.



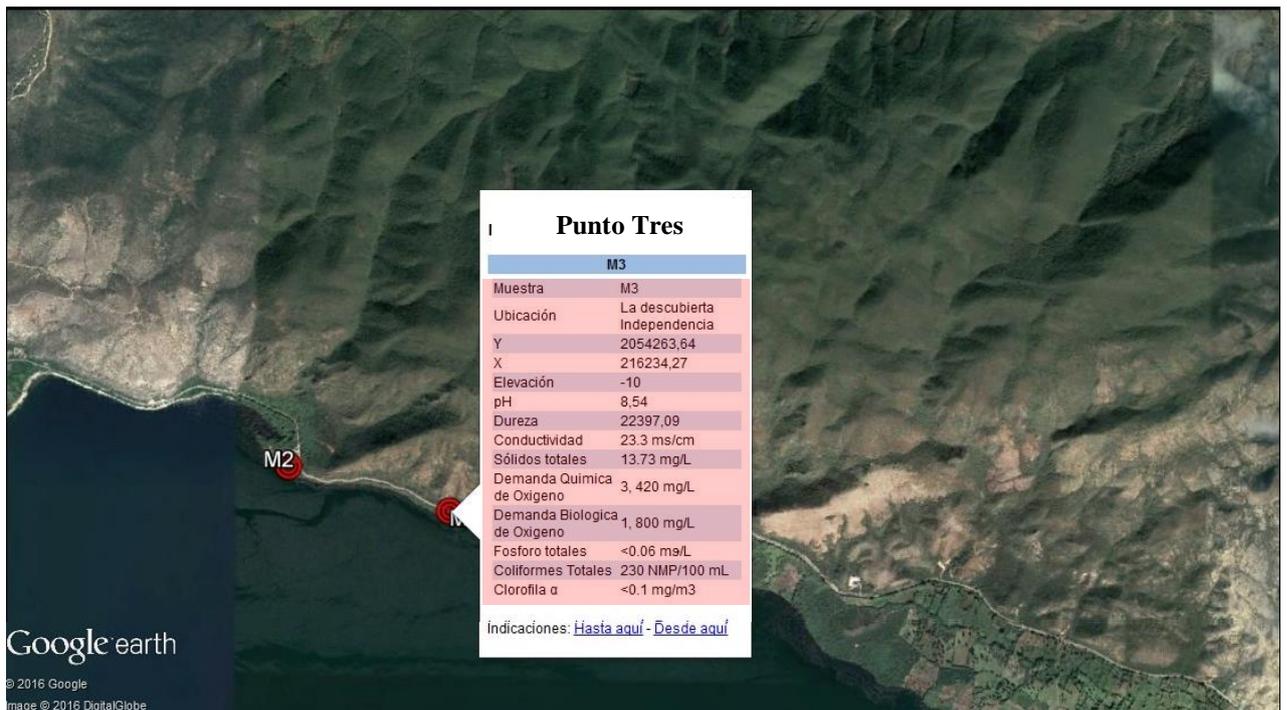
Fuente: Modificado de Google Earth, por Rodríguez, Pérez & Liriano

Mapa 7 Localización Geográfica del Segundo Punto del Muestreo con los Parámetros Analizados en el Lago Enriquillo, La Descubierta, Independencia.



Fuente: Modificado de Google Earth, por Rodríguez, Pérez & Liriano

Mapa 8. Localización Geográfica del Tercer Punto del Muestreo con los Parámetros Analizados en el Lago Enriquillo, La Descubierta, Independencia.



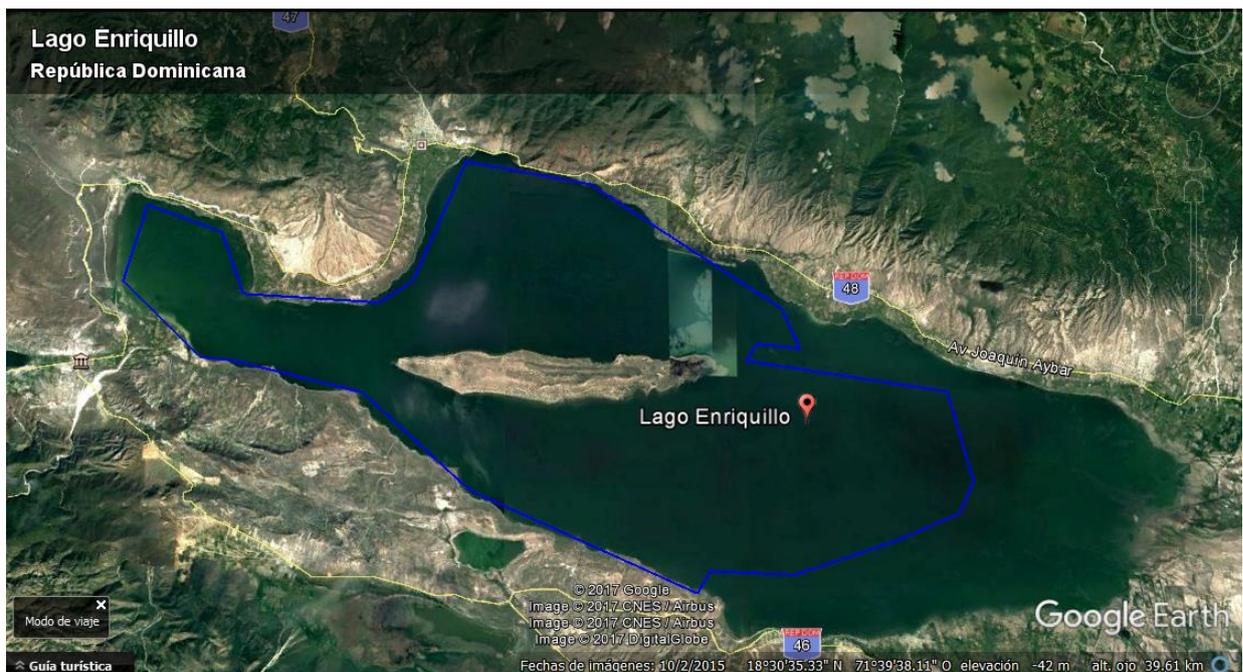
Fuente: Modificado de Google Earth, por Rodríguez, Pérez & Liriano

Mapa 9. Localización Geográfica del Primer Punto del Muestreo con los Parámetros Biológicos Analizados en el Lago Enriquillo, Balneario Boca de Cachón, Jimaní, Independencia.



Fuente: Modificado de Google Earth, por Rodríguez, Pérez & Liriano

Mapa 10. Vista satelital actual del Lago Enriquillo, Bahoruco- Independencia, República Dominicana.



Fuente: Google Earth

ANEXO 4

TABLAS

Tablas

Tabla 1:

Datos de Salinidad entre el 1967 al 2004.

Año	1967	1968	1977	1983	1999	2001	2002	2003	2004
Autor	Inchaestegui	Inchaestegui	Inchaestegui	Inchaestegui	Andreas Schubert	Buck et al.	Buck et al.	Buck et al.	Andreas Schubert
Salinidad	40.6 g/kg	58.1 g/kg	79 g/kg	54 g/kg	61 g/L	80 ppt	102 ppt	103.97 ppt	110 g/L

Nota. Extraído de varias fuentes. Adaptado por Rodríguez, Pérez y Liriano

Tabla 2:

Datos de Temperatura y pH entre el 1981 al 2011.

Año	1981	1983	2000	2001	2002	2003	2011
Autor/es	Canela, Castro & Méndez	Ramón Margalef	Andreas Schubert	Buck et al.	Buck et al.	Buck et al.	Andreas Schubert
Temperatura	24° C	31.4°C	22.3–33.7 °C	28.1°C	29.7°C	27.9 °C	28 y 31°C
pH	8.3	8.19	-	8.1	8.3	7.9 - 8	7.5 y 8.4.

Nota. Extraído de varias fuentes. Adaptado por Rodríguez, Pérez y Liriano

Tabla 3:

Coordenadas Geográficas de los Puntos Muestreados

No.	Código	Coordenadas		Elevación
		Norte	Oeste	
1	M1	18°32'54'	71°50'11''	-30 m
1	MB1	18°33'21''	71°50'5''	- 30 m
2	M2	18°33'45''	71°41'52''	-40 m
3	M3	18°33'36''	71°41'18''	-10 m

Tabla 4:

Resultados de los Análisis Físicoquímicos en el Punto Uno, Jimaní, Lago Enriquillo

Parámetro / Abreviatura	Resultado	Unidades	Métodos	
Fosforo Total P _{Total}	< 0.06	mg/L	HACH DRB 200 HACH DRB 3900	
Potencial de Hidrogeno	pH	8.49	---	HACH HQ11D
Dureza	D	15,678.57	mg/L	Volumetría
Conductividad	σ	18.32	mS/cm	HACH HQD Fiel Case
Sólidos Totales	---	11.96	mg/L	HACH HQD Fiel Case

Tabla 5:

Resultados de los Análisis Biológicos en el Punto Uno, Jimaní, Lago Enriquillo

Parámetro / Abreviatura	Resultado	Unidades	Métodos	
Demanda Química de Oxígeno DQO	5,690.00	mg/L	HACH DRB 200 HACH DRB 3900	
Clorofila α* Clorf α	Bajo del límite de detección (BDL)	mg/ m ³	SM 10200 H	
Coliformes Totales*	---	2,400	NMP/100 mL	SM 9221 B
Demanda Biológica de Oxígeno DBO	2,994.74	mg/L	HACH DRB 200 HACH DRB 3900	

Nota:

^a Resultado de muestras tomadas en zona próximo a balneario Boca de Cachón: punto diferente al Punto Uno.

Tabla 6:

Resultados de los Análisis Físicoquímicos en el Punto Dos, La Descubierta, Lago Enriqueillo

Parámetro / Abreviatura	Resultado	Unidades	Métodos
Fosforo Total P _{Total}	0.35	mg/L	HACH DRB 200 HACH DRB 3900
Potencial de Hidrogeno pH	8.44	---	HACH HQ11D
Dureza D	20,998.09	mg/L	Volumetría
Conductividad σ	21.7	mS/cm	HACH HQD Fiel Case
Sólidos Totales ---	17.51	mg/L	HACH HQD Fiel Case

Tabla 7:

Resultados de los Análisis Biológicos en el Punto Dos, La Descubierta, Lago Enriqueillo

Parámetro / Abreviatura	Resultado	Unidades	Métodos
Demanda Química de Oxígeno DQO	9, 510.00	mg/L	HACH DRB 200 HACH DRB 3900
Clorofila α Clorf α	Bajo del límite de detección (BDL)	mg/ m ³	SM 10200 H
Coliformes Totales ---	< 3	NMP/100 mL	SM 9221 B
Demanda Biológica de Oxígeno DBO	5, 005.26	mg/L	HACH DRB 200 HACH DRB 3900

Tabla 8:

Resultados de los Análisis Físicoquímicos en el Punto Tres, La Descubierta, Lago Enriqueillo

Parámetro / Abreviatura	Resultado	Unidades	Métodos
Fosforo Total P _{Total}	< 0.06	mg/L	HACH DRB 200 HACH DRB 3900
Potencial de Hidrogeno pH	8.54	---	HACH HQ11D
Dureza D	22,397.09	mg/L	Volumetría
Conductividad σ	23.3	mS/cm	HACH HQD Fiel Case
Sólidos Totales ---	13.73	mg/L	HACH HQD Fiel Case

Tabla 9:

Resultados de los Análisis Biológicos en el Punto Tres, La Descubierta, Lago Enriqueillo

Parámetro / Abreviatura	Resultado	Unidades	Métodos
Demanda Química de Oxígeno DQO	3, 420.00	mg/L	HACH DRB 200 HACH DRB 3900
Clorofila α Clorf α	Bajo del límite de detección (BDL)	mg/ m ³	SM 10200 H
Coliformes Totales ---	230	NMP/100 mL	SM 9221 B
Demanda Biológica de Oxígeno DBO	1, 800.00	mg/L	HACH DRB 200 HACH DRB 3900

Tabla 10:

Parámetro P Total. Escala de valores de fósforo total relacionado al estado trófico de aguas superficiales.

P Total				
Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipertrófico	Unidad
< 10	10 a 72	73 a 576	> 576	mg/m ³
Conversiones de µg/L a mg/L				
< 0.010	0.010 a 0.072	0.073 a 0.576	> 0.576	mg/L

Nota. Adaptado de la tabla 1: Escala de valores del estado trófico en los cuerpos de agua. Métodos para Identificar, Diagnosticar y Evaluar el Grado de Eutrofia, 2010.

Publicado en: <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n78ne/eutrofia2.pdf>

Tabla 11:

Parámetro Clorf α . Escala de valores de clorofila α relacionado al estado trófico de aguas superficiales.

Clorf α					
Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipertrófico	Unidad
< 1	1 a 2.5	2.5 a 7.9	8 a 25	> 25	µg/L = mg/m ³

Nota. Adaptado de la tabla 1: Escala de valores del estado trófico en los cuerpos de agua. Métodos para Identificar, Diagnosticar y Evaluar el Grado de Eutrofia, 2010.

Publicado en: <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n78ne/eutrofia2.pdf>

Tabla 12:

Parámetro pH. Valores máximos y mínimos aceptables presentes en cuerpos hídricos costeros, con base en el pH.

pH		
Mínimo	Máximo	Unidad
7.5	8.5	---

Nota. Adaptado de la norma: Norma Ambiental Sobre la Calidad de agua y el Control de Descargas. Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales, 2012. Publicado en:

[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/99222C6086A3A87F05257DCD004F3460/\\$FILE/N A-AG-001-03.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/99222C6086A3A87F05257DCD004F3460/$FILE/N A-AG-001-03.pdf)

Tabla 13:

Parámetro D. Escala de la clasificación de la calidad del agua, con base en la dureza.

D			
Productividad Baja	Productividad Media	Eutrofia	Unidad
< 40	40 a 80	> 80	g/m ³ = mg/L

Nota. Adaptado del gráfico: Índice de contaminación para la dureza. Cuatro Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales. Formulaciones y Aplicación, 1997.

Publicado en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5587866.pdf>

Tabla 14:

Parámetro σ . Escala de valores máximos y mínimos que caracterizan las aguas superficiales, con base en la conductividad.

σ					
Alta Montaña	Cuenca Media	Cuenta Baja	Contaminación	Salobre	Unidad
< 50	50 a 150	150 a 200	200 a 275	> 275	$\mu\text{S/cm}$
Conversiones de $\mu\text{g/cm}$ a mS/cm					
< 0.05	0.05 a 0.15	0.15 a 0.2	0.2 a 0.275	> 0.275	mS/cm

Nota. Adaptado del gráfico: Índice de contaminación para la conductividad. Cuatro Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales. Formulaciones y Aplicación, 1997. Publicado en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5587866.pdf>

Tabla 15:

Parámetro Sólidos Totales. Valores máximos y mínimos aceptables presentes en cuerpos hídricos costeros, con base en Sólidos Totales.

Sólidos Totales	
Máximo	Unidad
---	mg/L

Nota. Adaptado de la norma: Norma Ambiental Sobre la Calidad de agua y el Control de Descargas. Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales, 2012. Publicado en: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/99222C6086A3A87F05257DCD004F3460/\\$FILE/N A-AG-001-03.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/99222C6086A3A87F05257DCD004F3460/$FILE/N A-AG-001-03.pdf)

Tabla 16:

Parámetro Coliformes Totales. Escala de la clasificación de la calidad del agua, con base en coliformes totales.

Coliformes Totales			
Pesca	Agrícola	Contaminación	Unidad
< 1,500.00	>1,500.00 y < 6,000.00	$\geq 6,000.00$	NMP/100 cm ³
Conversiones de NMP/100 cm ³ a NMP/100 mL			
< 15,000.00	>15,000.00 y < 60,000.00	$\geq 60,000.00$	NMP/100 mL

Nota. Adaptado del gráfico: Índice de contaminación para coliformes totales. Cuatro Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales. Formulaciones y Aplicación, 1997. Publicado en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5587866.pdf>

Tabla 17:

Parámetro DBO. Escala de valores de grados saprófitos para clasificación de aguas superficiales, con base en la DBO.

DBO			
Oligosaprobio	Mesosaprobio	Poli-Eusaprobio	Unidad
< 3.5	3.5 a 13.5	> 13.5	g/m ³ = mg/L

Nota. Adaptado del gráfico: Índice de contaminación para la DBO. Cuatro Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales. Formulaciones y Aplicación, 1997. Publicado en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5587866.pdf>

Tabla 18:

Parámetro DQO. Escala de la clasificación de la calidad del agua, con base en la demanda química de oxígeno.

DQO					
Excelente	Buena calidad	Aceptable	Contaminada	Fuertemente Contaminada	Unidad
≤ 10	>10 y ≤ 20	>20 y ≤ 40	>14 y ≤ 200	> 200	mg/L

Nota. Adaptado de la tabla 4: Escala de la clasificación de la calidad del agua, con base en la demanda química de oxígeno. Perspectivas sobre Conservación de Ecosistemas Acuáticos en México, 2007. Publicado en: <https://books.google.com.do/books?id=uWlrkIx-r3oC&lpg=PA124&ots=8Mso5l->

Tabla 19:

Escala de clasificación de la calidad del agua, con base en la demanda química de oxígeno (DQO)

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

Nota. Extraído de la tabla 4: Escala de la clasificación de la calidad del agua, con base en la demanda química de oxígeno. Perspectivas sobre Conservación de Ecosistemas Acuáticos en México, 2007. Publicado en: http://www.academia.edu/7833841/Libro_Ecosistemas_acuaticos_Oscar_Sanchez_et_al_2007

Tabla 20:

Características generales de lagos y pantanos oligotróficos y eutróficos. Parte 2.

PARAMETRO	TIPO DE MASA DE AGUA	
	OLIGOTRÓFICA	EUTRÓFICA
III.- FÍSICO		
Profundidad media de la masa de agua	Frecuentemente profunda	Frecuentemente poco profunda
Volumen del hipolimnio	Frecuentemente grande	Puede ser pequeño o grande
Temperatura de las aguas del hipolimnio	Generalmente fría	Generalmente el agua fría es mínima, excepto en las masas de agua eutróficas
IV.- QUÍMICO		
Calidad del agua para la mayoría de los usos domésticos e industriales	Buena	Frecuentemente pobre
Inadecuación de un uso múltiple	Normalmente poco deterioro	Frecuentemente deterioro considerable

Nota. Extraído del documento: Eutrofización de Cuerpos de Agua, s.f. Publicado en: http://www.proyectopandora.es/wp-content/uploads/Bibliografia/13101319_eutrofizacion_cuerpos.pdf

Tabla 21

Criterios tróficos y sus respuestas a una eutrofización creciente.

FÍSICO	QUÍMICO	BIOLÓGICO ²
Transparencia, por ejemplo profundidad de Secchi (D)	Concentración de nutrientes (I)	Frecuencia de proliferación de algas (I)
	Clorofila a ⁻ (I)	Diversidad de especies de algas (D)
	Conductancia eléctrica (I)	Biomasa de fitoplancton (I)
Sólidos en suspensión (I)	Sólidos disueltos (I)	Vegetación en el litoral (I) ³
	Déficit de oxígeno hipolimnético (I)	Zooplancton (I)
	Sobresaturación de oxígeno epilimnético (I)	Peces (I) ⁴
		Fauna del fondo (I) ⁵
	Producción primaria (I)	

Nota. Extraído del documento: Eutrofización de Cuerpos de Agua, s.f.

Publicado

en:[http://www.proyectopandora.es/wp-](http://www.proyectopandora.es/wp-content/uploads/Bibliografia/13101319_eutrofizacion_cuerpos.pdf)

[content/uploads/Bibliografia/13101319_eutrofizacion_cuerpos.pdf](http://www.proyectopandora.es/wp-content/uploads/Bibliografia/13101319_eutrofizacion_cuerpos.pdf)

Tabla 22:

Características generales de lagos y pantanos oligotróficos y eutróficos. Parte 1.

PARAMETRO	TIPO DE MASA DE AGUA	
	OLIGOTRÓFICA	EUTRÓFICA
L- BIOLÓGICO		
Producción de plantas y animales	Baja	Alta
Número de especies de plantas y animales	Numerosas	Muchas; pueden estar reducidas sustancialmente en aguas hipertrofias
Niveles generales de biomasa en la reserva de agua	Bajos	Altos
Aparición de Proliferación de algas	Rara	Frecuente
Cantidad relativa de algas verdes y verde-azuladas	Baja	Alta
Grado distribución de algas	En el hipolimnio, en masas de agua estratificadas térmicamente	Por lo general sólo en las aguas superficiales
Crecimiento de plantas acuáticas en el área poco profunda de la línea costera (Litoral)	Puede ser escaso o abundante; si ocurre consiste por lo general en vegetación sumergida y en desarrollo	Con frecuencia abundante; generalmente aumento de algas filamentosas y disminución de macrófitas
Emigración diaria de algas	Grande	Limitada
Tipos característicos de peces	Peces que viven en las profundidades y agua fría (salmón, trucha, cisco)	Peces que viven en la superficie y agua caliente (lucio, perca, róbalo etc.)

Nota. Extraído del documento: Eutrofización de Cuerpos de Agua, s.f.

Publicado

en:[http://www.proyectopandora.es/wp-](http://www.proyectopandora.es/wp-content/uploads/Bibliografia/13101319_eutrofizacion_cuerpos.pdf)

[content/uploads/Bibliografia/13101319_eutrofizacion_cuerpos.pdf](http://www.proyectopandora.es/wp-content/uploads/Bibliografia/13101319_eutrofizacion_cuerpos.pdf)

ANEXO 5
REPORTES DE ANÁLISIS

Reportes de Análisis

Guía para la colecta, manejo y las observaciones de campo para bioindicaciones de calidad del agua

Registro de campo para bioindicadores

Fecha de muestreo: 18/02/2017 Hora: 12:36 pm

Nombre del monitoreador: Raisa

Nombre del sitio: Punto 1- Boca de Cachón

Características del sitio

Viento: Calma _____ brisa ligera x brisa moderada _____ tempestuoso _____

Tiempo: Claro x parcialmente nublado _____ cerrado _____ lluvioso _____

Llovizna _____ bruma _____ nieve _____

Dirección del viento: N _____ NE x E _____ SE _____ S _____ SW _____ W _____ NW _____

Temperatura del aire: 30°C

Precipitación: (acumulación semanal) _____

Marea: Pleamar _____, marea muerta _____, bajamar x

Superficie del agua: Calma _____, rizadura x, oleaje _____, marejada _____

Color del agua: Café mediano x, café oscuro _____, café rojizo _____, verde _____, café _____, amarillo-café _____, otros _____

Olor: aguas residuales _____, aceitosas _____, a peces _____, a huevos podridos x

Ningún olor _____, Otros _____

Otros: Ortigas acuáticas x, peces muertos _____, cangrejos muertos x, florecimiento algales _____, capa aceitosa _____, escombros _____, espuma x, burbujas x, otros _____

Medidas de la Calidad del Agua

Profundidad de penetración de la luz al disco de Secchi _____ m

Profundidad de la columna de agua _____ m

Temperatura del agua _____ °C

Salinidad _____ g/L ó conductividad _____ μ mhos

pH _____ Oxígeno disuelto _____ mg/L

Tiempo empleado en el muestreo 7 mins

Observaciones: Las muestras biológicas se tomaron en una cuenca que desemboca en el lago

Firma Raisa Pérez

Digitalización del registro de campo tomado en el Punto Uno

Fuente del registro de campo:

<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2014/229011.pdf>

**Guía para la colecta, manejo y las observaciones de campo para
bioindicaciones de calidad del agua**

Registro de campo para bioindicadores

Fecha de muestreo: 18/02/2017 Hora: 3:40 am
 Nombre del monitoreador: Emely
 Nombre del sitio: Punto 2 – Parque Nacional Restauración de la Isla Cabritos, lago Enriquillo

Características del sitio

Viento: Calma _____ brisa ligera x brisa moderada _____ tempestuoso _____
 Tiempo: Claro x parcialmente nublado _____ cerrado _____ lluvioso _____
 Llovizna _____ bruma _____ nieve _____
 Dirección del viento: N _____ NE _____ E _____ SE _____ S _____ SW _____ W _____ NW _____
 Temperatura del aire: 30°C
 Precipitación: (acumulación semanal) _____
 Marea: Pleamar _____, marea muerta _____, bajamar x
 Superficie del agua: Calma _____, rizada x, oleaje _____, marejada _____.
 Color del agua: Café mediano _____, café oscuro _____, café rojizo _____, verde _____,
 café _____, amarillo-café x, otros _____
 Olor: aguas residuales _____, aceitosas _____, a peces _____, a huevos podridos _____,
 Ningún olor x, Otros _____
 Otros: Ortigas acuáticas _____, peces muertos _____, cangrejos muertos _____, florecimiento
 algales _____, capa aceitosa _____, escombros _____, espuma _____, burbujas x,
 otros _____.

Medidas de la Calidad del Agua

Profundidad de penetración de la luz al disco de Secchi _____ m
 Profundidad de la columna de agua _____ m
 Temperatura del agua _____ °C
 Salinidad _____ g/L ó conductividad _____ µmhos
 pH _____ Oxígeno disuelto _____ mg/L
 Tiempo empleado en el muestreo 5 mins
 Observaciones _____

Firma Emely Rodríguez

Digitalización del registro de campo tomado en el Punto Dos

Fuente del registro de campo:

<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2014/229011.pdf>

**Guía para la colecta, manejo y las observaciones de campo para
bioindicaciones de calidad del agua**

Registro de campo para bioindicadores

Fecha de muestreo: 18/02/2017 Hora: 4:07 pm
 Nombre del monitoreador: Franchesca
 Nombre del sitio: Punto 3- Frente a Las Caritas, Parque Nacional Lago Enriquillo.

Características del sitio

Viento: Calma x brisa ligera x brisa moderada _____ tempestuoso _____
 Tiempo: Claro _____ parcialmente nublado x cerrado _____ lluvioso _____
 Llovizna _____ bruma _____ nieve _____
 Dirección del viento: N _____ NE x E _____ SE _____ S _____ SW _____ W _____ NW _____
 Temperatura del aire: 30°C
 Precipitación: (acumulación semanal) _____
 Marea: Pleamar _____, marea muerta _____, bajamar x
 Superficie del agua: Calma _____, rizada x, oleaje _____, marejada _____
 Color del agua: Café mediano x, café oscuro _____, café rojizo _____, verde x,
 café _____, amarillo-café _____, otros _____
 Olor: aguas residuales _____, aceitosas _____, a peces _____, a huevos podridos x,
 Ningún olor _____, Otros _____
 Otros: Ortigas acuáticas x, peces muertos _____, cangrejos muertos _____, florecimiento algales
x, capa aceitosa _____, escombros _____, espuma _____, burbujas x, otros Troncos
de árboles muertos por doquier.

Medidas de la Calidad del Agua

Profundidad de penetración de la luz al disco de Secchi _____ m
 Profundidad de la columna de agua _____ m
 Temperatura del agua _____ °C
 Salinidad _____ g/L ó conductividad _____ µmhos
 pH _____ Oxígeno disuelto _____ mg/L
 Tiempo empleado en el muestreo 8 mins
 Observaciones: _____

Firma Franchesca Liriano

Digitalización del registro de campo tomado en el Punto Tres

Fuente del registro de campo:

<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2014/229011.pdf>

Resultados a Aguas del Enriquillo

Parámetros	Muestras			Especificación del equipo
	MP1	MP2	MP3	
pH	8.49	8.44	8.54	HACH HQ11D
Dureza	15,678.57	20,998.09	22,397.09	Volumetría
Conductividad	18.32 ms/cm	21.7 ms/cm	23.3 ms/cm	Hach HQD Fiel Case
Sólidos totales	11.96 mg/L	17.51 mg/L	13.73 mg/L	Hach HQD Fiel Case
Demanda Química de Oxígeno	5,690 mg/L	9,510 mg/L	3,420 mg/L	HACH DRB 200 HACH DRB 3900
Demanda Biológica de Oxígeno	2,994.74 mg/L	5,005.26 mg/L	1,800 mg/L	HACH DRB 200 HACH DRB 3900
Fosforo total	<0.06 mg/L	0.35	<0.06	HACH DRB 200 HACH DRB 3900

Imagen 1. Resultados físico-químicos de las pruebas realizadas a las muestras. Analizado por el Laboratorio de Aduanas, Parte 1

Parámetros		Muestras Estudiantes			Unidades
		M1-p1	M1-p2	M1-p3	
Cinc	Zn	< 0.0004	< 0.0004	< 0.0004	mg/L
Cobre	Cu	< 0.001	< 0.001	< 0.001	mg/L
Cadmio	Cd	< 0.0003	< 0.0003	< 0.0003	mg/L
Plomo	Pb	< 0.003	< 0.003	< 0.003	mg/L
Arsénico	As	0.01704	0.01322	0.01616	mg/L
Mercurio	Hg	< 0.005	< 0.005	< 0.005	mg/L
Vanadio	V	0.02130	< 0.001	0.02130	mg/L
Cianuro	CN	< 0.002	0.01	< 0.002	mg/L

Técnica: ICP-MS


 Artismendis Gómez, Msc.
 Consultor Ambiental 02-390-390
 Enc. Laboratorio



Imagen 2. Otros resultados físico-químicos de las pruebas realizadas a las muestras. Analizado por del Laboratorio de Aduanas, Parte 2

REPORTE DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

Cliente:	Franchesca Liriano	Fecha del Reporte:	10/03/2017
Atención:	Franchesca Liriano	No. de C.C.:	1469-02-17
Dirección:	NA	No. de Cotización:	3526

Código:	218163	Fecha y hora de Colección:	18/02/2017	12:00 p. m.
Tipo de Muestra:	Agua Superficial	Fecha y hora de Recepción:	20/02/2017	10:30 a. m.
Punto de Muestreo:	PUNTO 1	Temperatura de Recepción:	13.0 °C	
Observación:	NA	Temperatura de la Muestra:	NA	
		Recolector:	Cliente	

Parámetro	Método	Resultado	Unidad	LMD	Norma	Fecha y Hora	Analista
COLIFORMES TOTALES	SM 9221 B	2,400	NMP/100 mL	3	1,000	20/02/2017 - 11:20 AM	RBERIGUETE
CLOROFILA	SM 10200 H	BDL	mg/m ³	0.100	—	07/03/2017 -03:00 AM	EXTERNO

Nota: TSI < 30 según tabla de comparación 1 (Carlson 1977)

Nota: Norma aplicada corresponde a: Norma Ambiental sobre calidad de Agua Superficial y Costera Tabla 2.1 E

Legenda: LMD = Límite Mínimo de Detección, N/A= No Aplica, ND= No Detectado, C.C. Cadena de Custodia. Todos los resultados hacen referencia únicamente a esta muestra.

Nota: GSA-LAB no valida la representatividad de la muestra en caso de haber sido tomada por el cliente



Lic. José Mateo Mota
Gerente General

Nirka Pérez
Enc. Lab. Microbiología



FO-CDC-04
Revisión: 04

Imagen 3. Reporte de análisis biológico realizado a las muestras del Punto Uno. Por Laboratorio GSA.

REPORTE DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

Cliente:	Franchesca Liriano	Fecha del Reporte:	10/03/2017
Atención:	Franchesca Liriano	No. de C.C.:	1469-02-17
Dirección:	NA	No. de Cotización:	3526

Código:	218164	Fecha y hora de Colección:	18/02/2017	02:00 p. m.
Tipo de Muestra:	Agua Superficial	Fecha y hora de Recepción:	20/02/2017	10:30 a. m.
Punto de Muestreo:	PUNTO 2	Temperatura de Recepción:	13.0 °C	
Observación:	NA	Temperatura de la Muestra:	NA	
		Recolector:	Cliente	

Parámetro	Método	Resultado	Unidad	LMD	Norma	Fecha y Hora	Analista
COLIFORMES TOTALES	SM 9221 B	< 3	NMP/100 mL	3	1,000	20/02/2017 - 11:20 AM	RBERIGUETE
CLOROFILA	SM 10200 H	BDL	mg/m ³	0.100	-	07/03/2017 -03:00 AM	EXTERNO

Nota: TSI < 30 segun tabla de comparacion 1 (Carlson 1977)

Nota: Norma aplicada corresponde a: Norma Ambiental sobre calidad de Agua Superficial y Costera Tabla 2.1 E

Leyenda: LMD = Límite Mínimo de Detección, N/A= No Aplica, ND= No Detectado, C.C. Cadena de Custodia. Todos los resultados hacen referencia únicamente a esta muestra.

Nota: GSA-LAB no valida la representatividad de la muestra en caso de haber sido tomada por el cliente



Lic. José Mateo Mota
Gerente General

Nirka Pérez
Enc. Lab. Microbiología



FO-CDC-04
Revisión: 04

Imagen 4. Reporte de análisis biológico realizado a las muestras del Punto Dos. Por Laboratorio GSA.

REPORTE DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

Cliente:	Franchesca Liriano	Fecha del Reporte:	10/03/2017
Atención:	Franchesca Liriano	No. de C.C.:	1469-02-17
Dirección:	NA	No. de Cotización:	3526

Código:	218165	Fecha y hora de Colección:	18/02/2017	03:30 p. m.
Tipo de Muestra:	Agua Superficial	Fecha y hora de Recepción:	20/02/2017	10:30 a. m.
Punto de Muestreo:	PUNTO 3	Temperatura de Recepción:	13.0 °C	
Observación:	NA	Temperatura de la Muestra:	NA	
		Recolector:	Cliente	

Parámetro	Método	Resultado	Unidad	LMD	Norma	Fecha y Hora	Analista
COLIFORMES TOTALES	SM 9221 B	230	NMP/100 mL	3	1,000	20/02/2017 - 11:20 AM	RBERIGUETE
CLOROFILA	SM 10200 H	BDL	mg/m ³	0.100	—	07/03/2017 -03:00 AM	EXTERNO

Nota: TSI < 30 según tabla de comparación 1 (Carlson 1977)

Nota: Norma aplicada corresponde a: Norma Ambiental sobre calidad de Agua Superficial y Costera Tabla 2.1 E

Leyenda: LMD = Límite Mínimo de Detección, N/A= No Aplica, ND= No Detectado, C.C. Cadena de Custodia. Todos los resultados hacen referencia únicamente a esta muestra.

Nota: GSA-LAB no valida la representatividad de la muestra en caso de haber sido tomada por el cliente



Lic. José Mateo Mota
Gerente General

Nirka Pérez
Enc. Lab. Microbiología



FO-CDC-04
Revisión: 04

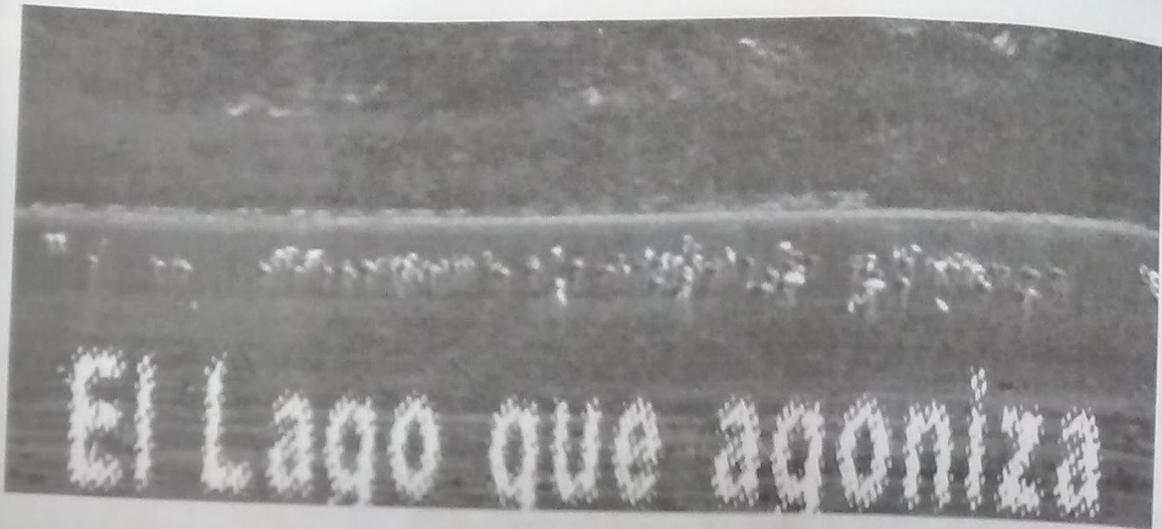
Imagen 5. Reporte de análisis biológico realizado a las muestras del Punto 3. Por laboratorio GSA.

ANEXO 6
ARTÍCULOS

Artículos



Artículo 1. Parque Nacional Lago Enriquillo, por Mateo Félix, José Manuel. Revista Verdor, sección Áreas Protegidas, Vol.1 no.2, 2005.



El Lago que agoniza

Andreas Schubert *

De la docena de años que llevo viviendo en República Dominicana, he dedicado más de 10 años a actividades de estudio y conservación de la biodiversidad en la región suroeste del país, específicamente al Lago Enriquillo y a los cocodrilos que habitan allí.

Cuando empecé a trabajar en el lago en 1992, este tenía una salinidad de 70 g/l o sea el doble de la del mar. Las orillas en la parte norte y noroeste coincidían con el límite del bosque de manglobotón y bayahonda. Sin problema se podía cruzar en bote con motor fuera de borda entre la punta oeste de la isla Cabritos y la tierra firme y entre la Isleta y La Barbarita, las dos islas pequeñas del lago. A partir del 1994 el lago comenzó a bajar paulatinamente.

En 1995 se había formado una playa de hasta 100 m de ancho entre la Azufrada y de Los Tucuces. Esta playa se hizo más ancha año tras año. Ya no se podía cruzar por la punta este de Cabritos.

A principios del 1997 Cabritos se volvió península. La salinidad había llegado a más de 90 g/l. Un año y medio después llegaron las aguas del huracán Georges, las cuales hicieron subir el lago unos 1 1/2 m. Cabritos volvió al estado de isla. La salinidad del agua en la superficie del lago bajó a menos de 70 g/l. Los peces, sobre todo las tilapias que habían llegado con las aguas aportadas por el río Yaque del Sur se establecieron en gran número de las orillas, dando lugar a una pesca intensiva durante el año que le siguió al siguiente.

Sin embargo, medio año después de Georges, el lago comenzó a bajar de nuevo. A finales del 2000 Cabritos se pegó de nuevo a la tierra firme. Hoy en día, seis años después de Georges, el lago es posiblemente más pequeño que nunca. La bahía de Boca de Cañón se ha vuelto en un caño. El lago está llegando al punto de dividirse en dos; el canal entre Cabritos y La Isleta casi está cayendo seco. Las lluvias abundantes de los años 2002 y 2003 no lograron subir el nivel del lago. La catástrofe del mayo 2003 que se llevó un

tercio de las casas en la comunidad de Jimaní y dos tercios de Fonds Verrettes en Haití casi no tuvo efecto en cuanto al nivel del Lago Enriquillo.

Yo siempre pensaba, que el régimen de sube y baja del lago solo depende de las tormentas tropicales y los ciclones. Ahora, después de ver que el efecto de Georges se pierde en dos años, creo que estamos llegando a una situación crítica para el Lago Enriquillo.

El ejemplo del Lago Aral. No es la primera vez, que un lago de gran importancia regional y hasta mundial llega a un estado crítico. El ejemplo más notorio es el lago Aral, ubicado en Asia central en los territorios de la antigua Unión Soviética. En cuanto a tamaño estaba en cuarto lugar a nivel mundial. Sus afluentes Amu Darya y Sir Darya le aportaban suficiente agua desde las montañas altas, para poder mantener más o menos estable su volumen y superficie.

En los años 1920 el gobierno soviético comenzó a sembrar

* Consejo Ambiental Dominicano CAD e-mail: casocad@verizon.net.do

ANEXO 7
IMÁGENES

Imágenes

Imagen 1 EL lago Enriquillo y las montañas colindantes de la provincia Independencia.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 2 Afluente de Boca de Cachón, Jimaní, corriendo en dirección al lago. Presencia de algas rojas oscuras y verdes Punto Uno-B.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 3 Presencia de algas macrófitas en el afluente de Boca de Cachón. Identificación del alga verde *Enteromorpha omissa*, Punto Uno-B.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 4 Muestra de la alga verde *Enteromorpha compressa*.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 5 Alga verde Enteromorpha Compressa dentro del agua.



Fuente: google-imágenes.

En <https://nas.er.usgs.gov/XIMAGESERVERX/2009/20090611112410.jpg>

Imagen 6 Alga Enteromorpha Compressa en la superficie del agua.



Fuente: google-imágenes.

En <http://www.biopedia.com/wp-content/uploads/2013/05/image362.jpg>

Imagen 7 En orillas del afluente Boca de Cachón se encuentra materia orgánica en descomposición. Junto a la materia orgánica se encuentra un tipo de alga superficial roja, Punto Uno-B.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 8 Recolección de muestras biológicas en el afluente de Boca de Cachón, Punto Uno-B.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 9 Gran población de algas pardas en el afluente de Boca de Cachón, Punto Uno-B.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 10 Población de algas superficiales verdes en el afluente de Boca de Cachón, Punto Uno-B.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 11 Punto Uno-FQ: Imagen de la biomasa en descomposición. Aguas del Lago con mucha espuma.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 12 Punto Uno-FQ: Recolección de muestras para análisis físico-químicos. Orillas del Enriquillo, provincia Jimaní, La Independencia.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 13 Punto Uno-FQ: Imagen de la zona con fitoplancton en la superficie. Zona cercana a la confluencia del afluente Boca de Cachón y el lago.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 14 Punto Uno-FQ: Restos de una construcción cerca de las orillas del Lago.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 15 Punto Uno-FQ: Lodo de biomasa degradada y seca, cerca de las orillas del Lago.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 16 Puerto de botes en Las Iguanas, La Descubierta, provincia Independencia, Punto Dos.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 17 Punto Dos: Recolección de muestras biológicas en Las Iguanas, de La Descubierta, Independencia.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 18 Punto Dos: Recolección de muestras físico-químicas en Las Iguanas, de La Descubierta, Independencia.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 19 Bosque petrificado por las aguas saladas del lago Enriquillo, orilla cerca Las Caritas en La Descubierta, provincia Independencia, Punto Tres.



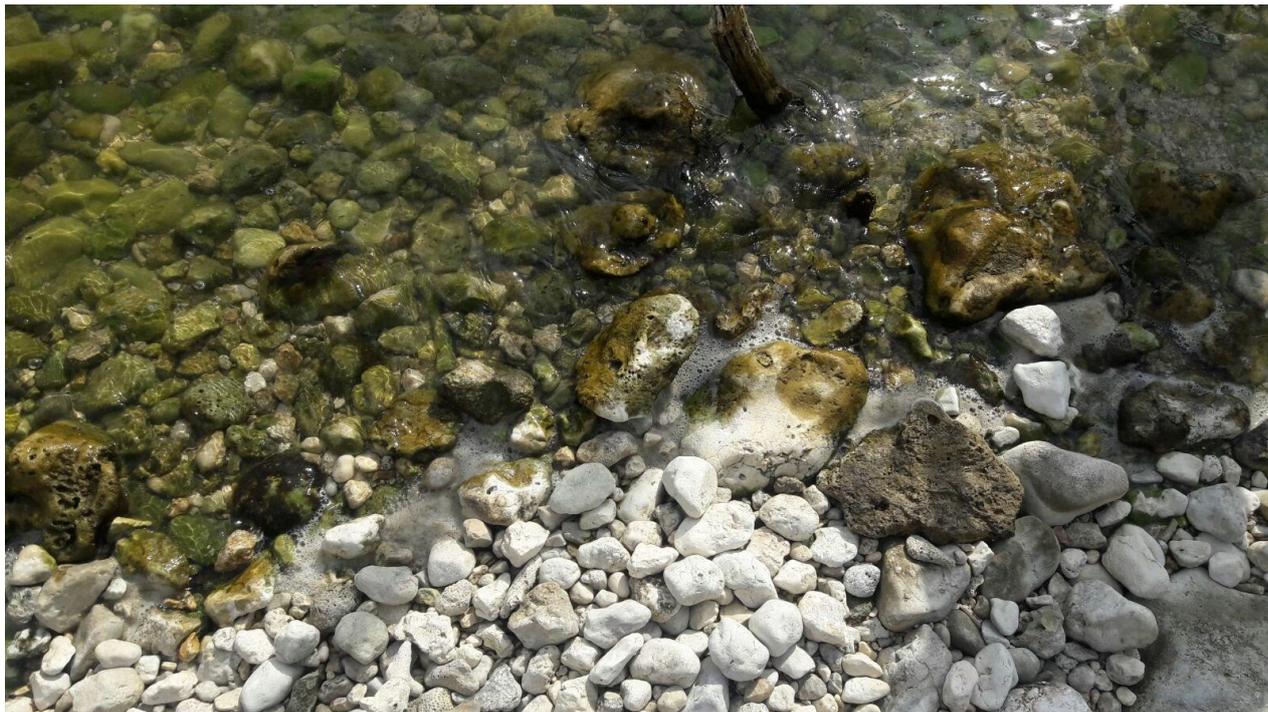
Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 20 Recolección de muestras en el lago Enriquillo, en Las Caritas en La Descubierta, provincia Independencia, Punto Tres.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 21 Espuma en las orillas del lago Enriquillo en Las Caritas en La Descubierta, provincia Independencia, Punto Tres.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 22 Paisaje del lago Enriquillo luego que las crecidas que inundaron cocoteros y zonas de pastoreo.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 23 Paisaje con las estudiantes y asesor.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Imagen 24 Conservación de la muestra en ambiente frío para su posterior análisis.



Fuente: Rodríguez, Pérez & Liriano

Sustentantes

Emely Paola Rodríguez Guzmán

Pegui Franchesca Liriano Mateo

Raisa Pérez

Ing. Emgelberth Vargas
Asesor

Ing. Doris Peña
Asesora

Jurado

Jurado

Jurado

Calificación: _____

Fecha: _____

Ing. Doris Peña
Directora del Dpto. de Química