



Universidad
Europea
del Atlántico

ÁREA DE MEDIO AMBIENTE

TÍTULO DEL PROYECTO FINAL

Evaluación de la calidad ambiental de sedimentos y agua de la Laguna Yrupé de Asunción: estudio de la situación inicial y alternativas de recuperación.

Tesis para optar al grado de:

Máster en Gestión y Auditorías Ambientales

Presentado por:

Lic. Noelia Isabel Benítez Vera

PYMAMGA2938120

Director:

Dra. Alina Eugenia Pascual Barrera

Asunción, Paraguay

Agosto, 2022

AGRADECIMIENTOS

A Dios todopoderoso.

A toda mi familia por el apoyo y la confianza.

A la Rectora de la Universidad Nacional de Asunción, Prof. Dra. Zully Concepción Vera de Molinas por su apoyo a la investigación.

Al Director del Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas (CEMIT), Lic. Qco. Ind. Gustavo René Brozón Benítez, por el apoyo recibido para la realización de los ensayos de agua y suelo necesarios para llevar a cabo esta investigación.

A todos los personales que componen el del Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas (CEMIT) por su colaboración.

COMPROMISO DE AUTOR

Yo, Noelia Isabel Benítez Vera, declaro que:

El contenido del presente documento es original y constituye un reflejo de mi trabajo personal. Manifiesto que, ante cualquier notificación de plagio, autoplagio, copia o falta a la fuente original, soy responsable directo legal, económico y administrativo sin afectar al Director del trabajo, a la Universidad y a cuantas instituciones hayan colaborado en dicho trabajo, asumiendo las consecuencias derivadas de tales prácticas.

Firma:



AUTORIZACIÓN PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA

Asunción, 07 de julio de 2021

Att: Dirección Académica

Por este medio autorizo la publicación electrónica de la versión aprobada de mi Proyecto Final bajo el título Evaluación de la calidad ambiental de sedimentos y agua de la Laguna Yrupé de Asunción: estudio de la situación inicial y alternativas de recuperación en el campus virtual y en otros espacios de divulgación electrónica de esta Institución.

Informo los datos para la descripción del trabajo:

Título	Evaluación de la calidad ambiental de sedimentos y agua de la Laguna Yrupé de Asunción: estudio de la situación inicial y alternativas de recuperación.
Autor	Noelia Isabel Benítez Vera
Resumen	Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad ambiental de los sedimentos y el agua de la Laguna Yrupé de la ciudad de Asunción con el propósito de generar alternativas para su recuperación. El diseño de la investigación es pre experimental. Se pudo determinar con los resultados del ICA e IGeo que el grado de contaminación es alta.
Programa	Máster en Gestión y Auditorías Ambientales
Palabras clave	Contaminación; Calidad ambiental; Indicadores ambientales; Alternativas de recuperación; Laguna Yrupé.
Contacto	noeliaisabelbenitezvera@gmail.com

Atentamente,

Firma: 

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Índices de la calidad del agua	3
2.1.1. <i>Características del agua de laguna</i>	3
2.1.2. <i>Índice de calidad del agua (ICA), concepto</i>	4
2.1.3. <i>Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos</i>	5
2.1.3.1. <i>Parámetros fisicoquímicos</i>	5
2.1.3.2. <i>Parámetros microbiológicos</i>	6
2.1.4. <i>ICA Universal Water Quality Index (UWQI)</i>	6
2.2. Geoacumulación de metales en sedimentos	7
2.2.1. <i>Características de sedimentos lagunares</i>	7
2.2.2. <i>Toxicidad de metales</i>	8
2.2.3. <i>Parámetros fisicoquímicos</i>	8
2.2.3.1. <i>Parámetros físicos</i>	9
2.2.3.2. <i>Parámetros químicos</i>	9
2.2.4. <i>Índice de Geoacumulación (IGeo)</i>	10
2.3. Agentes contaminantes	10
2.3.1. <i>Agentes contaminantes, concepto</i>	11
2.3.2. <i>Tipos de agentes contaminantes</i>	11
2.3.3. <i>Riesgo por exposición a agentes contaminantes</i>	12
2.4. Alternativas para recuperación de hábitat degradado	13
2.4.1. <i>Rehabilitación ambiental de un área degradada</i>	13
2.4.1.1. <i>Recuperación ambiental del agua</i>	13
2.4.1.2. <i>Recuperación ambiental del suelo</i>	14
2.4.1.3. <i>Recuperación ambiental del aire</i>	15
2.4.2. <i>Gestión de recursos hídricos</i>	16
2.5. Legislación Ambiental	16
2.5.1. <i>Normas de regulación de la calidad del agua</i>	16
2.5.2. <i>Normas de regulación de metales en sedimentos</i>	17
3. METODOLOGÍA	19
3.1. Diseño de investigación	19
3.2. Población y muestra	20

3.3. Variables	20
3.4. Instrumentos de medición y técnicas	20
3.5. Procedimientos	20
4. RESULTADOS	23
5. DISCUSIÓN	43
6. CONCLUSIONES	47
7. BIBLIOGRAFÍA	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1: Área de estudio: Laguna Yrupe	23
Figura 4.2: Resultados del análisis fisicoquímico	25
Figura 4.3: Resultados del análisis microbiológico	26
Figura 4.4: Concentraciones de elementos en la muestra	29
Figura 4.5: Análisis granulométrico por tamizado	30
Figura 4.6: Curva granulométrica	31
Figura 4.7: Imagen Satelital de la Laguna Yrupe, año 2009	33
Figura 4.8: Imagen satelital de la Laguna Yrupe, año 2011	34
Figura 4.9: Imagen satelital de la Laguna Yrupe, año 2019	35
Figura 4.10: Imagen satelital de la Laguna Yrupe, año 2021	36
Figura 4.11: Ortofoto del Área de la Laguna Yrupe	37
Figura 4.12: Mapa de los servicios que se encuentran en el área de estudio	38
Figura 4.13: Mapa de viviendas que se encuentran en el área de estudio	39
Figura 4.14: Imagen de la localización de la Laguna	41
Figura 4.15: Imagen de los impactos observados en la Laguna Yrupe	41
Figura 4.16: Vertederos de basuras observados	42
Figura 4.17: Vertederos de basuras observados al Sureste de la Laguna	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Pesos específico en Índice de Calidad del Agua NSF	5
Tabla 2.2: Parámetros de Geoacumulación	10
Tabla 2.3: Agentes contaminantes, procesos y fuentes que afectan la calidad del agua	11
Tabla 2.4: Límites para metales en sedimentos	18
Tabla 4.1: Pesos de importancia para cada parámetro (w_i)	27
Tabla 4.2: Cálculo del ICA propuesto	28
Tabla 4.3: Clasificación del ICA propuesta por Brown	28
Tabla 4.4: Clasificación de sedimentos	31
Tabla 4.5: Índice de Geoacumulación	32
Tabla 5.1: Comparación de resultados de análisis de agua y valores recomendados	44
Tabla 5.2: Comparación de resultados de análisis de sedimentos y reglamentaciones	45

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Matriz para la determinación de los componentes y acciones impactantes en el ecosistema de la Laguna Yrupé	55
Anexo 2: Esquema de observación de acciones impactantes, efectos ambientales y medidas mitigadoras	56
Anexo 3: Resolución N° 222/02 de la Secretaria del Ambiente	57

RESUMEN

La Laguna Yrupé se encuentra ubicada en las coordenadas 433812.44 m E, 7200402.30 m S en la ciudad de Asunción (Paraguay), se encuentra en un área urbana, con 521.1001 habitantes que representan el 7,1 % de la población del país (Instituto Nacional de Estadística, 2021) y por ello es víctima de la contaminación de la ciudad, además de los vertederos clandestinos de basura que se encuentran cercanos a la laguna. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad ambiental de los sedimentos y el agua de la Laguna Yrupé de la ciudad de Asunción con el propósito de generar alternativas para su recuperación. El diseño de la investigación fue pre experimental, la tipología fue Cuasi experimental de corte transversal y fue de carácter bibliográfica-documental. Esta investigación no consideró población y muestra, ya que se analizaron muestras de agua y sedimentos, y la valoración de los impactos antropogénicos se realizó de manera indirecta. La técnica utilizada fue la observación y se utilizó como instrumento de medición una matriz ambiental. Para valorar el grado de contaminación del agua se analizaron las siguientes variables: pH, Coliformes fecales, Coliformes totales, Aceites y grasas, Turbidez, Conductividad Eléctrica, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Biológica de Oxígeno, Oxígeno Disuelto, Color, Salinidad, Sodio, Nitrato, Fósforo, Mercurio, Cromo Total, Plomo, Sulfatos, Cianuro, Detergentes (SAAM), Hidrocarburos y posteriormente se procedió a calcular el Índice de calidad del agua (ICA) y para valorar el grado de contaminación de los sedimentos se analizaron las siguientes variables: pH, Hierro total, Cobre, Calcio, Arsénico, Mercurio, Níquel, Plata, Sodio, Manganeseo, Fosforo total, Potasio, Cromo Total, Zinc, Plomo, Cadmio, Granulometría, Color y posteriormente se procedió a calcular el Índice Geoacumulación de sedimentos (IGeo). Los valores obtenidos en la muestra de agua de la Laguna Yrupe, en líneas generales de los 19 (diecinueve) parámetros realizados son solo 05 (cinco) los que se encontraron fuera de los valores normales, ellos son Aceites y grasas, coliformes totales, demanda bioquímica de oxígeno, color y fósforo total. En relación al ICA, se obtuvo un valor de 42,46 indicativo de calidad mala de agua. Los resultados obtenidos para el IGeo indicaron diferentes grados de contaminación; No contaminado para Cobre, Arsénico, Níquel y Cromo total, No contaminado a moderadamente contaminado para el Plomo, Moderadamente contaminado para Hierro total y Zinc, De fuertemente contaminado a extremadamente contaminado para el Mercurio y Manganeseo y Extremadamente contaminado para los siguientes: Calcio, Plata, Fosforo total, Potasio y Sodio. El grado de contaminación de la laguna es alto debido a los resultados obtenidos para el ICA e IGeo. En cuanto a los agentes contaminantes que deterioran la calidad ambiental de la laguna estos proceden tanto de fuentes naturales como antrópicas pero son necesarios estudios más minuciosos para poder detallarlos y conocer su incidencia puntual. La alternativa de recuperación más factible es la fitorremediación además de la educación ambiental a los pobladores y la correcta gestión de los residuos. También es recomendable la conformación de un equipo multidisciplinario para el desarrollo de un plan de gestión de este recurso.

Palabras clave: Contaminación; Calidad ambiental; Indicadores ambientales; Alternativas de recuperación; Laguna Yrupe.

ABSTRACT

Laguna Yrupé is located at coordinates 433812.44 m E, 7200402.30 m S in the city of Asunción (Paraguay), it is in an urban area, with 521,1001 inhabitants who represent 7.1% of the country's population (National Institute Statistics, 2021) and therefore is a victim of the pollution of the city, in addition to the clandestine garbage dumps that are close to the lagoon. The objective of this research was to evaluate the environmental quality of the sediments and the water of the Yrupé Lagoon in the city of Asunción with the purpose of generating alternatives for their recovery. The research design was pre-experimental, the typology was Quasi-experimental cross-sectional and it was bibliographical-documentary. This research did not consider population and sample, since water and sediment samples were analyzed, and the assessment of anthropogenic impacts was carried out indirectly. The technique used was observation and an environmental matrix was used as a measuring instrument. To assess the degree of water contamination, the following variables were analyzed: pH, fecal coliforms, total coliforms, oils and fats, turbidity, electrical conductivity, chemical oxygen demand, biological oxygen demand, dissolved oxygen, color, salinity, sodium, Nitrate, Phosphorus, Mercury, Total Chromium, Lead, Sulfates, Cyanide, Detergents (SAAM), Hydrocarbons and then proceeded to calculate the Water Quality Index (WQI) and to assess the degree of contamination of the sediments, the following were analyzed variables: pH, Total Iron, Copper, Calcium, Arsenic, Mercury, Nickel, Silver, Sodium, Manganese, Total Phosphorus, Potassium, Total Chromium, Zinc, Lead, Cadmium, Granulometry, Color and then proceeded to calculate the Geoaccumulation Index of sediments (IGeo). The values obtained in the water sample of Laguna Yrupe, in general lines of the 19 (nineteen) parameters carried out are only 05 (five) those that were found to be outside the normal values, they are Oils and fats, total coliforms, demand biochemistry of oxygen, color and total phosphorus. In relation to the ICA, a value of 42.46 was obtained, indicative of poor water quality. The results obtained for the IGeo indicated different degrees of contamination; Not contaminated for Copper, Arsenic, Nickel and total Chromium, Not contaminated to moderately contaminated for Lead, Moderately contaminated for total Iron and Zinc, Strongly contaminated to extremely contaminated for Mercury and Manganese and Extremely contaminated for the following: Calcium, Silver, Total phosphorus, Potassium and Sodium. The degree of contamination of the lagoon is high due to the results obtained for the ICA and IGeo. As for the contaminating agents that deteriorate the environmental quality of the lagoon, these come from both natural and anthropic sources, but more detailed studies are necessary to be able to detail them and know their punctual incidence. The most feasible recovery alternative is phytoremediation, in addition to environmental education for residents and proper waste management. The formation of a multidisciplinary team to develop a management plan for this resource is also recommended.

Keywords

Contamination; Environmental quality; Environmental indicators; Recovery alternatives; Yrupe Lagoon

1. INTRODUCCIÓN

Las lagunas y humedales representan estados intermedios en el amplio gradiente que se establece entre los lagos profundos y el ambiente terrestre, estos se encuentran dentro de los sistemas más productivos de la tierra y son muy frágiles a las alteraciones, su destrucción debido al cambio climático y contaminación las sitúa dentro de los ecosistemas de mayor riesgo de desaparición en la actualidad (Bécares, 2004). Es muy importante por ello que sean preservadas en sus condiciones originarias de manera a no interferir en el hábitat de los seres vivos, y si han sido contaminadas recuperarlas para poder mantener el equilibrio con la naturaleza.

La Laguna Yrupé se encuentra ubicada en las coordenadas 433812.44 m E, 7200402.30 m S (Sistema de Coordenadas *Universal Transverse Mercator*) en el país de Paraguay, situada en la región Oriental en la ciudad de Asunción en el Barrio Tacumbú, se encuentra en un área urbana, con 521.1001 habitantes que representan el 7,1 % de la población total del país (Instituto Nacional de Estadística, 2021) y por ello es víctima de la contaminación de la ciudad, además de los vertederos clandestinos de basura que se encuentran cercanos a la laguna.

Los vertederos de basuras traen consigo una innumerable cantidad de problemas ambientales tales como: generación de líquidos lixiviados, generación de malos olores y gases de todo tipo, pérdida de la productividad del suelo, son susceptibles focos de incendios y agrupa todo tipo de roedores y otros animales que son transmisores de enfermedades y no podemos dejar de mencionar la contaminación de los recursos hídricos cercanos y el subsuelo si es que no cuentan con una adecuada preparación previa del terreno para su utilización como vertedero.

La contaminación es un problema muy actual que afecta de manera directa a los seres vivos, en esta investigación se busca conocer la situación de la contaminación de la Laguna Yrupé de manera a generar alternativas para su recuperación ya que ésta es una laguna que se encuentra en un área urbana y diversos animales (aves, mamíferos y peces) se ven amenazados por la contaminación existente en la zona, además del riesgo probable de contaminación del acuífero sobre el cual se encuentra, del cual se abastece toda la comunidad del área central del país.

No existen otros trabajos referentes al tema para la Laguna Yrupé, sin embargo se ha realizado un trabajo de investigación referente a la evaluación de la importancia del Bañado Tacumbú (zona compuesta por la Laguna Yrupe) para la conservación de las aves acuáticas, elaborado por Morales et al (2010), en el cual se realiza un inventario y monitoreo de las poblaciones de aves de la zona y la relevancia del área para las especies acuáticas. Así como también la tesis de grado presentado por Velázquez (2020) referente a la caracterización de la degradación ambiental de la Laguna Cateura de Asunción, en el cual se realizó un estudio sobre las características fisicoquímicas del agua y sedimentos de esta laguna que se encuentra en la misma ciudad que la Laguna Yrupé.

Esta investigación pretende ofrecer una base teórica para la comprobación de los niveles de contaminación de la Laguna Yrupé y a partir de ello generar alternativas para su recuperación teniendo en cuenta los recursos que se tienen a nivel local para que puedan ser ejecutados por el gobierno municipal o alguna entidad con los recursos financieros disponibles, para generar la mejora de la calidad ambiental de la laguna y la calidad de vida de los pobladores que se encuentran coexistiendo en los alrededores de la laguna.

Contar con alternativas para la recuperación ambiental de la Laguna Yrupé podrá beneficiar a otros espacios con las mismas características de manera a disminuir la contaminación y sus repercusiones en el planeta, contribuyendo de esta manera al desarrollo del conocimiento científico.

Teniendo en cuenta la problemática que se desea estudiar, surge el siguiente objetivo general de investigación:

- Evaluar la calidad ambiental de los sedimentos y el agua de la Laguna Yrupé de la ciudad de Asunción con el propósito de generar alternativas para su recuperación.

Del objetivo principal se desprenden los siguientes objetivos específicos

- Valorar el grado de contaminación de la Laguna Yrupé a través de índices de calidad del agua y geoacumulación de metales en sedimentos.
- Determinar los agentes contaminantes que deterioran la calidad ambiental de la Laguna Yrupé
- Proponer alternativas de recuperación de la Laguna Yrupé teniendo en cuenta el grado de contaminación de la misma y los recursos locales.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Índices de calidad del agua

En el presente capítulo abordaremos los aspectos relativos al Índice de Calidad del Agua que es un tipo de índice ambiental que puede ser usado como marco de referencia único para comunicar información sobre la calidad del ambiente afectado y para evaluar la vulnerabilidad o la susceptibilidad del agua a la contaminación (Canter, 1996, citado por Gil-Marín *et al*, 2018).

2.1.1. Características del agua de laguna

Las lagunas son fuentes de agua, rodeados por cuerpos de tierra poco profundos. Se forman en las partes bajas de los ríos por procesos de inundación de llanuras o por acción conjunta entre el mar y los ríos (Roldan *et al.*, 2008, citado por García, 2012) es por ello que como fuente natural de agua poseen ciertas características particulares. Contribuyen a la sostenibilidad del lugar donde se encuentran al: preservar una alta biodiversidad en flora y fauna silvestres (inclusive de especies migratorias), ofrecer protección contra la erosión, mitigar las inundaciones y, favorecer la recarga de acuíferos subterráneos, la purificación del agua y la estabilización de las condiciones de lluvia y temperatura locales (Pérez, *et al.*, 2008).

Su calidad está íntimamente ligada con su origen, la existencia de mayor o menor intensidad de mezcla, la estratificación, el tiempo de retención, la forma física del estante, el movimiento del agua, aportes de contaminantes y su riqueza nutricional o eutrofización (Romero, 2005, citado por García, 2012).

En cuanto a las características fisicoquímicas de las aguas lagunares se puede apreciar que son límpidas y de coloración pálido en probeta, en la naturaleza por su contenido planctónico son verdosas a ventosas, por remoción del fondo, se vuelve turbia y de coloración grisácea algo verdosa incluso negra o rojiza teniendo en cuenta la materia orgánica. La transparencia es escasa (<50 cm) y se encuentra influenciada por la época del año y las condiciones meteorológicas, en cuanto a la temperatura es casi homogénea y parecida a la del aire, normalmente son subsaturadas en oxígeno, y abarcan aguas dulces a saladas amargas a salmueras. El pH en general es neutro a levemente alcalino y las que tienen pH ácido son más raras y resultan de la degradación a ambientes de pantanos, en cuanto a la materia orgánica soluble en medio ácido es escasa (<60 ppm) y la partícula suspendida es abundante (Dangavs, 2005).

2.1.2. Índice de calidad del agua (ICA), concepto

El término calidad de agua se refiere al conjunto de parámetros que indican que el agua puede ser usada para diferentes propósitos (Castro, 1987, citado por Cornejo et al., 2017), se han agrupado los principales parámetros para formar el Índice de Calidad del Agua (ICA). Existen dos métodos que se aplican actualmente para conocer la calidad del agua, el primero centrado en la contaminación y el segundo en la abundancia de organismos vivos presentes en el agua (Behar *et al.*, 2011 citado por Weisse, 2015).

Según García (2012) el ICA es un número único que expresa la calidad del recurso hídrico mediante la integración de las mediciones de determinados parámetros de calidad del agua y su uso permite una rápida interpretación y reconocimiento de las tendencias en la calidad del cuerpo de agua a lo largo del espacio y el tiempo.

Para Espinal et al (2013), los ICA pueden conjuntar una gran cantidad de información y generar un único valor definido a través de una escala para calificar al recurso.

Por su naturaleza los índices pueden ser: fisicoquímicos, biológicos e hidromorfológicos; combinan diversas variables (aniones, cationes, pH, conductividad eléctrica, temperatura, turbidez, coliformes fecales y totales, disponibilidad de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, metales pesados, contenidos de nitrógeno y fósforo, algas, peces, macroinvertebrados, caudales ambientales, continuidad fluvial, entre otros.) y proporcionan una valoración de la calidad del agua en una escala de 0-100, donde 0 (cero) es mala calidad y 100 es excelente (Balmaceda *et al.*, 2014).

En 1970, Brown, MacClelland, Deninger y Tozer apoyados por la *National Sanitation Foundation* de los Estados Unidos de Norteamérica propusieron el índice de calidad de agua de la NSF (NSFWQI), en el aspecto fisicoquímico, se tuvieron en cuenta las siguientes variables: temperatura (°C), oxígeno disuelto (mgO_2/l), DBO_5 -20°C (mgO_2/l), residuo total (mg/l), turbiedad (UNT), fosfatos (mgPO_4/l), pH (unidades) y Coliformes fecales (NMP/100ml), estas tienen un peso específico, que podemos apreciar en la Tabla 2.1, de acuerdo con su importancia, relacionada a la calidad de agua (Behar *et. al.*, 1997).

Tabla N° 2.1.
Pesos específico en Índice de Calidad del Agua NSF

CARACTERÍSTICA	PESO
Temperatura	10%
Oxígeno disuelto	17%
DBO5	10%
Residuo total	8%
Turbiedad	8%
Fosfatos	10%
Nitratos	10%
pH	12%
Coliformes fecales	15%

Nota: Adaptado de Behar, R., M. Zuñiga, y O. Rojas. 1997. Análisis y valoración del índice de calidad de agua (ICA) de la NSF: casos ríos Cali y Meléndez. *Revista Ingeniería y Competitividad* 1(1):17-27.

En Europa, Boyacioglu creó el *Universal Water Quality Index* (UWQI) agrupando 11 parámetros fisicoquímicos y uno microbiológico, con el mismo proporciona un método más sencillo para describir la calidad de las aguas superficiales utilizadas para el abastecimiento de agua potable, este se basa en las directivas de la Unión Europea para aguas a ser destinadas al consumo humano previo tratamiento, con el objetivo de facilitar su uso en los diferentes países que la conforman (Torres *et. al.*, 2009).

2.1.3. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Los parámetros a ser incluidos en los ICA se caracterizan por la apreciación de expertos, agencias o entidades gubernamentales, ellos determinan en el ámbito legislativo su importancia al establecerlos como estándares de calidad del agua (Fernández, *et al.*, 2007). Dunnette (1979) recomienda seleccionar los parámetros de las cinco categorías mas comúnmente reconocidas: nivel de oxígeno, eutrofización, aspectos de salud, características físicas y sustancias disueltas.

2.1.3.1. Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros seleccionados en el UWQI son los representativos de la presencia de sustancias químicas en el agua y causantes de impactos sobre la salud y el ambiente, razón por la cual se incluyeron algunos recomendados por las guías de OMS para monitoreo y evaluación de la calidad química del agua potable (Torres *et. al.*, 2009).

La complejidad de las sustancias químicas que pueden estar presentes en la fuentes de agua está estrechamente relacionada con las actividades socioeconómicas desarrolladas en la cuenca y las características de los suelos que la conforman; sin embargo, según Thompson *et al.* (2007), existen cuatro parámetros fundamentales en la evaluación de la calidad química del agua que se deben considerar, independiente de otras sustancias

químicas seleccionadas de acuerdo con condiciones locales: fluoruro, arsénico, selenio y nitratos por su demostrado efecto perjudicial para la salud (citado por Torres *et. al.*, 2009).

De acuerdo con Sacha *et. al.* (2001) para los ICA aplicado a aguas superficiales el mayor peso debe ser otorgado a los parámetros OD, DBO, nitratos, sólidos suspendidos y coliformes totales, y los ICA de agua potable deben otorgarse peso, además, al N-NO₃, color, arsénico y boro.

2.1.3.2. Parámetros microbiológicos

Para el Ministerio de Desarrollo Productivo los parámetros microbiológicos se refieren a la presencia de microorganismos patógenos de diferentes tipos: bacterias, virus, protozoos. Normalmente estos microorganismos llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas y animales, por ello estos se convierten en un buen índice para medir la salubridad de las aguas. Algunos son: Coliformes totales, Estreptococos fecales, Coliformes fecales.

Para Orozco *et. al.* (2005) los métodos biológicos aportan esta información pero no señalan nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización en conjunto con parámetros fisicoquímicos para la evaluación del recurso hídrico (citado por Samboni, *et. al.*, 2007).

2.1.4. ICA Universal Water Quality Index (UWQI)

Es un indicador que entrega un estado de la calidad del agua de forma simple y con bajas dificultades técnicas, es específico para corrientes y posee doce parámetros (Rodríguez, *et. al.*, 2016). El CWQI (Canadian Water Quality Index) ha adoptado el modelo conceptual de BCWQI (British Columbia Water Quality Index), basado en los subíndices relativos (Khan *et. al.*, 2003, citado por Weisse, 2015).

Para sustancias tóxicas, el objetivo es un límite superior máximo que no debe ser excedido. En cambio, para propiedades como oxígeno disuelto, el límite es un valor mínimo que debe estar presente en los puntos de muestreo. La desventaja de usar este indicador, es lo generalizado de su declaración del estado de la calidad del agua, por lo que variaciones en la calidad muy localizadas no pueden ser inmediatamente evidentes (Weisse, 2015).

Los índices de calidad del agua son herramienta funcional en la planificación de cuencas hidrográficas en cuanto a la calidad de las aguas, se recurren a ellos para la clasificación

de áreas y usos del agua, en el desarrollo sustentable, investigación científica y en la gestión de los recursos hídricos (Rodríguez, *et. al.*, 2016).

Para el cálculo se emplea una ecuación de tipo aditivo o suma ponderada, cuya estructura de cálculo es la que se presenta en la ecuación 1 (Torres *et al.*, 2009):

$$UWQI = \sum_{i=1}^n W_i I_i \quad (1)$$

Donde W_i es el peso o porcentaje asignado al i -ésimo parámetro y I_i es el subíndice del i -ésimo parámetro.

Este parámetro posee ventajas sobre otros índices que son utilizados en la actualidad ya que refleja la idoneidad del agua para uso específico. Índices antepuestos se han desarrollado con el fin de evaluar la calidad del agua corriente para usos recreativos de carácter general. A más de no tener como base a normas nacionales de un país en particular y encontrarse limitada su aplicación en el interior del país de origen. El UWQI tiene en cuenta en total 12 parámetros: coliformes totales, cadmio, cianuro, mercurio, selenio, arsénico, fluoruros, nitratos, oxígeno disuelto, pH, DBO, y fosforo total (Castro *et al*, 2014).

2.2. Geoacumulación de metales en sedimentos

Este capítulo tratará sobre la geoacumulación de metales en sedimentos lagunares, las lagunas así como otros cuerpos de agua son receptores de efluentes urbanos e industriales los cuales transportan compuestos tóxicos, entre los cuales se encuentran los metales pesados, los mismos se incorporan no sólo a los sedimentos sino también a la biota acuática y terrestre (Flores *et al*, 2018).

2.2.1. Características de sedimentos lagunares

Los sedimentos son matrices compuestas por materia orgánica en diversos estados de descomposición, material particulado orgánico e inorgánico de origen biológico y antrópico (Chen & White, 2004, citado por Flores *et. al.*, 2018).

La depositación de sedimentos en lechos lagunares de sistema abierto (exorreico y endorreico) proviene de aportes extra e intracuencales, mientras que en los de sistema cerrado (arreico) son casi exclusivamente intracuencales. Los materiales extracuencales ingresan por escurrimiento superficial y de los polvos atmosféricos de origen silicoclástico, biótico y antrópico y su abundancia depende del régimen pluvial, la dinámica erosiva y de su posición con respecto a los asentamientos humanos (Dangavs, 2005).

2.2.2. Toxicidad de metales

Los metales pesados presentes en el suelo son elementos electropositivos que contienen un peso atómico alto y tienen densidades superiores a 5 g/cm^{-3} (Trief, 1981, citado por Aguila et al., 2005). Algunos metales son propios del ecosistema, es decir existen en una concentración natural, sin embargo cuando su concentración excede el límite natural tienden a producir efectos negativos en la salud de los seres humanos, la fauna y flora.

En los suelos se pueden encontrar diferentes metales, formando parte de los minerales propios; como son silicio (Si), aluminio (Al), hierro (Fe), calcio (Ca), sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg). También puede encontrarse manganeso (Mn), que generalmente se presenta en el suelo como óxido y/o hidróxido, formando concreciones junto con otros elementos metálicos. Algunos de estos metales son esenciales en la nutrición de las plantas (Prieto et al, 2009).

Como consecuencia de su alto potencial tóxico, el As, Cd, Cr, Hg y el Pb son tomados en cuenta de forma particular y están considerados como contaminantes altamente peligrosos; no obstante, otros metales como el Cu y el Zn también pueden resultar tóxicos si exceden ciertos niveles de concentración (Esteves, Gil, & Harvey, 1996; García-García et al., 2012; Soto-Cruz, Carrillo-Chávez, & Suárez-Sánchez, 2011, citado por Laino-Guanes et al., 2015).

El plomo, cadmio y talio son metales que se asocian con múltiples consecuencias en la salud; siendo varios los órganos y sistemas que se ven afectados por los metales tales como: riñón, pulmón, hígado sistema gastrointestinal y hematopoyético, pero principalmente el sistema nervioso central y periférico (Nava, et al, 2011).

Se debe tener en cuenta que la gravedad y el tipo de daño que se presenta en una persona depende del tiempo, tipo de exposición, susceptibilidad de la persona y la forma de absorción del metal en cuestión.

2.2.3. Parámetros fisicoquímicos

En el suelo están presentes factores físicos y químicos que permiten la disolución, precipitación y solubilidad de los metales, tales como el pH, materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CIC), entre otros (Loué, 1988, citado por Aguila et al., 2005).

2.2.3.1. *Parámetros físicos*

Adriaanse (1993) refirió que los indicadores son instrumentos de análisis que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos, y son usados en muchas esferas del conocimiento (economía, salud, recursos naturales, etc.) (citado por García *et al*, 2012).

Los sedimentos poseen la condición de absorben distintos tipos de contaminantes presentes en el agua por depositación de los mismos en el lechos de los ríos, arroyos o cuerpos de agua, por ello es importante analizarlos para conocer las fuentes posibles de contaminación.

La interacción entre el escurrimiento y el lecho en un cauce natural determina el comportamiento de los sedimentos al interior del sistema. Es en la interfaz agua/lecho en donde se realiza un intercambio constante de masa, calor, energía y momentum, a distintas escalas espaciales y temporales (Centro Nacional de Medio Ambiente, 2010).

Para Singer *et al* (2000) los parámetros físicos del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso, ya que no se pueden mejorar fácilmente (citado por García *et al*, 2012).

2.2.3.2. *Parámetros químicos*

La existencia en el terreno de diferentes materiales y estructuras geológicas son fuente de una gran variedad de iones disueltos en aguas superficiales. Podemos hablar de iones que se encuentran en forma mayoritaria, respecto a los demás elementos en todas las aguas continentales: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , mientras que otros se hallan a niveles de trazas, como es el caso de los metales pesados (Centro Nacional de Medio Ambiente, 2010).

Los parámetros químicos son esenciales para la caracterización de los sedimentos ya que existe una interrelación entre ellos y el agua, los que generan mayor inquietud son aquellos que poseen propiedades tóxicas como lo son los metales pesados y sustancias carcinógenas.

La composición de los sedimentos es altamente heterogénea e incluye tanto minerales como materia orgánica. Los metales ingresan a través de procesos de precipitación, intercambio iónico, coprecipitación y adsorción. Ciertas formas de metales son resistentes al intercambio con el agua, manteniéndose estables por largos períodos de tiempo (entre

éstos se destacan los provenientes de restos rocosos y de matriz arcillosa) (Centro Nacional de Medio Ambiente, 2010).

2.2.4. Índice de Geoacumulación (IGeo)

Por medio del índice de geoacumulación (IGeo) podemos determinar el grado de contaminación del suelo ya sea por sustancias orgánicas o inorgánicas, para poder aplicarlo a los metales pesados se debe disponer sus abundancias en la corteza terrestre. Permite la estimación de la contaminación comparando concentraciones preindustriales y recientes en los suelos (Salmanighabeshi et al., 2015, citado por Weisse, 2015). Se propuso originalmente por Müller (1969) para los sedimentos y luego modificado por Loska et al. (2004) para la estimación de la contaminación del suelo.

Este índice se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$I_{geo} = \log_2 C_n / 0.2 B_n$$

Donde C_n es la concentración del elemento examinado y B_n la concentración geoquímica del metal (encontrado en la corteza terrestre), (Aguila et al., 2005).

Se distinguen seis clases de geoacumulación, como se muestra en la Tabla N° 2.2 (Loska et al., 1997 citado por Aguila et al., 2005).

Valor IGeo	Clase IGeo	Grado de contaminación
0	$IGeo < 0$	No contaminado
1	$0 < IGeo < 1$	No contaminado a moderadamente contaminado
2	$1 < IGeo < 2$	Moderadamente contaminado
3	$2 < IGeo < 3$	De moderado a fuertemente contaminado
4	$3 < IGeo < 4$	Fuertemente contaminado
5	$4 < IGeo < 5$	De fuertemente contaminado a extremadamente contaminado
6	$5 < IGeo$	Extremadamente contaminado

Nota: Adaptado de Loska et al. (1997) citado por Aguila, P., J. Lugo, y R. Vaca. 2005. «Determinación de factores de enriquecimiento y geoacumulación de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, y Zn en suelos de la cuenca alta del río Lerma». *Ciencia Ergo Sum* 12(2):155-61.

2.3. Agentes contaminantes

Este capítulo comprenderá el estudio de los diferentes tipos de agentes contaminantes y las consecuencias de la exposición a ellos, un 90% de los contaminantes son transportados por los ríos y un 70-80% de la población mundial se ubica en las costas

cercanas a ellas donde una parte importante de los desechos se deposita, alterando los ecosistemas por encima de su capacidad de recuperación (Escobar, 2002).

2.3.1. Agentes contaminantes, concepto

Se considera contaminante (agente) al elemento o compuesto cuyo estado y características fisicoquímicas le permiten entrar en contacto con los individuos, de forma que pueden originar un efecto adverso para su salud. Sus vías principales de penetración son la inhalatoria, la dérmica y la digestiva.

2.3.2. Tipos de agentes contaminantes

En un entorno urbano, las principales fuentes de contaminación antropogénica son los vertidos industriales y la contaminación de vehículos. Mientras que las fuentes litogénicas incluyen la erosión geológica por la exposición al agua, actividad volcánica y la descomposición de los restos de plantas y animales. A su vez, la deposición atmosférica es otro importante mecanismo de enriquecimiento con metales pesados (Brady, 2015, citado por Weisse, 2015).

Se requiere determinar la carga contaminante asociada con los sedimentos depositados sobre las superficies viarias para estudiar los impactos en los sistemas de drenaje y las aguas receptoras, y para perfeccionar el diseño de los sistemas de control de la contaminación (Zafra *et al.*, 2010).

Los desechos domésticos, agrícolas e industriales así como la escorrentía proveniente de las vías se constituyen en fuentes principales de contaminación por metales pesados en los cuerpos de agua (Zafra *et al.*, 2010; Castro & Valdés, 2012, citado por Laino-Guanes *et al.*, 2015). El principal efecto de estas actividades es el incremento en la movilización de sedimentos, nutrientes y material particulado (Escobar, 2002). Los contaminantes más importantes y los procesos que afectan negativamente a la calidad del agua se muestran en la Tabla N° 2.3.

Tabla N° 2.3. Agentes contaminantes, procesos y fuentes que afectan la calidad del agua		
Contaminantes y procesos	Descripción	Fuentes
Contaminantes orgánicos	Se descomponen en el agua y disminuyen el oxígeno disuelto, induciendo la eutrofización.	Fuentes industriales, domésticas, asentamientos humanos.
Nutrientes	Incluyen principalmente fosfatos y nitratos, su incremento en el agua induce a una eutrofización.	Fuentes domésticas, industriales, escorrentía agrícola.
Metales pesados	Se originan principalmente alrededor de centros industriales y mineros. También pueden provenir de actividades militares o a través de lixiviados.	Fuentes industriales, mineras, asentamientos humanos, actividades militares.
Contaminación microbiológica	Desechos domésticos no tratados, criaderos de animales.	Fuentes municipales
Compuestos tóxicos orgánicos	Químicos industriales, dioxinas, plásticos, pesticidas agrícolas, hidrocarburos de petróleo, hidrocarburos poli cíclicos. Compuestos orgánicos persistentes (POP).	Fuentes industriales, asentamientos humanos, escorrentía agrícola
Químicos traza y compuestos farmacéuticos	Desechos hospitalarios, son sustancias peligrosas no removidos necesariamente por los tratamientos convencionales y han sido reconocidos con disruptores endocrinos y carcinogénicos.	Industria química y farmacia.
Partículas suspendidas	Pueden ser orgánicas o inorgánicas y se originan principalmente de prácticas agrícolas y del cambio en el uso de la tierra, como deforestación, conversión de pendientes en pastizales originando erosión.	Industria, asentamientos humanos, escorrentía agrícola y cambios en el uso de la tierra.
Desechos nucleares	Incluye una gama amplia de radio núcleos utilizados en fines pacíficos.	Plantas nucleares, fallout radioactivo, ensayos nucleares, desechos hospitalarios, desechos industriales
Salinización	Se produce por la presencia de sales en los suelos y drenajes inadecuados. También ocurre por afloramiento de agua proveniente de zonas altas, donde se riega (lavado de sales).	Presencia de sales en los suelos, la que aflora por carecerse de un buen drenaje, irrigación con agua salobre, agua de yacimientos secundarios de petróleo.
Acidificación	Está relacionada con un pH bajo del agua dado por la deposición sulfúrica producida por la actividad industrial y por las emisiones urbanas.	Fuentes industriales y fuentes municipales.

Nota: Kraemer, Choudhury y Kampa (2001), citado por Escobar, J. 2002. «La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar». CEPAL (ECLAC), Chile.

2.3.3. Riesgos por exposición a agentes contaminantes

Un ejemplo de la transferencia de metales en la cadena trófica se reporta en la parte media de la cuenca del río Pilcomayo, en Bolivia, donde se detectaron altas concentraciones de metales en el cabello de los habitantes de las orillas de la cuenca, atribuibles al consumo de pescado y del agua del río; este río sufre contaminación por la

explotación de minerales en la parte alta de la cuenca (Smolders, Archer, Stassen, LlanosCavero, & Hudson-Edwards, 2006, citado por Laino-Guanes *et al.*, 2015).

2.4. Alternativas para recuperación de hábitat degradado

En el presente capítulo se examinarán las diferentes alternativas que existen para lograr recuperar un área que ha sido objeto de contaminación.

2.4.1. Rehabilitación ambiental de un área degradada

Es primordial entender que para lograr la rehabilitación de una zona degradada es necesario proteger los terrenos bajos y asegurar la calidad de vida de la mayor parte de la población de la zona, regular los usos del suelo afectados a cursos de agua (ríos, lagunas, etc.), impedir el relleno de los terrenos bajos y delimitar las actividades permitidas según la cota en que se encuentre el lote (Schneider, 2010).

2.4.1.1. Recuperación ambiental del agua

En el Boletín Tecnológico N° 3 (2019) elaborado por el Instituto Nacional de Salud de Perú se mencionan las principales tecnologías para el tratamiento de aguas contaminadas, y son:

Tratamiento biológico usando microorganismos: Corresponde a tratamientos en el que microorganismos tienen por objetivo aprovechar los mecanismos biológicos y bioquímicos que poseen para generar cambios en las características de los contaminantes.

Tratamiento biológico usando plantas: Las plantas al ser expuestas a metales pesados pueden presentar diferentes respuestas fisiológicas que se pueden clasificar como: excluyentes, la acumulación de metales en la planta es menor que la concentración del suelo; indicadoras, donde la acumulación de metales en el tejido aéreo guarda una relación lineal respecto a la concentración del suelo; y, acumuladoras, donde la acumulación de metales en su parte aérea es mucho mayor que la concentración de metales en el suelo.

Floculación o precipitación: este método de tratamiento consiste en el uso de una sustancia llamada floculante que tiene la propiedad de producir agregación de partículas coloidales, permitiendo una rápida separación sólido-líquido.

Métodos electroquímicos: Corresponden a los procesos que utilizan reacciones de oxidación – reducción, esta reacción es conducida con la ayuda de dos electrodos, ánodo

y cátodo, que se encuentran en una disolución y son sometidos a una energía eléctrica externa. 6 Osmosis: este método consiste en el uso de una membrana selectiva de unos determinados tipos de iones para poder realizar una separación física de los solutos que se encuentran en el agua. En el caso de una osmosis inversa, se utiliza una membrana semipermeable que separa soluciones a distintas concentraciones.

Intercambio iónico: En este tratamiento, se busca intercambiar determinados los iones que se encuentran en la sustancia a tratar con otros iones diferentes que se encuentran en una disolución.

Campos magnéticos o eléctricos: En este tratamiento, un material adsorbente altamente poroso actúa como una matriz magnética, donde también aporta un componente adsorbente al sistema que permite la eliminación de especies metálicas complejas e iones de la solución.

2.4.1.2. *Recuperación ambiental del suelo*

La recuperación de suelos contaminados se puede dar a partir de diferentes técnicas como se menciona en el Informe de Vigilancia Tecnológica elaborado por Ortiz et al (2007) y se describen a continuación:

Técnicas de contención: que aíslan el contaminante en el suelo sin actuar sobre él, generalmente mediante la aplicación de barreras físicas en el suelo. Pueden ser: barreras verticales, barreras horizontales, barreras de suelo seco, sellado profundo, barreras hidráulicas.

Técnicas de confinamiento: que reducen la movilidad de los contaminantes en el suelo para evitar su migración actuando directamente sobre las condiciones fisicoquímicas bajo las que se encuentran los contaminantes. Pueden ser: estabilización físico-química, inyección de solidificantes, vitrificación.

Técnicas de descontaminación: dirigidas a disminuir la concentración de los contaminantes en el suelo. Pueden ser:

Los tratamientos fisicoquímicos como: extracción, lavado, flushing, electrocinética, adición de enmiendas, barreras permeables activas, inyección de aire comprimido, pozos de recirculación, oxidación ultravioleta.

Los tratamientos biológicos como: biorrecuperación, biodegradación asistida, biotransformación de metales, fitorrecuperación, bioventing, biopilas, landfarming, compostaje, lodos biológicos, incineración, desorción térmica, extracción multifase, atenuación natural.

Para Reddy *et al.* (1999), su aplicación depende de las características del suelo y del contaminante, de la eficacia esperada con cada tratamiento, de su viabilidad económica y del tiempo estimado para su desarrollo (citado por Ortiz *et al.*, 2007).

La fitoextracción es una técnica “in situ” dentro de la fitoremediación basada en el uso de plantas y sus microorganismos asociados para disminuir la concentración de elementos químicos inorgánicos en suelos contaminados. La reducción del contenido de metales pesados hasta niveles óptimos permitiría la reutilización del suelo tratado con un fin agrícola, forestal, hortícola o lúdico, evitando la transferencia de éstos a aguas subterráneas o zonas cercanas por acción del viento y/o erosión del agua. Este metal puede no ser tóxico para la propia planta pero sí para cualquier organismo vivo que se alimente de ella. Se debería controlar en qué situaciones es favorable el uso de esta técnica y hasta qué punto las plantas hiperacumuladoras son una buena herramienta en fitoremediación (Llugany *et al.*, 2007).

2.4.1.3. *Recuperación ambiental del aire*

Para Spiegel *et al.* (s.f) la vigilancia de la calidad del aire tiene como objetivo conservar la pureza ambiental estableciendo los límites tolerables de contaminación y dejando en manos de las administraciones locales y los contaminadores el diseño y la adopción de medidas para garantizar que no se supere ese grado de contaminación.

Entre las medidas de control de las fuentes industriales se encuentran los sistemas de depuración del aire, que deben ser adecuados y correctamente diseñados, instalados, manejados y mantenidos. Estos dispositivos son conocidos como separadores o colectores.

El mismo autor menciona que los principales equipos para el control de la contaminación del aire son:

- Para partículas: separadores por velocidad (p. ej., ciclones); filtros textiles (mangas); precipitadores electrostáticos; colectores húmedos (torres de lavado “scrubbers”).

- Para contaminantes gaseosos: colectores húmedos (torres de lavado); unidades de adsorción (p. ej., lechos adsorbentes); postquemadores, que pueden ser con aplicación directa de fuego (incineración térmica) o catalítica (combustión catalítica).

2.4.2. Gestión de recursos hídricos

El término gestión se define como la realización de diligencias para conseguir un objetivo. El objetivo de la gestión ambiental, también llamada ecogestión, es que la sociedad tenga una calidad ambiental aceptable, alta. La gestión de la calidad ambiental se puede llevar a cabo mejorando las tecnologías para contaminar menos y/o contaminando en el sitio que esté más preparado para ello, es decir, integrando las actividades, las obras o los proyectos en un entorno apropiado (Encinas, 2011).

Así también Encinas (2011) menciona un Sistema de Gestión Medio Ambiental (SGMA) que es un método de trabajo para conseguir que una entidad (pública o privada) tenga un determinado comportamiento medioambiental.

Los objetivos que persiguen los SGMA se pueden sintetizar en los siguientes puntos:

- Cumplir la legislación vigente.
- Fijar la política medioambiental interna de la empresa y los procedimientos necesarios Identificar, interpretar, valorar y prevenir los impactos medioambientales
- Proveerse de recursos y personal cualificado

2.5. Legislación ambiental

En este capítulo se abordarán las reglamentaciones que existen a nivel nacional en cuanto a la calidad del agua y sedimentos. Estas de manera muy extensa regulan la interacción de las personas con los componentes del medio ambiente para reducir los impactos ambientales que se generan.

2.5.1. Normas de regulación de la calidad del agua

En el Paraguay se cuenta con la Ley N° 3239/07 de los Recursos Hídricos, sancionado por el Congreso Nacional y tiene por objeto regular la gestión sustentable e integral de todas las aguas y los territorios que la producen. Así también la Resolución N° 222/02 de la Secretaría del Ambiente (SEAM) actual Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES), en el cual se establece un padrón de

calidad de agua esencial para la defensa de los niveles de calidad basados en parámetros e indicadores específicos, de modo a asegurar sus usos preponderantes.

2.5.2. Normas de regulación de metales en sedimentos

Para la presente investigación tomaremos como base las Normas Internacionales de metales en sedimentos por carecer de criterios específicos en el país.

La falta de normas para metales en sedimentos es una tarea pendiente en varios países latinoamericanos; la legislación debe considerar los aspectos prioritarios sobre las condiciones geográficas y ambientales de los cuerpos de agua en la región (Leal-Ascencio *et al.*, 2009).

De esta manera se tiene como punto de referencia:

- Los límites permisibles para metales en sedimentos establecidos por la Norma Oficial Mexicana de Criterios para la Determinación de Suelos Contaminados por Metales Pesados (NOM-147-SEMARNAT/ SSA1, 2004), en la cual no se incluyen valores de Cr total, Cu y Zn.
- Las Guías de Calidad Ambiental Canadiense (CEQG, por sus siglas en inglés, Canadian Environmental Quality Guidelines), en la cual se brinda valores de referencia de metales en sedimentos de cuerpos de agua continental. Estas guías no incluyen al Ni y para el As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb y Zn establece dos valores: (1) el llamado Guía Provisional de Calidad del Sedimento (ISQG, por sus siglas en inglés, Interim Sediment Quality Guideline), que representa la concentración por debajo de la cual no se espera que ocurran efectos biológicos adversos, y (2) el llamado Nivel de Efecto Probable (PEL, por sus siglas en inglés, Probable Effect Level), que es la concentración sobre la cual aparecen con frecuencia efectos biológicos adversos (Laino-Guanes, *et al.*, 2015).
- Los niveles de fondo de referencia para Estados Unidos (Screening Quick Reference Table for Inorganics in Freshwater Sediment) emitidos por la Administración Oceanográfica y Atmosférica de los Estados (NOAA, por sus siglas en inglés, National Oceanic and Atmospheric Administration).

En la Tabla 2.4 se puede apreciar un resumen de las normas existentes para límites de metales en sedimentos.

Tabla N° 2.4. Límites para metales en sedimentos								
Norma	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
mg/kg								
NOM	22	37	-	-	23	1600	400	-
CEQG - ISQG	5.9	0.6	37.3	35.7	0.17	-	35	123
CEQG - PEL	17	3.5	90	197	0.486	-	91.3	315
NOAA	1.1	0.1-0.3	7-13	10-25	0.004-0.051	9.9	4-17	7-38

Nota: Adaptado de Laino-Guanes, R., R. Bello, M. González, N. Ramírez, F. Jiménez, y K. Musálem. 2015. Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala. *Tecnología y Ciencias del Agua* 6(4):61-74.

3. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se describe la metodología utilizada para la realización de la investigación.

3.1. Diseño de investigación

La investigación se enmarca como cuantitativa ya que utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías. La recolección de los datos se fundamenta en la medición (se miden las variables o conceptos contenidos en las hipótesis) a través de procedimientos científicos estandarizados. Debido a que los datos son producto de mediciones, se representan mediante números (cantidades) y se deben analizar con métodos estadísticos (Hernández *et. al.*, 2008).

En relación al diseño de la investigación es pre experimental en donde se analiza una sola variable y prácticamente no existe ningún tipo de control. No existe la manipulación de la variable independiente no se utiliza grupo de control (Ávila, 2006). Lo caracteriza la ausencia de manipulación de las variables intervinientes porque el investigador se limita a observar en condiciones naturales el fenómeno analizado sin modificarlo o alterarlo, peculiaridad que permite confiar en la existencia de altos niveles de validez de los resultados obtenidos (García y Quintana, 2005) a través de esto se consigna la evaluación, control y supervisión de una sola variable. La tipología es Cuasi experimental para Pedhazur y Schmelkin (1991) es una investigación que posee todos los elementos de un experimento, excepto que los sujetos no se asignan aleatoriamente a los grupos, por tanto el investigador se encarga de identificar y separar los efectos de los tratamientos del resto de factores que afectan a la variable dependiente. Tienen el mismo propósito que los estudios experimentales: probar la existencia de una relación causal entre dos o más variables. Cuando la asignación aleatoria es imposible, los cuasi-experimentos (semejantes a los experimentos) permiten estimar los impactos del tratamiento o programa, dependiendo de si llega a establecer una base de comparación apropiada (Hedrick *et. al.*, 1993).

El corte de la investigación es Transversal ya que se recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único, pretenden describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.

Por último esta investigación es de carácter bibliográfica-documental, la cual permite describir, explicar, analizar, comparar, criticar entre otras actividades intelectuales, un tema o asunto mediante el análisis de fuentes de información (Ávila, 2006). Así pues también adquiere la característica de ser una investigación de campo por realizarse en un ambiente natural donde se encuentra el problema a investigar.

3.2. Población y muestra

Esta investigación no considera población y muestra, ya que se analizaron muestras de agua y sedimentos, y la valoración de los impactos antropogénicos se realizó de manera indirecta, por lo tanto no se realizaron encuestas/entrevistas a los pobladores de la zona.

3.3. Variables

Para valorar el grado de contaminación del agua se analizaron las siguientes variables: pH, Coliformes fecales, Coliformes totales, Aceites y grasas, Turbidez, Conductividad Eléctrica, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Biológica de Oxígeno, Oxígeno Disuelto, Color, Salinidad, Sodio, Nitrato, Fósforo, Mercurio, Cromo Total, Plomo, Sulfatos, Cianuro, Detergentes (SAAM), Hidrocarburos.

Para valorar el grado de contaminación de los sedimentos se analizaron las siguientes variables: pH, Hierro total, Cobre, Calcio, Arsénico, Mercurio, Níquel, Plata, Sodio, Manganeso, Fosforo total, Potasio, Cromo Total, Zinc, Plomo, Cadmio, Granulometría, Color.

Para determinar los agentes contaminantes que deterioran la Laguna Yrupe se analizaron las siguientes variables: aguas residuales domésticas e industriales, residuos domésticos e industriales. Para proponer las alternativas de recuperación de la Laguna se analizará la siguiente variable: restauración ecológica

3.4. Instrumentos de medición y técnicas

La técnica utilizada es la observación y se utilizó como instrumento de medición una matriz ambiental (matriz de Leopold), para la evaluación del impacto ambiental.

3.5. Procedimientos

El trabajo se realizó en cuatro etapas que se describen a continuación:

La primera consistió en el trabajo de gabinete, para seleccionar el punto más representativo de la Laguna que fue objeto de muestreos de sedimentos y agua, para ello

se utilizaron imágenes satelitales descargadas de Google Earth y los Sistemas de Información Geográfica para la confección de mapas temáticos para su análisis.

Para poder valorar el grado de contaminación de la Laguna Yrupé se llevó a cabo la segunda etapa, que consistió en el muestreo en un punto de la Laguna, se tomó en este punto muestras de sedimentos, recolectadas con un muestreador tipo draga (esterilizado previamente) aproximadamente 2 kg, de los cuales 500 gr serán colocados en una bolsa para muestras (con sellado hermético y rotulado) y llevados al Laboratorio de Análisis de Calidad de Aguas del Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas (CEMIT) de la Universidad Nacional de Asunción (UNA) para su análisis teniendo en cuenta las siguientes variables; pH, Hierro total, Cobre, Calcio, Arsénico, Mercurio, Níquel, Plata, Sodio, Manganeso, Fosforo total, Potasio, Cromo Total, Zinc, Plomo teniendo en cuenta la metodología *STANDARD METHODS 22th Edition* (SM, Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales), los 1500 gr restantes fueron colocados en una bolsa para muestras (con sellado hermético y rotulado) para el análisis granulométrico, que se llevó a cabo en el Laboratorio de Ensayo de Materiales del Comando de Ingeniería del Ejército, consistente en el tamizado del sedimento homogenizado a través de una serie de tamices dentro del intervalo 2000–62 μm (Marín-Guirao et al, 2005).

Así también se tomó una muestra de agua, en una botella de 2 litros (esterilizada) para los análisis fisicoquímicos y en un frasco de 100 ml (estéril) para los análisis microbiológicos, teniendo en cuenta su protección contra posibles variaciones de temperatura durante el transporte hasta el Laboratorio de Análisis de Calidad de Aguas y el Laboratorio de Microbiología del CEMIT, para el análisis de las siguientes variables; pH, Coliformes fecales, Coliformes totales, Grasas y Aceites, Turbidez, Conductividad Eléctrica, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Oxígeno Disuelto, Color, Alcalinidad total, Sodio, Nitrógeno de Nitratos, Fósforo total, Mercurio, Cromo Total, Plomo, Sulfatos, Sulfactantes teniendo en cuenta la metodología perteneciente a *STANDARD METHODS 22th Edition* (SM, Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales), MTA: Manual técnico del agua, Métodos de tubos múltiples (MTM), Prueba y recuento microbiológico, Prueba de microorganismos específicos.

Una vez obtenidos los resultados de los análisis se procedió a calcular el Índice de Calidad del Agua (ICA) que se obtuvo con la suma de las variables medidas multiplicados por un valor atribuido en función de la importancia del parámetro, tomando un valor entre 0 y 100 adimensional, utilizando factores de ponderación (W_i) propuestos por la National Sanitation Foundation (NSF) para cada variable y factores de escala (Q_i) que se calculan

por medio de ajustes polinómicos a las curvas de estandarización asociadas a cada variable formulados por la NSF (D'Ambrosio et al, 2017).

El Índice de Geoacumulación se obtuvo según una fórmula propuesta por Müller (1979) utilizando una relación entre la concentración obtenida y los valores de referencia (Valdés et al, 2014).

En la tercera etapa se buscó determinar los agentes contaminantes que deterioran la calidad ambiental de la Laguna a través del análisis multitemporal de imágenes satelitales descargadas de Google Earth y el análisis de mapas temáticos generados con datos estadísticos de la Dirección General de Estadísticas Encuestas y Censos (DGEEC) sobre la cantidad de viviendas y los tipos de servicios que existen en la zona de estudio, considerando los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del sedimento y el agua, además de un recorrido minucioso por la zona.

En la última etapa se determinó las alternativas más convenientes para la recuperación de la Laguna Yrupé a través de la confección de una Matriz de Leopold (Anexo I) por medio de la cual se fijaron los componentes ambientales que son afectados por la contaminación de la laguna a través de un barrido sistemático de las acciones que producen impacto al ambiente (Arboleda, 2008) y un esquema de acciones impactantes, efectos ambientales y medidas mitigadoras (Anexo II) para lo cual se utilizaron las normas de calidad ambiental nacionales e internacionales como referencia además de los criterios y principios de política ambiental, explícito en la legislación o implícitos en un enfoque de gestión ambiental (Espinoza, 2007).

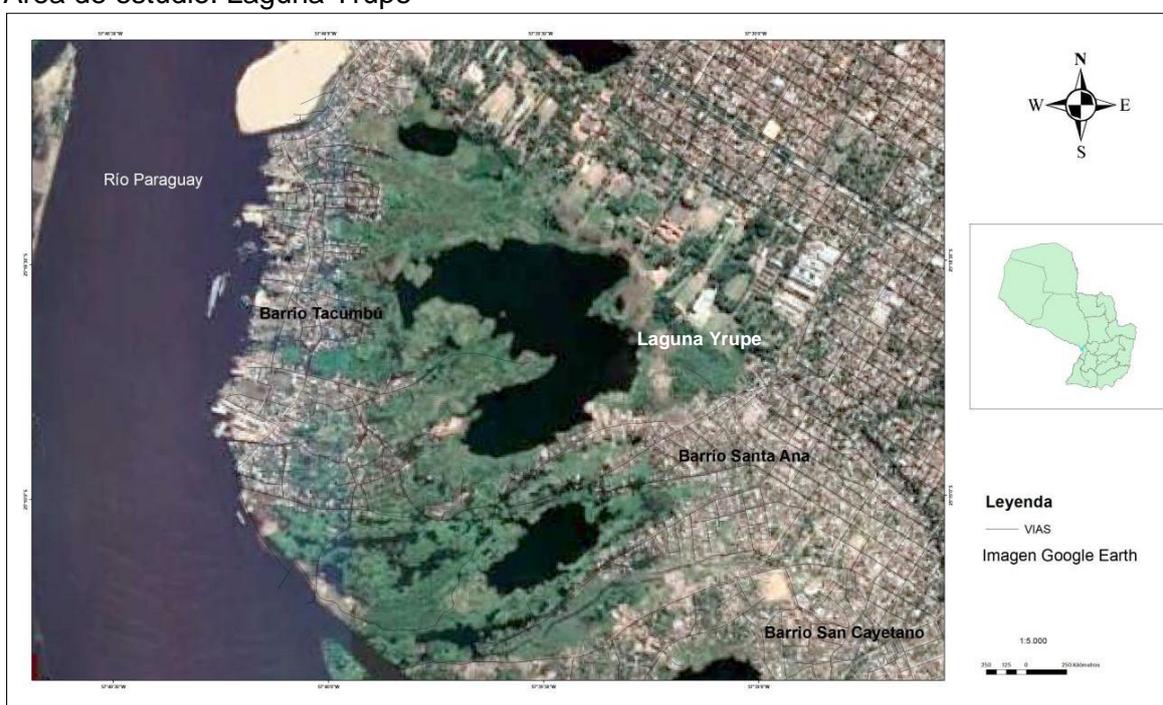
Cabe señalar que se utilizaron los Métodos indirectos para la evaluación de impactos ambientales, ya que no se evaluó explícitamente un impacto ambiental, sino que indirectamente se valoró las consecuencias ambientales de las actividades antrópicas calificando las interacciones antrópicas-ambiente (Arboleda, 2008). Además se realizó una Observación y medición directa, en la que se incluyó tanto las observaciones de indicios y manifestaciones de degradación en la zona de estudio, como las mediciones físico-químicas destinadas a evaluar los procesos existentes (Espinoza, 2007).

4. RESULTADOS

4.1. Localización del área de estudio

La Laguna Yrupe se encuentra ubicada en el Paraguay, en la ciudad de Asunción en las siguientes coordenadas; Lat 25°18' 38"S, Lon 57° 39' 27" W (434.274,405 -2.801.913,832 Meters), situada en el Barrio Tacumbú y parte del Barrio Santa Ana. Al Norte linda con el Barrio Sajonia y el Barrio Carlos Antonio López, al Sur con el Barrio Ita Enramada y el Barrio San Cayetano , al Este con el Barrio Roberto L. Pettit, Barrio Obrero Intendente B. Guggiari, Barrio José E. Diaz y al Oeste linda con el Río Paraguay.

Figura 4.1:
Área de estudio: Laguna Yrupe



Nota: Esta figura ilustra el área de estudio comprendida por la extensión de la Laguna Yrupe de la ciudad de Asunción tomada de Google Earth en el año 2021.

4.1.1. Geología del área

En la geología del área podemos identificar, el Grupo Asunción cuya litología dominante son los fanglomerados, conglomerados y areniscas conglomeráticas y areniscas. El inicio de la sedimentación de esta unidad ocurre en el Cretácico Superior y culmina probablemente en el Cenozoico Inferior (Proyecto PAR, 1986).

Gómez Duarte (1991) subdividió el Grupo Asunción en tres Formaciones: Patiño en su base, Cerro Perõ e Ita Pytã Punta.

La Suite Intrusiva Ñemby (Terciario), se manifiesta en los alrededores de la ciudad de Asunción por la presencia de rocas magmáticas intrusivas alcalinas que contienen grandes cristales de olivino. Forma parte de la Provincia Alcalina de Asunción (Bitschene *et al*, 1985)

Formación Lambaré, formada por roca diagenizada a medianamente diagenizada de color verdoso, de grano grueso a conglomerádico con abundantes clastos de rocas ígneas oscuras y fragmentos de rocas sedimentarias rojizas (Gadea, et al 2019).

En el Cuaternario, la Formación San Antonio; están aquí agrupados los sedimentos acumulados, próximo al área del río Paraguay y sus afluentes, que se encuentran en una cota más baja de 70 metros, en la región Oriental del país. Cubre un área de 60.782 km². Está constituida por una arenisca clara crema, de granulación media a gruesa con gravillas dispersas, intercaladas con lutitas. Las areniscas, en contacto con estas lutitas, presentan clastos de arcilla. Existen también capas de areniscas arcillosas hasta de 1,5 metros de espesor. El ambiente de sedimentación es fluvial (Texto Explicativo del Mapa Geológico, 1986).

El nombre de “Formación San Antonio” es propuesto formalmente en el Texto Explicativo del Mapa Geológico 1986, para la designación litoestratigráfica de estos sedimentos, a partir de una proposición de Palmieri y Velazquez (1982).

Una Unidad Cuaternaria indiferenciada es mencionada en el Texto Explicativo del Mapa Geológico 1986, en el que se refiere a la planicie de inundación del Río Paraguay como una faja de orientación Norte-Sur, que está sometida a inundaciones de las crecientes estacionales del Río Paraguay. Desde el punto de vista geomórfico, es una planicie de inundación de áreas planas. La formación de su paisaje es originado por cambios morfológicos locales, debido a que el curso del río es meandroso y con lagunas en meandros abandonados (Lemos, 1983, citado en el Texto Explicativo del Mapa Geológico, 1986).

4.1.2. Punto de muestreo

Se tomó como punto de muestreo el lugar más representativo del área de estudio y se recolectaron muestras de sedimentos y agua para su posterior análisis fisicoquímico y granulométrico en laboratorio. Las coordenadas son Lat -25,308344 Long -57,654914.

4.2. Análisis de agua

Se realizaron análisis fisicoquímico y microbiológico a una muestra de agua tomada de la Laguna Yrupe y fueron llevadas al Laboratorio de Análisis de Calidad de Aguas y el Laboratorio de Microbiología del CEMIT

4.2.1. Análisis fisicoquímico

Se obtuvieron los resultados (Figura 4.2) para 17 parámetros o variables fisicoquímicas de la muestra de agua obtenida de la Laguna Yrupe de Asunción.

Figura 4.2:
Resultados del análisis fisicoquímico

Universidad Nacional de Asunción
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA
CENTRO MULTIDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS
www.una.py
C. Electr.: gemit@rec.una.py
Telefax: 585540/3 Interno 1072
CC: 910, Asunción - Paraguay
Campus de la UNA, San Lorenzo - Paraguay

ORIGINAL

CERTIFICADO DE ANÁLISIS N°: CA004.70660

MUESTRA: AGUAS DE LAGUNA YRUPE	
TIPO DE MUESTRA: Agua superficial	
N° DE LOTE: No aplica	VENCIMIENTO: No aplica
PROCEDENCIA: NOELIA ISABEL BENÍTEZ	DIRECCIÓN: Asunción
TAMAÑO DE MUESTRA: 2100 mL	REMISIÓN N°: 151
FECHA DE INGRESO: 28/marzo/2022	FECHA DE INFORME: 06/junio/2022

DESCRIPCIÓN

Líquido incoloro, olor característico, con partículas en suspensión y sedimentables, contenido en frasco de plástico de dos litros, un frasco de plástico de 100 mL.

RESULTADOS

Parámetros	Unidad	Métodos	Resultados	Límites *
pH	Unidad de pH	SM 4500 - H ⁺ B	7,98	6,00 - 9,00
Conductividad	µS/cm	SM 2510 B	523	Sin límite establecido
Oxígeno disuelto	mg/L	SM 4500 O G	7,18	No inferior a 5,00
Color	mg (Pt)/L	SM 2120 B	86,0	75,0
Turbidez	NTU	SM 2130 B	9,00	100
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	SM 2320 B	111	Sin límite establecido
Nitrógeno de Nitratos	mg/L	SM 4500N-NO ₃ B	0,867	10,0
Sulfatos	mg/L	SM 4500-SO ₄ ⁻² E	<1,00	250
Fósforo Total	mg/L	SM 4500 P-E	0,949	0,0500
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	mg O ₂ /L	SM 5220 D	38,3	Sin límite establecido
DBO ₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno)	mg O ₂ /L	SM 5210 B	6,34	5,00
Grasas y Aceites	mg/L	SM 5520 B	29,2	Virtualmente ausente
Sodio	mg/L	SM 3111 B	85,8	200
Mercurio	mg/L	SM 3112	<0,00200	0,002
Plomo	mg/L	SM 3111 B	<0,100	0,0100
Cromo Total	mg/L	SM 3111 B	<0,0500	0,550
Surfactantes	mg(SAAM)/L	SM 5540 C	<0,0200	Sin límite establecido

..//..
Página 1 de 2

Nota: Esta figura muestra los resultados del análisis fisicoquímico realizado a la muestra de agua tomada de la Laguna Yrupe de Asunción.

4.2.2. Análisis microbiológico

Se obtuvieron los resultados (Figura 4.3) para 17 parámetros o variables fisicoquímicas de la muestra de agua obtenida de la Laguna Yrupe de Asunción.

Figura 4.3:
Resultados del análisis microbiológico

Universidad Nacional de Asunción
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA
CENTRO MULTIDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS
www.una.py
C. Electr.: cemit@rec.una.py
Telefax: 585540/3 Interno 1072
CC: 910, Asunción - Paraguay
Campus de la UNA, San Lorenzo - Paraguay

ORIGINAL

...//..CERTIFICADO DE ANÁLISIS N°: CA004.70660 (Cont.).....

ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS

Parámetros	Unidad	Metodología	Resultados	Límites *
Coliformes totales	NMP/100 mL	MTM	17.000	No contempla
Coliformes fecales	NMP/100 mL	MTM	200	1.000

* Resolución 222/02, Art. 3º Clase II de la Secretaría del Ambiente POR LA CUAL SE ESTABLECE EL PADRÓN DE CALIDAD DE LAS AGUAS EN EL TERRITORIO NACIONAL.

Metodología: Perteneciente a STANDARD METHODS 22 th Edition (SM, Métodos Normalizados para análisis de Aguas Potables y Residuales). MTA: Manual técnico del agua, Método de tubos múltiples (MTM), Prueba y recuento microbiológico<61>, Prueba de microorganismos específicos<62>.

Los resultados corresponden única y exclusivamente a la muestra remitida por el interesado. El muestreo, las condiciones de almacenamiento y el transporte al Laboratorio son de exclusiva responsabilidad del interesado

Queda prohibida la reproducción total o parcial del presente certificado.

Autorizado por: Farm. Luel Ferreira Gestión de Laboratorios	Controlado por: QFI. Emilio Benítez Responsable de Gestión de Calidad	Aprobado por: Lic. Quím. Ind. Gustavo Brozón Dirección del CEMIT - DGICT - UNA
---	---	--

CE-REG 060.11/08.19

Página 2 de 2

Nota: Esta figura muestra los resultados del análisis microbiológico realizado a la muestra de agua tomada de la Laguna Yrupe de Asunción.

4.2.3. Cálculo del Universal Water Quality Index (UWQI)

Para el cálculo utilizamos la ecuación 1 (Torres *et al.*, 2009):

$$UWQI = \sum_{i=1}^n W_i I_i \quad (1)$$

Donde W_i es el peso o porcentaje asignado al i -ésimo parámetro y I_i es el subíndice del i -ésimo parámetro. Se utilizó el promedio aritmético ponderado para el cálculo del UWQI siguiendo las siguientes etapas sugeridas por Torres *et al.* (2009):

- Evaluación de I_i que es la transformación adimensional de cada parámetro que conforma los ICA mediante curvas o ecuaciones matemáticas. Los valores de " I_i " varían entre 0 y 100, cuanto mayor es I_i mejor es la calidad del agua.
- Valoración del peso relativo W_i que define la importancia de cada parámetro dentro del ICA evaluado y se relaciona con el uso a evaluarse; la sumatoria de los pesos " W_i " debe ser igual a 1. En estos índices en general, los parámetros que tienen mayor peso relativo son el oxígeno disuelto, los coliformes y los asociados a presencia de materia orgánica como la DBO. La Tabla 4.1 presenta los pesos asignados a los parámetros que conforman cada ICA.
- Por último, con los valores de " I_i " y " W_i " obtenidos en cada caso, se realizó el cálculo de los ICA seleccionados.

Tabla 4.1

Pesos de importancia para cada parámetro (w_i)

Parámetro	Unidades	w_i
pH	Unidades de pH	0,16
Coliformes fecales	NMP/100mL	0,20
DBO5	mg/L	0,14
OD	% saturación	0,22
Nitrato	mg/L	0,14
Fósforo	mg/L	0,14

Nota: Valores adaptados del Servicio Nacional de Estudios Territoriales del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (www.snet.gob.sv).

Tabla 4.2

Cálculo del ICA propuesto

Parámetros	Valor	Unidades	W _i	I _i	Total
pH	7,98	Unidades de pH	0,16	85	13,6
Coliformes fecales	200	NMP/100mL	0,20	38	7,6
DBO5	6,34	mg/L	0,14	50	7
OD	7,18	% saturación	0,22	5	1,1
Nitrato	0,867	mg/L	0,14	52	7,28
Fósforo	0,949	mg/L	0,14	42	5,88
Valor del ICA Σ					42,46

El UWQI adopta para condiciones óptimas un valor máximo de 100, que va descendiendo con el aumento de la contaminación en curso de agua. Posterior al cálculo del índice de calidad de agua (ICA) se clasifica la calidad del agua con base a la **Tabla 4.3**, propuesta por Brown (1997).

Tabla 4.3

Clasificación del ICA propuesta por Brown

Calidad de agua	Valor
Excelente	91 a 100
Buena	71 a 90
Regular	51 a 70
Mala	26 a 50
Pésima	0 a 25

Nota: Esta tabla es propuesta por Brown (1997) para la clasificación de la calidad del agua.

4.3. Análisis de sedimentos

Para realizar una correcta evaluación de la contaminación que posee la Laguna Yrupe se realizó el análisis fisicoquímico a la muestra de sedimento para luego calcular los índices de geoacumulación de cada elemento, así también se realizó el análisis granulométrico a la muestra recolectada.

4.3.1. Análisis fisicoquímico

Se determinaron las concentraciones de cada elemento mediante la metodología de Standard Methods 22 th Edition (SM, Métodos Normalizados para análisis de Aguas Potables y Residuales), los valores de la Figura 4.4 demuestran los resultados obtenidos.

Figura 4.4:
Concentraciones de elementos en la muestra



Universidad Nacional de Asunción
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA
CENTRO MULTIDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS

www.una.py
E. Email: CEMIT@TEL.UNA.PY
Teléfono: 585540 / 3 Interior 1072
C.C. 910. Asunción - Paraguay

ORIGINAL

CERTIFICADO DE ANÁLISIS N°: CA004.70661

MUESTRA: SEDIMENTO DE LAGUNA YRUPE	
TIPO DE MUESTRA: Sedimento	
N° DE LOTE: No aplica	VENCIMIENTO: No aplica
PROCEDENCIA: NOELIA ISABEL BENITEZ	DIRECCIÓN: Asunción
TAMAÑO DE MUESTRA: 1 bolsa de 1 kilo	REMISIÓN N°: 152
FECHA DE INGRESO: 28/marzo/2022	FECHA DE INFORME: 14/junio/2022

DESCRIPCIÓN

Sólido marrón oscuro, homogéneo, húmedo y untuoso, contenido en una bolsa de plástico transparente de un kilo.

RESULTADOS

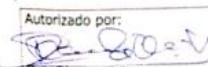
Parámetros	Unidad	Métodos	Resultados*
pH	Unidad de pH	SM 4500 - H ⁺ B	7,16
Calcio	mg/kg	SM 3500 Ca B	3915
Hierro total	mg/kg	SM 3500-Fe B	70,9
Fósforo Total	mg/kg	SM 4500 P-E	2030
Sodio	mg/kg	SM 3111 B	391
Potasio	mg/kg	SM 3112	666
Mercurio	mg/kg	SM 3112	<2,50
Plomo	mg/kg	SM 3111 B	<5,00
Cromo Total	mg/kg	SM 3111 B	<5,00
Arsénico	mg/kg	SM 3500-As B	<0,200
Zinc	mg/kg	SM 3111 B	33,1
Manganeso	mg/kg	SM 3111 B	<5,00
Cobre	mg/kg	SM 3111 B	5,59
Níquel	mg/kg	SM 3111 B	<5,00
Plata	mg/kg	SM 3111 B	<2,50

* Sobre base seca.

Metodología: Perteneciente a STANDARD METHODS 22 th Edition (SM, Métodos Normalizados para análisis de Aguas Potables y Residuales).

Los resultados corresponden única y exclusivamente a la muestra remitida por el interesado. El muestreo, las condiciones de almacenamiento y el transporte al Laboratorio son de exclusiva responsabilidad del interesado

Queda prohibida la reproducción total o parcial del presente certificado.

Autorizado por:  Dra. Diana Villaiba Responsable de Gestión de Laboratorios	Controlado por:  QFI. Emilio Benitez Responsable de Gestión de Calidad	Aprobado por:  Lic. Quim. Ind. Gustavo Brozón Dirección del CEMIT - DEICT - UNA
---	--	---

CE-REG 060.11/08.19 Página 1 de 1

Nota: Esta figura posee los resultados del análisis fisicoquímico realizada a la muestra en el Laboratorio del CEMIT

4.3.2. Análisis granulométrico

Los resultados obtenidos en el ensayo granulométrico de los sedimentos de la Laguna Yrupe se encuentran expresados en la Figura 4.5 y gráficamente en la Figura 4.6.

Figura 4.5:
Análisis granulométrico por tamizado

COMANDO DE INGENIERIA
SERV. LABORAT. DE ENSAYOS DE MATERIALES
Laboratorio de Suelos, Asfaltos y Hormigón

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

Obras : _____

Tramo y kilómetro : _____

Yacimiento : _____

Profundidad : 0 a 1 m

Muestra N° : _____

Método del Ensayo : _____

Fecha del Ensayo : _____

Laboratorista : _____

Humedad Higroscópica

P.de muestra h_m-recip. = 96.2

P.de muestra seca-recip. = 87.3

Peso del agua = 8.9

Peso del recipiente = 28.9

Peso del material seco = 58.4

Porcentaje de humedad = 15.25

Factor de Corrección = _____

Peso de la Muestra Seca usada en el ensayo = 200g

Tamiz N°	Abert. en mm	Peso reten.	% reten.	% ret. acumul.	% que Especific. Dada exigida
2"	50.8				
1 1/2"	38.1				
1 1/4"	31.7				
1"	25.4				
3/4"	19.1				
5/8"	15.8				
1/2"	12.5				
3/8"	9.52				
1/4"	6.25				
4	4.75				
6	2.36				
10	2.00	0.0	0.0	0.0	100
12	1.68				
16	1.19				
20	0.841				
30	0.595				
40	0.420	400.2	50.1	50.1	49.9
50	0.297				
60	0.250				
70	0.210				
80	0.177				
100	0.149				
120	0.125				
140	0.105				
200	0.075	96.5	47.25	97.85	9.15
270	0.052				
325	0.045				
400	0.038				

NOELIA BENTEZ V.
Geóloga
Jefe del Laboratorio

Nota: Esta figura contiene los resultados del análisis granulométrico por tamizado realizado a los sedimentos recolectados de la Laguna Yrupé

La curva granulométrica se ha dibujado utilizando el programa de software Excel, representando el porcentaje de sedimento que pasa por cada tamiz (Tamiz N° 10, N° 40, N° 100) en ordenadas respecto al logaritmo de la abertura de malla en abscisas.

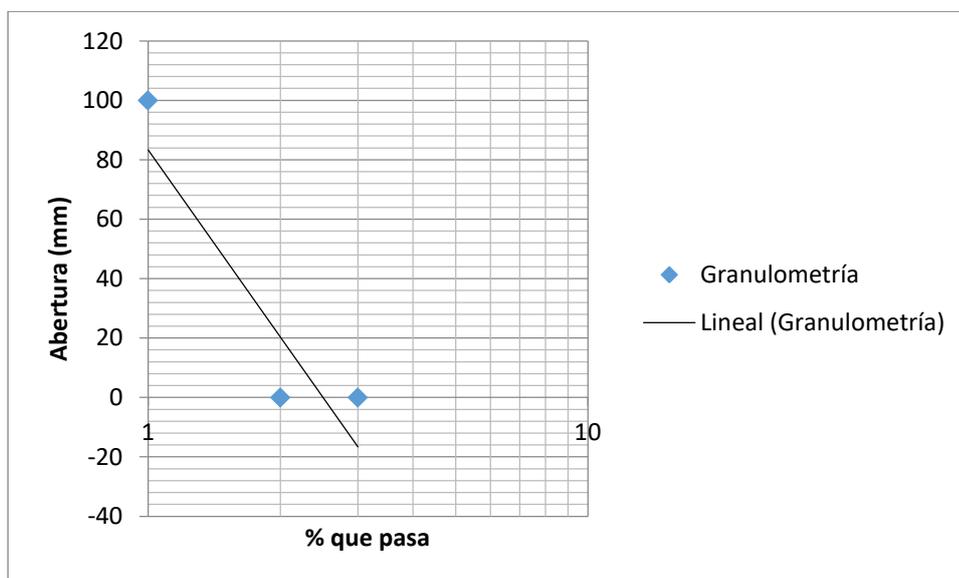
Esta permite visualizar la tendencia homogénea o heterogénea que tienen los tamaños de grano (diámetros) de las partículas, curvas muy verticales indican reducida variabilidad en los tamaños mientras que curvas inclinadas muestran una gradación importante del tamaño de las partículas, en la muestra de sedimento recolectada de la Laguna Yrupe se

puede apreciar una curva muy vertical y por lo tanto muy poca variabilidad en los tamaños de granos.

Figura 4.6

Curva granulométrica

Tamiz N°	Abertura (mm)	% que pasa	% retenido
10	2,00	100	0
40	0,420	49,9	50,1
200	0,074	2,15	47,75



Nota: Esta figura contiene los resultados gráficos del análisis granulométrico por tamizado realizado a los sedimentos recolectados de la Laguna Yrupé.

A partir de los resultados de la granulometría, los sedimentos se han clasificado según se muestra en la Tabla 4.4

Tabla 4.4

Clasificación de sedimentos

Arena gruesa:	0
Arena media:	50,1%
Arena fina:	47,75%
Limos:	2,15%

Nota: Clasificación granulométrica de sedimentos

4.3.3. Índice de geoacumulación

Para realizar el cálculo de Índice de geoacumulación se utilizó la siguiente fórmula:

$$I_{geo} = \log_2 C_n / 0.2 B_n$$

Donde C_n es la concentración del elemento examinado y B_n la concentración geoquímica del metal (encontrado en la corteza terrestre), (Aguila et al., 2005).

Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5:
Índice de Geoacumulación

Elemento	B_n - Concentración geoquímica en la corteza terrestre (ppm)	C_n - Concentración del elemento (ppm)	Igeo
Hierro total (Fe)	50,000	70,9	2,82
Cobre (Cu)	45	5,59	-0,69
Calcio (Ca)	36,300	3915	9,07
Arsénico (As)	2	0,2	-1
Mercurio (Hg)	0.5	2,50	4,6
Cromo Total (Cr)	200	5,00	-3
Plomo (Pb)	15	5,00	0,74
Níquel (Ni)	80	5,00	-1,68
Plata (Ag)	0,1	2,50	6,97
Manganeso (Mn)	1,000	5,00	4,64
Fosforo total (P)	1,180	2030	13
Potasio (K)	25,900	666	7,00
Sodio (Na)	28,300	391	6,11
Zinc (Zn)	65	33,1	1,35

Nota: Los datos de concentración geoquímica en la corteza terrestre fueron extraídos de Rivera (2014), según datos de Goldschmidt, 1937; Rankama y Sagama, 1950; Mason, 1958; y Vinogradov, 1962

4.4. Geoprocusamiento de imágenes satelitales multitemporales

A través del geoprocusamiento de imágenes satelitales multitemporales descargadas de Google Earth que se muestran en la Figura 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10 se buscó determinar la variación del área de estudio en cuanto a los agentes antrópicos que se fueron generando en los alrededores de la Laguna Yrupe con el pasar de los años, para ello se estudiaron las imágenes satelitales de los años 2009, 2011, 2019, 2021 respectivamente, los cuales son considerados como agentes contaminantes que deterioran la calidad ambiental. Adicionalmente se contó con una ortofotocarta de la Dirección del Servicio Geográfico Militar del año 1997, Figura 4.11, en la que se observa como se encontraba la Laguna en ese año.

Figura 4.7:
Imagen Satelital de la Laguna Yrupe, año 2009

Laguna Yrupe - 2009

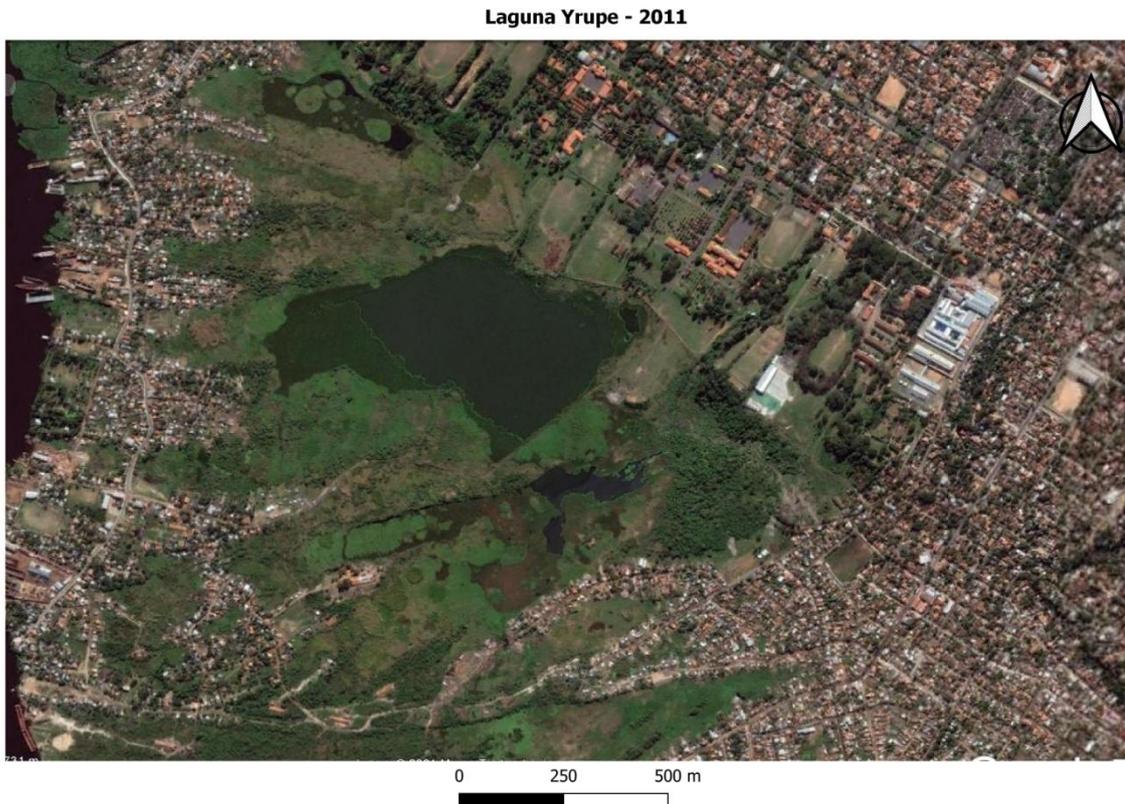


Nota: Imagen satelital de Google Earth de fecha Julio de 2009

En la **Figura 4.7**, se pudo apreciar el contorno de la laguna, al igual que los pequeños cursos de agua que desembocan en la laguna, así también se distinguen los diversos tipos de viviendas que se encuentran en el área y otro tipo de obras edilicias.

También a través de esta imagen se observó la vegetación acuática que cubre gran parte de la laguna y aquellas zonas más someras.

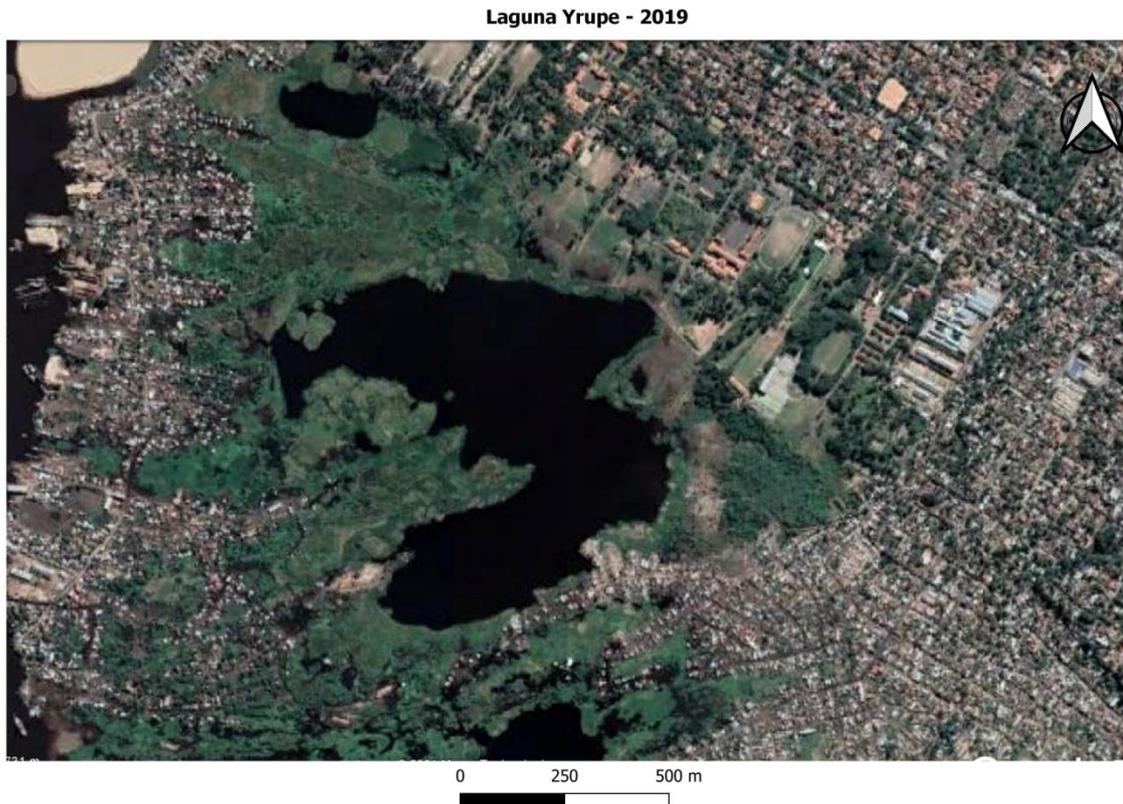
Figura 4.8:
Imagen satelital de la Laguna Yrupe, año 2011



Nota: Imagen satelital de Google Earth de fecha Junio de 2011

En la **Figura 4.8**, a diferencia de la **Figura 4.7**, se pudo apreciar un mayor volumen de agua en la laguna, como resultado de las precipitaciones registradas entre esos años, en el 2009 una altura de 3,2 metros en el Río Paraguay y en el 2011 una altura de 4,2 metros según los datos de la Dirección de Meteorología e Hidrología para los meses en que aproximadamente fueron tomadas las imágenes satelitales, esta diferencia de altura en el Río Paraguay nos da la pauta de la diferencia en las cantidades de lluvias registradas para esas fechas y su influencia en la geomorfología de la laguna.

Figura 4.9:
Imagen satelital de la Laguna Yrupe, año 2019



Nota: Imagen satelital de Google Earth de fecha Julio de 2019

En la **Figura 4.9**, a diferencia de la **Figura 4.8**, se pudo apreciar un mayor volumen de agua en la laguna, como resultado de las precipitaciones registradas entre esos años, en el año 2011 una altura del Río Paraguay de 4,2 metros y en el año 2019 una altura de 6,8 metros según los datos de la Dirección de Meteorología e Hidrología para los meses en que aproximadamente fueron tomadas las imágenes satelitales, esta variación debe ser estudiada con más detenimiento en posteriores investigaciones para corroborar con certeza la variación en la morfología de la laguna producto de las precipitaciones y su relación con la contaminación.

Figura 4.10:
Imagen satelital de la Laguna Yrupe, año 2021

Laguna Yrupe - 2021



Nota: Imagen satelital de Google Earth del año 2021

En la **Figura 4.10**, a diferencia de la **Figura 4.9**, se pudo apreciar un menor volumen de agua en la laguna, al comparar con la altura del Río Paraguay en los meses aproximadamente fueron tomadas las imágenes satelitales, tenemos una altura de 0,8 metros, como resultado de las precipitaciones registradas según los datos de la Dirección de Meteorología e Hidrología. Así también se observa un aumento de la vegetación acuática de la laguna y la urbanización del sector sureste y oeste.

Figura 4.11:
Ortofoto del Área de la Laguna Yrupe

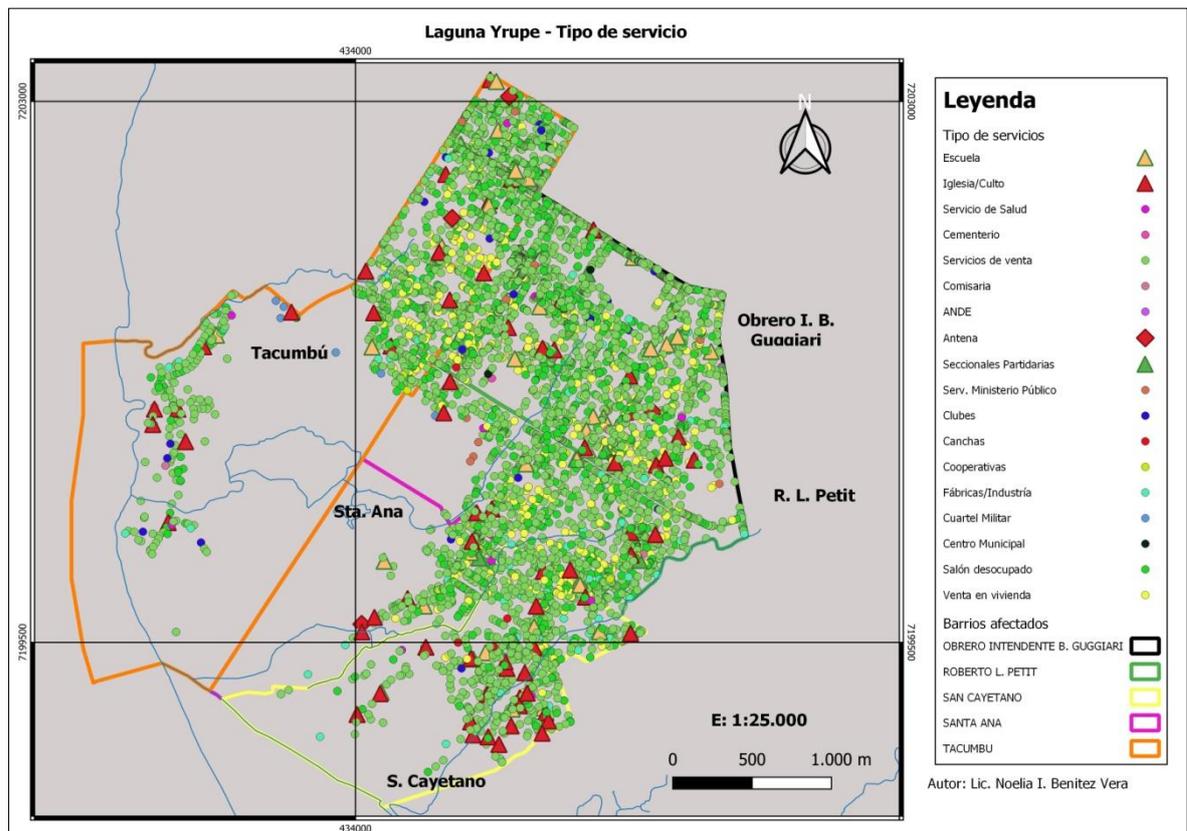


Nota: Esta figura ilustra el área de estudio comprendida por la extensión de la Laguna Yrupe de la ciudad de Asunción tomada de una Ortofoto de la Dirección del Servicio Geográfico Militar (DISERGEMIL) realizada para el Proyecto de Racionalización del uso de Tierra en el año 1997.

En la **Figura 4.11**, se pudo apreciar que la Laguna Yrupe tenía un menor volumen de agua en esos años y se encontraba separada por un camino, al comparar con la altura del Río Paraguay de ese año, tenemos una altura entre 7,4 metros (altura mayor registrada) y 2,4 metros (altura menor registrada), según los datos de la Dirección de Meteorología e Hidrología. En el sector Sur solo se observan unos caminos y unas pocas edificaciones difíciles de precisar si son casas con la ortofoto y oeste una escasa urbanización.

Se generó un Mapa de Servicios con datos estadísticos de la Dirección General de Estadísticas Encuestas y Censos (DGEEC) que se muestra en la Figura 4.12, y un Mapa de Viviendas que se muestra en la Figura 4.13, se tomó como extensión o área de afectación directa la comprendida por cinco barrios aledaños a la Laguna Yrupe y son: Barrio Roberto L. Petit, Barrio Tacumbú, Barrio Santa Ana, Barrio San Cayetano, Barrio Obrero Intendente B. Guggiari.

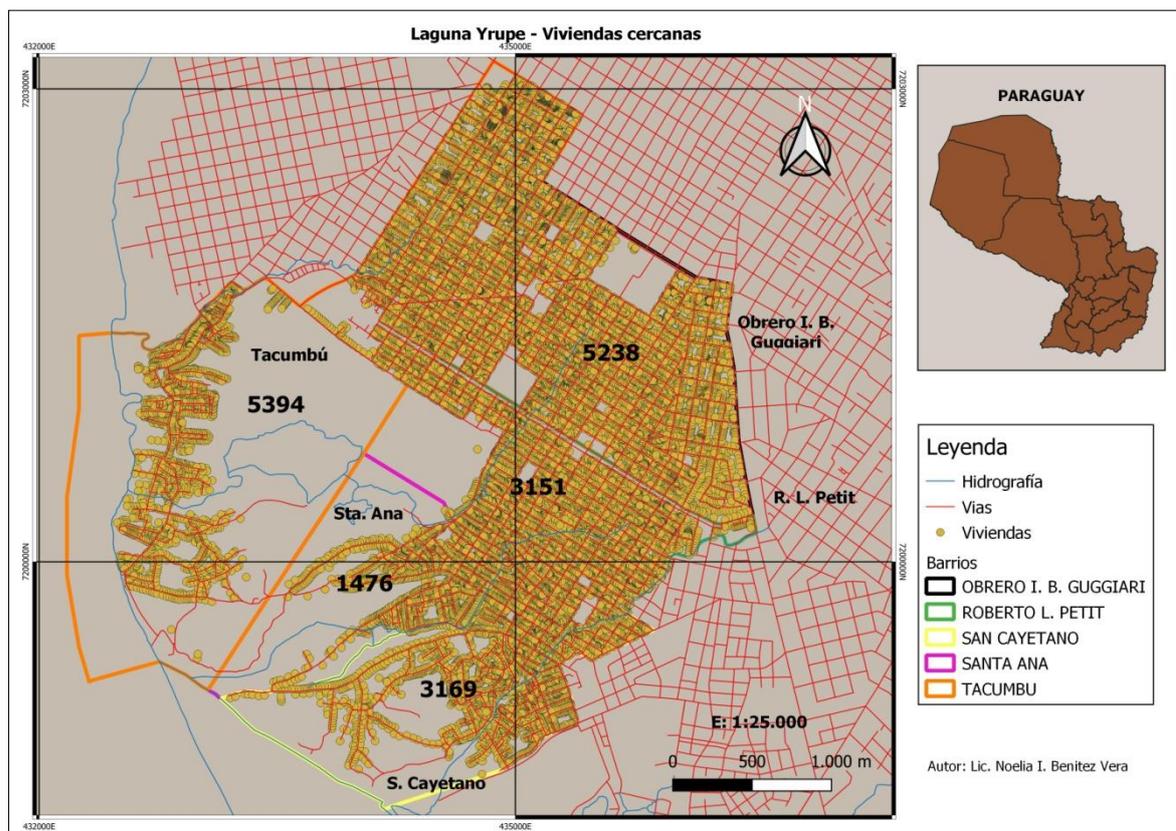
Figura 4.12:
 Mapa de los servicios que se encuentran en el área de estudio



Nota: Esta figura representa un mapa del área de estudio y los tipos de servicios que se brindan.

En este mapa de servicios se observó que en los alrededores de la laguna se encuentran servicios relacionados a cuarteles militares, escuelas, salones desocupados, Iglesias y Clubes deportivos, los cuales no son considerados como productores de contaminantes del tipo industrial.

Figura 4.13:
Mapa de viviendas que se encuentran en el área de estudio



Nota: Esta figura representa un mapa del área de estudio y la cantidad de viviendas por barrio.

En este mapa de viviendas se observó la cantidad de viviendas que se encuentran en los barrios colindantes con la laguna, sumando un total de 18.428 viviendas, muchas de las cuales no cuentan con sistema de recolección de basuras, especialmente en los Barrios Santa Ana y Tacumbú.

4.5. Evaluación de impactos ambientales

En base a la Matriz de Leopold (Anexo I) realizada se puede apreciar que los componentes del ambiente que han sufrido mayor impacto son el Suelo, la geomorfología, el agua superficial y el agua subterránea.

También se puede hablar de una afectación considerable a la flora y fauna ya que es un área muy visitada por aves y animales acuáticos.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos al agua arrojan valores considerables que se encuentran fuera del valor recomendado para agua de contacto

primario; como Aceites y grasas, coliformes totales, demanda bioquímica de oxígeno, color y fósforo total.

Así también los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a los sedimentos arrojan valores muy elevados para Calcio, Plata, Fosforo total, Potasio, Sodio y valores relativamente altos para Hierro total, Mercurio, Manganeso y Zinc.

En cuanto a las acciones que generan mayor impacto se pudo apreciar que aquellas actividades que corresponden a diversos procesos dentro del rubro de la industria, ganadería familiar entre otros son los que generan mayor afectación al ambiente. También aquellas actividades relacionadas a la modificación del régimen natural como son la introducción de especies, alteración de patrones de drenaje, incendios tienen una considerable influencia negativa en el medio ambiente.

El esquema realizado sobre la observación de acciones impactantes, efectos ambientales y medidas mitigadoras (Anexo II) muestra que las principales acciones impactantes que fueron relevadas durante el recorrido por la zona fueron: modificación de la cobertura vegetal, construcción de viviendas, generación de residuos, efluentes domiciliarios e industriales, quema de basuras, tráfico de vehículos y camiones, ganadería familiar, estas acciones generan efectos ambientales diversos, pero en todos los casos son negativos para el medio ambiente ya sea para el medio acuático, suelo o aire.

Respectivamente si mencionamos las medidas de mitigación que pueden ser puestas en marcha para disminuir los impactos negativos al medio ambiente podemos comenzar con la realización de las siguientes actividades: reforestación en el área afectada, retirada y acopio de tierra vegetal para su posterior recuperación y aprovechamiento, trabajos en horarios establecidos, riego de los caminos para no generar polvo, la correcta gestión de los residuos tanto urbanos como industriales, tratamiento de agua antes del vertido a la laguna, buscar o generar vías de acceso alejadas de la laguna y eliminar prácticas como la de agricultura, caza de animales silvestres o aves, entre otras.

Figura 4.14:
Imagen de la localización de la Laguna



Nota: Esta figura representa la localización de los impactos observados a través del sobrevuelo de un dron (avión no tripulado) sobre el área de estudio.

En esta imagen se pudo observar los agentes contaminantes que pueden incidir directamente sobre la laguna ya que se encuentran a su alrededor

Figura 4.15:
Imagen de los impactos observados en la Laguna Yrupe



Nota: Esta figura representa la ubicación de vertederos al Noroeste, Suroeste y Sureste de la Laguna Yrupe, los cuales no se encuentran habilitados por la Municipalidad Local para su utilización con ese fin.

En esta imagen se pudo observar los vertederos de basura que se encuentran en las inmediaciones de la laguna.

Figura 4.16:
Vertederos de basuras observados



Nota: Esta figura rescata la utilización del predio de las viviendas como vertedero de residuos

Figura 4.17:
Vertederos de basuras observados al Sureste de la Laguna



Nota: Esta figura representa los vertederos observados al Sureste de la Laguna Yrupe.

5. DISCUSIÓN

En primer lugar analizaremos los valores obtenidos en la muestra de agua de la Laguna Yrupe, en líneas generales de los 19 (diecinueve) parámetros realizados son solo 05 (cinco) los que se encuentran fuera de los valores normales, ellos son Aceites y grasas, coliformes totales, demanda bioquímica de oxígeno, color y fósforo total y se muestran en la Tabla 5.1. En cuanto a los aceites y grasas el valor obtenido es superior a los límites permitidos para los usos recreativos ya que estos son compuestos orgánicos estables y de difícil biodegradación y producen la alteración de procesos biológicos de las aguas (Jiménez, 2012). El Color por lo general, el color en el agua de uso y consumo humano se debe a la presencia de materia orgánica coloreada (principalmente ácidos húmicos y fúlvicos) asociada al humus del suelo (OMS, 2011), también puede proceder de una contaminación por efluentes industriales y puede ser el primer indicio de una situación peligrosa, sin embargo al comparar otros valores de referencia puedes decir que mayormente se debe a la presencia de carbono orgánico natural, y como menciona Dangavs (2005) la transparencia es escasa (<50 cm) y la partícula suspendida es abundante en las aguas de laguna y se encuentra influenciada por la época del año y las condiciones meteorológicas.

La presencia de un elevado valor de Coliformes totales contrastado con un valor en el límite de coliformes fecales nos indica que posiblemente el origen de estos sean debido a la gran cantidad de fauna que habita en esta laguna ya que algunas de estas bacterias se excretan en las heces de personas y animales, pero muchos coliformes son heterótrofos y capaces de multiplicarse en suelos y en medios acuáticos (OMS, 2011).

Por otro lado la Demanda Bioquímica de Oxígeno obtuvo un valor alto en comparación al valor recomendado según la reglamentación existente, también se debe tener en cuenta que sus valores crecen levemente después de los eventos de lluvia. Estos valores altos indican un elevado contenido de materia orgánica probablemente asociado a efluentes industriales y aguas servidas con un tratamiento ineficiente (MA-DINACEA-División Calidad Ambiental- Departamento de Evaluación Ambiental Integrada, s.f.).

Así también un valor elevado de Fosforo total indica la alta trofia de este cuerpo de agua, este elemento puede provenir de: fertilizantes eliminados del suelo por el agua o el viento, excreciones humanas y animales o detergentes y productos de limpieza.

Tabla 5.1

Comparación de resultados y valores recomendados

Parámetro	Valor Obtenido	Valor recomendado
Aceites y grasas	29,2 mg/L	Ausente
Coliformes totales	17.000 NMP/100mL	-----
DBO ₅	6,43 mg O ₂ /L	5 mg O ₂ /L
Color	86 mg (Pt)/L	75 (Pt)/L
Fósforo Total	0,949 mg/L	0,05 mg/L

Nota: Los valores recomendados son conforme la Resolución N° 222/02 de la Secretaría del Ambiente (SEAM) actual Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES)

Los sedimentos procedentes de la Laguna Yrupé son de granulometría predominantemente arenosa, de coloración grisácea con gran cantidad de materia orgánica presente y en partes con un olor desagradable como resultado de la descomposición de la materia orgánica.

En relación al Índice de Calidad del agua (UWQI), se obtuvo un valor de 42,46 que conforme a la clasificación propuesta por Brown (1997) la calidad del agua de la Laguna Yrupe es mala, ya que posee valores elevados de contaminación para algunos parámetros, los cuales se observan en la Tabla 5.1.

En cuanto a los sedimentos los resultados obtenidos en los análisis químicos realizados fueron comparados con las normativas correspondientes de Valores Guías de Calidad Ambiental Canadiense (CEQG), ya sea para el Valor guía interno de la calidad de sedimento (ISQG); concentración por debajo el cual no se presenta efecto biológico adverso, así como también para el Nivel de efecto probable (PEL); concentración sobre la cual se encuentran efectos biológicos adversos con frecuencia, y la Administración Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos de América (NOAA) niveles de fondo (background levels) de la tabla de referencia (Screening Quick Reference Table for Inorganics in Freshwater Sediment) que se encuentran en la Tabla 5.2, ya que en Paraguay no existen normas que establezcan límites máximos permisibles para metales en sedimentos. Se encontraron valores elevados para Mercurio, Hierro, Calcio, Plata, Fósforo total, Potasio y Sodio, de los cuales Laino-Guanes et al (2015) considera de alto potencial tóxico al Mercurio y como un contaminante altamente peligroso, este mismo

autor menciona que los efectos del Hg pueden verse intensificados al acumularse este metal en los tejidos de los peces.

Tabla 5.2:

Comparación de resultados de análisis de sedimentos y reglamentaciones

Elementos	CEQG*		NOAA	Resultados
	ISQG	PEL		
Arsénico	5,9	17,0	1,1	<0,200
Cobre	35,7	197,0	10-25	5,59
Cromo	37,3	90,0	7-13	<5,00
Mercurio	0,17	0,486	0,004-0,051	<2,50
Níquel	-	-	9,9	<5,00
Plomo	35,0	91,3	4-17	<5,00
Zinc	123,0	315,0	7-38	33,1
Hierro			0,99%	70,9
Calcio				3915
Plata			<0,5	<2,50
Manganeso			400	<5,00
Fósforo total				2030
Potasio				666
Sodio				391
Zinc	123	315	7	33,1

Nota: Canadian Environmental Quality Guidelines, 2003 (Valores Guías de Calidad Ambiental Canadiense – sedimentos de cuerpos de agua continental).

ISQG (Interim Sediment Quality Guideline), Valor guía interino de la calidad de sedimento: concentración por debajo el cual no se presenta efecto biológico adverso.

PEL (Probable Effect Level), Nivel de efecto probable: concentración sobre la cual se encuentran efectos biológicos adversos con frecuencia.

NOAA: Administración Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos de América (por sus siglas en inglés, National Oceanic and Atmospheric Administration), niveles de fondo (background levels) de la tabla de referencia (Screening Quick Reference Table for Inorganics in Freshwater Sediment)

Los resultados obtenidos para el Índice de geoacumulación de metales indican diferentes grados de contaminación; No contaminado para Cobre, Arsénico, Níquel y Cromo total, No contaminado a moderadamente contaminado para el Plomo, Moderadamente contaminado para Hierro total y Zinc, De fuertemente contaminado a extremadamente contaminado para el Mercurio y Manganeso y Extremadamente contaminado para los siguientes: Calcio, Plata, Fosforo total, Potasio y Sodio.

Este índice de geoacumulación permite la estimación de la contaminación en los suelos (Salmanighabeshi et al., 2015, citado por Weisse, 2015) y se observa una predominancia de contaminación para siete parámetros de los cuales son de cuidado el Mercurio y Plata

por su toxicidad, las fuentes de contaminación de estos pueden ser de origen natural o antropogénica.

Con respecto a los agentes contaminantes, dadas las características de los contaminantes encontrados en los análisis tanto del agua como de los sedimentos, estos pueden proceder tanto de fuentes naturales como antrópicas, por un lado los metales pesados pueden proceder de los desechos domésticos, agrícolas e industriales (Laino-Guanes *et al*, 2015) y los contaminantes orgánicos de fuentes industriales o asentamientos humanos.

Acerca de las alternativas de recuperación, se puede inferir que la más eficaz sería el tratamiento biológico usando plantas o fitorremediación ya que ciertas plantas al ser expuestas a metales pesados pueden presentar diferentes respuestas fisiológicas (Instituto Nacional de Salud de Perú, 2019), la fitoextracción es una técnica "in situ" dentro de la fitorremediación basada en el uso de plantas y sus microorganismos asociados para disminuir la concentración de elementos químicos inorgánicos en suelos contaminados (Llugany *et al*, 2007) ya sea para el agua como para los sedimentos además de la educación ambiental a los pobladores. Así también la aplicación estricta de las leyes que sancionan la contaminación del ambiente.

6. CONCLUSIONES

El grado de contaminación de la Laguna Yrupe de Asunción es alto debido a que el resultado obtenido para el Índice de Calidad del Agua arrojó un resultado de calidad de agua mala porque existen parámetros fuera de los límites permitidos por la legislación vigente para color, aceites y grasas, coliformes totales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y fósforo total.

Así también para el Índice de Geoacumulación de metales en sedimentos (IGeo) tenemos catorce parámetros estudiados de los cuales cuatro están no contaminados (Cu, As, Ni, Cr total), uno no contaminado a moderadamente contaminado (Pb), moderadamente contaminado para dos parámetros (Fe_{total} , Zn), de fuertemente contaminado a extremadamente contaminado para dos parámetros (Hg, Mn), y cinco están extremadamente contaminados (Ca, Ag, P_{total} , K, Na), lo cual indica que existe una contaminación por metales pesados en esta laguna y debe ser tratada para evitar daños a los habitantes y la fauna del lugar.

En cuanto a los agentes contaminantes que deterioran la calidad ambiental de la laguna estos proceden tanto de fuentes naturales como antrópicas pero son necesarios estudios más minuciosos para poder detallarlos y conocer su incidencia puntual.

La alternativa de recuperación más factible de acuerdo al grado de contaminación que tiene la laguna es la fitorremediación además de la educación ambiental a los pobladores y la correcta gestión de los residuos. También es recomendable la conformación de un equipo multidisciplinario para el desarrollo de un plan de gestión de este recurso.

Este trabajo nos brinda un panorama general de la situación ambiental de la Laguna Yrupe de Asunción y en particular de las variables que pueden estar involucradas en el cálculo del ICA e IGeo, ya que se puede decir que un limitante fue la cantidad de muestras recolectadas para los diferentes análisis.

Por último posteriores investigaciones se podrían dirigir para la identificación de los efluentes que son vertidos en la laguna y caracterizarlos para crear planes de mitigación. También conocer la influencia de la contaminación en las especies que habitan la laguna, realizando un seguimiento en todas las estaciones del año.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguila, P., J. Lugo, y R. Vaca. 2005. «Determinación de factores de enriquecimiento y geoacumulación de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, y Zn en suelos de la cuenca alta del río Lerma». *Ciencia Ergo Sum* 12(2):155-61.
- Arán, D., J. Verde, J. Antelo, y F. Macías. 2020. «Calidad ambiental de suelos y aguas de la Mina Fé: situación inicial y alternativas de recuperación». *Spanish Journal of Soil Science* 10(1):81-100. doi: [10.3232](https://doi.org/10.3232).
- Arboleda, J. 2008. «Manual de evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades». Recuperado de: https://www.academia.edu/34461272/Manual_EIA_Jorge_Arboleda_1
- Ávila Baray, H.L. (2006) Introducción a la metodología de la investigación Edición electrónica. www.eumed.net/libros/2006c/203 <https://www.eumed.net/libros-gratis/2006c/203/>
- Balmaseda, C., y Y. García. 2014. «Índice canadiense de calidad de las aguas para la cuenca del río Naranjo, provincia Las Tunas, Cuba». *Rev. Ciencias Técnicas Agropecuarias* 23(3):11-16.
- Bécares, E. 2004. «Ecología de lagunas y humedales». *Revista Científica y Técnica de ecología y medio ambiente* 13(2).
- Behar, R., M. Zuñiga, y O. Rojas. 1997. «Análisis y valoración del índice de calidad de agua (ICA) de la NSF: casos ríos Cali y Meléndez». *Revista Ingeniería y Competitividad* 1(1):17-27.
- Brown, R., Macclelland, N., Deininger R., et al., "A Water Quality Index – Do We Dare?." *Water and Sewage Works*, vol. 11, pp. 339 - 343, 1970.
- Buchman, M. 2008. «NOAA Screening Quick reference Tables». *National Oceanic and Atmospheric Administration Office of Response and Restoration Division*, 34.
- Castro, M., J. Almeida, J. Ferrer, y D. Díaz. 2014. «Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global». *Ingeniera Solidaria* 10(17):11-124. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.811>.

- Centro de Ecología Humana, (CEPIS-Organización Mundial de la Salud). 2010. «Normas Internacionales para la calidad del agua bebida». *Revista virtual REDESMA*, 1-13.
- Centro Nacional de Medio Ambiente. 2010. «Análisis de la composición físico química de los sedimentos fluviales y su relación con la disponibilidad de metales en agua». <https://snia.mop.gob.cl/sad/CQA5191v2.pdf>
- Cisterna-Osorio, P., y L. Pérez. 2019. «Propuesta de humedales artificiales, impulsores de biodiversidad, que depuran aguas contaminadas para la recuperación de lagunas urbanas de Concepción». *Revista Hábitat Sustentable*, 20-31.
- Cornejo, E., J. Fernández, C. Rivas, C. Vargas, y A. Huamán. 2017. «Análisis físicos y químicos para determinar la calidad de agua de la laguna de la Universidad Alas Peruanas, sede Pachacamac-Lima 2017». Proyecto de Investigación de Análisis y Tratamientos de aguas, Alas Peruanas, Perú.
- Dangavs, N. 2005. «Los ambientes acuáticos de la Provincia de Buenos Aires». Pp. 219-236 en. La Plata.
- Dirección de Meteorología e Hidrología. « *Hidrología, Nivel de los ríos*». <https://www.meteorologia.gov.py/nivelrio/vermascalendario.php?estacion=2000086218&fechadesde=01-01-2009&fechahasta=31-12-2009>
- D'Ambrosio, M., M. Elordi, B. Buffone, K. Balbi, A. Porta, D. Andrinolo, y L. Cano. 2017. «Evaluación de la calidad del agua de la Laguna de los Patos, ensenada, mediante índices de calidad y de contaminación». Argentina.
- Dunnette D. 1979. «A Geographically Variable Water Quality Index Used In Oregon. » *Journal of the Water Pollution Control Federation*, vol. 51, pp. 53-61.
- Encinas, M. 2011. *Medio Ambiente y Contaminación. Principios básicos*. 1º edición.
- Escobar, J. 2002. «La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar». CEPAL (ECLAC), Chile.
- Espinoza, G. 2007. «Gestión y fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental». Recuperado de: <http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/1052.pdf>
- Espinal, T., J. Sedeño, y E. López. 2013. «Evaluación de la calidad del agua en la Laguna de Yuriria, Guanajuato, México, mediante técnicas multivariadas: un análisis de valoración para dos épocas 2005, 2009-2010». *Rev. Int. Ambie* 29(3):147-63.

- Fernández, N., Solano, F. 2008. «Índices de Calidad y Contaminación del Agua, Pamplona. » Universidad de Pamplona.
- Fuentes, M., O. Sanguinetti, y L. Rojas. 2019. «Evaluación del riesgo ambiental de metales pesados en los sedimentos superficiales del saco del Golfo de Cariaco». *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 101-14.
- Gadea, M, et al. (2019). «Manifestaciones volcánicas de la Provincia Alcalina de Asunción en la Urbanización Surubi.i. Departamento Central-Paraguay». *Pyroclastic Flow*, 9 (1)
- García, T. 2012. «Propuesta de Índices de calidad de agua para ecosistemas hídricos de Chile». Tesis para optar por el título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- García, Y., W. Ramirez, y S. Sánchez. 2012. «Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso». *Pastos y forrajes* 35(2):125-38.
- Gil-Marín, J., C. Vizcaino, y N. Montaña-Mata. 2018. «Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela». *Anales Científicos* 79(1):111-19. doi: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v79il.1146>.
- Gomez, D. 1991. Consideraciones Morfoestructurales y Estratigráficas de la Antiforma de Asunción y su Relación con la Exploración de Aguas Subterráneas. 1er. Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay. Casa de la Cultura, Asunción. PY
- Hedrick, T.E., Bickman, L. y Rog, D.J. 1993. Applied research design. A practical guide. Newbury Park, CA: Sage.
- Hernández Sampieri, R. Collado, F., & Otros. 2008. *Metodología de la Investigación 4º edición*. México: Mc Graw Hill.
- Instituto Nacional de Estadística. 2021. INE publica datos de población a nivel país y departamentos del año 2021. <https://www.ine.gov.py/news/news-contenido.php?cod-news=595>
- Jiménez, S. 2012. Estudio teórico para el control de la contaminación por grasas y aceites generada por la actividad industrial, doméstica y de servicios. Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico Industrial. Instituto Politécnico Nacional de México.

- Laino-Guanes, R., R. Bello, M. González, N. Ramírez, F. Jiménez, y K. Musálem. 2015. «Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala». *Tecnología y Ciencias del Agua* 6(4):61-74.
- López, T., P. Fernández, D. Franco, E. Galeano, F. Alonso, M. Benitez, M. López, H. Ímas, N. Bobadilla, L. Benítez, y C. Mazó. 2016. «Índices de calidad ambiental de aguas del Arroyo Caañabe mediante tests microbiológicos y ecotoxicológicos». *Ambiente & Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 11(3):549-65. doi: [10.4136/ambi-agua.1703](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1703).
- Llugany, M., R. Tolrá, C. Poschnrieder, y J. Barceló. 2007. «Hiperacumulación de metales: ¿una ventaja para la planta y para el hombre?» *Revista Ecosistemas* 16(2):4-9.
- MA-DINACEA-División Calidad Ambiental- Departamento de Evaluación Ambiental Integrada (s,f). Indicadores ambientales del agua. https://www.ambiente.gub.uy/indicadores_ambientales/ficha/oan-demanda-bioquimica-de-oxigeno/
- Marín-Guirao, L., A. Cesar, A. Marín, y R. Vita. 2005. «Valoración de la contaminación por metales en los sedimentos de la laguna costera del Mar Menor (SE de España): Distribución de metales, toxicidad, bioacumulación y estructura de las comunidades bentónicas». *Ciencias Marinas*, 413-28.
- Ministerio de Desarrollo Productivo. Dirección de Recursos Hídricos. *Calidad del agua*. Tucumán. Consultado el 29 de agosto de 2021. <http://www.rekursoshidricos.gov.ar/webback/index.php/nuestra-funcion/2017-03-23-14-12-06/calidad-de-agua>
- Morales, C., y R. Cardozo. 2010. «Evaluación de la importancia del Bañado Tacumbú (Asunción-Paraguay) para la conservación de las aves acuáticas». *Reportes Científicos de la FACEN* 1(1):20-29.
- Nava Ruíz, C., y M. Méndez Armenta. 2011. «Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio)». *Arch Neurocién*, 140-47.
- NOAA (1999). United States. Screening Quick Reference Tables. National Oceanic and Atmospheric Administration. Recuperado de <http://response.restoration.noaa.gov/cpr/sediment/squirt/squirt.html>

- Organización Mundial de la Salud. 2011. Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda. <http://apps.who.int/iris>. ISBN 978-92-4- 354995-8
- Ortiz, I., J. Sanz, M. Dorado, y S. Villar. 2007. «Técnicas de recuperación de suelos contaminados».
- Palmieri, J.H., Velázquez, J.C. 1982. *Geología del Paraguay*. Paraguay.Ed. Napa.
- Pedhazur, E.J., Schmelkin, L.P. 1991.Measurement, design, and analysis. An integrated approach. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Pérez, A., y A. Rodríguez. 2008. «Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación». *Rev. Biol. Trop.* 56(4):1905-18.
- Prieto, J., C. González, A. Román, y F. Prieto. 2009. «Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua». *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10(1):29-44.
- Proyecto PAR83/005.1986. Mapa Geológico de la República del Paraguay. Escala 1:1.000.000. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Ministerio de Defensa Nacional. Asunción, Paraguay.
- Putz, P. 2010. Eliminación y determinación de fosfato. <https://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/37743-Eliminacion-y-determinacion-de-fosfato.html>
- Resolución N° 222/02 de la Secretaria del Ambiente por la cual se establece el padrón de calidad de las aguas en el territorio nacional
- Rivera, H. (2014). «*Caracterización geoquímica de los intrusivos de las super unidades de Yarabamba-Challaviento y de los volcánicos de los grupos Toquepala y Barroso y análisis correlacional con la mineralización en el sur del Perú*». Tesis de Maestría en Geología con mención Minas y Recursos Energéticos. Universidad Nacional Mayor De San Marcos
- Rodriguez, J., y J. Serna. 2016. «Índices de calidad en cuerpos de agua superficiales en la planificación de los recursos hídricos». *Revista LOGOS Ciencia & Tecnología* 8(1):159-67.

- Romanelli, A., y H. Massone. 2016. «Desarrollo de indicadores ambientales e índices de calidad de lagos someros pampeanos de Argentina con alta intervención antrópica». *Tecnología y Ciencias del Agua*, diciembre, 123-37.
- Sacha, A., Espinoza, C. 2001. «Determinación de Contenido Natural e Índices de Calidad: Presente y Futuro de Calidad de Aguas. » XIV Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS, Chile.
- Samboni, N., Y. Carvajal, y J. Escobar. 2007. «Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua». *Revista Ingeniería e investigación* 27(3):172-81.
- Schneider, V. 2010. «Cambios cualitativos en estructuras urbanas. Recuperación de ambientes naturales degradados en el Área Metropolitana del Gran Resistencia, Argentina». *Revista Bitácora Urbano Territorial* 17(2):113-26.
- Spiegel, J., y L. Maystre. s.f. «Control de la contaminación ambiental». En *Enciclopedia de Salud y seguridad en el trabajo*.
- Terrel, P. 2019. «Tecnologías para la recuperación de agua contaminada con metales pesados: plomo, cadmio, mercurio y arsénico.»
- Torres, P., C. Hernan Cruz, y P. Patino. 2009. «Indices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica.» *Revista Ingenierías*.
- Trujillo, J., y M. Torres. 2015. «Niveles de contaminación en tres sectores de Villavicencio, a través del índice de geo-acumulación (I-geo)». *ORINOQUIA- Universidad de los Llanos* 19(1):109-17.
- Valdés, J., y A. Castillo. 2014. «Evaluación de la calidad ambiental de los sedimentos marinos en el sistema de bahías de Caldera (27°S), Chile». *Latatin American Journal of Aquatic Resesearch* 42(3):497-513. doi: [103856/vol42-issue3-fulltext-10](https://doi.org/10.103856/vol42-issue3-fulltext-10).
- Velázquez, Clara. 2020. «Caracterización de la degradación ambiental de la Laguna Cateura, Asunción-Paraguay». Tesis de grado, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Asunción, Asunción.
- Weisse, C. 2015. «Indices de calidad de agua y sedimento en la Cuenca del río Llaucano». Informe de proyecto de título para optar al título de Ingeniero Civil Industrial, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción.

Zafra, C., J. Temprano, y I. Tejero. 2011. «Concentración y distribución de metales pesados (Pb, Zn, Cu, Cd y Cr) en sedimentos viarios urbanos». *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia* 1(58):53-62.

ANEXOS

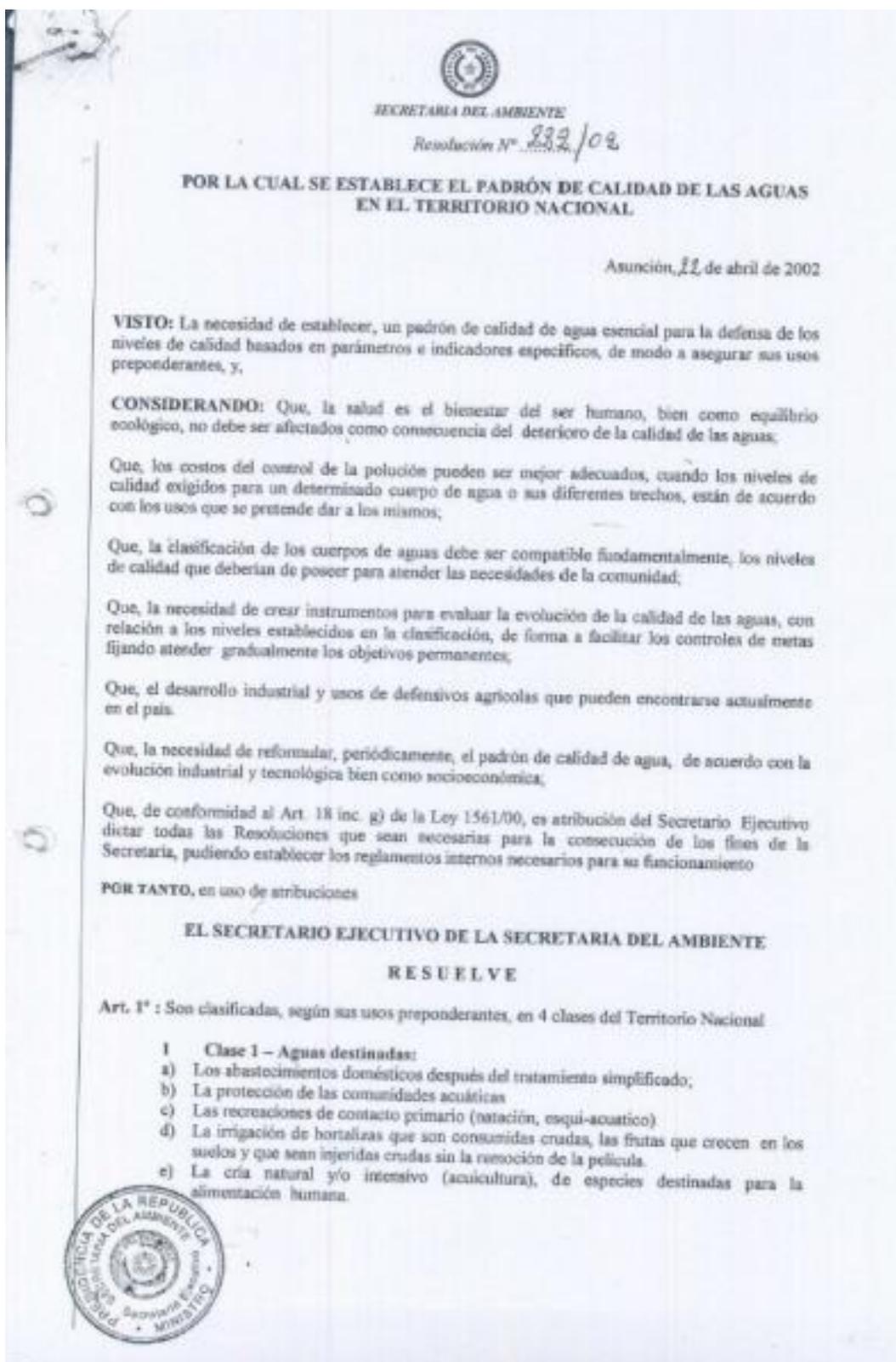
Anexo I: Matriz para la determinación de los componentes y acciones impactantes en el ecosistema de la Laguna Yrupé

Componentes y acciones impactantes		Componentes del ambiente								
		Suelo	Geomorfología	Calidad del agua superficial	Hydrogeología	Calidad del aire	Flora	Fauna	Recreación	Paisaje
Modificación del régimen	Introducción de especies exóticas						X	X		
	Modificación del hábitat	X	X				X	X		X
	Alteración de la cobertura vegetal del suelo	X	X		X		X	X		X
	Alteración del flujo de agua subterránea			X	X					
	Alteración de patrones de drenaje			X	X					
	Incendios					X				
Transformación del terreno y construcción	Urbanización	X	X	X	X					X
	Camino y senderos	X	X	X						
	Corte y relleno	X	X	X						X
Procesamiento	Ganadería familiar			X	X		X	X		
	Industrias	X	X	X	X		X	X		
	Residuos	X	X	X	X	X	X	X		X
	Efluentes	X		X	X					
	Vertidos y filtraciones	X		X	X					
Cambios en el tráfico	Automóviles	X			X	X	X	X		
	Camiones	X			X	X	X	X		
	Transporte de carga	X				X	X	X		

Anexo II: Esquema de observación de acciones impactantes, efectos ambientales y medidas mitigadoras

ACCIONES IMPACTANTES	EFFECTOS AMBIENTALES	MEDIDAS MITIGADORAS
Modificación de la cobertura del vegetal	Genera sedimentos, cambio de uso de suelo, produce polvo,	Realizar reforestación en el área afectada
Construcción de viviendas	Genera polvo, ruido, cambio de uso del suelo.	Realizar la retirada y acopio de tierra vegetal para su posterior recuperación y aprovechamiento. Realizar los trabajos en horarios establecidos Realizar el riego de los caminos para no generar polvo
Generación de residuos	Genera malos olores, contaminación del agua superficial y subterránea, contaminación del suelo	Realizar una correcta gestión del residuo
Efluentes domiciliarios e industriales	Genera malos olores, contaminación del agua superficial y subterránea	Realizar tratamiento de agua antes del vertido a la laguna
Quema de basuras	Produce contaminación del aire y malos olores	Realizar una correcta gestión de residuos evitando la quema de basuras
Tráfico de vehículos y camiones	Produce polvo, ruido, vibraciones, derrames de combustibles, aceites, lubricantes, zonas inestables por poseer un suelo arcilloso	Buscar o generar vías de acceso alejadas de la laguna
Ganadería familiar	Genera cambio de uso de suelo, malos olores, accidentes de tránsito.	Buscar alternativas para el cese de esta práctica

Anexo III: Resolución N° 222/02 de la Secretaria del Ambiente





SECRETARÍA DEL AMBIENTE

Resolución N° 222/02

**POR LA CUAL SE ESTABLECE EL PADRÓN DE CALIDAD DE LAS AGUAS
EN EL TERRITORIO NACIONAL.**

2 Clase 2 – Aguas destinadas:

- a) Para abastecimiento doméstico después de los tratamientos convencionales;
- b) Para protección de las comunidades acuáticas;
- c) Para recreación de contacto primario (esquí acuático, natación);
- d) Para la irrigación de hortalizas y plantas frutíferas;
- e) Para la cría natural y/o intensivo (acuicultura), de especies destinadas para la alimentación humana.

f) Clase 3 – Aguas destinadas

- a) En abastecimiento doméstico, después del tratamiento especial;
- b) Para irrigación arbórea, jardín y forrajes; y
- c) Para recreación de contacto secundario.

3 Clase 4 – Aguas destinadas

- a) Para la navegación;
- b) Para armonía paisajística;
- c) Para los usos menos exigentes

Parágrafo único

Los niveles de tratamiento que fueron indicados anteriormente, para abastecimiento público representan:

- I. Tratamiento simplificado; cloración y/ o filtración.
- II. Tratamiento convencional; coagulación, decantación, filtración e cloración.
- III. Tratamiento especial; tratamiento convencional + ozonización, aplicación de carbón activado y otros procesos para poder garantizar la calidad de las aguas para abastecimiento público.

Art. 2°: Para agua de Clase 1, son establecidos los límites y/o condiciones siguientes:

- a) Materias fluctuantes, inclusive espumas no naturales: virtualmente ausentes;
- b) Aceites y grasas: virtualmente ausentes;
- c) Sustancias que comuniquen sabor y olor: virtualmente ausentes;
- d) Colorante artificiales: virtualmente ausentes;
- e) Sustancias que formen depósitos objetables: virtualmente ausentes;
- f) Coliformes: Para el uso de recreación de contacto primario, se tendrá en cuenta lo establecido en el Art. 6 de esta resolución. Las aguas utilizadas para la irrigación de hortalizas o plantas frutíferas que se manejan en el suelo y que son consumidas crudas, sin remoción de las cascaras o la película, no deben poluidas por excrementos humanos, atendiendo a la necesidad de una inspección sanitarias periódicas.

Para los demás usos, no deberán ser excedidos en el límite de 200 coliformes fecales por 100 ml en 80% o más de por lo menos 5 muestras mensuales recolectado en cualquier mes,

- g) DBO: hasta 3 mg/l;
- h) OD, en cualquier muestra, no inferior a 6 mg/l;
- i) Turbidez: hasta 40 unidades nefelométrica de turbidez(UNT)
- j) Color: hasta 15 mgPt/l
- k) pH: 6,0 – 9,0





SECRETARÍA DEL AMBIENTE

Resolución N° 222/02

POR LA CUAL SE ESTABLECE EL PADRÓN DE CALIDAD DE LAS AGUAS EN EL TERRITORIO NACIONAL

1) Substancias potencialmente perjudiciales (tenores máximos permisibles):

Inorgánicos (mg/L)

Aluminio	0,2 Al	
Amonio no ionizable	0,02 NH ₃	
Cloratos	250 Cl	
hierro solubles	0,3 Fe	
Sólidos disueltos totales	500	
Fósforo total	0,025 P	
Nitrógeno total	0,30 N	
Sulfatos	250 SO ₄	
Nitrato	10 N	
Nitrito	1,0N	4,0F
Sodio	200Na	
Dureza	300 Ca	
Selenio	0,01Se	
Manganeso	0,1 Mn	
Bario	2,0 Ba	
Arsénico	0,01 As	
Cianatos (como cianato libre)	0,2CN	0,25
Plomo	0,01 Pb	
Cadmio	0,001 Cd	
Cobre	1,0 Cu	
Cromo trivalente	0,5 Cr	
Cromo hexavalente	0,05 Cr	
Estaño	2,0 Sn	
Mercurio inorgánico	0,002 Hg	
Mercurio orgánico	cero	
Niquel	0,025 Ni	
Zinc	3,0 Zn	

Compuestos Orgánicos (mg/l)

Diquat	0,02	
Antracina	0,003	
2,4 D	0,03	
Glifosato	0,7	
Alaclor	cero	
Trifluralina	0,02	
Propanil	0,02	
Picloran	0,5	
Bentazon	0,03	
Carbofuran	0,04	
Endosulfan	0,056	
Enitrothion	0,003	
DDVP (dichlorvos)	0,01	
Diazinon	0,005	
Simazina	0,004	
Chlordane	cero	
DDT	0,002	
Endrin	0,002	0,002
Heptaclor	cero	0,002
Lindano(BHC)	0,0002	
Methoxychlor	0,04	





SECRETARÍA DEL AMBIENTE

Resolución N° 222/02

POR LA CUAL SE ESTABLECE EL PADRÓN DE CALIDAD DE LAS AGUAS EN EL TERRITORIO NACIONAL.

Dioxina(2,3,7,8-TCDD)	cero
PCBs (bifenil policlorados)	cero
Benzo (a) pireno	0,0007
Etilbenzeno	cero
Tricloroetileno	cero
Trihalometano total(THHMs)	0,1
Microcistina LR	0,001

Art.3° : Para las aguas de Clase 2, son establecidos los mismos límite en las condiciones de Clase 1, a excepción de las siguientes condiciones:

- a) No será permitida la presencia de colorantes artificiales que no sean removidos por procesos de coagulación, sedimentación y filtración convencionales,
- b) Coliformes para uso de recreación de contacto primario deberá ser cumplido con el Art.6 de esta resolución. Para los demás usos, no deberá ser excedido en el límite de 1000 coliformes por 100ml en 80 % o más de por lo menos 5 muestras mensuales.
- c) Color: hasta 75 Pt/l
- d) Turbidez: hasta 100 UNT.
- e) DBO₅ 20°C : hasta 5 mg/l
- f) OD, en cualesquiera muestras: no inferior a 5 mg/l O₂
- g) Fósforo Total e Nitrógeno Total: respectivamente, hasta 0,05 mg/l e 0,6 mg/l.

Art. 4°: Para las aguas de Clase 3 son establecidos los límites en las siguientes condiciones,

- a) número de coliformes fecales: hasta 4000, por 100 ml en 80% de las muestras.
- b) DBO 5d e 20°C hasta 10 mg/l.
- c) OD, en cualquier muestra, no inferior a 4 mg/l.
- d) Turbidez: hasta 100 UNT.
- e) Color: hasta 75 mg Pt/l.
- f) pH - 6,0 a 9,0.
- g) Sustancias potencialmente perjudiciales (tenores máximos permisibles)

Aluminio	0,2 Al
Cloretos	250 Cl
Hierro soluble	0,3 Fe
Sólidos disueltos totales	500
Sulfatos	250 SO4
Nitrato	10 N
Nitrito	1,0N
Manganeso	0,1 Mn
Bario	1,0 Ba
Arsenio	0,05 As
Cianatos (como cianato libre)	0,2CN
Plomo	0,03 Pb
Cadmio	0,001 Cd
Cobre	1,0 Cu
Cromo trivalente	0,5 Cr
Cromo hexavalente	0,05 Cr
Estaño	2,0 Sn
Mercurio inorgánico	0,002 Hg
Níquel	0,025 Ni
Zinc	3,0 Zn





SECRETARIA DEL AMBIENTE

Resolución N° 222/02

POR LA CUAL SE ESTABLECE EL PADRÓN DE CALIDAD DE LAS AGUAS EN EL TERRITORIO NACIONAL

Na 200 Na

Compuestos orgánicos mg/l

Dioxina(2,3,7,8-TCDD)	cero
Bifenil Policlorados (PCBs)	cero
Benzo (a)pireno	0,0007
Tri- cloroetileno	cero
Etil-benzeno	cero

Art. 5°: Para aguas de Clase 4, son establecidos los límites en las condiciones siguientes:

- a) Materias fluctuantes, inclusive espumas no naturales: virtualmente ausentes.
- b) color y aspecto: no objetables
- c) aceites y grasas: se toleran trazas.
- d) sustancias fácilmente sedimentables que contribuyen a la colmatación e impidan la libre navegación: virtualmente ausentes
- e) índice de fímoles: hasta 1 mg/l
- f) OD: superior a 2 mg/l
- h) pH 6 - 9

Art.6°: Las aguas destinadas a usos de recreación de contacto primario, serán encuadradas y tendrán su condición avaladas en Excelente, Muy Buena, Satisfactoria No Apta, de la siguiente forma.

- a) Excelente: Cuando en 80% o más de un conjunto de muestras obtenidas en cada una de las 5 semanas, la presencia de coliformes fecales es nulo.
- b) Muy buena: Cuando en 80 % o más de un conjunto de muestras obtenidas en cada una de las 5 semanas, hubiera, en un máximo de 250 coliformes fecales por 100ml.
- c) Satisfactorias: Cuando en 80% o más de un conjunto de muestras en cada una de las 5 semanas, hubiera, en un máximo 1000 coliformes fecales por 100ml
- d) No Apta: Cuando ocurriera, cualquier de las siguientes circunstancias:
 - El padrón de ninguna de las categorías citadas anteriormente
 - Si ocurriera en la región incidencia relativamente elevada o anormal de enfermedades transmisibles por vía hídrica, a criterio de las autoridades
 - Señales de polución por aguas negras y otros residuos, perceptibles organolépticamente.
 - Presencia en las aguas, de moluscos transmisores potenciales de equistosomiasis.
 - Presencia en las aguas, de parásitos e insectos vectores de dolencias transmisibles.

Art.7°: Los efluentes de cualquier fuente poluidora solamente podrán ser alcanzados, directa e indirectamente, en los cuerpos de las aguas obedeciendo las siguientes condiciones y los criterios establecidos en la clasificación del cuerpo receptor;

- a) pH entre 5 a 9,
- b) DBO 5d 20°C, inferior a 50 mg/l
- c) DQO, inferior a 150 mg/l
- d) Temperatura, inferior a 40 °C, siendo que elevación de temperatura de cuerpo receptor no deberá exceder a 3 °C.
- e) materias sedimentables, hasta 1 ml/l en test de 1 hora en cono Imhoff.



4-5
Rodolfo Varguiz



SECRETARÍA DEL AMBIENTE

Resolución N° 222/02

FOR LA CUAL SE ESTABLECE EL PADRÓN DE CALIDAD DE LAS AGUAS EN EL TERRITORIO NACIONAL.

- f) régimen de lanzamiento con caudal máxima de hasta 1,5 veces a razón media del período crítico.
- g) Aceites y grasas.
 - aceites minerales hasta 20mg/l
 - aceites vegetales e grasas animal hasta 50mg/l
- h) ausencia de materias flotantes.
- i) valores máximos admisibles en las siguientes sustancias (mg / l.)

- Amoníaco	5,0 N
- Arsenio	0,5 As
- Bario	5,0 Ba
- Boro	5,0 Bo
- Cadmio	0,2 Cd
- Cianatos	0,2 CN
- Plomo	0,5 Pb
- Cobre	1,0 Cu
- Cromo hexavalente	0,5 Cr
- Cromo trivalente	2,0 Cr
- Estaño	4,0 Sn
- Índice de fenoles	0,5 C6H5OH
- Hierro soluble	15mg/l Fe
- Manganeso soluble	1,0 Mn
- Mercurio total	0,01Hg
- Niquel	2,0 Ni
- Plata	0,1 Ag
- Selenio	0,05 Se
- Sulfetos	0,05 S
- Zinc	5,0 Zn
- Nitrógeno total	40 N
- Fósforo total	4 P
- Coliformes fecales	4000 NMP/100ml

Compuestos xenobioticos que causan toxicidad según criterios de la SEAM: límites establecidos internacionalmente.

Art. 8° : No será permitida la disolución de efluente industriales con aguas no poluidas.

Art. 9° : Los efluentes deberán adecuar prioritariamente en los términos de esta resolución con relación a la característica del cuerpo receptor.

Párrafo único - Resguardados los padrones de calidad de cuerpo receptor, demostrando por estudio de auto depuración realizado por la entidad responsable, la SEAM podrán autorizar el vertido por encima de los límites establecidos en el Art. 7, dependiendo del tipo de tratamiento y las condiciones adecuadas para la operación.

Art.10° : Los padrones de calidad de las aguas establecidas en esta resolución constituyen los límites individuales para cada sustancia. Eventuales acciones sinérgicas entre las mismas, deben ser evaluadas a través de bio- ensayos y otros procesos que son capaces de detectar los efectos de estas acciones, dependiendo de la necesidad de esclarecer.

