

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN**  
**Facultad de Ciencias Exactas y Naturales**  
**Departamento de Geología**

Trabajo de Grado

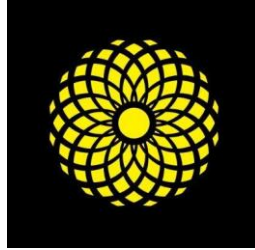
**CARACTERIZACIÓN DE LA DEGRADACIÓN  
AMBIENTAL DE LA LAGUNA CATEURA, ASUNCIÓN-  
PARAGUAY.**

**CLARA VIVIANA ANAHÍ VELÁZQUEZ OLIVETTI.**

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del Título de Grado de Licenciatura en Ciencias-Mención Geología.

SAN LORENZO – PARAGUAY

Diciembre – 2020



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN**  
**Facultad de Ciencias Exactas y Naturales**  
**Departamento de Geología**

Trabajo de Grado

**CARACTERIZACIÓN DE LA DEGRADACIÓN  
AMBIENTAL DE LA LAGUNA CATEURA, ASUNCIÓN-  
PARAGUAY.**

**CLARA VIVIANA ANAHÍ VELÁZQUEZ OLIVETTI.**

**Orientadora:** Prof. Dra. ANA MARÍA CASTILLO CLERICI.  
**Co-Orientador:** MSc. NESTOR DAMIAN SALINAS FRANCO.

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del Título de Grado de Licenciatura en Ciencias-Mención Geología.

SAN LORENZO – PARAGUAY

Diciembre – 2020

## **CARACTERIZACIÓN DE LA DEGRADACIÓN AMBIENTAL DE LA LAGUNA CATEURA, ASUNCIÓN-PARAGUAY.**

Autora: CLARA VIVIANA ANAHÍ VELÁZQUEZ OLIVETTI.  
Orientadora: Prof. Dra. ANA MARÍA CASTILLO CLERICI.  
Co-Orientador: MSc. NESTOR DAMIAN SALINAS FRANCO.

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del Título de Grado de la Licenciatura en Ciencias-Mención Geología.

Fecha de aprobación: 02 de diciembre del 2020

### **MIEMBROS DE LA MESA EXAMINADORA DE TRABAJO DE GRADO**

MIEMBROS:

**Prof. Dra. Ana Maria Castillo Clerici** .....

*Universidad Nacional de Asunción, Paraguay*

**Prof. MSc. Sonia Mabel Molinas Ruíz Díaz** .....

*Universidad Nacional de Asunción, Paraguay*

**Prof. MSc. Narciso Cubas Villalba** .....

*Universidad Nacional de Asunción, Paraguay*

.

## **DEDICATORIA**

A mi padre Reinaldo, mi ejemplo de constancia y dedicación.

A mi madre Alba Margarita, por ser mi fortaleza e inspiración diaria.

A mis hermanos, Reinaldo José David y Ariel Reinaldo Trinidad por brindarme su cariño y apoyo incondicional, y a mi ángel del cielo por guiarme y cuidarme siempre, Veronica Noemí (†).

A mi compañero de vida y aventuras, por darme las fuerzas que me impulsan a seguir adelante, por estar a mi lado durante todo este largo camino, mi amado esposo Francisco Arnaldo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por haberme otorgado una familia maravillosa, quienes han confiado en mí siempre y son mis pilares fundamentales, por permitirme llegar hasta este momento tan importante en mi profesión y lograr otra meta más en mi vida.

A mis padres Alba Margarita Olivetti Jacquet y Reinaldo Velázquez Fernández, por ser los mejores padres que la vida me pudo regalar y por sus valiosos consejos y apoyo durante todo este camino universitario.

A la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UNA, y al Prof. Lic. Constantino Nicolás Guefos Kapsalis. MAE. Decano, por brindarme el apoyo necesario para la realización de los análisis de mi trabajo de grado.

A la Prof. Dra. Ana Maria Valentina Castillo Clerici y el MSc. Nestor Damian Salinas Franco por sus valiosas orientaciones, enseñanzas y paciencia durante la realización de este trabajo.

A la Lic. Romina Mariel Celabe Gaona, por sus orientaciones, su ayuda, tiempo y apoyo constante para esta investigación.

A la Dirección de Servicio Geográfico Militar (DISERGEMIL), y al Cnel. DCEM Claudio René Román Alvarenga, Director del Servicio Geográfico Militar por proveer las fotografías aéreas y ortofotocartas necesarias para la realización del trabajo.

Al Tte. 1°Ing. Albert David Martinez Da Silva por tomarse el tiempo de realizar las gestiones correspondientes para lograr los objetivos del trabajo, y por todo el apoyo y la ayuda brindada durante la misma.

Al Prof. MSc. Moisés Alejandro Gadea Villalba, por ser siempre un gran amigo y guiarme en el mundo de la ciencia geológica.

Al Prof. Lic. Reinaldo Velázquez Fernández, el mejor papá, mi maestro de vida, y profesor de física, gracias por enseñarme tanto y acompañarme durante todo este periodo de la carrera.

A los Licenciados, Lic. Derlis Ricardo Vera González y Lic. Maria Rosa Campaya, por toda la ayuda brindada durante las correcciones.

Al Prof. MSc. Cedric Masayuki Miyasaki, y al Lic. Mario Daniel Fernández Cardozo, por las informaciones proveídas y la predisposición de ayuda.

A los ingenieros de la Municipalidad de Asunción, el Ing. Amb. Ivo Brun Cuquejo; Director de Gestión Ambiental de la Municipalidad de Asunción, y el Ing. E.H. Walter Vidal Lezcano Chaparro; Jefe del departamento de Recursos Naturales y Adecuación Ambiental de la DGGA, por brindarme las informaciones necesarias.

A mi mejor amigo Jorge Cantero Cantero, por haber logrado nuestro objetivo con mucha perseverancia, por ser mi mano derecha durante todo este tiempo, estar ahí siempre que lo necesité y porque somos un gran equipo.

A mis amigos; Carlos Antonio Espinola Ruiz por tener siempre las mejores ideas y ser tan ingenioso, y Mirian Celeste Almada Domínguez por su apoyo incondicional y ayudarme con la elaboración de los mapas.

A mis amigos y futuros colegas, Jorge Cantero Cantero, Claudia Daniela Carrillo González, y Albert David Martínez Da Silva, gracias infinitas por toda su ayuda, buena voluntad y por todos los buenos momentos que convivimos durante la realización de nuestras tesis.

A mis compañeros de trabajo, quienes forman parte de mi vida diaria, y siempre estuvieron dándome fuerzas, al Prof. Lic. José Paciello Etcheverry, Lic. Lourdes Beatriz Garcete Garay, Lic. Paula Antonia Garcete Estigarribia, Lic. Liz Noelia Pedrozo Servían y a la Sra. Limpia Concepción López Ibarra.

A todos y cada uno de los profesores y compañeros de la carrera de Geología, que me ayudaron a forjar mi vida profesional en este hermoso y apasionante camino de la Geología, que apenas comienza.

¡Gracias infinitas!

# CARACTERIZACIÓN DE LA DEGRADACIÓN AMBIENTAL DE LA LAGUNA CATEURA, ASUNCIÓN-PARAGUAY.

Autora: CLARA VIVIANA ANAHÍ VELÁZQUEZ OLIVETTI.  
Orientadora: Prof. Dra. ANA MARÍA CASTILLO CLERICI.  
Co Orientador: MSc. NESTOR DAMIAN SALINAS FRANCO.

## RESUMEN

La Laguna Cateura, comprende un área aproximada de 15 ha; ubicada en el barrio Jukyty de la ciudad de Asunción, a escasos mil metros de la ribera del río Paraguay, junto al Vertedero de RSU Cateura, el cual genera una fuente de contaminación que impacta muy severamente a la zona, generando importantes efectos en la salud y economía de sus habitantes. En esta investigación se pretende contribuir al conocimiento de las características fisicoquímicas de la calidad del agua de la Laguna Cateura, así como de los sedimentos que se encuentran en ella, para lo cual se consideraron tres puntos de muestreo en la misma; así también determinar la percepción social de la población adyacente, con respecto al impacto producido en el área de estudio. Con respecto a las concentraciones de los parámetros en agua los valores de P y Hg sobrepasaron los valores máximos establecidos de las normas ambientales (Res. N° 222/02), manteniendo concentraciones parecidas en los tres puntos de muestreo. Las concentraciones en los sedimentos fueron comparadas con normas internacionales *NOAA-SQuiRTs* de los EE.UU y *CCME-SQGPA* Canadiense, arrojando valores que sobrepasan lo permisible en los resultados del Cr y Pb, esto muestra que tanto en la columna de agua como en la de sedimentos del lecho existen elevadas concentraciones de contaminantes, y éstas se ven relacionadas con los parámetros fisicoquímicos y granulométricos, viéndose potencialmente afectada la calidad ambiental, representando la importancia del estudio de los sedimentos y no solamente la columna de agua. En cuanto a la percepción social, se pudo visualizar la problemática de los habitantes del barrio Jukyty, concretamente los que habitan alrededor de la Laguna Cateura. Es de suma importancia tomar conciencia y reflexionar sobre el impacto de la contaminación en la calidad de vida de las generaciones futuras, mediante soluciones sustentables y sostenibles de los recursos naturales, así como también la evaluación y gestión medioambiental.

**Palabras Claves:** Laguna Cateura, Vertedero de RSU Cateura, características fisicoquímicas, agua-sedimento, sustentables, sostenibles, recursos naturales.

# **CHARACTERIZATION OF THE ENVIRONMENTAL DEGRADATION OF LAGUNA CATEURA, ASUNCIÓN-PARAGUAY.**

Author: CLARA VIVIANA ANAHÍ VELÁZQUEZ OLIVETTI.  
Advisor: Prof. Dra. ANA MARÍA CASTILLO CLERICI.  
Co - Advisor: MSc. NESTOR DAMIAN SALINAS FRANCO.

## **SUMMARY**

The Cateura Lagoon, comprises an approximate area of 15 ha; located in the Jukyty neighborhood of the city of Asunción, a few thousand meters from the banks of the Paraguay River, next to the Cateura Municipal Solid Waste Landfill (MSWLF), which generates a source of contamination that has a very severe impact on the area, generating important health effects and economy of its inhabitants. The aim of this research is to contribute to the knowledge of the physicochemical characteristics of the water quality of the Cateura Lagoon, as well as the sediments found in it, for which it will be considered in three sampling points in it; as well as to determine the social perception of the adjacent population, regarding the impact produced in the study area. With respect to the concentrations of the parameters in water, the P and Hg values exceeded the maximum values established in the environmental regulations (Res. No. 222/02), maintaining similar concentrations at the three sampling points. The concentrations in the sediments were compared with international standards NOAA-SQuiRTs from the USA and CCME-SQGPA Canada, yielding values that exceed what is permissible in the results of Cr and Pb, this shows that both in the water column and in the of bed sediments there are high concentrations of pollutants, and others are related to the physicochemical and granulometric parameters, potentially affecting the environmental quality, representing the importance of studying the sediments and not only the water column. Regarding social perception, it was possible to visualize the problems of the inhabitants of the Jukyty neighborhood, specifically those who live around Laguna Cateura. It is extremely important to become aware of and reflect on the impact of pollution on the quality of life of future generations, through sustainable solutions to natural resources, as well as environmental evaluation and management.

**Keywords:** Cateura Lagoon, Cateura MSWLF Landfill, physicochemical characteristics, water-sediment, sustainable, natural resources.



<b>ÍNDICE</b>	<b>Página</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.2 Justificación.....	3
1.3.1 Objetivo general:.....	5
1.3.2 Objetivos específicos: .....	5
1.4 Hipótesis.....	5
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
2.1 Antecedentes .....	6
2.1.1 El origen y la problemática de los residuos .....	6
2.1.2 Contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, del suelo y del aire.....	7
2.1.3 Antecedentes del manejo de los residuos sólidos en el Paraguay.....	8
2.1.3.1 La década de los 70 .....	8
2.1.3.2 La década de los 80 .....	9
2.1.3.3 La década de los 90 .....	10
2.1.3.4 Inicio y proyecciones a partir del 2000 .....	11
2.2 La gestión de residuos sólidos urbanos en Paraguay - Aspecto Social.....	12
2.3 Historia del Vertedero Cateura.....	13
2.4 Las regulaciones ambientales, una novedad de los 90.....	14
2.5 Humedales.....	15
2.6 Llanura o Planicie de Inundación.....	17
2.7 Evaluación del Impacto Ambiental.....	18
2.8 Ordenamiento Territorial en Paraguay.....	19
2.9 Contaminación de Aguas Superficiales y Subterráneas.....	20
2.10 Definición de Calidad de Agua.....	21
2.10.1 Parámetros Físicos, Químicos y Biológicos.....	22
2.10.2 Parámetros Físicos .....	22
2.10.2.1 Sólidos.....	23
2.10.3 Parámetros Químicos .....	23
2.10.3.1 Potencial de Hidrógeno (pH) .....	23
2.10.3.2 Salinidad.....	24
2.10.3.3 Conductividad (Ce) .....	24
2.10.3.4 Nitrógeno (N) .....	25
2.10.3.5 Sodio (Na) .....	26
2.10.4 Definición de Calidad de Sedimentos .....	27
2.10.4.1 Metales Pesados en Agua y Sedimentos .....	29
2.10.4.2 Importancia de analizar los Metales Pesados.....	29
2.10.4.3 Cromo (Cr).....	30
2.10.4.4 Mercurio (Hg) .....	31
2.10.4.5 Plomo (Pb) .....	32
2.11 Normas de regulación de Metales en Sedimentos.....	33
2.12 Granulometría .....	35
2.11.1 Análisis Granulométrico por Método Tamizado .....	36
2.12 Geología Regional.....	37

2.12.1 Estratigrafía .....	38
2.12.1.1 Grupo Asunción .....	38
2.13 Geología Local .....	39
2.13.1 Sedimentos de Planicies Húmedas.....	39
2.13.2 Aspecto Tectónico del Área de Estudio .....	40
2.14 Geomorfología del área de estudio .....	42
2.15 Marco Legal .....	43
2.15.1 Ley N° 836/80 Código Sanitario .....	43
2.15.2 Resolución S.G. N° 548/96 del Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social.....	44
2.15.3 La Constitución Nacional en sus Artículos 7 y 8, sobre el Medio Ambiente .....	45
2.15.4 Leyes Regulatoras .....	45
2.15.5 Evaluación de Impacto Ambiental .....	46
<b>3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>49</b>
3.1 Características generales del área de estudio .....	49
3.1.2 Hidrografía .....	51
3.1.3 Clima y Vegetación.....	51
3.1.5 Fauna .....	53
3.1.6 Suelo.....	54
3.1.6.1 Zona O.F. (Origen Fluvial) .....	54
3.1.6.2 Zona O.C.A. (Origen de sedimentos próximos a Cauces y Arroyos) .....	55
3.1.7 Actividades Económicas .....	56
3.1.8 Área Socio Comunitaria .....	57
3.1.9 Población Adyacente.....	58
3.2 Materiales.....	59
3.2.1 Materiales utilizados para el Trabajo de Gabinete.....	59
3.2.2 Materiales utilizados para el Trabajo de Campo.....	59
3.2.3 Materiales utilizados para el Trabajo de Laboratorio .....	59
3.3 Métodos.....	59
3.3.1 Trabajos en Gabinete y S.I.G. ....	60
3.3.2 Trabajo de Campo y Lugares de Muestreo .....	61
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>67</b>
4.1 Análisis Granulométricos de los Sedimentos de Fondo de la Laguna Cateura .....	67
4.2 Análisis Fisicoquímicos de los Sedimentos de la Laguna Cateura.....	69
4.3 Análisis Fisicoquímicos del Agua de la Laguna Cateura.....	75
4.5 Análisis de la Comparación Multitemporal .....	89
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>94</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>95</b>

## LISTA DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>Tabla 1.</b> Parámetros internacionales de concentraciones de metales pesados en sedimentos.....	<b>34</b>
<b>Tabla 2.</b> Escala de tamaño de sedimentos.....	<b>35</b>
<b>Tabla 3.</b> Cuadro de Horizontes.....	<b>54</b>
<b>Tabla 4.</b> Puntos de muestreo en la Laguna Cateura.....	<b>62</b>
<b>Tabla 5.</b> Resultados de los análisis Granulométricos.....	<b>67</b>
<b>Tabla 6.</b> Resultados de los análisis fisicoquímicos de los sedimentos.....	<b>69</b>
<b>Tabla 7.</b> Valores admisibles para sedimentos.....	<b>72</b>
<b>Tabla 8.</b> Resultados de los análisis fisicoquímicos del agua.....	<b>75</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> (1)Laguna Cateura. (2)Vertedero Cateura. (3)Piletas de Lixiviados. (4)Río Paraguay. (5)Cerro Lambaré. ....	<b>14</b>
<b>Figura 2.</b> Seis tipos principales de emplazamientos geomorfológicos de los humedales. Las planicies húmedas, además, pueden ser subdivididas en función de la presencia de suelos orgánicos (turba) o minerales. ....	<b>17</b>
<b>Figura 3.</b> Inundación en el Vertedero Cateura. ....	<b>18</b>
<b>Figura 4.</b> Escala de pH. ....	<b>23</b>
<b>Figura 5.</b> Set de Tamices. ....	<b>36</b>
<b>Figura 6.</b> Mapa Geológico Regional. Escala 1:200.000. ....	<b>39</b>
<b>Figura 7.</b> Modelo del Rift. ....	<b>41</b>
<b>Figura 8.</b> Mapa de Planicies de Inundación de Asunción. ....	<b>42</b>
<b>Figura 9.</b> Mapa de localización del área de estudio. Escala 1:15.000. ....	<b>50</b>
<b>Figura 10.</b> Fotografía de la Laguna Cateura. ....	<b>50</b>
<b>Figura 11.</b> Gancheros del Vertedero Cateura. ....	<b>56</b>
<b>Figura 12.</b> Mapa de densidad poblacional de los barrios adyacentes a la Laguna Cateura. Escala 1:10.000. ....	<b>58</b>
<b>Figura 13.</b> Mapa de superficie de la Laguna Cateura. Escala 1:4.500. ....	<b>61</b>
<b>Figura 14.</b> Mapa de Puntos de Muestreo de la Laguna Cateura. Escala 1:4.500. ....	<b>62</b>
<b>Figura 15.</b> Muestreo de sedimentos en la Laguna Cateura. ....	<b>63</b>
<b>Figura 16.</b> Muestreo de agua en la Laguna Cateura. ....	<b>64</b>
<b>Figura 17.</b> Sedimentos para el análisis granulométrico fueron colocados en recipientes de plásticos para su secado correspondiente. ....	<b>65</b>
<b>Figura 18.</b> Molienda de muestras de sedimento de la Laguna Cateura. ....	<b>65</b>
<b>Figura 19.</b> Pasos del análisis granulométrico de los sedimentos de la Laguna Cateura, (1) Molienda de sedimentos. (2)Cuarteo de muestras. (3)Selección de muestras retenidas en cada tamiz. (4)Pesaje de cada selección. ....	<b>66</b>
<b>Figura 20.</b> Valores granulométricos en porcentajes, de los sedimentos de fondo de la Laguna Cateura, en los tres puntos de muestreo. ....	<b>68</b>
<b>Figura 21.</b> Grafico de valores del pH en sedimentos de los tres puntos de muestreo con relación a las normas de referencia Res. N° 222/02. ....	<b>70</b>

<b>Figura 22.</b> Grafico de valores de materia orgánica en sedimentos de los tres puntos de muestreo. ....	<b>71</b>
<b>Figura 23.</b> Grafico de valores del Cromo (Cr) en sedimentos de los tres puntos de muestreo con relación a las normas de referencia SQGPA - CCME para PEL (amarillo), TEL (verde) y SQuiRTs - NOAA (rojo). ....	<b>72</b>
<b>Figura 24.</b> Grafico de valores del Mercurio (Hg) en sedimentos de los tres puntos de muestreo con relación a las normas de referencia SQGPA - CCME para PEL (amarillo), TEL (verde) y SQuiRTs - NOAA (rojo). ....	<b>73</b>
<b>Figura 25.</b> Grafico de valores del Plomo (Pb) en sedimentos de los tres puntos de muestreo con relación a las normas de referencia SQGPA - CCME para PEL (amarillo), TEL (verde) y SQuiRTs - NOAA (rojo). ....	<b>74</b>
<b>Figura 26.</b> Gráfico de valores de pH en los tres puntos de muestreo, en comparación con la línea de referencia Res. N° 222/02. ....	<b>76</b>
<b>Figura27.</b> Gráfico de valores de conductividad eléctrica en los tres puntos de muestreo. ....	<b>77</b>
<b>Figura 28.</b> Gráfico de valores de sólidos totales disueltos en los tres puntos de muestreo, en comparación con la línea de referencia Res. N° 222/02. ....	<b>78</b>
<b>Figura 29.</b> Gráfico de valores de Nitrato (N-NO <sub>3</sub> ) en los tres puntos de muestreo, en comparación con la línea de referencia Res. N° 222/02. ....	<b>79</b>
<b>Figura 30.</b> Gráfico de valores de Fósforo (P) en los tres puntos de muestreo, en comparación con la línea de referencia Res. N° 222/02. ....	<b>79</b>
<b>Figura 31.</b> Gráfico de valores de Sodio (Na) en los tres puntos de muestreo, en comparación con la línea de referencia Res. N° 222/02. ....	<b>80</b>
<b>Figura 32.</b> Gráfico de valores de Cromo (Cr) en los tres puntos de muestreo, en comparación con la línea de referencia Res. N° 222/02. ....	<b>81</b>
<b>Figura 33.</b> Gráfico de valores de Mercurio (Hg) en los tres puntos de muestreo, en comparación con la línea de referencia Res. N° 222/02. ....	<b>82</b>
<b>Figura 34.</b> Gráfico de valores de Plomo (Pb) en los tres puntos de muestreo, en comparación con la línea de referencia Res. N° 222/02. ....	<b>83</b>
<b>Figura 35.</b> Gráfico de valores de Salinidad en los tres puntos de muestreo .....	<b>83</b>
<b>Figura36.</b> Porcentaje de respuestas al cuestionario 1.....	<b>84</b>
<b>Figura 37.</b> Porcentaje de respuestas al cuestionario 2.....	<b>85</b>
<b>Figura38.</b> Porcentaje de respuestas al cuestionario 3.....	<b>85</b>
<b>Figura 39.</b> Porcentaje de respuestas al cuestionario 4.....	<b>86</b>
<b>Figura 40.</b> Porcentaje de respuestas al cuestionario 5.....	<b>86</b>

<b>Figura 41.</b> Porcentaje de respuestas al cuestionario 6.....	<b>87</b>
<b>Figura 42.</b> Porcentaje de respuestas al cuestionario 7.....	<b>87</b>
<b>Figura 43.</b> Porcentaje de respuestas al cuestionario 8.....	<b>88</b>
<b>Figura 44.</b> Fotografía aérea de Laguna Cateura año 1965. ....	<b>89</b>
<b>Figura 45.</b> Imagen Stelital de Laguna Cateura año 2020.....	<b>89</b>
<b>Figura 46.</b> Fotografía antigua de Laguna Cateura año 1970.....	<b>90</b>
<b>Figura 47.</b> Fotografía antigua de Laguna Cateura año 1980.....	<b>90</b>
<b>Figura 48.</b> Ortofotocarta de Laguna Cateura año 1994.....	<b>91</b>
<b>Figura 49.</b> Imagen Stelital de Laguna Cateura año 2020.....	<b>91</b>
<b>Figura 50.</b> Imagen Stelital de Laguna Cateura año 2005.....	<b>92</b>
<b>Figura 51.</b> Imagen Satelital de Laguna Cateura año 2014. ....	<b>92</b>

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexos A.</b> Trabajo de Campo.....	<b>101</b>
<b>A1.</b> Vista al Vertedero Cateura, desde la Laguna. ....	<b>101</b>
<b>A2.</b> Vista al Cerro Lambaré, desde la Laguna. ....	<b>101</b>
<b>A3.</b> Basura a orillas de la Laguna Cateura. ....	<b>102</b>
<b>Anexos B.</b> Fotografías Extraídas de Publicaciones .....	<b>102</b>
<b>B1.</b> A un lado del vertedero más grande del país, un barrio: San Cayetano. Al otro, un Río: el Paraguay. ....	<b>102</b>
<b>B2.</b> Cada día, 800 a 1.200 toneladas de basura ingresan al vertedero de Asunción. Se calcula que se recolecta la mitad de lo que producen sus habitantes. La cobertura de recolección en el país es del 57%, la segunda más baja de la región después de Haití. <b>103</b>	
<b>B3.</b> Las piletas de lixiviado tienen un dique de contención de 11 mts. Según la empresa que gestiona el vertedero, la inundación del Río debe superar los 10 mts. para ser un riesgo. El Río Paraguay tuvo su mayor inundación en 1983, superando los 9 mts. ....	<b>103</b>
<b>B4.</b> Inmediatamente fuera de los lindes de Cateura, casi un centenar de pequeños vertederos clandestinos son la principal amenaza de vertido de lixiviado al cauce del Río. <b>104</b>	
<b>B5.</b> Una consultora internacional comisionada por el gobierno calcula que la capacidad del vertedero será sobrepasada en el 2020. El pleito judicial que impide su mudanza está desde 2017 en manos de la Corte Suprema de Justicia. ....	<b>104</b>
<b>B6.</b> Orilla de la Laguna Cateura. ....	<b>105</b>
<b>B7.</b> Inundación en fecha 06/2014. ....	<b>105</b>
<b>B8.</b> La inundación que afectó al vertedero de Asunción. 12/2015. ....	<b>106</b>
<b>B9.</b> Humo tóxico tras incendio en Cateura. 10/2020 .....	<b>106</b>
<b>Anexos C.</b> Informes de Ensayos y Resoluciones .....	<b>107</b>

## LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

<b>AMUAM:</b>	Asociación de Municipalidades del Área Metropolitana.
<b>AMUMA:</b>	Acuerdo Multilateral sobre Medio Ambiente.
<b>ASTM:</b>	( <i>American Society of Testing Materials</i> )-Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
<b>BGR:</b>	( <i>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe</i> )-Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales.
<b>CEQG:</b>	( <i>Canadian Environmental Quality Guidelines</i> )-Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente.
<b>DBO:</b>	Demanda Bioquímica de Oxígeno.
<b>DISERGEMIL:</b>	Dirección del Servicio Geográfico Militar.
<b>DQO:</b>	Demanda Química de Oxígeno.
<b>EIA:</b>	Evaluación de Impacto Ambiental.
<b>ENAPRENA:</b>	Estrategia Nacional para la Protección de los Recursos Naturales.
<b>GIRS:</b>	Gestión Integral del Riesgo en Salud.
<b>GPS:</b>	( <i>Global Positioning System</i> )-Sistema de Posicionamiento Global.
<b>GTZ:</b>	Cooperación Técnica Alemana.
<b>IA:</b>	Impacto Ambiental.
<b>IDM:</b>	Instituto Desarrollo Municipal.
<b>JICA:</b>	( <i>Japanese International Cooperation Agency</i> )-Agencia de Cooperación Internacional del gobierno japonés.
<b>KfW:</b>	( <i>Kreditanstalt für Wiederaufbau</i> )-Cooperación Alemana al Desarrollo.
<b>MADES:</b>	Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible.
<b>M. S. N. M:</b>	Metros sobre el nivel del Mar.
<b>MSPyBS:</b>	Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social.
<b>OMS:</b>	Organización Mundial de la Salud.
<b>OPACI:</b>	Organización Paraguaya de Cooperación Intermunicipal.
<b>OPS:</b>	Organización Panamericana de la Salud.
<b>PEL:</b>	( <i>Probable Effect Level</i> )- Nivel de Efecto Probable.
<b>PMDyOT:</b>	Pan Marco Desarrollo y Ordenamiento Territorial.
<b>pH:</b>	Potencial de Hidrógeno.
<b>RSU:</b>	Residuos Sólidos Urbanos.
<b>SENASA:</b>	Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental.
<b>STD:</b>	Sólidos Totales Disueltos.
<b>STP:</b>	Secretaría Técnica de Planificación de la Presidencia de la República de Paraguay.
<b>UNESCO:</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
<b>USDA:</b>	( <i>United States Department of Agriculture</i> )- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
<b>TEL:</b>	( <i>Threshold Effect Level</i> )- Nivel de Efecto Umbral.
<b>WWF:</b>	( <i>Wide Fund for Nature</i> )-Fondo Mundial para la Naturaleza.



## 1. INTRODUCCIÓN

Una mejor visión de nuestro planeta Tierra es fundamental para comprender la diversidad de la vida y el futuro de la sociedad, señala Caballero (2018), y destaca que las ciencias de la Tierra nos brindan respuestas esenciales frente a los desafíos que tenemos que afrontar para resguardar nuestro medio ambiente y alcanzar un desarrollo sostenible, promoviendo un uso adecuado de los recursos de la Tierra e impulsando una mejor planificación y manejo para reducir los riesgos para los habitantes del planeta.

En todo esto puede contribuir la Geología como ciencia práctica y sus diferentes especialidades, para el mejor aprovechamiento de los recursos. La Geología Ambiental es la especialidad que juega un papel esencial en la sostenibilidad y viabilidad de la humanidad en el Planeta Tierra (Caballero, 2018).

Desde 1984, según comunicación verbal con el Ing. Walter Lezcano, los desechos que se producen en Gran Asunción se disponen en el “Vertedero” Cateura, que en el año 2004 pasó a ser “Relleno Sanitario” Cateura, este cambio se debió a una cuestión técnica, por ende se le puede llamar de ambas formas indistintamente.

El Vertedero es un espacio de aproximadamente 40 hectáreas localizado en el centro del radio urbano de ciudad de Asunción, en el Barrio Jukyty; entre las calles 42 Proyectadas y Teniente Lidio Cantalupi, a escasos mil metros al oeste de la ribera del río Paraguay, y genera una fuente de contaminación que impacta muy severamente a la economía del sector, generando además importantes efectos en la salud de sus habitantes y en la de aquellos que encontraron en este espacio un lugar donde trabajar. Junto al Vertedero se encuentra una hermosa Laguna del mismo nombre, con una superficie aproximada de 15 hectáreas.

En los últimos años se han desarrollado políticas ambientales que buscan generar conciencia de que la Tierra, nuestro hábitat, es muy frágil. Un factor muy importante que distingue a la sociedad moderna de las que nos precedieron, es el ritmo acelerado de los cambios a los que se somete el medioambiente y a la universalidad de sus consecuencias. Debido a lo anterior, Zambrana *et al* (2020) refiere que es de suma importancia tomar conciencia y reflexionar sobre el desarrollo y el impacto de la contaminación en la calidad de vida de las generaciones futuras.

El presente trabajo tiene como objetivo principal contribuir al conocimiento de las características fisicoquímicas de la calidad del agua de la Laguna Cateura así como de los sedimentos que se encuentran en ella y también determinar la percepción social de la población adyacente, con respecto al impacto producido en el área de estudio.

Esta investigación se basa en la observación, verificación y trabajo de campo que incluyó muestreo y análisis de los factores que ayudarán a definir y sustentar la hipótesis.

### **1.1 Planteamiento del Problema**

Hoy en día, como futuros geólogos y geólogas, tenemos una oportunidad de intervenir en la protección del ambiente, a través de la impartición de una educación más sólida, por un lado, y de formar parte de equipos multidisciplinarios de trabajo para la evaluación de temas ambientales (Larrondo, 2020).

Nuestro país necesita soluciones sustentables y sostenibles para la exploración, aprovechamiento y gestión de los recursos naturales, así como también para la evaluación y gestión medioambiental de amenazas para la naturaleza, en todos los ámbitos.

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2001), señalan que en Paraguay el manejo de RSU (residuos sólidos urbanos), presenta un panorama difícil debido a la poca homogeneidad en la planificación ocupacional, el crecimiento acelerado de las poblaciones urbanas, así como las características geográficas de las regiones que

conforman el país, convierten el problema sanitario, social y económico asociado al manejo de residuos sólidos en un reto difícil de superar.

Según los mismos autores, sólo en la ciudad capital, Asunción, existe un sistema de recolección selectiva, el cual es realizado por una empresa privada y atiende unas 3.000 viviendas en forma totalmente subsidiada. En cuanto a la disposición final de los residuos sólidos, la situación es crítica, el 80% de los vertederos del país se catalogan como vertederos a cielo abierto con todos los riesgos sanitarios que ello implica. El 20% restante se califica como vertederos medianamente controlados.

Para abordar el manejo de los RSU desde el punto de vista social, no es suficiente conocer los aspectos técnicos de la recolección, transporte/transferencia, tratamiento y disposición final, sino que también es necesario integrar los conceptos relacionados a la inclusión de los recicladores informales como una medida para atender la problemática de pobreza en áreas marginales urbanas (OPS/OMS, 2001).

## **1.2 Justificación**

La habilitación de vertederos exige rigurosos estudios ambientales previos que garanticen que el lixiviado de los residuos no contamine las aguas subterráneas, cuerpos de agua cercana, y suelo del área, así como controles y monitoreos posteriores también exigentes.

En Paraguay tenemos el Vertedero de Cateura, que hace 36 años está ubicado en una zona de grandes humedales naturales que es parte de una reserva protegida y hay una bella laguna del mismo nombre, muy cercana al río Paraguay, zona comúnmente conocida como Bañado Sur de Asunción.

En el periódico de comunicación Última Hora (2018) señala que Óscar Rodas, director de Cambio Climático y Políticas WWF (*Wide Fundfor Nature*), Fondo Mundial para la Naturaleza, explicó al programa televisivo La Lupa, que el área protegida cuenta con más de 50 hectáreas dentro del "Parque Jukyty", de las 50 hectáreas del parque, la planta de tratamiento tiene 40 hectáreas. Al vertedero

ingresan diariamente alrededor de 800 toneladas de basura, solamente de Asunción y Gran Asunción. Sin embargo, de este total, existen 1 millón de kilos de basura que no llegan a Cateura, y van a parar a vertederos clandestinos, sumideros o son arrojados a arroyos, que finalmente desembocan en los ríos.

Estas miles de toneladas de desechos desprenden un producto del lixiviado de los desechos sólidos. Por su propio proceso de descomposición y al ser lavados por las aguas de lluvia, el lixiviado es una sopa química altamente concentrada de variedad de contaminantes según el tipo de desechos, como cromo y amonio además de un alto nivel de DQO (Demanda Química de Oxígeno) que implica una sobrecarga de materia orgánica e inorgánica no biodegradables. Vertida en gran cantidad sobre agua, puede ocasionar una alta mortalidad de la vida en el río y en la Laguna Cateura, y poner en grave riesgo de enfermedades a las poblaciones aledañas (Granada, 2019).

Pero el vertedero de Cateura trae mucho más que basura en él; alrededor de 700 personas, es decir, numerosas familias recolectan y seleccionan diariamente objetos para su reciclaje, para luego poder venderlos. Siendo su fuente de subsistencia, en detrimento del peligro a la exposición a contaminantes. El posible traslado del vertedero, que no soluciona la contaminación, divide a los vecinos. Mientras tanto, queda por saber cuál es el grado real de contaminación existente en la Laguna Cateura, el río Paraguay y zonas vulnerables.

“El mundo nos envía basura, nosotros le devolvemos música”, dice el lema de la famosa orquesta de instrumentos reciclados de Cateura, una historia de superación de un grupo de jóvenes que transforman los desechos del vertedero de la ciudad en instrumentos musicales y, gracias a ello, viajan por el mundo.

Por otro lado, los conflictos ambientales vinculados al manejo inadecuado de los residuos sólidos provienen de la falta de planificación y seguimiento en el ordenamiento territorial, así como de las debilidades en la capacidad y calidad de la gestión ambiental. Esta situación se refleja en una ausencia de visión a largo plazo en la gestión ambiental, bajo desarrollo de la práctica de sostenibilidad para el manejo

de residuos sólidos, el poco conocimiento y conservación de los recursos del territorio, falta de participación comunitaria en la orientación y en la vigilancia ambiental del sector. También la falta de un sistema o programa de control y monitoreo permanente, que es necesario en la zona de estudios, especialmente en la Laguna Cateura.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general:**

- Evaluar la degradación ambiental y la percepción social, en la Laguna Cateura, del Barrio Jukyty de la Ciudad de Asunción, como consecuencia de la instalación del Vertedero de Residuos Sólidos Urbanos “Cateura”.

#### **1.3.2 Objetivos específicos:**

- Caracterizar el nivel de contaminación de agua y sedimento de la Laguna Cateura.
- Determinar la percepción social de la población adyacente a la Laguna Cateura.

### **1.4 Hipotesis**

**Hi:** La degradación ambiental de la Laguna Cateura es consecuencia de desechos y vertidos clandestinos.

**Ho:** La degradación ambiental de la Laguna Cateura es consecuencia de la instalación del Vertedero de Residuos Sólidos Urbanos “Cateura”.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes**

#### **2.1.1 El origen y la problemática de los residuos**

De acuerdo con La Organización Panamericana de la Salud y La Organización Mundial de la Salud en coordinación con la Secretaría Técnica de Planificación de la Presidencia de la República de Paraguay (STP) (2000), continuamente el hombre ha producido residuos; cuando residía en las cuevas seguramente tenía un espacio para depositarlos; cuando era nómada, los abandonaba en todo el sendero que recorría; sin embargo en aquellos tiempos era tan diminuto el número de hombres y tan extenso el espacio independiente que existe que no se apreciaban los inconvenientes del medio ambiente, además, los residuos en aquel entonces eran plenamente naturales y se reincorporaban prontamente al resto de aquel ambiente.

A lo extenso de varios años, la naturaleza se encargó de contar con los residuos que el ser humano producía entregando al suelo proteínas animal y vegetal que reciclaba con el proceso biológico para ser nuevamente usado por el mismo hombre (OPS, OMS/SPT, 2000).

Según el trabajo de la OPS en conjunto con la OMS (2000), cuando el ser humano se urbanizó y creció desmesuradamente, la naturaleza no ha podido conseguir lo cual tan bien realizaba en un inicio. El ser humano urbanizado ha ido llenando los patios de sus terrenos con residuos; y al cabo de una década los mismos quedaban inutilizados para continuar disponiéndolos en aquellos sitios.

De nuevo la historia de los residuos se repetía, como en la era cuando el ser humano era nómada y sus residuos iban a parar a los costados de las rutas, en los

cursos de aguas (arroyos, ríos, etc.) y sitios verdes (plazas, terrenos baldíos, etc.). Sin embargo esta vez, a diferencia del inicio de la propia historia los residuos por el momento no eran de propiedades naturales y la naturaleza no los absorbió (OPS, OMS/SPT, 2000).

### **2.1.2 Contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, del suelo y del aire**

Teniendo como base el informe de la OPS en conjunto con la OMS/SPT (2000), uno de los efectos ambientales más serios radica en la contaminación de las aguas; tanto superficiales y subterráneas ocasionado por la disposición de residuos a los ríos y barrancos y por el líquido percolado/lixiviado de los vertederos de residuos cielo abierto.

Así mismo, el suelo es contaminado debido a las diferentes sustancias depositadas sin control alguno. En vertederos a cielo abierto es notable el efecto negativo provocado por los residuos, debido a los incendios y humos que reducen la visibilidad, siendo causante de diversas patologías (OPS, OMS/SPT, 2000).

Según la misma organización, en consecuencia, esta contaminación conlleva la inutilización de ciertos lugares como los espacios verdes, cauces hídricos, caminos, plazas, entre otros. A lo largo del tiempo, se generan más residuos de composición fisicoquímica ajenas al ecosistema; por otra parte, al problema de la peligrosidad, en algunos casos desconocidos tanto en magnitud como en duración, se añade la biodegradabilidad y comportamiento desconocido en el futuro. Esta contaminación genera a su vez la proliferación de animales de sangre caliente, cuadrúpedos y pájaros carroñeros; además generan vectores de contaminación como ratas, mosquitos, moscas y otros tipos de insectos; así también generan focos de bacterias y virus provenientes de desperdicios orgánicos, basuras de cocinas, mataderos, fábricas de alimentos, centros de salud, laboratorios, etc. Además, potencian la concentración de residuos peligrosos tales como cromo de las curtiembres, mercurio y cadmio de las baterías alcalinas, plomo de las baterías o acumuladores de vehículos, de los lodos de cianuros de las galvanoplastias, el

cloruro de los embalajes plásticos y sustancias orgánicas cloradas, nitrato de las materias orgánicas en descomposición, etc.

### **2.1.3 Antecedentes del manejo de los residuos sólidos en el Paraguay**

La atención formal a la problemática asociada al manejo inadecuado de los residuos sólidos en el Paraguay es reciente. Probablemente el contexto político, económico y social, en el cual ha estado inmerso el país durante las últimas décadas, haya propiciado tal situación. A continuación se describe el proceso evolutivo del desarrollo de lo que se denomina sector de residuos sólidos, en el entendido de que lo existente hasta el momento y como se discutirá en secciones posteriores, carece de una estructura orgánica y funcional que permita calificarlo como tal (OPS/OMS, 2001).

#### **2.1.3.1 La década de los 70**

En nuestro país, el tema referente a los residuos sólidos ha venido desarrollándose muy lentamente, como plantean la OPS y OMS (2001), hasta la década del 70 no era un tema tratado en casi ninguna de las municipalidades del país. Teniendo como parámetro la Reunión de Ministros de Salud del Continente y en materia de Aseo Urbano, que se llevó a cabo en Santiago de Chile en 1972, los asistentes acordaron y se comprometieron en alcanzar la meta: para la década de los 80, de “Establecer sistemas adecuados (sanitariamente inobjtables) para la recolección, transporte, procesamiento intermedio y disposición final de los residuos sólidos (basuras) en por lo menos el 70% de las ciudades con población mayor a 10.000 o más habitantes...”. Ese mismo año se creó por Ley N° 369/72 el Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental, SENASA.

Los mismos autores afirman que en la ciudad capital, se iniciaron los primeros servicios de recolección de residuos sólidos, a través de “carritos” tirados a tracción animal. Los residuos se desechaban en terrenos baldíos, canales pluviales, al costado de los arroyos y en el Río Paraguay. Posteriormente se habilitó el vertedero de Trinidad. A partir de ello comenzaron a surgir un gran número de vertederos, no sólo en Asunción, sino en todas las ciudades vecinas, así como en otras ciudades



importantes del país. En 1976, se formó una comisión interinstitucional de coordinación, entre SENASA y la Municipalidad de Asunción.

En 1977, el SENASA elaboró el Plan Nacional de Promoción del Aseo Urbano, pero ese proyecto no prosperó debido a que las prioridades reales del SENASA eran la provisión de agua para las comunidades y no contaban con recursos económicos ni técnicos para dicha implementación (OPS/OMS, 2001).

### **2.1.3.2 La década de los 80**

El Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social (MSPyBS), con el apoyo técnico de la OPS fueron los precursores de los primeros Cursos Nacionales de Aseo Urbano, a través de los cuales se logró la capacitación de recursos humanos en el área, lo cual propulsó la creación de unidades administrativas con competencia en el tema en diferentes municipios del país. Desde entonces el SENASA, a través de sus inspectores, asesora a las comunidades para mejorar la disposición sanitaria de las basuras (OPS/OMS, 2001).

La OPS/OMS (2001), describe que teniendo en cuenta la creciente densidad poblacional, se vieron obligados a habilitar diversos vertederos en Asunción: además del existente en “El Zanjón”, ubicado debajo del puente de la vía férrea, en la intersección de las avenidas Perú y Artigas, surgieron otros en el arroyo Salamanca, arroyo Mburicaó y Cateura. A finales de la década también se habilitaron otros sitios como el del arroyo Morotí. A finales de la década, el SENASA implementó los Estudios Técnicos y Socio Económicos de Aseo Urbano, donde se daban las orientaciones básicas para la organización del servicio

A finales de 1989 e inicios de 1990 se iniciaron gestiones con la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (*JICA*) para una consultoría para la elaboración de un Plan de Manejo de los Residuos Sólidos en el Área Metropolitana de Asunción. Los resultados del apoyo logrado de esta organización fueron la elaboración del estudio antes mencionado y la formación de recursos humanos en el tema (OPS/OMS, 2001).

### 2.1.3.3 La década de los 90

El MSPyBS gestionó la promulgación de la Ley N° 42/90 sobre “Residuos Sólidos Industriales, Tóxicos y Peligrosos” que prohíbe la importación, depósito, utilización de productos calificados como residuos industriales peligrosos o basuras tóxicas y establece las penas correspondientes por su incumplimiento (OPS/OMS, 2001).

Según OPS/OMS (2001), en 1991 se firmó un convenio de cooperación entre el SENASA y el Instituto de Desarrollo Municipal (IDM), para desarrollar la primera planta piloto para el tratamiento de basuras domiciliarias en la ciudad de Carapeguá, el cual fue financiado con fondos de la *GTZ* (Cooperación Técnica Alemana). A partir de junio de 1992, el Gobierno Nacional inició negociaciones con el Gobierno de la República Federal Alemana, para la elaboración del proyecto “Estrategia Nacional para la Protección de los Recursos Naturales”-ENAPRENA”. En 1993, dentro del SENASA, se creó el Departamento de Residuos Sólidos para atender directamente al sector, incluyendo residuos municipales, hospitalarios, industriales, tóxicos y peligrosos.

Durante 1993 y 1994 se desarrolló el Plan de Manejo de los Residuos Sólidos en el Área Metropolitana de Asunción. Para 1995, se estimó que la cobertura del servicio de recolección en población urbana era inferior al 25%. Asunción poseía una cobertura inferior al 80% y en el orden de 33%, en su área metropolitana. Entre 1994 y 1996, SENASA proporcionó Planes de Manejo de Residuos Sólidos a varias comunidades y realizó en cada una de ellas, estudios de generación y composición de los residuos sólidos. En 1995 se concesionó la recolección, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos hospitalarios de la ciudad de Asunción a una empresa privada, la Empresa Sudamericana de Servicios Públicos(OPS/OMS, 2001).

La OPS/OMS (2001), por otra parte dan a conocer que el tema de los residuos sólidos se incluyó como una cátedra dentro de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería Civil, en el Área del Saneamiento Público y Ambiental, dictado por la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Católica. El tema también es incorporado dentro diferentes cátedras en las carreras de Ingeniería Civil,

Arquitectura y Diseño Gráfico. De forma similar la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Asunción, incluye al tema dentro de la Especialización en Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

En febrero de 1999, el Gobierno de Japón hizo entrega a la Asociación de Municipalidades del Área Metropolitana (AMUAM) de una donación de aproximadamente EUA\$ 11.000.000, consistente en vehículos recolectores, vehículos pesados y de mantenimientos para uso en el sitio de disposición final y repuestos varios, destacan en su informe la OPS/OMS (2001), y mencionan que a su vez, las Gobernaciones van asumiendo su participación en la segunda mitad de la década. Entre las que más se destaca está la Gobernación de Central, que apoya las gestiones de varias de sus municipalidades en esta materia, asiste a las universidades en el desarrollo de trabajos de investigación relacionados con el tema de residuos sólidos y crea una instancia interinstitucional.

#### **2.1.3.4 Inicio y proyecciones a partir del 2000**

A principio del 2000, la Organización Paraguaya de Cooperación Intermunicipal (OPACI), amplió su gestión ante los municipios, incorporando profesionales expertos en temas relacionados con el medio ambiente. Esta entidad además de asesorar en cuestiones jurídicas, financieras, contables económicas, administrativas e informáticas, también ofrece a los gobiernos locales, sin costo, asesoramiento en el tratamiento y disposición de residuos sólidos. Asimismo, la OPACI ha realizado estudios para la elaboración de proyectos para la construcción de vertederos y tratamientos de residuos sólidos (relleno sanitario) en varias localidades del país (OPS/OMS, 2001).

Otro proyecto que ya ha sido aprobado e impulsado por el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales – *BGR* del Gobierno Alemán, enfatiza la OPS/OMS(2001), y así mismo argumentan que dicho proyecto desarrollaría como punto focal el Ordenamiento Urbano, dentro del cual un componente será la evaluación de posibles vertederos para tres o cuatro ciudades importantes. El financiamiento del proyecto sería realizado con un fondo no reembolsable para la elaboración técnica del *BGR* y para la implementación del proyecto se contaría con

un financiamiento de la *Kreditanstalt für Wiederaufbau - KfW* (Cooperación Alemana al Desarrollo).

## **2.2 La gestión de residuos sólidos urbanos en Paraguay - Aspecto Social**

Según lo mencionado por Abbate (2001), el crecimiento del mercado del reciclaje ha llevado a la aparición del reciclador callejero, carritero o “ganchero”, quienes con su trabajo recuperan de la basura materiales reciclables, que constituyen materias primas con valor comercial, que son utilizadas por industrias que operan en el país y en algunos casos, los materiales reciclables son exportados al exterior.

El mismo autor menciona como dato relevante, que solo en Asunción y Área Metropolitana, se generan aproximadamente 1.400 toneladas diarias de basura de las cuales, el 20% es material reciclable, aunque solo se recupera aproximadamente el 5 %, es decir, la cuarta parte; es decir que el mercado del reciclaje mueve hoy una cantidad aproximada de 70 toneladas de residuos diariamente en el área metropolitana de Asunción. Este número podría ser mucho mayor si se implementaran políticas de separación de los residuos en las viviendas, lo que hoy se realiza solo por iniciativa propia de pocos ciudadanos, no existiendo un marco legal que establezca esta práctica como obligatoria.

Es considerable notar que el mercado del reciclaje se incrementa considerablemente si se separan los residuos de las viviendas reciclables y no reciclables, haciendo especial énfasis en el impacto social positivo que ello conlleva, además de la mejora ambiental que implicaría no enterrar un gran porcentaje de materiales que hoy tienen valor comercial (Abbate, 2011).

Abbate (2011), sugiere que, por ende, si se pretende realizar una verdadera Gestión Integral del Riesgo “GIRS”, la problemática social de aquellas personas que “viven de la basura”, debería ser atendida y para ello, la unidad municipal responsable de la recolección y disposición final, tiene la misión de desarrollar procesos de fortalecimiento de las organizaciones de recicladores, sean que éstos se organicen en el propio Vertedero, como de carriteros y segregadores callejeros, quienes de hecho realizan una recolección selectiva de materiales reciclables.

La Gestión Integral del Riesgo en Salud – GIRS, es una estrategia transversal de la Política de Atención Integral en Salud, que se fundamenta en la articulación e interacción de los agentes del sistema de salud y otros sectores para identificar, evaluar, medir, intervenir (desde la prevención hasta la paliación) y llevar a cabo el seguimiento y monitoreo de los riesgos para la salud de las personas, familias y comunidades, orientada al logro de resultados en salud y al bienestar de la población. (MINSALUD, 2018).

### **2.3 Historia del Vertedero Cateura**

Nicolás Granada (2019), en su artículo en la página web “El Surtidor” menciona lo siguiente. El “Vertedero Cateura”, un caso ejemplar de drama lento y previsible, pero que no se soluciona y con el paso del tiempo se pone peor. ¿Qué tuvo que pasar para que Asunción termine amenazada por su propia basura?.

A principios de los años ochenta, la ciudad se acercaba al medio millón de habitantes y no tenía una política de manejo de residuos sólidos, ni siquiera tenía un vertedero unificado. Anteriormente la basura se tiraba en distintos lugares, como en una salamanca detrás del Mercado 4, explica el ingeniero Ovidio Espínola, del Ministerio del Ambiente (Granada, 2019).

El autor del artículo menciona que el intendente de ese entonces, Porfirio Pereira Ruiz Díaz, un militar que no fue elegido por los habitantes para el cargo, decía: “Estaba en el Comando de Ingeniería cuando el entonces presidente Stroessner me llamó para hacerme cargo de la Municipalidad de Asunción. Me dio una semana de tiempo para limpiar las calles y arreglar todos los baches”. En 1984 su administración eligió un zanjón en un terreno público contiguo al Río Paraguay, al sur de la ciudad, para unificar el vertido final de los residuos. “Cateura tenía estas características: zona baja, humedal importante. Hoy conocemos las bondades ambientales que prestan los humedales. En ese entonces no había la suficiente conciencia”.



**Figura 1. (1)Laguna Cateura. (2)Vertedero Cateura. (3)Piletas de Lixiviados. (4)Río Paraguay. (5)Cerro Lambaré.**

Fuente: Modificado del Diario Última Hora.

## **2.4 Las regulaciones ambientales, una novedad de los 90**

Desde la proclamación de la Cumbre de la Tierra de 1992, llevada a cabo en Río de Janeiro, en el cual 120 países proclamaron una nueva idea de desarrollo, las políticas públicas comenzaron a incluir aspectos relacionados con el ambiente por medio de documentaciones. Paraguay tuvo su primera Ley que obliga a realizar evaluaciones de impacto ambiental en 1993 y en 1996 sanciona una Ley de delitos ambientales (Granada, 2019).

Tal como Granada (2019), menciona que durante las incipientes regulaciones ambientales a inicios de los años noventa, la ciudad de Asunción recibió un fuerte apoyo de la JICA, la Agencia de Cooperación Internacional del gobierno japonés, para lidiar con la basura de manera más ordenada. Colaboración técnica, camiones recolectores y otras maquinarias fueron donados. Se elaboró un plan maestro de gestión de residuos en 1994.

El mismo autor señala que expertos comentan el diagnóstico de la JICA, sobre la situación de los residuos sólidos urbanos en el área metropolitana, y fue concluyente: Cateura se encontraba en un sitio no apropiado. Por tanto, el plan consideró, entre otras cosas, el eventual cierre y mudanza del vertedero Cateura y la

colaboración y gestión intermunicipal de la basura. La propuesta tenía sentido. Asunción siempre ha compartido un flujo de vida constante con los municipios de toda el área metropolitana.

Al mismo tiempo la Municipalidad de Asunción era presionada por la ciudadanía y otros organismos estatales por el precario manejo de Cateura. “En el periodo de 1996 a 2001, en la época del intendente Burt, hubo un proceso abierto por la Fiscalía en el cual estuvo a punto de ser imputado por delitos ambientales. Porque el vertedero tendría que haberse cerrado en ese entonces, en la primera advertencia”, cuenta Franco Troche. Pero no se logró nada por una sencilla razón: “No hay un solo municipio que permita que se instale un vertedero” (Granada, 2019).

Citando a Granada (2019), refiere que EMPO inauguró el manejo técnico de los desechos, que consiste en: ordenar el vertido, compactar y recubrir, instalar ductos de ventilación de metano, hacer recircular el lixiviado entre la basura para su filtrado y posterior contención en enormes piletas protegidas. Organizó el trabajo de los gancheros, como se le llama a las personas que trabajan como recicladores, que dejaron de deambular sobre las montañas de basura. Desde entonces realizan su selección de residuos antes de que éstos ingresen a los módulos ordenados de relleno.

## **2.5 Humedales**

Teniendo como base definición establecida por la Convención Ramsar de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), son considerados humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros. Adicionalmente los humedales podrán incluir sus zonas ribereñas o costeras adyacentes, así como las islas o extensiones de agua marina de una profundidad superior a los seis metros en marea baja, cuando se encuentren dentro del humedal. Por último, Cowardin *et al.* (1979) señalan que los humedales deben reunir tres características:

-El suelo, al menos periódicamente, alberga hidrófitas;

-Los suelos son hídricos no drenados, y;

-El sustrato está cubierto con agua somera o saturado por un intervalo anual, durante la estación de crecimiento de las plantas.

Estas clases son equivalentes a tipos de humedales y derivan del concepto de firma de energía (*energy signature*) de la clasificación de ecosistemas costeros de Odum *et al.* (1974) y de la clasificación de los manglares de Lugo & Snedaker (1974), citado en Brinson & Malvárez, (2002).

-Los humedales de depresiones o de cuencas se presentan en depresiones topográficas y pueden recibir agua superficial en forma difusa o concentrada y agua subterránea.

-Los humedales de franjas lacustres se encuentran en los bordes de los lagos. Están influidos principalmente por el agua superficial del lago, pero también pueden recibir ingresos de agua subterránea.

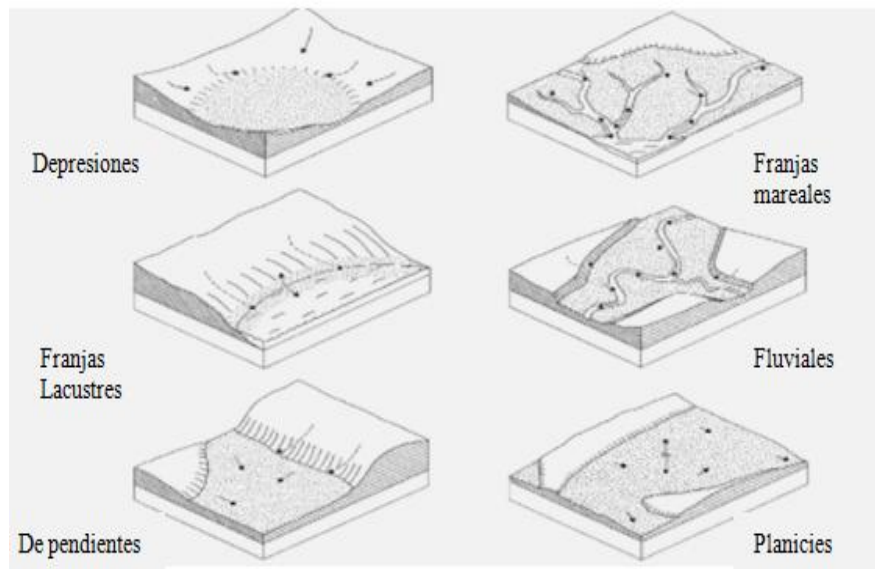
-Los humedales de pendientes se presentan en pendientes topográficas, o pueden ser puntos de descarga de agua subterránea en terreno llano.

-Los humedales de franjas mareales tienen flujos bidireccionales dados por las corrientes de mareas, y se hallan en las márgenes de los estuarios.

-Los humedales fluviales tienen flujo unidireccional e incluyen tanto el canal del río como la llanura de inundación adyacente. Pueden recibir no sólo el flujo superficial sino también el agua subterránea. En cursos de agua de orden elevado, el flujo lateral (*overbank*) cobra importancia porque conecta el hábitat del canal con los de la llanura de inundación.

-Las planicies húmedas reciben el agua de las precipitaciones como su exclusiva fuente de agua, y debido a ello se encuentran restringidas a los interfluvios de climas húmedos. Las planicies de suelos orgánicos difieren de las planicies de suelos minerales en el sustrato, siendo estas últimas mantenidas a veces por fuegos frecuentes.





**Figura 1. Seis tipos principales de emplazamientos geomorfológicos de los humedales. Las planicies húmedas, además, pueden ser subdivididas en función de la presencia de suelos orgánicos (turba) o minerales.**

Fuente: Brinson & Malvárez, 2002.

## 2.6 Llanura o Planicie de Inundación

Lugar topográficamente bajo en relación al nivel del mar, aledaño a un curso hídrico, y que es susceptible a ser inundado (Geología del Paraguay, 2014).

Según mencionan Tarbuck & Lutgens (2005), cuando el caudal de una corriente llega a ser tan grande que supera la capacidad de su cauce, desbordan sus márgenes en forma de una inundación. Las inundaciones son los más comunes y más destructivos de todos los riesgos geológicos. No obstante, forman parte simplemente del comportamiento natural de las corrientes de agua.

Citando a la página Geología del Paraguay (2014), destaca que cuando se designa un lugar como vertedero en una zona de Planicie de Inundación, ocurre eso que se aprecia en la imagen, que es el vertedero Cateura, en Asunción, a orillas del Río Paraguay.



**Figura 2. Inundación en el Vertedero Cateura.**

Fuente: Geología del Paraguay, 2014.

## **2.7 Evaluación del Impacto Ambiental**

El término impacto (presentado en esta formulación por primera vez en 1824), se forma de *impactus* que en latín significa literalmente "chocar". Pero, en 1960 se le otorgó el toque figurativo de acción fuerte y perjudicial. Así, en conjunción con la palabra ambiental, se le dio un significado de efecto producido en el ambiente y los procesos naturales por la actividad humana en un espacio y un tiempo determinados (Wathern, 1988).

De este modo André *et al* (2004), hacen mención a que el impacto ambiental (IA) implica los efectos adversos sobre los ecosistemas, el clima y la sociedad debido a las actividades, como la extracción excesiva de recursos naturales, la disposición inadecuada de residuos, la emisión de contaminantes y el cambio de uso del suelo, entre otros. Se reconocen impactos directos e indirectos (por el efecto secundario de los anteriores), que poseen tres dimensiones comunes de magnitud, importancia y significancia.

A causa de la complejidad del concepto del EIA, la evaluación de impacto ambiental (EIA) debe de considerar en su proceso el análisis de diversos aspectos

biofísicos (la degradación de ecosistemas, la pérdida de especies, el cambio en la resiliencia, etc.), y antropogénicos (en relación con la vulnerabilidad social, la reversibilidad de impactos y las consecuencias económicas, entre otros). Por otra parte se mencionan tres principales componentes conceptuales que deben formar parte de la EIA: eco sistémico (atmósfera, hidrosfera, litosfera, biosfera), administrativo (aspectos organizativos, políticos, socioeconómicos) e investigación (básica y aplicada, monitoreo y educación ambiental); todos los componentes se interrelacionan entre sí en tres niveles de acción: global, regional y local, lo que se refleja en el esquema conceptual del desarrollo sustentable (Velasco, 2000).

## **2.8 Ordenamiento Territorial en Paraguay**

Como plantea el (PMDyOT) Pan Marco Desarrollo y Ordenamiento Territorial (2011), actualmente el mapa paraguayo muestra un territorio desequilibrado, fenómeno que se consolida año a año, debido a la concentración de población en algunos lugares, especialmente sobre el área metropolitana de Asunción y también sobre las ciudades de Encarnación y Ciudad del Este, y al despoblamiento y pérdida de oportunidades de áreas rurales remotas, con bajos niveles de conectividad o con baja capacidad de valorización de sus recursos.

Paraguay también presenta problemas ambientales y de deterioro del paisaje, derivados del modelo de desarrollo económico y de la carencia de planes de ordenamiento territorial, situación que es muy clara y evidente en las ciudades. Esta degradación del ambiente, la pérdida de biodiversidad y el deterioro del paisaje no son problemas actuales, sino que también son un problema potencial pues limita el desarrollo hacia el futuro, no sólo por la falta de recursos (bosques), sino también porque un paisaje degradado no permite generar oportunidades de desarrollo (mejora de la calidad de vida, turismo, etc.) (PMDyOT. 2011).

El PMDyOT (2011), consideran que para revertir estos procesos y conducir en forma efectiva y favorable las dinámicas del proceso de globalización es necesario poner en marcha un plan de ordenamiento territorial, lo cual no constituye solamente una estrategia para mejorar el paisaje o para ordenar ciertos espacios, sino que se constituye en una estrategia clave para viabilizar el resto de las políticas sectoriales

del país y transformar el crecimiento económico proveniente de la valorización de los recursos naturales, en desarrollo sostenible.

No obstante, el PMDyOT (2011), expresa que para lograr una mayor integración calidad de vida y competitividad de los sistemas productivos del Paraguay, es necesario preservar los recursos naturales y culturales, base del desarrollo nacional, lo cual deberá hacerse a través de políticas integrales de ordenamiento y preservación de los mismos.

Como plantea el PMD y OT (2011), un Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial es un proceso de gestión que permite, a través de sus diferentes instrumentos (acciones, normativas e instrumentos) organizar más eficazmente el territorio de manera que se generen las condiciones básicas que viabilicen el desarrollo económico productivo, la mejora de la calidad de vida de la población, el desarrollo político institucional y la sustentabilidad ambiental.

## **2.9 Contaminación de Aguas Superficiales y Subterráneas**

Uno de los principales impactos que producen los vertederos es la contaminación de aguas subterráneas y superficiales, causadas por los lixiviados, que se puede prolongar de 20 a 30 años después de su clausura (Castillo, 2009).

Según el planteamiento de la misma autora, el lixiviado es un efluente líquido liberado por la masa de residuos como resultado de la descomposición de fracciones orgánicas y putrescibles, pudiendo llevar líquido sin miscibles (por ejemplo aceites), pequeñas partículas (sólidos suspendidos), microorganismos (por ejemplo bacterias) y virus. La mayor o menor gravedad de su contaminación estará determinada por diversos factores, entre los que se encuentran: la composición, cantidad, diseño y características del tratamiento del vertedero, clima, la morfología, permeabilidad y litología del sustrato, profundidad de la masa de agua, edad del vertedero, toxicidad, bioacumulación y persistencia de algunas sustancias del efluente, compactación y capacidad de absorción del residuo, pH, presencia de microorganismos e inhibidores, rango de movimiento de aguas y métodos de colocación de los residuos.

Su carga orgánica e inorgánica puede ser muy alta, con elevados valores en la Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO), y nutrientes como el nitrógeno y fósforo, por lo que si se vierten sobre cauces superficiales, pueden producir la eutrofización de las aguas y la disminución de la concentración de oxígeno disponible para los organismos. La solubilidad química de los residuos es también un factor importante, ya que pueden contener cantidades significativas de arsénico, plomo y cadmio que los hace potencialmente contaminantes y afectar a su uso (Castillo, 2009).

Como señala Castillo (2009), el lixiviado también puede contaminar las aguas subterráneas. Dicha contaminación se puede producir como consecuencia de tres mecanismos: percolación de aguas de escorrentía superficial o aguas superficiales contaminadas, migración directa de los lixiviados a través del suelo que se encuentra por debajo de la masa de residuos, e intercambio entre acuíferos. Los acuíferos tienen la característica de actuar como sistemas de tratamiento naturales que atenúan las emisiones de lixiviados en los vertederos; las plumas de lixiviados tienen una capacidad de atenuación natural que depende del tamaño del vertedero, heterogeneidad del material de desecho y de la cantidad de contaminantes potenciales implicados. Algunos autores indican que en la mayoría de los casos el alcance de las plumas es relativamente pequeño, excediendo en raras ocasiones de los 1000 metros. Sin embargo, existen estudios que muestran problemas de contaminación en aguas subterráneas a mayores distancias que en algunos casos superaron los 3 km.

## **2.10 Definición de Calidad de Agua**

Las aguas superficiales (lagos de agua dulce, ríos, lagunas, ciénagas) que son las que el hombre utiliza para desarrollar sus funciones básicas (abastecimiento de agua potable, navegación, recreación, etc.), desafortunadamente son las que se encuentran más contaminadas debido a que reciben directamente las descargas de aguas residuales sin ningún tratamiento. Muchas corrientes superficiales en el mundo se encuentran en estados avanzados de contaminación y no tienen ningún uso, excepto el de ser receptoras de desechos (Sierra, 2011).

El autor describe lo siguiente: en vista de la complejidad de los factores que determinan la calidad del agua y la gran cantidad de variables utilizadas para describir el estado de los cuerpos de agua en términos cuantitativos, es difícil dar una definición simple de “calidad del agua”. Además, los conocimientos sobre calidad del agua han evolucionado a través del tiempo a medida que ha aumentado su demanda en diferentes usos y han mejorado los métodos para analizar e interpretar sus características. La calidad de un ambiente acuático se puede definir como: Una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas, y la composición y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua. La calidad presenta variaciones espaciales y temporales debido a factores externos e internos al cuerpo de agua.

La contaminación de un ambiente acuático significa la introducción por el hombre directa o indirectamente de sustancias o energía lo cual resulta en problemas como: daños en los organismos vivos, efectos sobre la salud de los humanos, impedimento de actividades acuáticas como natación, buceo, canotaje, pesca, etc., e interferencia sobre actividades económicas como el riego, el abastecimiento de agua para la industria, etc. (Sierra, 2011).

### **2.10.1 Parámetros Físicos, Químicos y Biológicos**

Para saber qué tan pura o qué tan contaminada está el agua es necesario medir ciertos parámetros. Los parámetros de calidad del agua están clasificados en físicos, químicos y microbiológicos. Como se puede intuir existen muchos parámetros, muchas formas y varios métodos para medir dichos parámetros. Para obviar estos problemas, las agencias internacionales encargadas de vigilar y estudiar la calidad del agua han estandarizado (unificado) los criterios y los métodos para realizar los análisis del agua en el laboratorio (Sierra, 2011).

### **2.10.2 Parámetros Físicos**

Los parámetros físicos según Sierra (2011), se clasifican como parámetros físicos aquellas sustancias que tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua.

### 2.10.2.1 Sólidos

Para dar un diagnóstico acerca de la calidad del agua, es necesario determinar la cantidad de material sólido que contiene la muestra. Se presenta los diferentes tipos de sólidos que existen en la mecánica de calidad del agua y entre paréntesis, como ejemplo, está el porcentaje en que comúnmente se encuentran en las aguas residuales (Sierra, 2011).

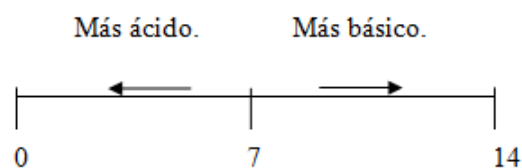
El primer tipo de sólidos de importancia para determinar la calidad del agua son los sólidos totales disueltos (STD) como menciona Sierra (2011). Así también el mismo autor menciona que los STD se definen como todo el material que queda después de evaporar el agua a 105°C o más, es decir, ST es todo aquello presente en la muestra, excepto agua. Los sólidos sedimentables se definen como el material que se sedimenta en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de *Imhoff*) en el transcurso de un período de 60 minutos. Los sólidos sedimentables se expresan en ml/L; se dividen en sólidos suspendidos y sólidos disueltos. En el agua la mayoría de los sólidos se hallan disueltos (SD) y consisten principalmente en sales y gases.

### 2.10.3 Parámetros Químicos

Los parámetros químicos del agua se dividen en dos clases: Indicadores (pH, acidez, alcalinidad) y sustancias químicas. Los indicadores se definen como los parámetros cuyas concentraciones en el agua se deben a la presencia e interacción de varias sustancias (Sierra, 2011).

#### 2.10.3.1 Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH es el término utilizado para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua. Por análisis químicos se sabe que el pH siempre se encuentra en una escala de 0 a 14. La escala de pH se describe en la figura 4.



**Figura 4. Escala de pH.**

Fuente: Modificado de Características físicas, químicas y biológicas del agua. Sierra 2011.

La escala de valores del pH se asemeja a la de un termómetro. Mientras que la escala de un termómetro mide la intensidad de calor, el pH mide la intensidad de la acidez o basicidad. Es importante decir que el pH mide el grado de acidez o de alcalinidad, pero no determina dichos valores. El pH se puede medir en el campo o en el laboratorio por medio de instrumentos electrónicos (pHchímetro) (Sierra, 2011).

### **2.10.3.2 Salinidad**

El conocimiento de la salinidad es fundamental en estudios oceanográficos, pues es necesario para la determinación de corrientes y la identificación de masas de aguas. En estudios ambientales es un factor importante porque puede significar la presencia o no de organismos y peces (Garay *et al*, 2003).

Garay *et al* (2003) señala que la salinidad se puede calcular a partir de la conductividad, el resultado es numéricamente menor que el residuo filtrable y se reporta usualmente como gramos por Kg o partes por mil (psuó ‰). La mayor parte de las sales disueltas en el agua de mar están en forma de halogenuros, que, a excepción del flúor, se determinan globalmente por argentimetría. La salinidad se puede determinar a partir de la conductividad eléctrica, gravedad específica o con equipos tales como el salinómetro de inducción o el refractómetro; de todos, el menos preciso es este último.

Actualmente en la mayoría de laboratorios se mide por medio de la conductividad, la cual se define como la capacidad que tiene una sustancia de transportar electrones (conducir electricidad); en el agua, esta capacidad se ve influenciada por la cantidad de sales disueltas y la temperatura. Esto significa que a mayor contenido de sales, mayor conductividad; de esta forma, se puede emplear esta propiedad para medir el contenido de sales en una muestra de agua (Garay *et al*, 2003).

### **2.10.3.3 Conductividad (Ce)**

La conductividad es un indicativo de las sales disueltas en el agua y mide la cantidad de iones especialmente de Calcio, Magnesio, Sodio, Fósforo, bicarbonatos,



cloruros y sulfatos. Se mide en micromhos/cm o Siemens/cm. La conductividad es una medida indirecta de los sólidos disueltos. De acuerdo con la experiencia se pueden correlacionar con la siguiente expresión: Sólidos totales disueltos (mg/L) = 0,55 a 0,7\*conductividad ( $\mu\text{mhos/cm}$ ). Las aguas que contienen altas concentraciones de conductividad son corrosivas (sustancias que pueden destruir o dañar irreversiblemente otra superficie o sustancia con la cual entra en contacto) (Sierra, 2011).

#### **2.10.3.4 Nitrógeno (N)**

El Nitrógeno es un no metal en estado gaseoso, de símbolo N, grupo 5A de la tabla periódica de los elementos, y se lo considera un elemento inerte, así como el fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores. Debido a que el N es absolutamente básico para la síntesis de proteínas, será preciso conocer datos sobre la presencia del mismo en las aguas, y en qué cantidades, para valorar la posibilidad de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales mediante los procesos biológicos (Sierra, 2011).

Sierra (2011), plantea que el nitrógeno total está compuesto de nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato. El nitrógeno amoniacal se encuentra en solución acuosa en forma de ion amonio o como amoníaco, en función del pH de la solución.

Los ambientes acuáticos sin contaminar contienen pequeñas cantidades de nitrógeno amoniacal, generalmente menores de 0,1 mg N/L. Las concentraciones de nitrógeno amoniacal medidas en aguas superficiales son típicamente menores de 0,2 mg/L pero pueden alcanzar hasta 2-3 mg N/L. Concentraciones más altas pueden indicar que existe contaminación de origen orgánico procedente de vertimientos de agua residual doméstica, industriales o producida por la escorrentía que arrastra fertilizantes. El nitrógeno amoniacal, es por lo tanto, un indicador de contaminación orgánica. En los ambientes lenticos (lagos, embalses), es factible que se presenten altas concentraciones de nitrógeno amoniacal debido a la descomposición de la materia orgánica en condiciones anóxicas (Sierra, 2011).

Sierra (2011), señala que cuando existen actividades antrópicas, las aguas superficiales pueden tener concentraciones hasta de 5 mg NO<sub>3</sub>/L pero normalmente menores de 1 mg NO<sub>3</sub>/L. Concentraciones por encima de los 5 mg NO<sub>3</sub>/L usualmente indican contaminación, ya sea por desechos domésticos, de animales o la escorrentía. En lagos y embalses concentraciones de nitratos por encima de 0,2 mg NO<sub>3</sub>/L ya empiezan a generar problemas de eutrofización en el agua.

#### **2.10.3.5 Sodio (Na)**

El sodio es un elemento químico de símbolo Na, grupo 1A de la tabla periódica de los elementos, es un metal alcalino blando, untuoso, de color plateado, muy abundante en la naturaleza, encontrándose en la sal marina y el mineral halita. Es muy reactivo, arde con llama amarilla, se oxida en presencia de oxígeno y reacciona violentamente con el agua. El sodio está presente en grandes cantidades en el agua del océano en forma iónica. También es un componente esencial para la vida. El sodio flota en el agua descomponiéndola, desprendiendo hidrógeno y formando un hidróxido. En las condiciones apropiadas reacciona espontáneamente en el agua. Normalmente no arde en contacto con el aire por debajo de 40 °C (Aragón & Sanchez, 2015).

En el trabajo de Aragón & Sanchez (2015), definen que el ión sodio (Na<sup>+</sup>), corresponde a sales de solubilidad muy elevada y difíciles de precipitar, suele estar asociado al ión cloruro. El contenido de las aguas dulces está entre 1 y 150 ppm, pero se pueden encontrar casos de hasta varios miles de ppm. Las aguas de mar contienen alrededor de 11,000 ppm. Es un indicador potencial de la corrosión. La determinación se hace por fotometría de llama.

La mayor fuente de sodio es el cloruro de sodio o una ración común de sal, del cual el sodio constituye el 40%. Sin embargo, todos los alimentos contienen sodio en forma natural, siendo más predominante la concentración en alimentos de origen animal que vegetal. Aproximadamente 3 gramos de sodio están contenidos en los alimentos que se consumen diariamente, sin la adición de cloruro de sodio o sal común, esto es importante considerarlo en pacientes que tengan una restricción o disminución en la ingesta de sal diaria (pacientes nefrópatas, diabéticos, hipertensos).

El requerimiento de sodio es de 500 mg/día aproximadamente. La mayoría de las personas consumen más sodio que el que fisiológicamente necesitan, para ciertas personas con presión arterial sensible al sodio, esta cantidad extra puede causar efectos negativos sobre la salud (Aragón & Sanchez, 2015).

#### **2.10.4 Definición de Calidad de Sedimentos**

Los sedimentos son partículas no consolidadas creadas por la meteorización y la erosión de rocas, por precipitación química de soluciones acuosas o por secreciones de organismos, y transportadas por el agua, el viento o los glaciares (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Debido a que es un depósito de partículas desde el punto de vista geológico, se pueden clasificar de acuerdo con el tamaño del grano, la textura y la materia constituyente.

Posee un importante papel ecológico, ya que muchas especies pelágicas tienen el comienzo de su ciclo de vida bentónico. La fauna bentónica posee un largo rango de estrategias alimenticias, que pueden clasificarse como detritívoras, filtradoras y depredadoras. La exposición a través del alimento es uno de los medios de consumo de contaminantes por la fauna bentónica. Esos contaminantes pueden ser la materia orgánica, el petróleo, pesticidas, metales y compuestos orgánicos, etc. (Alves, 2014).

Con base en el trabajo de Alves (2014), el estudio de los sedimentos es de gran importancia debido a interferencias tales como la excavación, el mal uso del suelo, la deposición de materiales de desecho, muchas veces en lugares no deseados, residuos industriales y domésticos, aguas residuales, deposición de contaminantes atmosféricos, entre otros.

El sedimento es el primer destino de las sustancias. Cuando se introduce en el sistema, los contaminantes tienden a permanecer por un período corto en la columna de agua, parte disueltos en el agua y parte adsorbidos por los materiales en suspensión o asociados con sales, carbono orgánico y arcillas, precipitándose al fondo y depositándose en los sedimentos, donde entran en contacto con los

organismos bentónicos. La capacidad de acumulación y la concentración de los contaminantes disponibles a la biota varían de acuerdo con las características físico químicas del medio ambiente, tales como el pH, la salinidad y el contenido de materia orgánica (Meyer, 2002 citado en Alves, 2014).

Procesos químicos, físicos y biológicos pueden dar lugar a la liberación de contaminantes retenidos en el sedimento, tornándolos biodisponibles en la columna de agua, produciendo así posibles riesgos a la biota pelágica y bentónica. La concentración de compuestos en el sedimento permite estimar el nivel de contaminación. Sin embargo, el impacto de los contaminantes en la biota bentónica depende de su biodisponibilidad y toxicidad para los organismos (Parsons *et al*, 2007 citado en Alves, 2014).

El sedimento bruto se puede considerar un componente ambiental adecuado para indicar la calidad de un ecosistema acuático, ya que es un sustrato importante para muchos organismos. Está reconocido como el principal destino de las sustancias antropogénicas introducidas en los cuerpos de agua, y tiene potencial de acumulación en niveles superiores a los observados en la columna de agua adyacente, para contaminantes como metales y compuestos orgánicos; su evaluación es crucial, ya que integra la exposición a partir del contacto directo con la fase sólida de los sedimentos, el agua intersticial y la exposición a través del alimento; materia orgánica, carbono orgánico total y la geoquímica del sedimento son los principales factores que controlan a adsorción de estos compuestos y que pueden afectar la biodisponibilidad a la biota (Alves, 2014).

La evaluación de la calidad ambiental de sedimentos es un procedimiento escalonado, siendo que primero se analizan las propiedades físicas y químicas de los materiales, incluyendo granulometría, contaminantes y nutrientes. Si la información obtenida no es suficiente para una evaluación final, se requiere la determinación de los posibles efectos ecotoxicológicos del sedimento usando bioensayos. Las características físico-químicas de los sedimentos junto con los efectos biológicos son recomendados en diversas guías, como OSPAR (Convención para la Protección del

Medio Ambiente Marino del Atlántico del Nordeste), Helsinki *Conventions*, de Canadá y Estados Unidos (Alves, 2014).

#### **2.10.4.1 Metales Pesados en Agua y Sedimentos**

Jiménez (2001), plantea que la presencia de sedimentos contaminados en ambientes acuáticos, ya sea en aguas continentales o en aguas marinas, es un hecho constatado a nivel mundial, sobre todo a partir de la segunda mitad del siglo XX. La existencia de estos sedimentos es debido tanto a los vertidos incontrolados desde industrias como a la utilización de productos químicos tales como los pesticidas que van a parar a los sedimentos una vez que son transportados desde zonas agrícolas por las aguas. En otros casos, éstos son debido a los vertidos "controlados" tales como emisores submarinos que vierten aguas residuales principalmente domésticas, aunque en aquellas zonas donde no existe separación de tratamiento y "conducción", se mezclan las aguas residuales industriales con las domésticas, aumentando la carga contaminante y el nivel de toxicidad.

La presencia de elementos metálicos en sistemas acuáticos fluviales y costeros se origina por las interacciones del agua con los sedimentos y la atmosfera con la que está en contacto, produciéndose fluctuaciones en las concentraciones en el agua, como resultado de las fuerzas hidrodinámicas naturales, biológicas y químicas (Rainbow 1995, citado en Macías, 2015).

#### **2.10.4.2 Importancia de analizar los Metales Pesados**

Ramos (2015), Define la importancia que tiene el estudio de metales pesados en aguas y sedimentos es por su elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación por los organismos vivos. Los efectos tóxicos de los metales pesados no se detectan fácilmente a corto plazo, aunque si puede haber una incidencia muy importante a medio y largo plazo.

Los metales son difíciles de eliminar del medio, puesto que los propios organismos los incorporan a sus tejidos y de éstos a sus depredadores, en los que se acaban manifestando. La toxicidad de estos metales pesados es proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos, un metal disuelto en forma iónica

puede absorberse más fácilmente que estando en forma elemental, y si esta se halla reducida finamente aumentan las posibilidades de su oxidación y retención por los diversos órganos (Ramos, 2015).

#### **2.10.4.3 Cromo (Cr)**

El cromo es un elemento químico de símbolo Cr, del grupo 6B de la tabla periódica de los elementos. Es un metal, se usa en aleaciones y pigmentos para cemento, papel, pinturas, caucho y otras aplicaciones. Frecuentemente se acumula en ambientes acuáticos, por lo que existe cierto riesgo de ingerir pescado contaminado. Los bajos niveles de exposición pueden provocar irritación de la piel y úlceras, mientras que la exposición prolongada puede causar daños hepáticos y renales, al tejido nervioso y al sistema circulatorio (Duffus 2002, citado en Macías, 2015).

Macías (2015), define que la toxicidad asociada con el cromo se debe principalmente a una exposición industrial a los compuestos de cromo hexavalente. Esta forma irrita la piel y la sensibiliza. Cuando los trabajadores en la producción de cromatos y de pigmentos con cromo se exponen a concentraciones de 0.1 mg/m<sup>3</sup> en el aire, pueden desarrollar cierta incidencia de cáncer en la piel

La estimación diaria de ingreso de cromo en humanos es de 0.03 a 0.1 mg/persona/día. El cromo trivalente es esencial para los seres humanos y se requiere de tal elemento para tener un balance normal en el metabolismo del colesterol, la insulina y la homeostasis de la glucosa. La deficiencia de cromo está asociada con el decremento a la tolerancia a la glucosa, en algunas formas de diabetes y en decesos cardiovasculares (Páez 2005, citado en Macías 2015).

Los efectos en los sistemas acuáticos de los metales pesados, su biodisponibilidad y toxicidad están estrechamente relacionados con la distribución de las especies en las fases sólida y líquida de las masas de agua. Por ejemplo, la liberación de metales pesados de los sedimentos promueve, un déficit de oxígeno disuelto, una disminución en el pH y potencial redox (Eh), un aumento en la mineralización y en la concentración de materia orgánica disuelta (DOM). Este fenómeno es uno de los problemas más graves que los metales pesados presentan como contaminantes del medio acuático (Mandelli 1979, citado en Macías 2015).

#### **2.10.4.4 Mercurio (Hg)**

Es el Tercer elemento del grupo 2B en la tabla periódica, símbolo Hg. El mercurio existe en varias formas: elemental (o metálico) e inorgánico (al que la gente se puede ver expuesta en ciertos trabajos); u orgánico (como el metilmercurio, que penetra en el cuerpo humano por vía alimentaria). Estas formas de mercurio difieren por su grado de toxicidad y sus efectos sobre los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo, la piel y los pulmones riñones y ojos (Ramos, 2015).

El mismo autor menciona que el mercurio, presente de forma natural en la corteza terrestre, puede provenir de la actividad volcánica, la erosión de las rocas o la actividad humana. Esta última es la principal causa de las emisiones de mercurio, procedentes sobre todo de la combustión de carbón en centrales eléctricas, calefacciones y cocinas, de procesos industriales, de la incineración de residuos y de la extracción minera de mercurio, oro y otros metales. Una vez liberado el mercurio al medio, ciertas bacterias pueden transformarlo en metilmercurio. Este se acumula entonces en peces y mariscos (se entiende por bioacumulación una concentración de la sustancia más elevada en el organismo que en su entorno).

Para la OMS, el mercurio es uno de los diez productos o grupos de productos químicos que plantean especiales problemas de salud pública. Considerado un contaminante global. Proviene principalmente de la desgasificación de la corteza terrestre, las emisiones volcánicas y la evaporación de las masas de agua. Es utilizado en pilas, lámparas y termómetros. También se usa en industrias químicas las principales fuentes de emisión de mercurio son la fabricación de cloro en celdas de mercurio, producción de metales no ferrosos y la combustión de carbón mineral (plantas generadoras de energía eléctrica a base de la incineración de carbón). Es tóxico y no se lo encuentra naturalmente en organismos vivos (Ramos, 2015).

Algunos procesos biológicos naturales pueden generar compuestos metilados de mercurio que se acumulan en los organismos vivos, especialmente en peces. El metil mercurio es muy tóxico y provoca enfermedades neurológicas. La principal ruta de ingreso a los seres humanos es por la cadena alimentaria. Cuando los peces que se encuentran en aguas contaminadas de este metal lo ingieren, por el

ciclo de la alimentación finalmente el Hg termina en los seres humanos ocasionando graves perjuicios en la salud humana (Ramos, 2015).

#### **2.10.4.5 Plomo (Pb)**

El Plomo es el quinto elemento del grupo 4A en la tabla periódica de los elementos, símbolo Pb; El plomo es un metal pesado, de color azulado, que se empaña para adquirir un color gris mate. El Plomo es un metal blando que ha sido conocido a través de los años por muchas aplicaciones. Este ha sido usado ampliamente desde el 5000 antes de Cristo para aplicaciones en productos metálicos, cables y tuberías, pero también en pinturas y pesticidas. El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana. Este puede entrar en el cuerpo humano a través de la comida (65%), agua (20%) y aire (15%). Las comidas como fruta, vegetales, carnes, granos, mariscos, refrescos y vino pueden contener cantidades significantes de Plomo. El humo de los cigarrillos también contiene pequeñas cantidades de Plomo (Ramos, 2015).

El Plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano, este puede principalmente hacer daño después de ser tomado en la comida, aire o agua. El plomo proviene de fuentes naturales y antropogénicas (Ramos, 2015).

Puede ingresar al organismo por vía oral, el agua, alimentos, o por vía respiratoria, la tierra y polvillo desprendidos de viejas pinturas conteniendo plomo. Entre sus características más relevante están maleabilidad, ductilidad y se le puede dar forma con facilidad. Así mismo, es uno de los metales no ferrosos que más se recicla, se emplea en aleaciones, bacterias, compuestos y pigmentos, revestimientos para cable, proyectiles y municiones. La exposición a este metal puede tener diversos efectos en humanos. Los niveles altos de exposición pueden afectar la síntesis de hemoglobina, la función renal, el tracto gastrointestinal, las articulaciones y el sistema nervioso (Ramos, 2015).

El contacto de plomo puede ser por medio de agua potable, comidas y bebidas contaminadas, con juguetes, medicinas tradicionales, cosméticos y con la tierra, polvo, agua, aire de las cercanías de minas y fundiciones. Aunque a la gasolina y la pintura ya no se les agrega plomo debido a que se le eliminó en 1977, dicho



elemento aún es un problema de salud. El plomo está en todas partes, incluyendo la suciedad, el polvo, los juguetes nuevos y la pintura de casas viejas, pero infortunadamente no se puede ver, detectar con el gusto ni oler (Ramos, 2015).

## **2.11 Normas de regulación de Metales en Sedimentos**

En Paraguay no existe una legislación que regule la concentración de metales pesados en sedimentos, por tal motivo, se consideran como referencias las Guías de Calidad Ambiental Canadiense (*CEQG*, por sus siglas en inglés, *Canadian Environmental Quality Guidelines*), que significa “Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME)”, es una organización intergubernamental en Canadá con miembros del gobierno federal, diez gobiernos provinciales y tres gobiernos territoriales (CCME, 2001; Laino *et al.* 2015, citado en Britez, 2019).

El propósito del Consejo es "lograr resultados ambientales positivos, centrándose en cuestiones de alcance nacional y que requieren la atención colectiva de varios gobiernos; establecen parámetros de metales pesados en sedimentos de cuerpos de agua continentales. En primer lugar se encuentra el Nivel de Efecto Umbral (*TEL*, por sus siglas en inglés *Threshold Effect Level*) que es el valor más bajo, que representa la concentración por debajo de la cual no se espera que ocurran efectos biológicos adversos, y por otro lado se encuentra el Nivel de Efecto Probable (*PEL*, siglas en inglés, *Probable Effect Level*), que define la concentración o el nivel sobre la cual aparecen con frecuencia efectos biológicos adversos (CCME, 2001; Laino *et al.* 2015, citado en Britez, 2019).

Calculando *PEL* y *TEL* de acuerdo a una fórmula estándar, se definen consistentemente en tres rangos de concentraciones químicas: -El rango mínimo de efectos dentro del cual los efectos adversos raramente ocurren (es decir, menos del 25% de los efectos adversos ocurren por debajo del *TEL*), -El posible rango de efectos dentro del cual el efecto ocasionalmente ocurre, (es decir, el rango entre *TEL* y el *PEL*), y -El rango de efectos probables dentro del cual ocurren frecuentemente los efectos biológicos adversos (es decir, más del 50% de los efectos adversos ocurren por encima del *PEL*) y por último está la norma de metales en sedimentos de fondo (*backgroundlevels*) establecidos en la tabla de referencia (*Screening Quick*

*Reference Table for Inorganics in Freshwater Sediment*) emitida por la Administración Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA, por sus siglas en inglés, *National Oceanic and Atmospheric Administration*) (CCME, 2001; Laino *et al.* 2015, citado en Britez, 2019).

**Tabla 1. Parámetros internacionales de concentraciones de metales pesados en sedimentos.**

Elementos	CCME-SQGPA mg/kg		NOAA mg/kg
	TEL	PEL	
Aluminio (%)			0,26%
Antimonio			0,16
Arsénico	5,9	17	1,1
Bario			0,7
Cadmio	0,6	3,5	0,1-0,3
Cobalto			10
Cobre	35,7	197	10
Cromo Hexalable			
Cromo Total	37,3	90	7-13
Estaño			5
Estroncio			49
Hierro (%)			0,99-1,8%
Manganeso			400
Mercurio	0,17	0,486	0,004-0,051
Níquel			9,9
Plata			<0,5
Plomo	35	91,3	4
Selenio			0,29
Vanadio			50
Zinc	123	315	7

Fuente: Varios autores. Citado en Britez, 2019.

## 2.12 Granulometría

La granulometría del material detrítico en un lago o laguna es muy variada, yendo desde gravas a arcillas; no obstante, predominan los tamaños correspondientes a las fracciones más finas: limos y arcillas, quedando los más gruesos restringidos, generalmente, a la orilla litoral. En general son sedimentos de grano fino, predominando los limos y las arcillas. El contenido de materia orgánica puede ser muy alto, sobre todo en zonas pantanosas y frecuentemente presentan estructuras laminadas en niveles muy finos (Barona *et al*, 2012).

La granulometría de los sedimentos se ejemplifica en la siguiente tabla.

**Tabla 2. Escala de tamaño de sedimentos.**

Tamaño				
Milímetros (mm)	Phi Ø	Wentworth Size Class		
4096	-12	Bloques	Grava	
256	-8			
64	-6			
4	-2			
2	-1			
1	0	Arena muy gruesa		
0,5	1	Arena gruesa		
0,25	2	Arena media	Arena	
0,125	3	Arena fina		
0,0625	4	Arena muy fina		
0,031	5	Limo grueso		
0,0156	6	Limo medio	Limo	
0,0078	7	Limo fino		
0,0039	8	Arcilla	Lodo	
0,00006	14			

Fuente: Modificado de Wentworth, 1922. Citado en Salinas, 2019.

Una manera para clasificar los diámetros de los sedimentos es a través de la escala granulométrica, determinados por el tamaño de los granos o partículas en grava (>2 mm), arena (2 mm a 64 µm), limo (64 µm a 4 µm) y arcilla (<4 µm). Estos generalmente se separan en clastos grandes denominados granos (grava, arena) y

clastos finos denominados partículas (limo y arcilla) (Wentworth 1922, citado en Salinas, 2019).

### 2.11.1 Analisis Granulométrico por Método Tamizado

En el Libro “El Terreno”, de González (2001) se define Analisis Granulométrico como la ordenación de las diversas fracciones del suelo o en función del tamaño de sus partículas; y granulometría se define como relación de porcentajes, en peso, de los distintos tamaños de grano que se encuentran en ella, determinados por tamizado, sedimentación, u otros métodos.

En el análisis granulométrico por el método tamizado, los tamices son una serie de recipientes cilíndricos a modo de cacerolas metálicas, con bases de enrejado de alambre de distinto tupido, que sirven para seleccionar los tamaños, por medio del entramado o rejilla o malla de alambre de aberturas distintas y normalizadas, (Figura 5). Existe una serie de tamices normalizados por la *ASTM (American Society of Testing Materials)* Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, por sus siglas en inglés.



**Figura 5. Set de Tamices.**

Fuente: Elaboración propia.

Esta técnica comienza secando las muestras a la intemperie o en un horno de secado a 60°, luego la muestra es homogeneizada y cuarteada con el fin de obtener de 50 a 200 gramos, mayor tamaño de partícula, mayor cantidad de sedimento, se retira las fibras y raíces vegetales, el resto se guarda en la bolsa de colecta original.

Luego se colocan los tamices por apertura de malla en orden decreciente con el plato de fondo abajo, se vierte la muestra en el primer tamiz, las demás series son tapadas y colocadas en el vibrador mecánico y se agita la muestra en un periodo de 15 a 20 minutos, concluido el tamizado, se procede a pesar los sedimentos que quedan en cada tamiz, con una balanza de precisión y se anota los pesos de cada fracción en una tabla de resultados para su análisis granulométrico correspondiente (Pérez, A. & Márquez, A. 2017, citado en Salinas 2019).

Con esos resultados se pueden graficar curvas granulométricas, se dispone en eje de abscisas el tamaño en mm de las partículas y/o el número del tamiz, y en el de ordenadas, el % del peso de suelo que pasa (González, 2001).

## **2.12 Geología Regional**

La configuración estructural iniciada con la formación del Rift de Asunción en el Cretácico superior, con dirección preferencial NW-SE, continuado con intrusiones y efusiones ígneas de la Suite Sapucái y posterior relleno sedimentario continental de los macizos rocosos circundantes (de edades Ordovícico- Silúrico, principalmente), es el principal responsable de la geomorfología actual en la zona Centro-Este del país (Proyecto PAR 83/005, 1986).

Los rellenos sedimentarios corresponden a la Formación Patiño constituida principalmente por conglomerados (Cerro Patiño) a fanglomerados (Cerro Perõ), polimícticos en su parte basal y gradualmente pasa a areniscas medias mal seleccionadas (Cerro Yaguarón, Ita Pyta Punta) en estratos superiores. Este paquete sedimentario abarca las edades desde el Cretácico Superior hasta el Paleógeno (Terciario Inferior), interrumpido por intrusiones y efusiones ígneas ultramáficas de la Suite Ñemby (Cerro Lambaré), que localmente a afectado este paquete sedimentario en áreas pocos consolidadas con la formación de areniscas columnares, por un efecto de calentamiento (ingresión de fluidos silíceos) y enfriamiento (disyunción columnar) procesos hidrotermales, poco frecuentes en la naturaleza (Comin Chiamonti *et al*, 1991).

## **2.12.1 Estratigrafía**

### **2.12.1.1 Grupo Asunción**

El Grupo Asunción es el relleno de una fosa tectónica denominado Graben de Asunción, producto de la fase posterior magmática del Ciclo Tectónico Sud atlántico a partir del Mesozoico medio, atribuyendo su origen a un último pulso en la evolución del Rift de Asunción (González & Bartel, 1998).

El Graben de Ypacaraí se presenta como un comportamiento deprimido, de orientación NW-SE, encajado entre dos bloques levantados que configuran los bordes del segmento central del Rift de Asunción. La Orientación del graben coincide con la dirección del principio *trend* estructural del área de estudios, obtenido a partir de lineamientos (Martins, S/F).

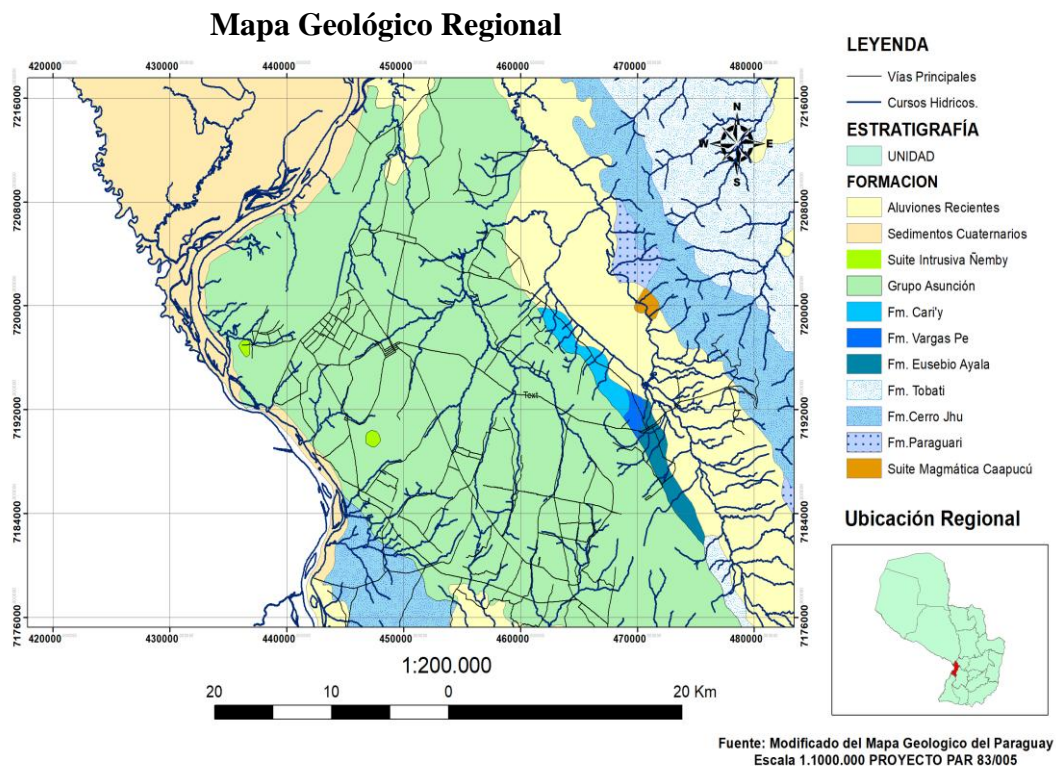
González & Bartel, (1998), mencionan que el relleno de la fosa se caracteriza por constituirse de un material de muy variada textura, debido a la rápida subsidencia de la estructura, al reducido espacio creado para la depositación de los sedimentos y a la corta distancia de transporte, todos estos factores han sido condicionados por una paleomorfología abrupta.

En general estas rocas se presentan poco consolidadas, friables, con escasa matriz o matriz arcillosa. Los espesores del relleno tienen un espesor promedio de 500 metros. La secuencia es predominantemente arenosa, pero un importante componente corresponde a fanglomerados ubicados principalmente en el margen oriental de la estructura. En el techo esta unidad presenta areniscas de granulometría fina, muy buena selección y redondez en su composición monomineral de cuarzo. La edad relativa de la depositación de estos sedimentos del Grupo Asunción está marcada con un límite inferior en el magmatismo mesozoico y con límite superior en el magmatismo cenozoico (González & Bartel, 1998).

### 2.12.1.2 Suite Magmática Ñemby

La suite Intrusiva Ñemby presenta cuerpos que se hallan emplazados en todas las estructuras del Rift, principalmente en el bloque de Asunción, estas rocas corresponden al tipo nefelinitas, fonolitas, y fonotefritas (González & Bartel, 1998).

Es típica la presencia en estas rocas de nódulos o xenolitos de lherzolitas, dunitas peridotíticas, lo que indica que el material ígneo es proveniente del manto. Las edades de estas rocas según dataciones por el método Rb/Sr, que van de los 60 a 30 Ma por lo que en general estas rocas pertenecen a la fase magmática del Ciclo Tectónico Andino en el Terciario Inferior (González & Bartel, 1998).



**Figura 6: Mapa Geológico Regional. Escala 1:200.000.**

Fuente: Elaboración Propia.

## 2.13 Geología Local

### 2.13.1 Sedimentos de Planicies Húmedas

Estos sedimentos corresponden a la planicie de inundación del Río Paraguay, los innumerables arroyos que bañan la zona y las cuencas de los lagos (lagos Ypacaraí e Ypoa), y se caracterizan por ser el producto de la alteración y

redepositación de las rocas circundantes y como material de colmatación de las redes de drenajes actuales, los primeros son principalmente arcillosos y con alto contenido en materia orgánica y lo segundo son más bien arenosos, por arrastre de los materiales productos de la erosión de las áreas elevadas (Proyecto PAR 83/005, 1986; González & Bartel, 1998).

### **2.13.2 Aspecto Tectónico del Área de Estudio**

El bloque tectónico principal y más relevante al área de estudio es el Rift de Asunción; de Edad Mesozoico-Cenozoico del Paraguay Oriental, el origen del mismo es atribuido a la apertura del Atlántico Sur, como un sistema tectónico distensional intracontinental, de dirección local preferencial NW-SE, de fallas normales y dislocamiento diferenciado de sus bloques componentes (González & Bartel, 1998).

En el trabajo de Velázquez (1998), se menciona que el Rift de Asunción presenta tres segmentos:

-El primer segmento Occidental NW-SE con aproximadamente 90km de longitud desarrollándose hacia el SE desde los alrededores de Asunción entre Benjamín Aceval y Paraguarí con expresivas anomalías gravimétricas y magnetométricas;

-El segmento central con orientación E-W de Paraguarí a Villarrica, con aproximadamente 75km de longitud;

-El segmento oriental instalado a partir de Villarrica hacia el sur- este en un trecho menos definido, nuevamente la orientación es NW-SE hasta la región de Cordillera del Ybyturu, con extensión de 4km. A partir de estudios realizados de diques, fallas y diaclasas, se propone que el rift fue generado bajo régimen tectónico.

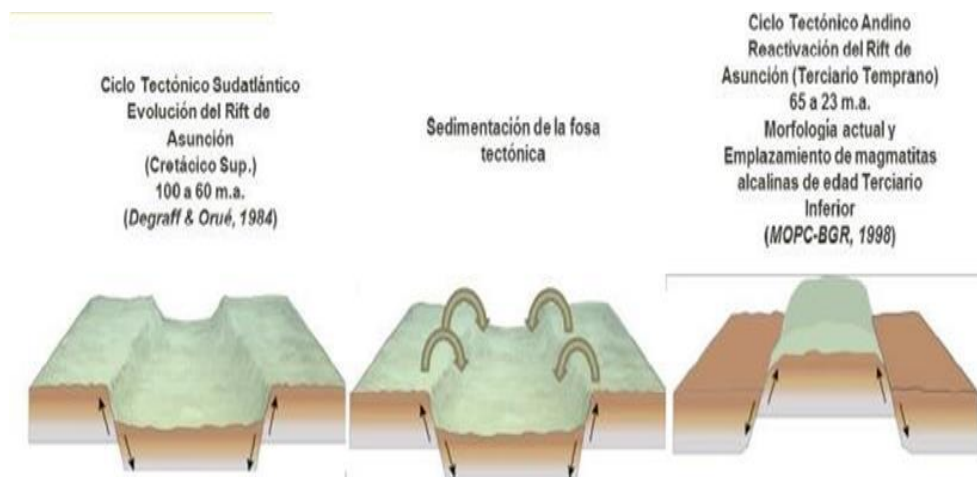
Durante el Eoceno, el segmento occidental de la grieta de Asunción el foco de actividad tectonomagmática importante, con evidencia de profunda NW falla de tendencia que actúan como conductos para el emplazamiento de rocas ultra alcalinas de composición nefelínica (Asunción), teniendo un manto xenolítico de espinelas de



Lherzolita. Los cuerpos alcalinos están concentrados en la ciudad de Asunción (Velázquez *et al.*, 1998).

El Rift de Asunción vuelve a reactivarse durante el Ciclo Tectónico Andino (Terciario Temprano 65 a 23 m.a.), proporcionándole su morfología actual. La reactivación profunda de las estructuras existentes y la formación de nuevas direcciones, permite el emplazamiento de magmáticas alcalinas de edad Terciaria con forma de stocks y diques en la estructura tectónica general (González & Bartel, 1998).

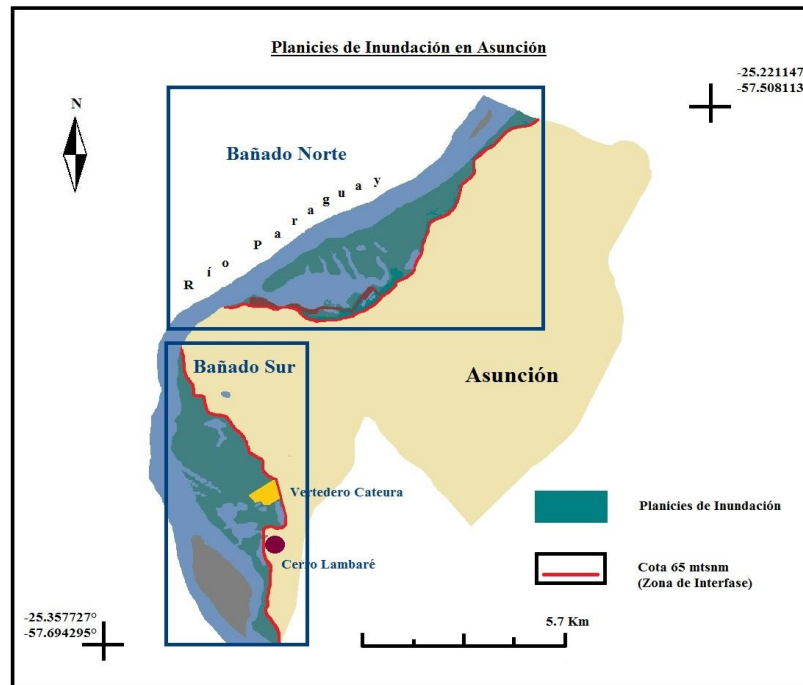
Así también los mismos autores, en la Hoja Paraguarí (1998), mencionan que la morfología del Rift, posterior al Ciclo Tectónico Andino, fue modelada por erosión y redepositada en los valles como sedimentación subsecuente hasta la actualidad (Figura 7).



**Figura 7. Modelo del Rift.**

Fuente: Modificado de Carvallo, F. Acuífero Patiño, Fuente de Agua Estratégica del Gran Asunción. Revista de la Facultad de Ciencias y Tecnologías. UCA; Citado en Celabe 2018.

## 2.14 Geomorfología del área de estudio



**Figura 8. Mapa de Planicies de Inundación de Asunción.**

Fuente: Geología del Paraguay.

La ciudad de Asunción ( $25^{\circ}16'55.83''S$ ;  $57^{\circ}38'6.48''O$ ) se encuentra situada en la margen derecha del río Paraguay y se encuentra en el borde del margen occidental de la cuenca del Paraná, lo cual corresponde a la zona centro-oeste de la Región Oriental, con una superficie de 117 Km<sup>2</sup>. Se destaca por sus colinas de pendientes suaves, por sus planicies de inundación, y por el último magmatismo que se ha registrado en la geología del país en forma de volcanes y diques que atravesaron los sedimentos jóvenes, sobre el cual descansa la ciudad (Colman *et al.* 2018).

Los autores mencionan que las colinas de pendientes suaves poseen alturas intermedias de 100m que corresponderían a las zonas céntricas de la ciudad, mientras que las áreas periféricas poseen una altura promedio de 50 m. La variación fisiográfica se acentúa en las regiones aledañas a la ciudad, donde los terrenos presentan mayor pendiente.

Además cuenta con varios tributarios, caracterizados por poseer una red dendrítica, que surcan su superficie los cuales en épocas de intensa lluvia por acción

de las escorrentías, producen cárcavas que se observan en los flancos de los cauces (Colman *et al.* 2018).

## **2.15 Marco Legal**

A partir de la entrada en vigencia de la Constitución Nacional, de 1992, el Estado Paraguayo se encuentra abocado a la reglamentación de las nuevas figuras constitucionales introducidas por la referida Carta Magna en el ordenamiento jurídico nacional.

El ordenamiento político de la República establece la división territorial del país en departamentos, municipios y distritos, los cuales dentro de los límites de la Constitución y las leyes gozan de autonomía política, administrativa y normativa para la gestión de sus intereses, y de autarquía en la recaudación e inversión de los recursos.

El tema de residuos sólidos en el Paraguay necesita ser desarrollado en muchos de sus aspectos y más aún en el área legal.

El sector de residuos sólidos está reglamentado por una resolución emanada del Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social y por ordenanzas en algunos de los municipios del país.

### **2.15.1 Ley N° 836/80 Código Sanitario**

El Código Sanitario, hoy en fase de nueva formulación, contempla explícitamente el área de residuos sólidos en un sólo artículo, cuya reglamentación por resolución ministerial constituye el único ordenamiento legal real y directamente relacionado al tema.

En su título II, trata de la Salud y el Medio, en cuyos capítulos I y siguientes legisla sobre el saneamiento ambiental y la contaminación.

**Art. 66°:** Queda prohibida toda acción que deteriore el medio natural, disminuyendo su calidad, tornándose riesgoso para la salud.

**Art. 67°:** El Ministerio determinará los límites de tolerancia para la emisión o descarga de contaminantes o poluidores de la atmósfera, el agua y el suelo y establecerá las normas a que deben ajustarse las actividades laborales, industriales, comerciales y del transporte, para preservar el ambiente de deterioro.

**Art. 68°:** El Ministerio promoverá programas encaminados a la prevención y control de la contaminación y de la polución ambiental y dispondrá medidas para su preservación, debiendo realizar controles periódicos del medio para detectar cualquier elemento que cause o pueda causar deterioro de la atmósfera, el suelo, las aguas y los alimentos.

**Art. 90°:** El Ministerio determinará las normas sanitarias que deberán observarse para una adecuada disposición y tratamiento de basuras.

**Art. 91°:** Estarán sujetos a las medidas sanitarias que dicte el Ministerio, todos los vehículos que se dediquen al transporte en la vía pública.

### **2.15.2 Resolución S.G. N° 548/96 del Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social**

Esta resolución ministerial reglamenta los Arts. 90 y 91 del Código Sanitario.

**El Art. 3°:** El Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental (SENASA), abarcará todo el territorio nacional para el cumplimiento y aplicación de las normas sanitarias establecidas en la Ley N° 369/72 y en el Código Sanitario, en cuanto se refiere al almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición de basuras.

Como se mencionó anteriormente, la presente resolución ministerial se constituye en el único instrumento normativo directamente relacionado con los residuos sólidos. En ella se reglamenta todo lo concerniente al tema, inclusive con mayor amplitud que la contemplada en el Art. 90 del Código Sanitario. La resolución de referencia, contempla detalladamente todos y cada uno de los aspectos principales de las normas técnicas que reglamentan el manejo de los residuos sólidos.

Desafortunadamente, su aplicación se ha restringido sólo a la persecución de los infractores y no a la prevención o promoción de planes y programas orientados al mejoramiento del manejo de los residuos sólidos y a la mitigación del impacto negativo derivado del manejo inadecuado de los mismos.

### **2.15.3 La Constitución Nacional en sus Artículos 7 y 8, sobre el Medio Ambiente**

**Artículo 7.- Del Derecho a un Ambiente Saludable:** “Toda persona tiene derecho a habitar en un ambiente saludable y ecológicamente equilibrado. Constituyen objetivos prioritarios de interés social la preservación, la conservación, la recomposición y el mejoramiento del ambiente, así como su conciliación con el desarrollo humano integral”.

**Artículo 8.- De la Protección Ambiental:** “Las actividades susceptibles de producir alteración ambiental serán reguladas por la ley. Asimismo, ésta podrá restringir o prohibir aquéllas que califique peligrosas. Se prohíbe la fabricación, el montaje, la importación, la comercialización, la posesión o el uso de armas nucleares, químicas y biológicas, así como la introducción al país de residuos tóxicos.

### **2.15.4 Leyes Reguladoras**

La ley podrá extender esta prohibición a otros elementos peligrosos; asimismo, regulará el tráfico de recursos genéticos y de su tecnología, precautelando los intereses nacionales.

El delito ecológico será definido y sancionado por la ley. Todo daño al ambiente importará la obligación de recomponer e indemnizar”.

De acuerdo a la **Ley N° 1294/87 “Orgánica Municipal”**, en vigencia dentro del periodo auditado, estipula en el Art. 18 entre las funciones del municipio: inciso c) “la regulación y prestación de servicios de aseo y especialmente la recolección y disposición de residuos”; inciso d) “la limpieza de vías de circulación y lugares”; inciso ñ) “la preservación del medio ambiente y el equilibrio ecológico, la creación

de parques y reservas forestales, promoción y cooperación para proteger los recursos naturales”.

Mientras que la **Ley N° 3966/10 “Orgánica Municipal”**, actualmente en vigencia, aún no reglamentada, señala en el Art. 12 que es función municipal: 4. En materia ambiental, incisos a y b: “la preservación, conservación, recomposición y mejoramiento de los recursos naturales significativos; la regulación y fiscalización de estándares y patrones que garanticen la calidad ambiental del municipio...” Y en materia de infraestructura pública y servicio, inciso e) “la regulación y prestación de servicios de aseo, de recolección, disposición y tratamiento de residuos del municipio”.

La **Ley N° 716/96 “Que sanciona delitos contra el medio Ambiente”**, en su Artículo 1° establece: “Esta Ley protege el medio ambiente y la calidad de vida humana contra quienes ordenen, ejecuten o, en razón de sus atribuciones, permitan o autoricen actividades atentatorias contra el equilibrio del ecosistema, la sustentabilidad de los recursos naturales y la calidad de vida humana”.

La **Ley N° 3929/07 “Ley de Los recursos Hídricos del Paraguay”** en su artículo 1 expresa: “La presente Ley tiene por objeto regular la gestión sustentable e integral de todas las aguas y los territorios que la producen, cualquiera sea su ubicación, estado físico o su ocurrencia natural dentro del territorio paraguayo, con el fin de hacerla social, económica y ambientalmente sustentable para las personas que habitan el territorio de la República del Paraguay”.

#### **2.15.5 Evaluación de Impacto Ambiental**

**Artículo 1o.- Declárese obligatoria la Evaluación de Impacto Ambiental.** Se entenderá por Impacto Ambiental, a los efectos legales, toda modificación del medio ambiente provocada por obras o actividades humanas que tengan, como consecuencia positiva o negativa, directa o indirecta, afectar la vida en general, la biodiversidad, la calidad o una cantidad significativa de los recursos naturales o ambientales y su aprovechamiento, el bienestar, la salud, la seguridad

personal, los hábitos y costumbres, el patrimonio cultural o los medios de vida legítimos.

**Artículo 2o.-** Se entenderá por Evaluación de Impacto Ambiental, a los efectos legales, el estudio científico que permita identificar, prever y estimar impactos ambientales, en toda obra o actividad proyectada o en ejecución.

**Artículo 3o.-** Toda Evaluación de Impacto Ambiental deberá contener, como mínimo:

a) Una descripción del tipo de obra o naturaleza de la actividad proyectada, con mención de sus propietarios y responsables; su localización; sus magnitudes; su proceso de instalación, operación y mantenimiento; tipos de materia prima e insumos a utilizar; las etapas y el cronograma de ejecución; número y caracterización de la fuerza de trabajo a emplear;

b) Una estimación de la significación socioeconómica del proyecto, su vinculación con las políticas gubernamentales, municipales y departamentales y su adecuación a una política de desarrollo sustentable, así como a las regulaciones territoriales, urbanísticas y técnicas;

c) Los límites del área geográfica a ser afectada, con una descripción física, biológica, socioeconómica y cultural, detallada tanto cuantitativa como cualitativamente, del área de influencia directa de las obras o actividades y un inventario ambiental de la misma, de tal modo a caracterizar su estado previo a las transformaciones proyectadas, con especial atención en la determinación de las cuencas hidrográficas;

d) Los análisis indispensables para determinar los posibles impactos y los riesgos de las obras o actividades durante cada etapa de su ejecución y luego de finalizada; sus efectos positivos y negativos, directos e indirectos, permanentes o temporales, reversibles o irreversibles, continuos o discontinuos, regulares o irregulares, acumulativos o sinérgicos, de corto, mediano o largo plazo;

e) Un Plan de Gestión Ambiental que contendrá la descripción de las medidas protectoras, correctoras o de mitigación de impactos negativos que se prevén en el proyecto; de las compensaciones e indemnizaciones previstas; de los métodos e instrumentos de vigilancia, monitoreo y control que se utilizarán, así como las demás previsiones que se agreguen en las reglamentaciones;

f) Una relación de las alternativas técnicas del proyecto y de las de su localización, así como una estimación de las circunstancias que se darían si el mismo no se realizase; y;

g) Un relatorio en el cual se resumirá la información detallada de la Evaluación de Impacto Ambiental y las conclusiones del documento. El relatorio deberá redactarse en términos fácilmente comprensibles, con empleo de medios de comunicación visual y otras técnicas didácticas y no deberá exceder de la quinta parte del Estudio de Impacto Ambiental.

**Artículo 40.-** La Evaluación de Impacto Ambiental y sus relatorios, así como sus ampliaciones y modificaciones, deberán ser realizados por las personas, empresas u organismos especializados que estén debidamente autorizados e inscriptos para el efecto y deberán ser costeados por los responsables del proyecto, quienes los suscribirán en tantos ejemplares como exija cada reglamentación.

**Artículo 11.-** La Declaración de Impacto Ambiental constituirá el documento que otorgará al solicitante la licencia para iniciar o proseguir la obra o actividad que ejecute el proyecto evaluado, bajo la obligación del cumplimiento del Plan de Gestión Ambiental y sin perjuicio de exigirle una nueva Evaluación de Impacto Ambiental en caso de modificaciones significativas del proyecto, de ocurrencia de efectos no previstos, de ampliaciones posteriores o de potenciación de los efectos negativos por cualquier causa subsecuente.



### **3. METODOLOGÍA**

Teniendo en cuenta el trabajo de Sampieri, Fernández & Baptista (2014), según el enfoque de la investigación se utilizó la metodología mixta.

La meta de la investigación mixta no es reemplazar a la investigación cuantitativa ni a la investigación cualitativa, sino utilizar las fortalezas de ambos tipos de indagación, combinándolas y tratando de minimizar sus debilidades potenciales (Sampieri, 2014).

Este trabajo de investigación se realizó utilizando diversas fuentes de información y tipos de datos: pruebas de laboratorio (mediciones estandarizadas que producen datos cuantitativos), mediante las muestras de agua y sedimento de la Laguna Cateura, como así también las de granulometría de muestras de sedimentos tomadas del fondo de la laguna de objeto de estudio; y entrevistas a profundidad en la cual se incluyen preguntas cerradas y abiertas sobre el estilo de vida; aspectos no cuantificables mediante las encuestas realizadas a los habitantes del barrio Jukyty de la ciudad de Asunción.

El proceso de investigación y las estrategias utilizadas se adaptan a las necesidades, contexto, circunstancias, recursos, pero sobre todo al planteamiento del problema.

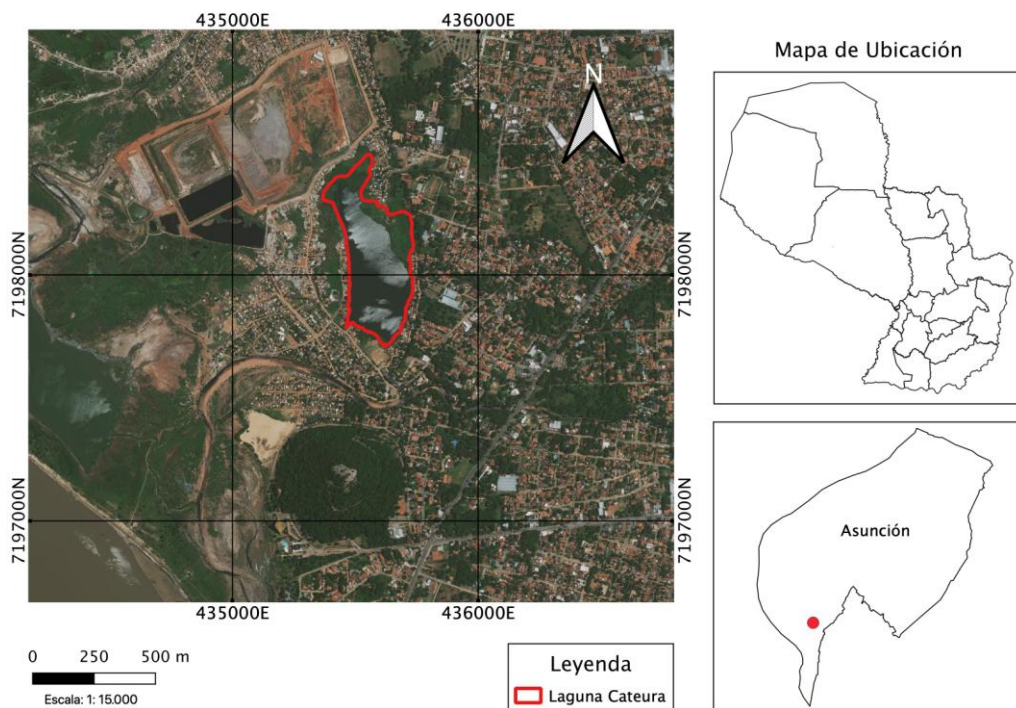
#### **3.1 Características generales del área de estudio**

Entre las características más resaltantes del área de estudio se mencionan la Localización, Hidrografía, Clima, Vegetación, Biodiversidad de los bañados de Asunción, Fauna, Suelo, Economía, Área Socio comunitaria y Calidad Ambiental.

### 3.1.1 Localización del área del Estudio

Como se puede observar en la Figura 9, la Laguna Cateura se encuentra localizada en el Distrito de Asunción, ciudad capital de la República del Paraguay; al E del barrio Jukyty, entre las calles 42 Proyectadas y Teniente Lidio Cantalupi, limitando con el barrio Santa Librada, a 120m del Vertedero Cateura, y al N del cerro Lambaré y a 1400m del río Paraguay.

#### Mapa de Localización de la Laguna Cateura.



**Figura 9. Mapa de localización del área de estudio. Escala 1:15.000.**

Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 10. Fotografía de la Laguna Cateura.**

Fuente: Diario ABC color.

### **3.1.2 Hidrografía**

El Río Paraguay, cuyo cauce desciende desde el norte, bordea el pequeño cabo Itá Pytá Punta, para luego tomar su rumbo hacia el sur. A su paso, hacia la orilla izquierda, forma la Bahía de Asunción, donde se encuentra el puerto más importante del país, seguido del puerto naval de Sajonia. La ciudad cuenta con varios arroyos, que en su mayoría se han convertido en aguas que recorren los subsuelos por acción de terraplenes, empedrados y asfaltos. Ellos son: Mburicaó, Cará Cará, Jaen, Mburicá, Salamanca, Zanja Morotí, San Vicente, Leandro y otros. Algunas lagunas son Pytá Radea, Pucú, Cateura y otras menores (Rima, 2014).

Como afirman en su trabajo (Ramírez *et al*, 2006), en el área de Asunción, el comportamiento hidrológico sobre todo el de las precipitaciones, está ligado a factores como la declividad, la naturaleza del suelo, el soporte geológico y la posibilidad de escurrimiento hacia los cursos de agua y la descarga de los principales arroyos y cauces menores. Los mencionados factores están relacionados al fenómeno de lluvias torrenciales frecuentes de corta duración, los cuales son característicos de climas subtropicales.

Las geoformas ubicadas en el Rift de Asunción, donde se encuentra insertada el área de estudio, tras una precipitación de poca intensidad se caracterizan por el débil escurrimiento de agua superficial, el cual depende a su vez de las características de infiltración del terreno, presenta trechos muy dinámicos y/o acentuados en los terrenos bajos, asociados a una alta tasa de declividad y a zonas sin cobertura vegetal (Velásquez y Pflugfelder, 1997 en Ramírez *et al*, 2006).

### **3.1.3 Clima y Vegetación**

La ciudad de Asunción posee una altitud de 116 m.s.n.m., en el sector Oriental del río Paraguay, junto a la bahía de Asunción. Teniendo como parámetro la clasificación de *Köppen*, Asunción pertenece al grupo Aw, es decir, clima tropical con invierno seco, los veranos son calurosos y en el invierno pueden llegar a darse heladas. Nuestra ciudad capital es considerada uno de los más calurosos en términos absolutos, debido a su posición geográfica y a que predominan los días calurosos con alta humedad, especialmente en primavera y verano. De octubre a marzo tiene lugar

la estación más lluviosa del año, que lleva implícito un clima muy inestable. La alta humedad combinada con elevadas temperaturas da lugar a una sensación de calor más sofocante. Además, las olas de calor son relativamente frecuentes en esta época del año. Desde mediados de abril hasta septiembre, el clima se torna más fresco y agradable, alternándose frecuentemente períodos de calor y frío. Entre junio y julio se pueden dar irrupciones pasajeras de aire frío polar que provocan bajadas considerables en la temperatura, hasta el punto de provocar heladas. Las nieblas y neblinas suelen caracterizar también a esta estación (Plan CHA, 2016).

El promedio anual de precipitaciones es abundante y ronda los 1400mm. Los días cubiertos son más frecuentes en invierno pero cuando más llueve es en la época cálida, cuando se desarrollan tormentas intensas y caen grandes cantidades de agua en poco tiempo. En invierno son más comunes lloviznas débiles pero continuas. El mes más seco y frío es julio, mientras que el más cálido es enero (Plan CHA, 2016).

#### **3.1.4 Biodiversidad de los Bañados de Asunción**

La extensión de franja costera de Asunción ocupa 1.650 Has y se extiende desde el Puerto Botánico del Bañado Norte (Franja Costera norte) hasta el Cerro Lambaré del Bañado Sur (Franja Costera Sur), su delimitación fue realizada por medio de una ordenanza municipal, en el año 1996. El nivel de inundación varía de 57.2m a 63.5m y es el lugar donde terminan los arroyos de Asunción (Plan CHA, 2016).

Según el Plan Maestro del Centro Histórico de Asunción (2016), se describe el suelo como arcilloso y altamente contaminado, debido a que es empleado como vertedero por los habitantes de los asentamientos informales, además de recibir descargas de redes cloacales sin tratamiento, provenientes de las ciudades aledañas. Los desperdicios son arrastrados por la escorrentía, sobre todo en los días de lluvia e inundaciones y se forman lagos con focos de contaminación. Existen varias razones por las que la interfaz costa - ciudad es un lugar altamente conflictivo, como por ejemplo: el establecimiento de grandes fábricas, barrios informales e instalaciones

militares forman una barrera entre la costa y la ciudad. Los arroyos de esta parte se han convertido en vertederos y cuando hay inundaciones, se evacua a las personas a campamentos ubicados en plazas y parques.

En términos de biodiversidad, las áreas más relevantes de la ciudad de Asunción son el Jardín Botánico, Cerro Lambaré, Bahía de Asunción y los Bañados Norte y Sur (áreas anegadizas norte y sur). Entre todos ellos, las áreas más importantes en términos de Flora y Fauna son el Banco San Miguel en el Bañado Norte y el entorno del cerro Lambaré en el Bañado Sur. Las inundaciones periódicas del río Paraguay contribuyen en modelar y mantener una rica biodiversidad en el área. En esta zona han sido identificadas 97 especies de 35 familias botánicas, la mayoría de las cuales es vegetación acuática (Plan CHA, 2016).

### **3.1.5 Fauna**

Como expresa el Plan Maestro del Centro Histórico de Asunción (2016), la fauna, es uno de los componentes sobre la cual reside la importancia biológica del área. Sobre todo, la presencia de especies migratorias de aves de otros continentes, es el punto más crítico en observancia a los compromisos internacionales asumidos sobre temas de conservación. La fauna característica de la zona está representada por la avifauna acuática, reptiles (quelónidos, iguánidos y caimanes), anfibios, y pocos mamíferos.

Los expertos han logrado identificar más de 328 especies de aves solamente en Asunción y zonas adyacentes. En la Bahía de Asunción se identificaron 276 especies, que representa al 39% de la avifauna paraguaya. De las especies mencionadas, al menos 82 de ellas son aves acuáticas, que representan el 70% de todas las aves de dicho grupo en el país. Además de ello se identificaron 29 especies migratorias neárticas y 73 especies migratorias australes. Esto representa al menos el 69% de las aves neárticas citadas para el país (42 especies) y se cree que anualmente unas 10.000 de estas aves pasan por la Bahía. La alta cantidad de aves en el lugar de estudio demuestra su importancia para la conservación de la diversidad biológica (Plan CHA, 2016).

### 3.1.6 Suelo

Con base en el informe de Ramírez *et al*, (2006), el subsuelo de la ciudad de Asunción se constituye por dos materiales bien diferenciados por su comportamiento y resistencia: los suelos superficiales y la formación resistente definida como arenas cementadas.

El mismo autor divide el área de estudio en zonas bien definidas de acuerdo al tipo de suelo y sus características geotécnicas relevantes. Estas zonas se presentan divididas en tres diferentes estratos u horizontes: Horizonte A, Horizonte B y Horizonte C (Tabla 3).

El horizonte A corresponde a suelos que constituyen la capa vegetal. El elemento determinante para la clasificación de las zonas, es el Horizonte B que a su vez se subdivide en: (a) Zona O.F.: Suelos de origen fluvial, corresponde a los suelos lindantes con el Río Paraguay. (b) Zona O.C.A.: Suelos de sedimentos próximos a los cauces y arroyos antiguos y actualmente existentes. Finalmente, el Horizonte C el cual corresponde a las arenas cementadas.

**Tabla 3. Cuadro de Horizontes.**

HORIZONTE TIPOS DE SUELO	
A	Suelos Vegetales
B	Suelos de Origen Fluvial
	Suelos de Sedimentarios
	Suelos de Origen Aluvial
C	Suelos de Origen Coluvial o Residual
	Arenas Cementadas

Fuente: Modificado de Carta Geotécnica de Asunción.

Los Horizontes y tipos de suelo más resaltante correspondiente al área estudio son:

#### 3.1.6.1 Zona O.F. (Origen Fluvial)

**Horizonte A:** Los suelos de este horizonte corresponden al suelo vegetal constituido por arena limosa (SM), limos arcillosos orgánicos (ML) y en menor

proporción arena arcillosa de color marrón, gris amarillento o gris oscuro de espesores entre 1m a 2m.

**Horizonte B:** El horizonte está constituido por sedimentos fluviales desarrollados en zonas inundables del Río Paraguay. En su mayor parte se hallan anegados con algunos esteros y lagunas, las cuales se inundan totalmente en épocas de crecidas del Río Paraguay.

Los sedimentos se hallan constituidos por arenas mal graduadas (SP), arenas limosas (SM), arenas arcillosas (SC), arcillas arenosas (CL), limos y arcillas (ML y CL-CH), generalmente saturadas.

Estudios geotécnicos efectuados por Ramírez *et al* (2006), en el río Paraguay y Bañados desde Puente Remanso hasta el Cerro Lambaré, con perforaciones de hasta 20m de profundidad, revelan que los materiales mencionados presentan densidad relativa muy suelta respecto al ensayo de SPT (ensayo de penetración estándar), para los primeros 3m con aumento gradual a suelta, hacia la profundidad de los 20m con predominio de material del tipo arenoso.

Con respecto a la permeabilidad, los suelos fluviales (zona de Bañados) están generalmente saturados, con nivel freático variable entre 0 y 1m, relacionado con los niveles de precipitaciones y con los niveles del Río Paraguay. El tipo de suelo predominante es: arenas limosas (SM) o arenas arcillosas (SC) y del orden de 10<sup>-2</sup> y 10<sup>-4</sup>cm/s (Ramírez *et al*, 2006).

### **3.1.6.2 Zona O.C.A. (Origen de sedimentos próximos a Cauces y Arroyos)**

**Horizonte A:** Los suelos de este horizonte corresponden al suelo vegetal constituido por arena limosa (SM) o arena arcillosa (SC) de color marrón o marrón rojizo, con espesores del orden de 0,3m.

**Horizonte B:** Antiguos cauces de arroyos que han sido rellenados a través del tiempo, básicamente por material areno limoso (SM) con espesores de hasta 20 m, depositados sobre las arenas cementadas muy densas. Observando las cartas topográficas y de Arroyos y Cauces de los años 1952 y comparándolas con las actuales se ha podido observar que muchos de los cauces han retrocedido y en dichos

sitios se ha producido un relleno de suelos transportados y depositados (Ramírez *et al*, 2006).

**Horizonte C:** Correspondiente a Arenas Cementadas, se refiere según lo expuesto por Bosio (1997) citado en Ramírez *et al*, (2006), a los suelos del tipo arenosos de la ciudad de Asunción, le subyace un material denominado arena cementada. Las mismas se subdividen en muy densas y arenas pobremente cementadas.

Los suelos de esta zona son en general del tipo arena limosa o arena arcillosa, sin embargo, en algunos sectores, se han detectado suelos predominantemente arcillosos del tipo CL (Ramírez *et al*, 2006).

### 3.1.7 Actividades Económicas



**Figura 11. Gancheros del Vertedero Cateura.**

Fuente: Diario ABC color.

La actividad realizada por los “gancheros” representa su medio de vida y los productos recuperados son comercializados en el mismo vertedero para su reutilización. Según una encuesta realizada por la Municipalidad de Asunción al 90% de la población de gancheros, los resultados indican que el ingreso promedio varía



entre 10.000 y 20.000 Gs. diarios. Los que obtienen mayores ingresos son los más jóvenes (40% de la población), el resto no alcanza el nivel de salario mínimo diario (OPS/OMS, 2001).

Según la mencionada encuesta el 24% de los trabajadores son analfabetos, el 76% completó el nivel primario. El 2% de los hijos de gancheros, en edad escolar, no asisten a la escuela por problemas económicos.

Existen algunas principales razones según la OMS/OPS (2001), por las cuales estas personas se inclinan a este tipo de actividad, como por ejemplo, escasez de oferta de mano de obra, obtención de un ingreso que corresponde alrededor del 90% del salario mínimo vigente, elevada edad para otro tipo de trabajo, necesidad de sobrevivencia, madres solteras que necesitan alimentar diariamente a sus hijos y comercialización de productos segregados. La segregación se efectúa en el mismo lugar donde se descargan los residuos, y los compradores se acercan hasta el allí para acopiar lo recuperado.

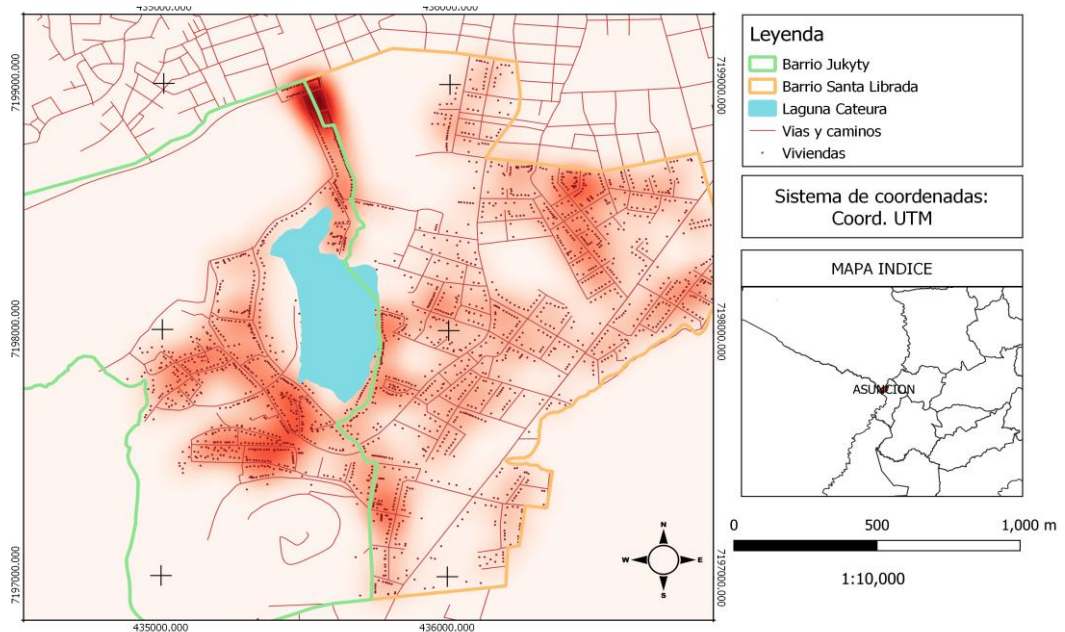
### **3.1.8 Área Socio Comunitaria**

Los pobladores de la zona tienen un papel protagónico en lo referente a la gestión de los residuos sólidos. Persisten hábitos como quemar la basura o arrojarlas a cualquier sitio. La recuperación de los materiales perdidos en la basura se realiza tanto en las calles como en los vertederos. Esta tarea es realizada por personas que carecen de servicios de salud y asistencia social adecuados (OPS/OMS, 2001).

Un aspecto positivo que resaltar en esta área es el sentido de superación de los niños, niñas, adolescentes y jóvenes de escasos recursos que viven en la comunidad del Bañado Sur ubicada alrededor del vertedero Cateura, que conforman La Orquesta de Instrumentos Reciclados de Cateura, dirigida por Favio Chávez. La característica distintiva del grupo es la interpretación de obras musicales con instrumentos reciclados elaborados a partir de basura reciclada del vertedero.

### 3.1.9 Población Adyacente

#### Mapa de Densidad Poblacional de los barrios Jukyty y Santa Librada.



**Figura 12. Mapa de densidad poblacional de los barrios adyacentes a la Laguna Cateura. Escala 1:10.000.**

Fuente: Elaboración propia.

Citando al trabajo de la OMS en conjunto con la OPS, (2001), la población adyacente al vertedero de Cateura se constituye por barrios urbanos marginales. Según una encuesta realizada por la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Asunción a 240 hogares asentados en las zonas colindantes a la Laguna Cateura en el año 1998, se constató una población de 1.060 personas. Más de la mitad de las familias, es dueña de la vivienda en la cual habita. La mayoría construida con material cocido y un porcentaje muy bajo con materiales precarios (madera, cartón y zinc). Actualmente en el año 2020 la mayoría ya cuenta con viviendas de materiales de ladrillos.

La mitad de las viviendas con servicios sanitarios tipo común (pozo ciego) y la otra mitad con servicios de letrinas; un grupo minoritario carece de servicio sanitario. La mayoría de la población cuenta con electricidad y agua potable; Se componen de familias nucleares primarias con un promedio de cinco miembros. El 57% de la población es menor de 21 años. Sólo el 20% de los adultos tiene educación primaria completa. Tienen un 6% de niños trabajadores (OPS/OMS, 2001).

En conclusión, se trata de una población altamente vulnerable por sus condiciones precarias de vida sumadas a su cercanía al vertedero.

## **3.2 Materiales**

### **3.2.1 Materiales utilizados para el Trabajo de Gabinete**

*Software* como *Qgis*, y *Google Earth* para la elaboración de mapas, *app* de *Google* formulario para la elaboración de las preguntas del cuestionario de encuesta, Excel para la elaboración de los histogramas, libros y *notebook Hp*.

### **3.2.2 Materiales utilizados para el Trabajo de Campo**

*GPS* portátil Garmin para la ubicación del área de estudio y los puntos de muestreo, cámara fotográfica para la toma de fotografías, libreta de campo, muestreador casero tipo draga para la recolección de las muestras, bolsas de plástico para las muestras de sedimentos, botellas de plástico de 2L para las muestras de agua, marcadores indelebles, cinta adhesiva, chalecos salvavidas, guantes de látex, botas de lluvia, canoa para el desplazamiento por la Laguna.

### **3.2.3 Materiales utilizados para el Trabajo de Laboratorio**

Recipientes de plástico para el secado de muestras, set de tamices de 400  $\mu\text{m}$  para arena gruesa, 250  $\mu\text{m}$  arena media, 125 y 63  $\mu\text{m}$  para arena fina y en la base (limo-arcilla), rodillo de madera para disgregar los granos de sedimentos cuarteadas, agitador de Tamices *RETSCH Type Vibro*, mortero de porcelana, cepillo para tamices, divisor mecánico de aluminio para el cuarteo de muestras y balanza digital para el pesaje de muestras.

## **3.3 Métodos**

Los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada (metainferencias) y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2008 citado en Sampieri, 2014).

La presente investigación es del tipo combinada con un enfoque mixto cualitativo-cuantitativo y el mismo se fundamenta en las siguientes etapas.

### **3.3.1 Trabajos en Gabinete y S.I.G.**

Para la elaboración de este trabajo de investigación se procedió a las recopilaciones de datos e informaciones bibliográficas, entrevistas, encuestas y antecedentes relacionadas al tema de investigación y el área de trabajo.

Se obtuvieron datos mediante las visitas a la Municipalidad de Asunción y la Dirección del Servicio Geográfico Militar (DISERGEMIL). Entidades que ayudaron a lograr los objetivos de este trabajo de investigación.

Para la realización de los mapas se utilizó informaciones de imágenes satelitales obtenidas por el *software Google Earth* que luego fueron procesados en *QGIS*. Con esto se delimito la Laguna, la superficie de la misma, y sus características morfológicas.

Con los resultados obtenidos de las lecturas de los valores de los análisis de parámetros fisicoquímicos del agua y sedimento; y granulométricos, se procedió a hacer gráficos de distribución y tablas por cada lugar de muestreo mediante el *software Excel* y contrastando con normas y valores de referencia nacionales para agua en base a la Res. 222/02-SEAM, actualmente MADES, e internacionales en base a la NOAA-SQuiRTs, norma de metales en sedimentos de fondo establecidos en la tabla de referencia (*Screening Quick Reference Tablefor Inorganics in Freshwater Sediment*) emitida por la Administración Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA, por sus siglas en inglés, *National Oceanic and Atmospheric Administration*) para los parámetros analizados en los sedimentos.

En cuanto a los resultados de las encuestas realizadas a los lugareños del barrio Jukyty, se procesaron en la *app* de *Google* formularios, y se realizaron automáticamente los gráficos estadísticos de acuerdo a las respuestas formuladas.

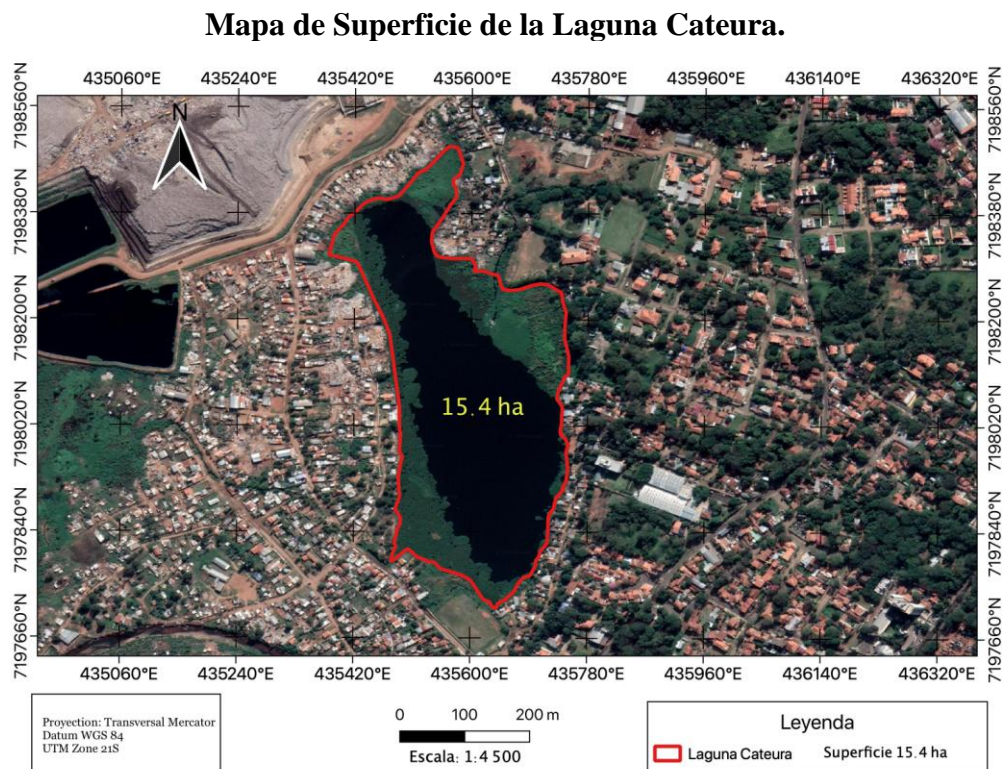
Para comprobar la situación de la zona estudiada y la degradación de la misma por la construcción del vertedero y su utilización durante 36 años, se utilizó

imágenes satelitales, fotos aéreas antiguas y ortofotocartas, proveídas por la DISERGEMIL (Dirección del Servicio Geográfico Militar), realizando una comparación multitemporal de la zona en diferentes años.

### 3.3.2 Trabajo de Campo y Lugares de Muestreo

El trabajo de investigación de campo consistió en la obtención de datos de los muestreos de agua y sedimentos, datos fotográficos, y de coordenadas del barrio Jukyty de la ciudad de Asunción, realizando cinco (5) visitas a la zona de trabajo.

Los muestreos de agua y sedimentos se realizaron en tres puntos de la Laguna Cateura, considerando la superficie de la misma (Figura 13), y los puntos de acceso, teniendo en cuenta los camalotales y desechos en las costas; durante los días quince del mes de julio del 2020 para los muestreos de agua y sedimento para los análisis fisicoquímicos y diez del mes de octubre del 2020 para el muestreo de sedimentos para el análisis granulométrico.

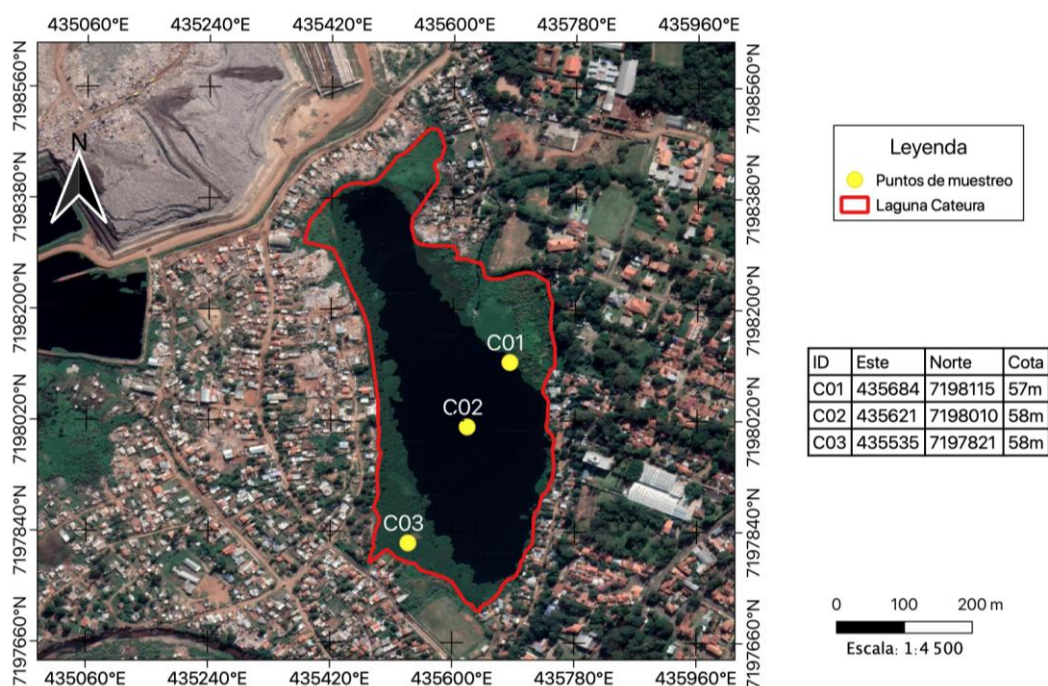


**Figura 13. Mapa de superficie de la Laguna Cateura. Escala 1:4.500.**

Fuente: Elaboración propia.



### Mapa de Puntos de Muestreo de Agua y Sedimento.



**Figura 14. Mapa de Puntos de Muestreo de la Laguna Cateura. Escala 1:4.500.**

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4. Puntos de muestreo en la Laguna Cateura.**

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM21J X	Y	Cota en m.s.n.m.	Fecha de muestreo	
					Laguna Cateura
	C02	435.621	7.198.010	58	15/07- 10/10/-2020
	C03	435.535	7.197.821	58	15/07- 10/10/-2020

Fuente: Elaboración propia.

Las muestras de sedimentos fueron recolectadas con un muestreador casero tipo draga, previamente limpiado con agua destilada, este material fue utilizado para extraer muestras del lecho del fondo de la Laguna.

La recolección de muestra consistió en la extracción de aproximadamente 4Kg de muestra de sedimento por punto, 2kg para los parámetros fisicoquímicos y 2kg para el análisis granulométrico, las cuales se colocaron en dos bolsas de plásticos separadas, con sellado hermético y previamente etiquetadas, para evitar confusión en la identificación, con número de muestra, lugar y fecha de muestreo, posteriormente

fueron trasladadas para realizar los respectivos análisis al Laboratorio de Calidad de Agua de la FACEN-UNA. Durante el transporte, las muestras recolectadas fueron protegidas de posibles roturas y del aumento de temperatura.



**Figura 15. Muestreo de sedimentos en la Laguna Cateura.**

Fuente: Elaboración propia.

Las muestras de agua fueron colectadas en botellas de plástico de 2 litros de capacidad, previamente lavados con agua destilada.

Las muestras fueron recogidas directamente metiendo las botellas al agua, cuidadosamente sin perturbar el lecho, primeramente enjuagados con el agua del sitio, posteriormente se etiquetó con los siguientes datos: número de muestra, lugar y fecha, luego transportados al Laboratorio de Calidad de Agua de la FACEN-UNA.



**Figura 16. Muestreo de agua en la Laguna Cateura.**

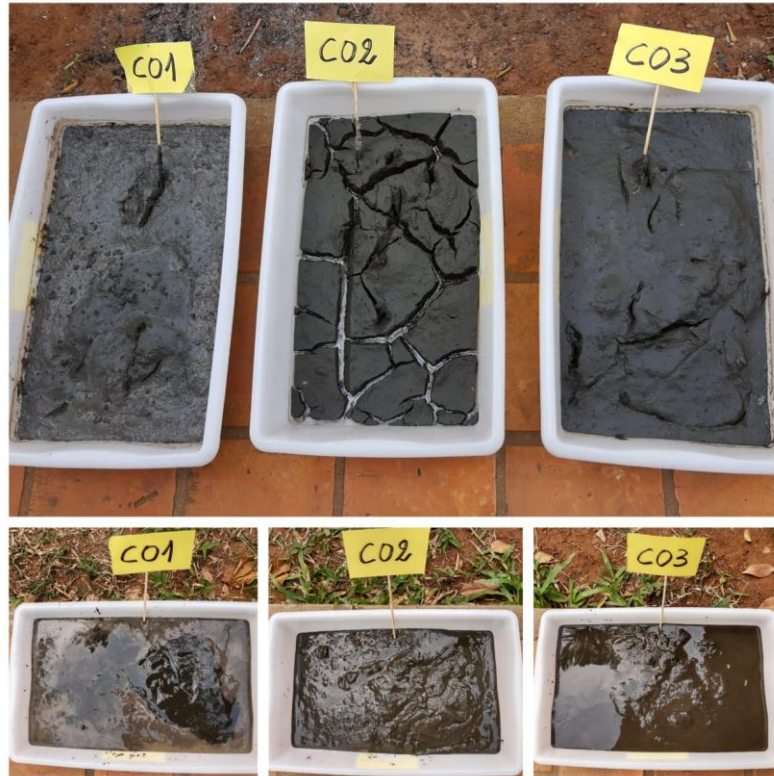
Fuente: Elaboración propia.

Los Sedimentos que fueron utilizados para el análisis granulométrico fueron colocadas en recipientes de plásticos para su secado correspondiente durante 15 días a temperatura ambiente (Figura 17) una vez secas las muestras, fueron trasladadas en el Laboratorio de Sedimentología de la FACEN-UNA, para su determinación granulométrica.

Para cuantificar la proporción de Arena, Limo-Arcilla, se utilizó un set de tamices de 400  $\mu\text{m}$  para arena gruesa, 250  $\mu\text{m}$  arena media, 125 y 63  $\mu\text{m}$  para arena fina y en la base (limo-arcilla). Las tres muestras de sedimentos de los puntos a estudiar fueron molidas con rodillos de madera (Figura 18), para disgregar los granos de sedimentos cuarteados, y luego separar en dos bolsas de 300g aprox. Las muestras se tamizaron en un agitador de tamices *RETSCH Type Vibro*, se agitaron durante 20



min., se pesaron los sedimentos retenidos en cada tamiz (malla), se anotaron en una tabla y los valores granulométricos se representaron en porcentajes generando una tabla de valores en planillas de *Excel*.



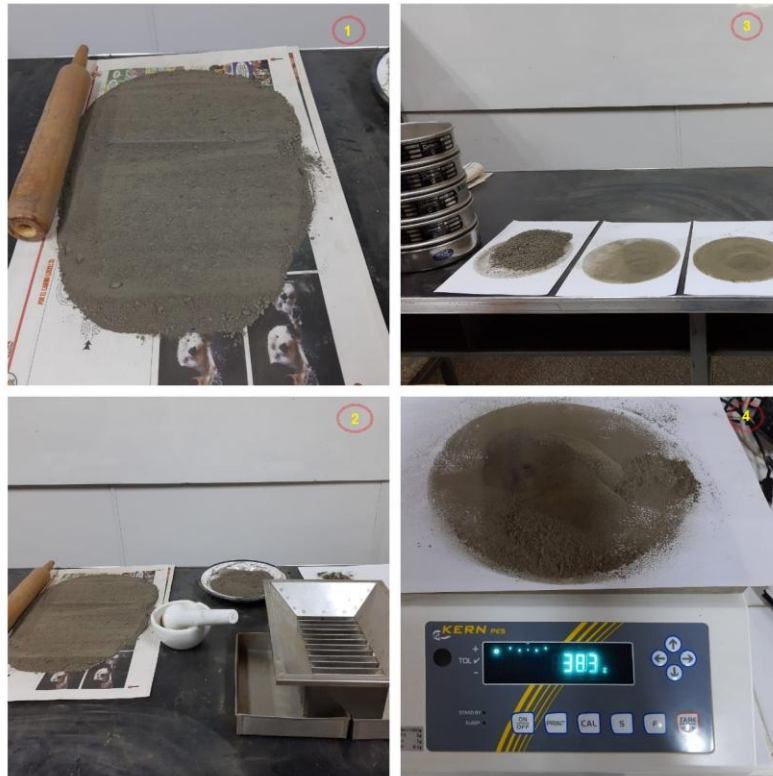
**Figura 17. Sedimentos para el análisis granulométrico fueron colocados en recipientes de plásticos para su secado correspondiente.**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 18. Molienda de muestras de sedimento de la Laguna Cateura.**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura19. Pasos del análisis granulométrico de los sedimentos de la Laguna Cateura, (1) Molienda de sedimentos. (2)Cuarteo de muestras. (3)Selección de muestras retenidas en cada tamiz. (4)Pesaje de cada selección.**

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, para las encuestas realizadas a los pobladores, se utilizó la *app* de *Google* formulario, enviando el *link* de las preguntas al celular de las personas encuestadas, por medio de los grupos de *whatsapp*, también haciendo las preguntas con visitas a reducidos grupos de vecinos teniendo en cuenta la pandemia del covid-19 y la restricción de visitas.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 Análisis Granulométricos de los Sedimentos de Fondo de la Laguna Cateura

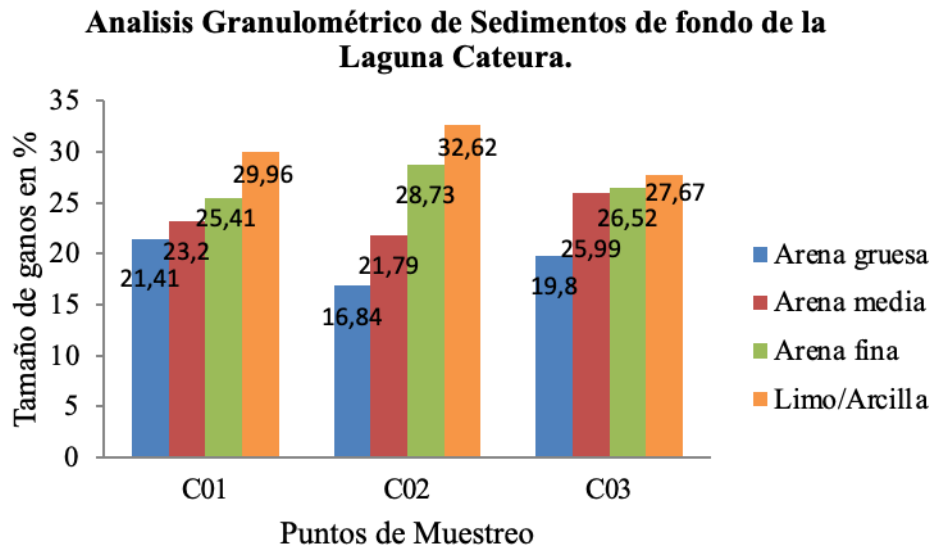
Tabla 5. Resultados de los análisis Granulométricos.

Tamaño de Granos	Puntos de Muestreo		
	C01	C02 en %	C03
Arena gruesa	21,41	16,84	19,80
Arena media	23,20	21,79	25,99
Arena fina	25,41	28,73	26,52
Limo/Arcilla	29,96	32,62	27,67
Clase Textural	Arena Limo-arcillosa	Arena Limo-arcillosa	Arena Limo-arcillosa
Color Munsell	N5	N5	N5
	<i>Medium Gray</i>	<i>Medium Gray</i>	<i>Medium Gray</i>

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos a partir de los análisis granulométricos se realizó una tabla de los valores (Tabla 5), que dieron como resultado una variación creciente en los porcentajes de los tamaños de grano; en arena gruesa el mayor valor fue en el punto C01 (21,41%), mientras que la proporción de arena media arrojó una variación superior respecto a la arena gruesa, y en relación a los tres puntos de muestreo, dando un mayor valor en el punto C03 (25,99%), en los valores de arena fina se da el máximo resultado en el punto C02 (28,73%), y por último la proporción del contenido de limo/arcilla es de una considerable proporción en todos los puntos, siendo el punto de mayor proporción C02 (32,62%); la proporción de sedimentos fue decreciendo en cuanto al tamaño, cabe mencionar que en estos tres puntos la proporción de limo/arcilla arrojaron valores más elevados, de los resultados obtenidos se realizó un histograma de la variación granulométrica de los sedimentos

de la Laguna Cateura (Figura 20), para una mejor apreciación de los valores obtenidos.



**Figura 20. Valores granulométricos en porcentajes, de los sedimentos de fondo de la Laguna Cateura, en los tres puntos de muestreo.**

Fuente: Elaboración propia.

El color del sedimento se determina por medio de la comparación con las tablas de color Munsell, se realiza en seco y en húmedo, se toman la lectura de comparación con la tabla y se anotan los resultados, en el caso de los sedimentos de la Laguna Cateura el resultado fue código N5, color *Medium Gray* (gris medio).

Colores grises: se relacionan con un ambiente Redox (de óxido-reducción). El estancamiento de agua en áreas ricas en Materia Orgánica produce coloración grisácea. La Materia Orgánica se reduce en periodos intermitentes de humedad. Puede ser indicativo del ambiente anaeróbico. Este ambiente ocurre cuando el suelo se satura con agua, siendo desplazado o agotado el oxígeno del espacio poroso del suelo (Pérez, 2005).

Según Orozco (2005), la materia orgánica disuelta en agua puede descomponerse en condiciones anaeróbicas (sin oxígeno), si están presentes las bacterias apropiadas. Las condiciones de ausencia de oxígeno tienen lugar de forma natural en aguas estancadas, y en la parte inferior de lagos profundos. Las bacterias actúan sobre el carbono a través de una reacción especial denominada reacción de

desproporción. Se dice que un compuesto sufre una reacción de desproporción (se desproporciona) cuando se descompone de tal manera que una parte se oxida y otra se reduce. Es un caso especial de reacciones redox. En el caso de un hidrato de carbono (de fórmula empírica simplificada  $\text{CH}_2\text{O}$ ) las bacterias actúan generando metano ( $\text{CH}_4$ ) (reducción) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (oxidación).

#### 4.2 Análisis Físicoquímicos de los Sedimentos de la Laguna Cateura

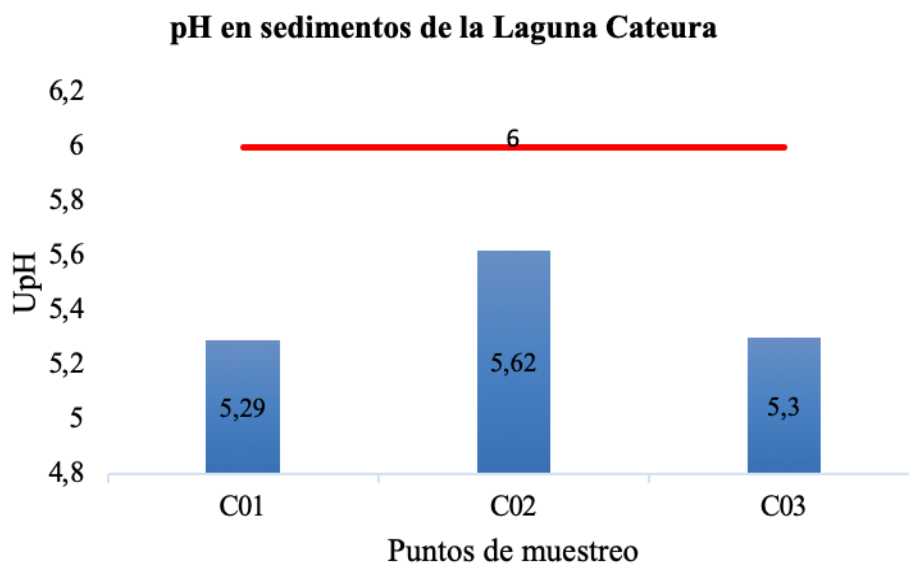
El análisis de sedimentos se ha usado ampliamente como un indicador medio ambiental para evaluar la magnitud de la contaminación en un sistema acuático, como estos continuamente interactúan con la fase líquida, es conveniente combinar análisis de sedimento y agua. Los sedimentos actúan como portadores y posibles fuentes de contaminación, comportándose como un reservorio de contaminantes (FDEP, 1994; Calmano, 1996, citado en Molina 2010).

**Tabla 6. Resultados de los análisis físicoquímicos de los sedimentos.**

<b>SEDIMENTOS DE FONDO PROVENIENTE DE LA LAGUNA CATEURA</b>				
<b>Determinaciones</b>	<b>Unidad</b>	<b>Puntos de Muestreo</b>		
		<b>C01</b>	<b>C02</b>	<b>C03</b>
pH	UpH	5,29	5,62	5,30
Materia Orgánica	%	12,65	10,57	8,29
Cromo (Cr) Total	mg/Kg	13,20	40,45	26,09
Mercurio (Hg) Total	mg/Kg	0,00186	0,00063	0,00046
Plomo (Pb)	mg/Kg	32,90	60,50	51,00

Fuente: Elaboración propia.

Fueron determinados parámetros físicoquímicos de los sedimentos de fondo de la Laguna Cateura, en el laboratorio (Tabla 5), estos parámetros fueron en: pH, Materia Orgánica, Cromo total, Mercurio y Plomo, dando como resultados lo siguiente:



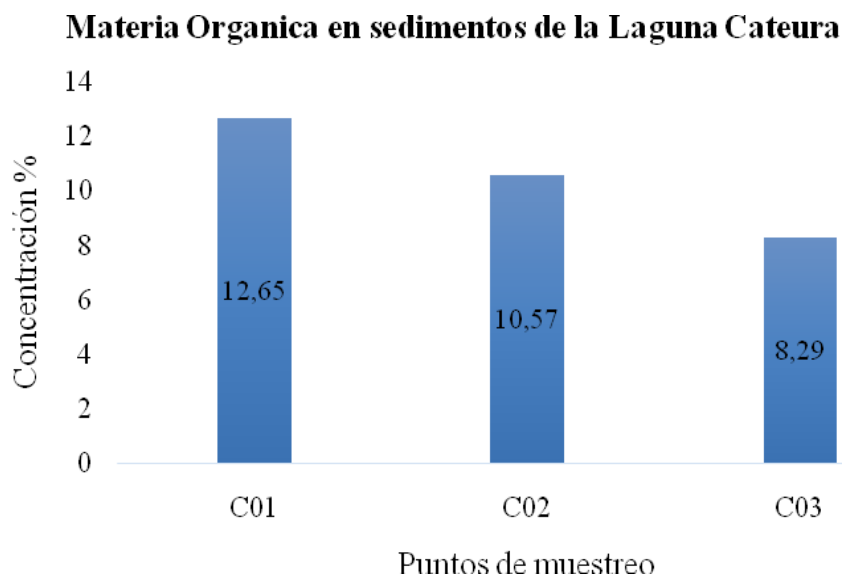
**Figura 21. Grafico de valores del pH en sedimentos de los tres puntos de muestreo con relación a las normas de referencia Res. N° 222/02.**

Fuente: Elaboración propia.

pH: con un valor de referencia admisible de 6 a 9, teniendo en cuenta la resolución 222/02 de la SEAM (actualmente MADES), debido a que no existe una legislación nacional para la regulación de los parámetros en sedimentos; en el histograma de la figura 21 fueron representados los valores de los resultados; valores que en los tres lugares de muestreo arrojan condiciones ácidas siendo la del punto C01 de 5,29 el valor más ácido.

Se podría inferir, teniendo en cuenta la degradación de la materia orgánica, que ésta conduce a la formación de dióxido de carbono como producto final, lo que causa una disminución de pH.

González (2009), menciona que de acuerdo a estos valores de pH ligeramente ácidos, los metales estudiados se encontrarían retenidos en el sedimento (precipitados) ya que la mayoría de los metales son solubles a pH ácidos.



**Figura 22. Grafico de valores de materia orgánica en sedimentos de los tres puntos de muestreo.**

Fuente: Elaboración propia.

La Materia Orgánica (M.O.), representados en los valores del histograma de la figura 22; valores que en los tres puntos de muestreo fueron determinadas arrojando el mayor valor en el punto C01 12,65%.

La materia orgánica es toda clase de sustancia que involucra dentro de su estructura molecular el carbono, en el estudio ambiental hace referencia a dos tipos: - la de origen viviente, que comprende todos los residuos y desechos provenientes de organismos vivos, incluso los mismos organismos; y -la de origen antrópico, en la que entran todas las sustancia sintetizadas por el hombre a través de procesos industriales (Garay *et al*, 2003).

Arias & Ramírez (2009), mencionan que la textura del sedimento afecta en la cantidad de materiales orgánicos presentes. A un menor tamaño del grano, mayor acumulación de materia orgánica, por tanto las fracciones representadas por el limo y las arcillas tienen de 27 a 30 veces más contenido de carbono orgánico que la fracción arenosa, condición que puede ser atribuida al incremento del área superficial de dichas partículas.

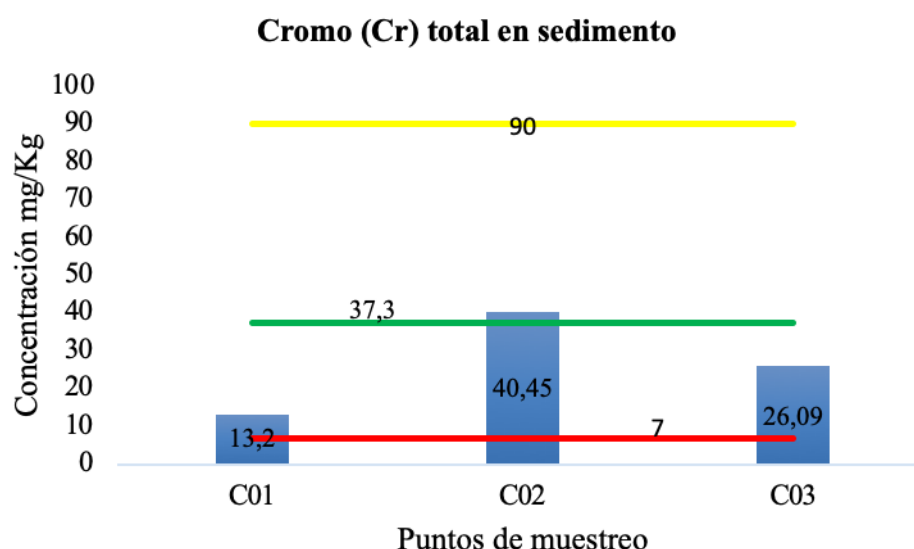
No obstante, los resultados experimentales no permiten definir un patrón de distribución de la materia orgánica, ya que solo se observó una tendencia hacia mayores porcentajes en los puntos de muestreo. Esto posiblemente se deba a las características granulométricas de cada punto.

En cuanto a los metales pesados, se pueden observar las diversas concentraciones de Cromo (Cr), Mercurio (Hg) y Plomo (Pb) en sedimentos de fondo de la Laguna Cateura, que fueron inferidos con las normas internacionales *NOAA-SQuiRTs* de los *E.E.U.U.* y *CCME* canadiense (Tabla 7), debido a que no existe una legislación nacional para su regulación.

**Tabla 7. Valores admisibles para sedimentos.**

Tabla de Valores Admisibles			
Determinaciones	CCME-SQGPA mg/kg		NOAA mg/kg
	PEL	TEL	
Cromo (Cr) Total	9037,3		7 a 13
Mercurio (Hg) Total	0,486	0,17	0,004-0,051
Plomo (Pb)	91,335		4

Fuente: Elaboración propia.



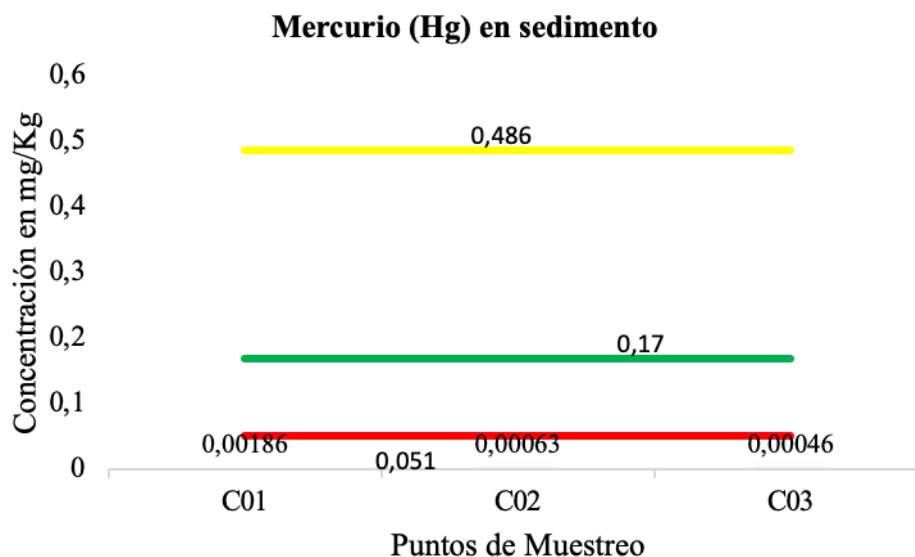
**Figura 23. Grafico de valores del Cromo (Cr) en sedimentos de los tres puntos de muestreo con relación a las normas de referencia SQGPA - CCME para PEL (amarillo), TEL (verde) y SQiRTs - NOAA (rojo).**

Fuente: Elaboración propia.



Los valores de los tres lugares de muestreo del Cromo (Cr), representados en los valores del histograma de la figura 23; indican que el mayor resultado es en el punto C02, el cual arroja un valor en mg/Kg de 40,45 que en comparación con la *PEL* (90mg/kg) se encuentra por debajo del parámetro y *TEL* (37,3mg/kg) el resultado está ligeramente por encima del estándar, y teniendo en cuenta los niveles de base según la *NOAA-SQuiRTs* (7mg/kg), el total se encuentra con un valor muy elevado.

La contaminación ambiental con cromo se debe principalmente a causas antropogénicas como resultado de ciertas actividades industriales, entre las que podemos citar, galvanizados, pinturas, tratamiento para la preservación de postes de madera, fungicidas, tintas, curtiembres, cerámicas, preservadores de telas, en la fabricación de explosivos, etc. Las especies de cromo (VI) y cromo (III) tienen diferentes biodisponibilidad y toxicidad en los seres humanos, y por esta razón, para preservar la salud de la población, se requiere de un estricto control de sus contenidos en muestras ambientales. Ambas especies de cromo (III) y (VI) pueden coexistir en aguas naturales, efluentes y suelos dependiendo del pH del medio y de sus características de oxidación reducción (Alcivar & Mosquera, 2011).

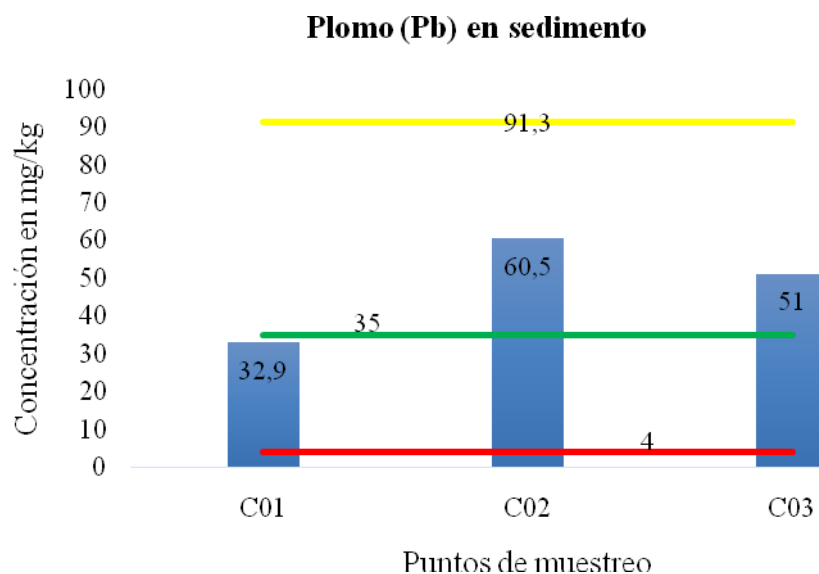


**Figura 24. Grafico de valores del Mercurio (Hg) en sedimentos de los tres puntos de muestreo con relación a las normas de referencia SQGPA - CCME para PEL (amarillo), TEL (verde) y SQuiRTs - NOAA (rojo).**

Fuente: Elaboración propia.

El Mercurio (Hg), presento un patrón de concentraciones bajas en los valores de los tres lugares de muestreo, representados en los valores del histograma de la figura 24; indican que el mayor resultado es en el punto C01, el cual arroja un valor en mg/Kg de 0,00186 que en comparación con los parámetros de *PEL* (90mg/kg) y *TEL* (37,3mg/kg), y *NOAA-SQuiRTs* (7mg/kg), el total se encuentra con un valor muy bajo, evidenciando así la baja contaminación de sedimentos por Hg.

El bajo contenido de algunos metales puede ser causado por la suspensión del sedimento que provoca la resolubilización (la solubilidad es la capacidad de una sustancia de disolverse en otra llamada disolvente), de estos compuestos hacia la columna de agua y su transporte hacia otras áreas. Estas diferencias estacionales no solo dependen de fuentes antropogénicas y litogénicas, sino también de la textura del sedimento, puesto que su concentración media de metales pesados se encuentra muy ligada a los parámetros granulométricos y a su composición mineral (Rosas 2001, citado en Arias & Ramírez, 2009).



**Figura 25. Grafico de valores del Plomo (Pb) en sedimentos de los tres puntos de muestreo con relación a las normas de referencia SQGPA - CCME para PEL (amarillo), TEL (verde) y SQiRTs - NOAA (rojo).**  
Fuente: Elaboración propia.

Las concentraciones de Plomo (Pb) de los tres lugares de muestreo, representados en los valores del histograma de la figura 25; indican que el mayor resultado es en el punto C02, el cual arroja un valor en mg/Kg de 60,50 que en

comparación con los parámetros de *PEL* (90 mg/kg), se encuentra relativamente bajo, pero con respecto a los valores admisibles de *TEL* (37,3 mg/kg), y *NOAA-SQuiRTs* (7 mg/kg), el resultado se encuentra bastante alto.

Teniendo en cuenta que el Pb es un metal de vida media larga y peligroso para la salud (Zambrano *et al* 2005, citado en Arias & Ramírez, 2009) menciona que cualquier aumento en su movilización es importante y requiere la implementación de programas de monitoreo y control. La presencia considerable de tales cantidades de plomo en los sedimentos pudo deberse al uso de fertilizantes y plaguicidas en áreas próximas a la Laguna, que ingresan al cauce por escorrentía superficial; a la acumulación de residuos de combustibles fósiles que contienen plomo y a la descarga de aguas de escorrentía de aceites, pinturas y combustible.

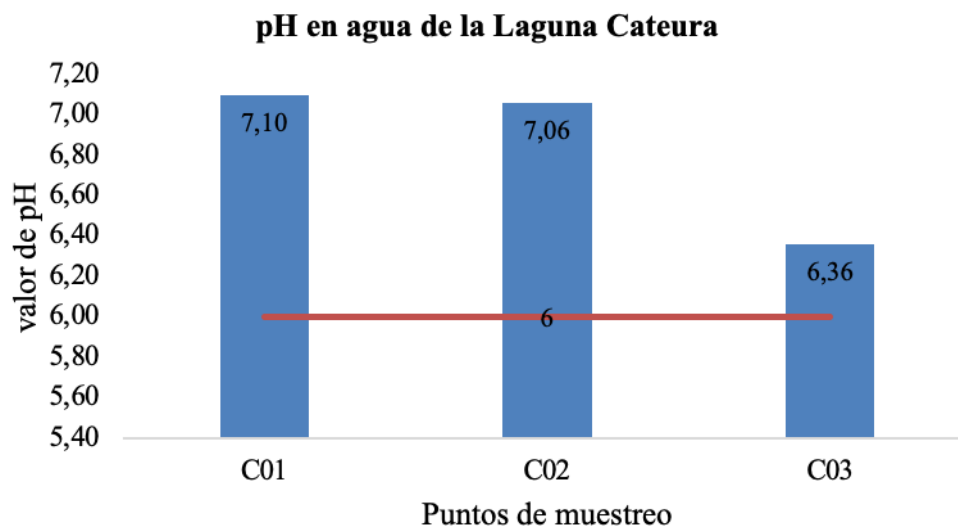
#### 4.3 Análisis Físicoquímicos del Agua de la Laguna Cateura

Para conocer la calidad ambiental del agua de la Laguna Cateura, se ha tenido en cuenta las características de cada muestra comparando los valores obtenidos con lo establecido en el Padrón de Calidad de las Aguas en el Territorio Nacional según la Resolución N° 222/02 de la SEAM (Actualmente MADES).

**Tabla 8. Resultados de los análisis físicoquímicos del agua.**

<b>AGUA DE LA LAGUNA CATEURA</b>					
<b>Determinaciones</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valores</b>	<b>Puntos de Muestreo</b>		
		<b>Admisibles</b> (Res.222/02)	<b>C01</b>	<b>C02</b>	<b>C03</b>
pH	UpH	6,0 a 9,0	7,10	7,06	6,36
Conductividad	µS/cm	SR	437,0	446,0	451,0
Sólidos T. Disueltos a 180 °C	mg/L	500	258,0	265,0	264,0
Nitrato (como N-NO <sub>3</sub> )	mg/L	10	0,400	0,660	0,637
Fósforo Total	mg/L	0,05	0,930	0,996	1,00
Sodio (Na)	mg/L	200	24,34	26,06	24,11
Cromo (Cr) Total	mg/L	0,5	0,005	0,006	0,005
Mercurio (Hg) Total	mg/L	0,002	0,00393	0,00176	0,000813
Plomo (Pb)	mg/L	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Grado de salinidad	°/°°	SR	0,12	0,07	0,07

Fuente: Elaboración propia.

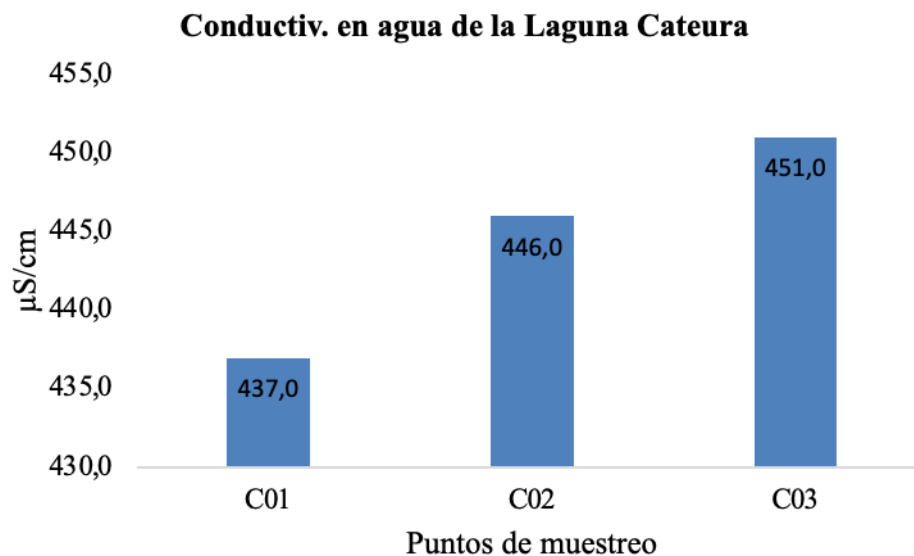


**Figura 26. Gráfico de valores de pH en los tres puntos de muestreo, en comparación con la línea de referencia Res. N° 222/02.**

Fuente: Elaboración propia.

Para los resultados de los valores de pH, se utilizó el valor de referencia admisible de 6 a 9, teniendo en cuenta la resolución 222/02 de la SEAM (actualmente MADES), valores representados en el histograma de la figura 26, dando como resultado el valor superior en el punto C01, con 7,10 UpH, valor de pH neutro a ligeramente básica o alcalina para el agua.

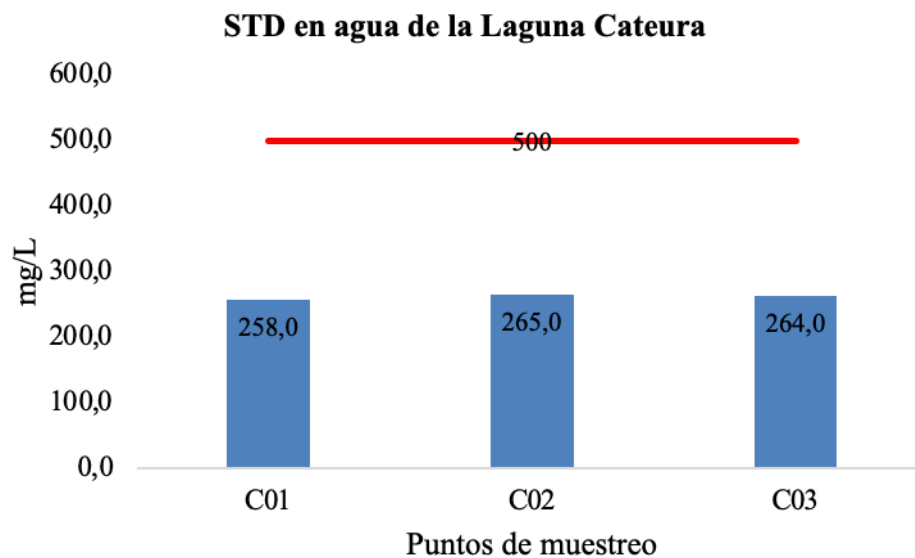
El pH es un factor muy importante en los sistemas químicos y biológicos de las aguas naturales. El valor del pH compatible con la vida piscícola está comprendido entre 5 y 9. Sin embargo, para la mayoría de las especies acuáticas, la zona de pH favorable se sitúa entre 6.0 y 7.2. Fuera de este rango no es posible la vida como consecuencia de la desnaturalización de las proteínas (Cabrera, 2019).



**Figura27. Gráfico de valores de conductividad eléctrica en los tres puntos de muestreo.**  
Fuente: Elaboración propia.

Para los resultados de los valores de Conductividad eléctrica (Ce), sin valor de referencia admisible, valores representados en el histograma de la figura 27, dando como resultado el valor superior en el punto C03, con 451,0µS/cm.

Es una expresión numérica de la capacidad de transportar corriente eléctrica, y depende de la presencia de iones, de su concentración, valencia, entre otras, el agua destilada tiene una conductividad inicial de 50 a 200 µS/cm, aumentando en 200 a 400µS/cm, debido a la absorción de dióxido de carbono, (APHA 1992, citado en Salinas 2019). La Ce es importante para determinar la calidad de aguas de cauces fluviales, siendo ésta directamente proporcional a la concentración de sales solubles como el Na<sup>+</sup> y Ca<sup>++</sup>, una elevada concentración de las mismas facilita la liberación a la columna de agua, estas pueden reemplazar a metales pesados por su capacidad de intercambio catiónico (Mauro 2014, citado en Salinas 2019).

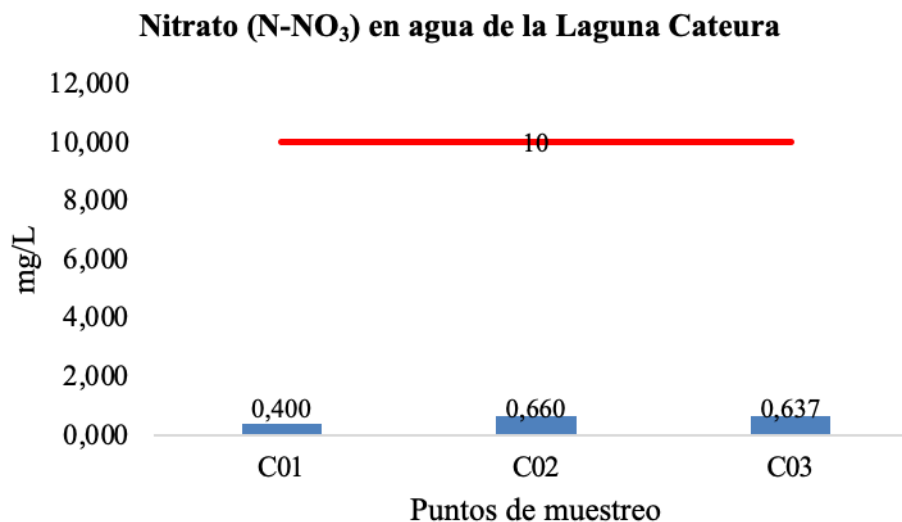


**Figura 28.** Gráfico de valores de sólidos totales disueltos en los tres puntos de muestreo, en comparación con la línea de referencia Res. N° 222/02.

Fuente: Elaboración propia.

Los sólidos totales disueltos presentan los valores intermedios, representados en el histograma de la figura 28, dando el mayor valor en el punto C02 con 265,0 mg/L.

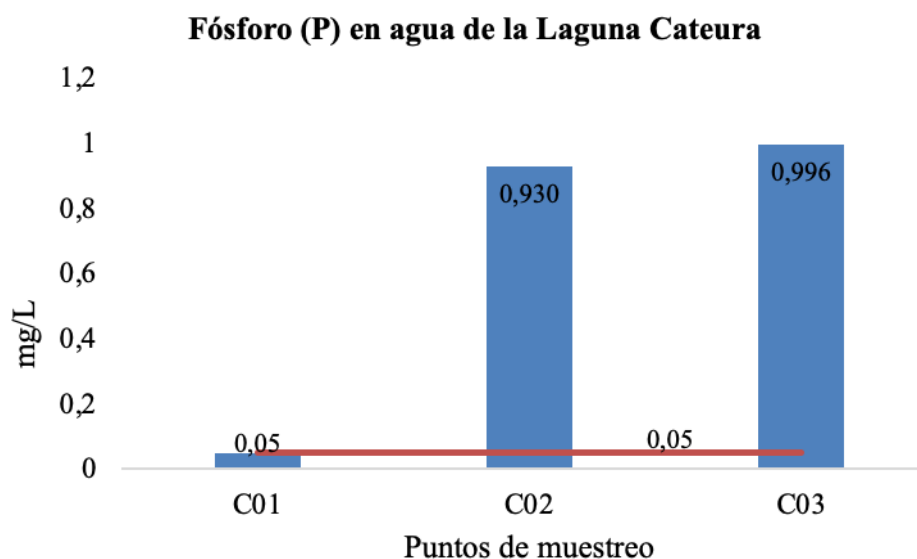
STD es una medida de la materia en una muestra de agua, y es básicamente la suma de todos los minerales, metales, y sales disueltos en el agua y es un buen indicador de la calidad del agua (Sigler, 2017); es clasificado como un contaminante secundario y se sugiere un máximo de 500 mg/L en agua según la Resolución 22/02 de la SEAM (Actualmente MADES), Éste estándar secundario se establece porque los STD elevados proporcionan al agua una apariencia turbia y disminuye el sabor en ésta.



**Figura 29.**Gráfico de valores de Nitrato (N-NO<sub>3</sub>) en los tres puntos de muestreo, en comparación con la línea de referencia Res. N° 222/02.

Fuente: Elaboración propia.

Para los resultados de los valores de (Nitrato) N-NO<sub>3</sub>,se utilizó el valor de referencia admisible de 10 mg/L, teniendo en cuenta la resolución 222/02 de la SEAM (actualmente MADES), valores representados en el histograma de la figura 29, arrojando parámetros bajos, el valor superior es en el punto C02, con 0,660mg/L.

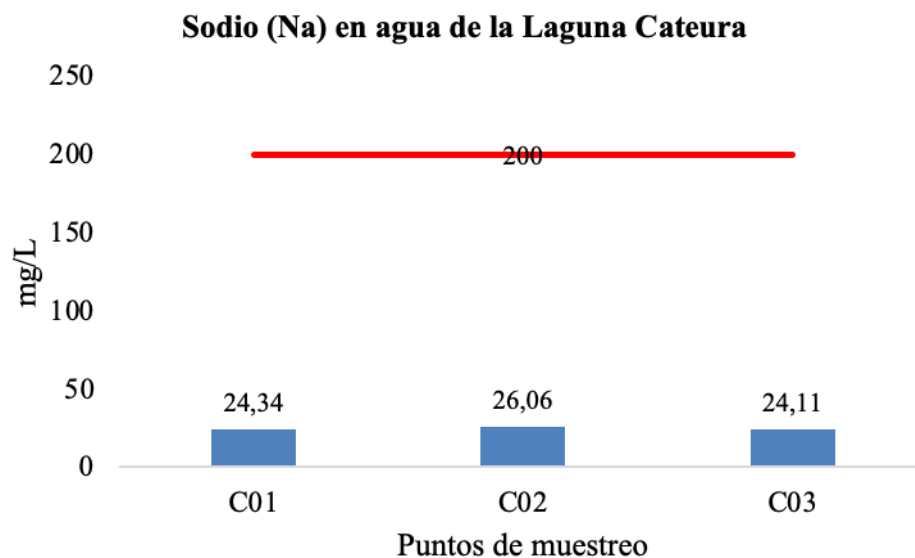


**Figura 30.**Gráfico de valores de Fósforo (P) en los tres puntos de muestreo, en comparación con la línea de referencia Res. N° 222/02.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de análisis de fósforo total (P), indican las concentraciones superiores al patrón del parámetro en la mayoría de los puntos de colecta, se utilizó el valor de referencia admisible de 0,05 mg/L, teniendo en cuenta la resolución 222/02 de la SEAM (actualmente MADES), los resultados están representados en el histograma de la figura 30, siendo el de mayor valor en el punto C03, con 0,996 mg/L.

Sierra (2011), menciona que el fósforo es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en las aguas superficiales ocurren nocivas proliferaciones incontroladas de algas, actualmente existe mucho interés en limitar la cantidad de fósforo que alcanzan las aguas superficiales por medio de vertimientos de aguas residuales domésticas, industriales y por escorrentía; puede ser utilizado como indicador de cantidad de detergentes sintéticos vertidos a una corriente, ya que éstos poseen entre el 12 al 13% de fósforo en sus formulaciones.

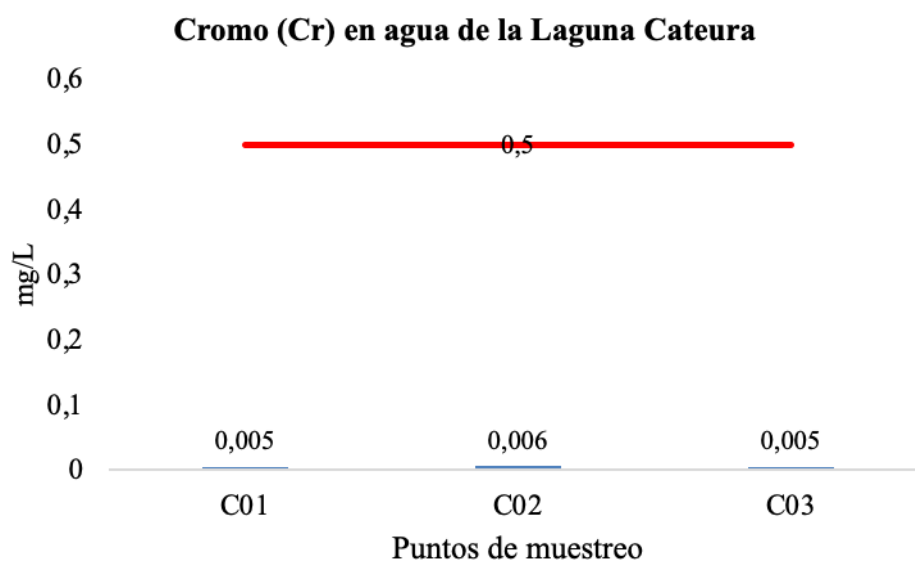


**Figura 31. Gráfico de valores de Sodio (Na) en los tres puntos de muestreo, en comparación con la línea de referencia Res. N° 222/02.**

Fuente: Elaboración propia.

Para los resultados de los valores del Sodio (Na), se utilizó el valor de referencia admisible de 200mg/L, teniendo en cuenta la resolución 222/02 de la SEAM (actualmente MADES), valores representados en el histograma de la figura 31, arrojando parámetros bajos, el valor superior es en el punto C02, con 26,06 mg/L.



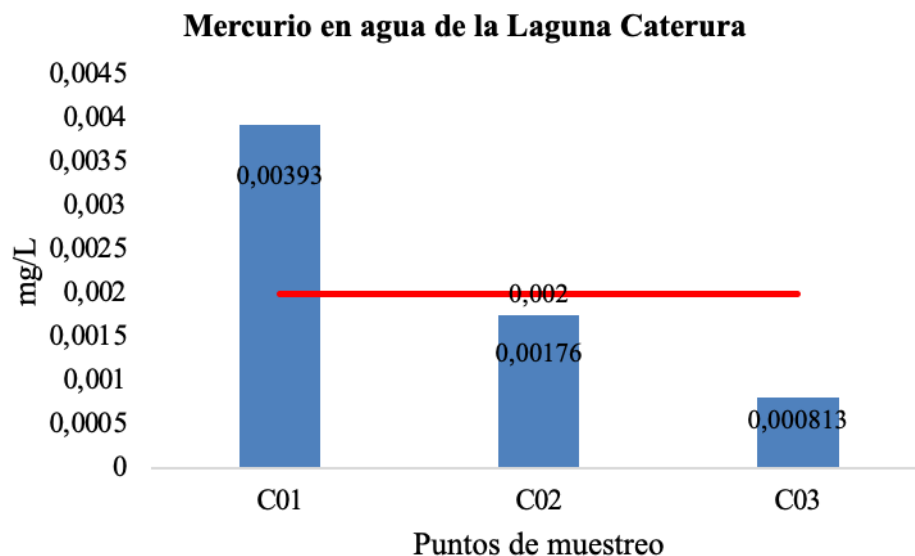


**Figura 32. Gráfico de valores de Cromo (Cr) en los tres puntos de muestreo, en comparación con la línea de referencia Res. N° 222/02.**

Fuente: Elaboración propia.

Para los resultados de los valores del Cromo (Cr), se utilizó el valor de referencia admisible de 0,5mg/L, teniendo en cuenta la resolución 222/02 de la SEAM (actualmente MADES), valores representados en el histograma de la figura 32, arrojando parámetros bajos en comparación a lo admisible, el valor superior es en el punto C02, con 0,006 mg/L.

La toxicidad del Cr varía con el tipo de peces, con la temperatura y el pH del agua, así como también con su estado de oxidación, siendo el Cr6+ el más nocivo. Las sales de cromo imparten una coloración en el agua (Sierra, 2011).

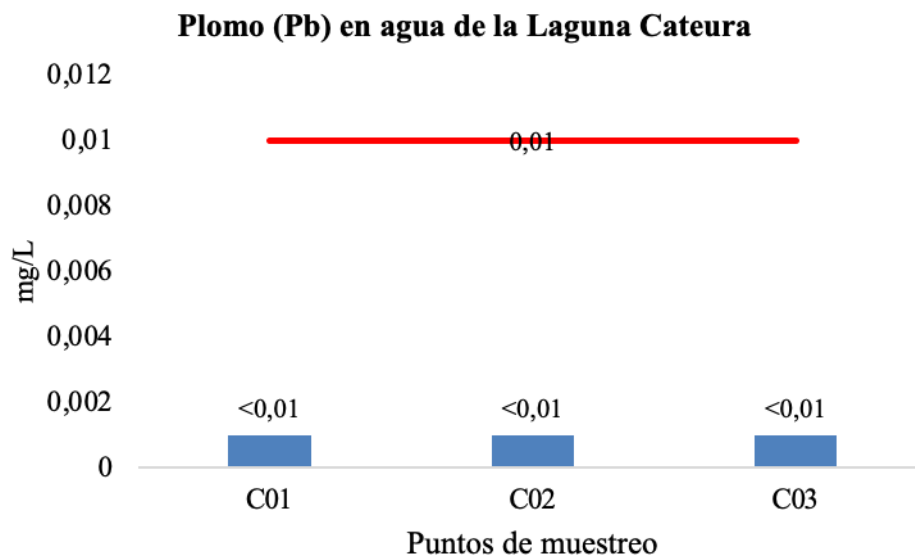


**Figura 33.**Gráfico de valores de Mercurio (Hg) en los tres puntos de muestreo, en comparación con la línea de referencia Res. N° 222/02.

Fuente: Elaboración propia.

El Mercurio (Hg) presenta valores intermedios, representados en el histograma de la figura 33, dando el mayor valor en el punto C01 con 0,00393 mg/L, el máximo valor que sobrepasa al valor admisible de 0,002 mg/L de la Resolución 222/02 de de la SEAM (actualmente MADES).

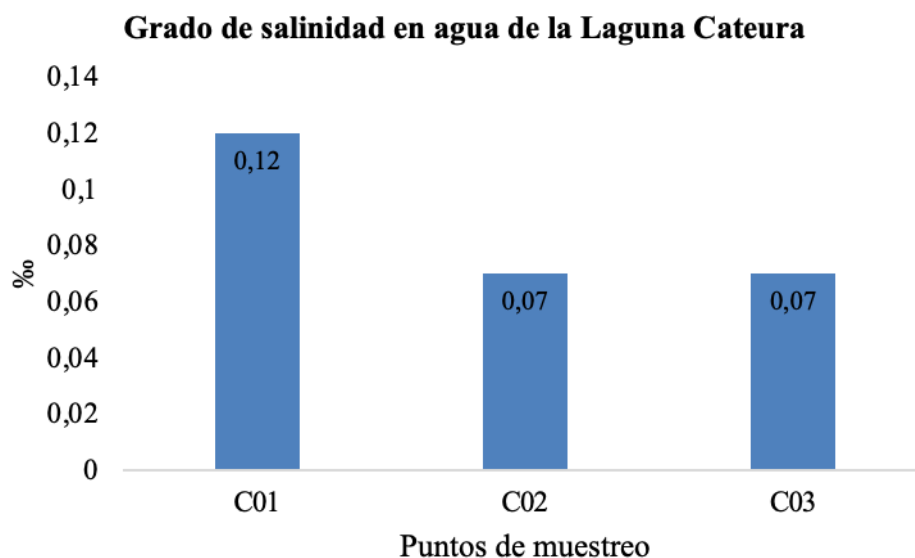
Cuando el Mercurio está presente en agua de consumo de una u otra forma invade el cuerpo humano a través de los tejidos de la piel o ingestión de comida, preparada con dicha agua, o animales provenientes de ella. Debilita progresivamente los músculos, pérdida de la visión, deteriora otras funciones cerebrales, genera parálisis eventual, o estado de coma. (Sierra, 2011).



**Figura 34.**Gráfico de valores de Plomo (Pb) en los tres puntos de muestreo, en comparación con la línea de referencia Res. N° 222/02.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de análisis del Plomo (Pb), indican las concentraciones menores al patrón del parámetro en todos de los puntos de colecta, se utilizó el valor de referencia admisible de 0,01 mg/L, teniendo en cuenta la resolución 222/02 de la SEAM (actualmente MADES), los resultados están representados en el histograma de la figura 34, todos los puntos arrojaron valores <0,01 mg/L.



**Figura 35.**Gráfico de valores de Grado de Salinidad en los tres puntos de muestreo.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de Grado de Salinidad presentan los valores representados en el histograma de la figura 35, sin valor de referencia, dando el mayor valor en el punto C01 con 0,12%.

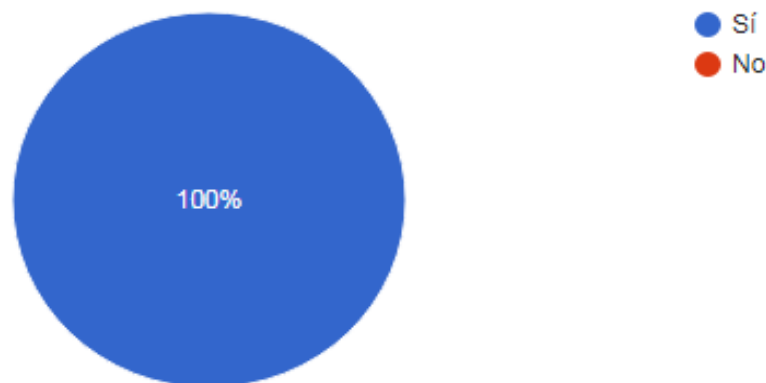
La salinidad es una propiedad importante para las aguas naturales e industriales. Originalmente fue concebida como una medida la masa desales disueltas. Su determinación inicialmente se hacía por secado y pesado de las sales, pero presenta dificultades por las pérdidas de algunos compuestos. Actualmente, la salinidad se determina indirectamente por la medida de propiedades físicas del aguatales como la conductividad, la densidad y la velocidad del sonido (Sierra, 2011).

#### 4.4 Encuestas Realizadas

Los resultados de las encuestas elaboradas, representan a los datos proporcionados por los mismos encuestados (41 personas) que se visualizan en las figuras 34, 35, 36, 37, 38, 39,40 y 41 respectivamente:

##### 1-¿La Laguna Cateura suele sufrir inundaciones?

(41 respuestas)



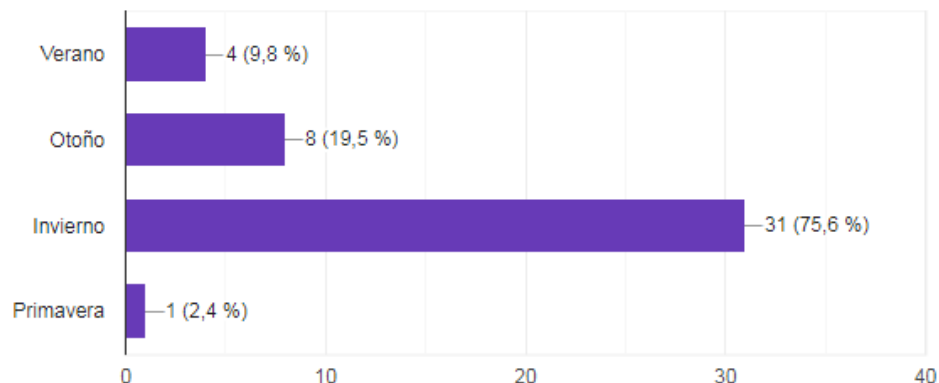
**Figura36. Porcentaje de respuestas al cuestionario 1.**

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico de porcentaje de respuestas al cuestionario 1, se puede observar que el 100% del total de las personas encuestadas respondieron de manera positiva en referencia a que la Laguna Cateura está sujeta a sufrir inundaciones.

## 2-¿En qué estación del año son más frecuentes las inundaciones?

(41 respuestas)



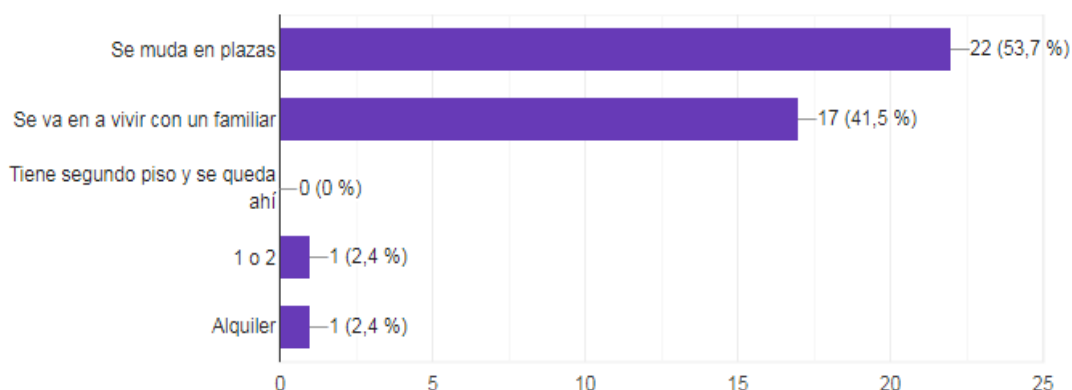
**Figura 37. Porcentaje de respuestas al cuestionario 2.**

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico de porcentaje de respuestas al cuestionario 2, respecto a la estación del año en que son más frecuentes las inundaciones, se puede observar que el 75,6% del total de las personas encuestadas respondieron que la Laguna Cateura está sujeta a sufrir inundaciones en invierno, mientras que la segunda estación más frecuente sería otoño con 19,5% de respuestas, por otra parte con menores porcentajes se encuentran verano con 9,8% respuestas y primavera con 2,4%.

## 3-¿Qué medidas toma ante las inundaciones?

(41 respuestas)



**Figura38. Porcentaje de respuestas al cuestionario 3.**

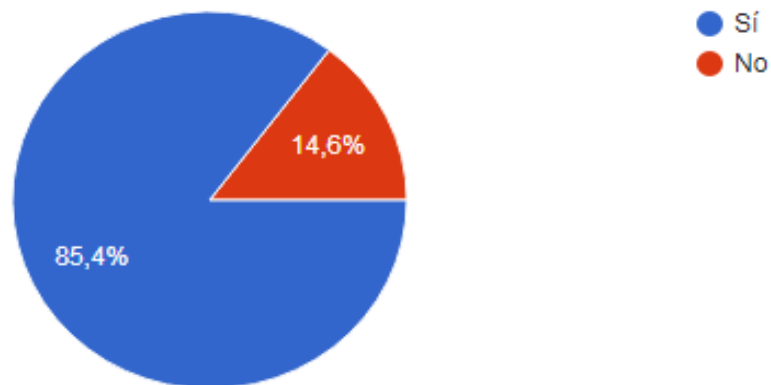
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico de porcentaje de respuestas al cuestionario 3, en relación a qué medidas toma ante las inundaciones, el 53,7% del total de las personas encuestadas

respondieron que se muda en plazas, el 41,5% respondió que se va a vivir con un familiar, y de igual manera con un 2,4% respondieron que van a un lugar de alquiler, o indistintamente las respuestas 1 o 2, mientras que el 0% de las personas no poseen un segundo piso en su domicilio como para quedarse ahí durante las inundaciones.

#### 4-¿Desea reubicarse en otro lugar que no esté propenso a inundarse?

(41 respuestas)



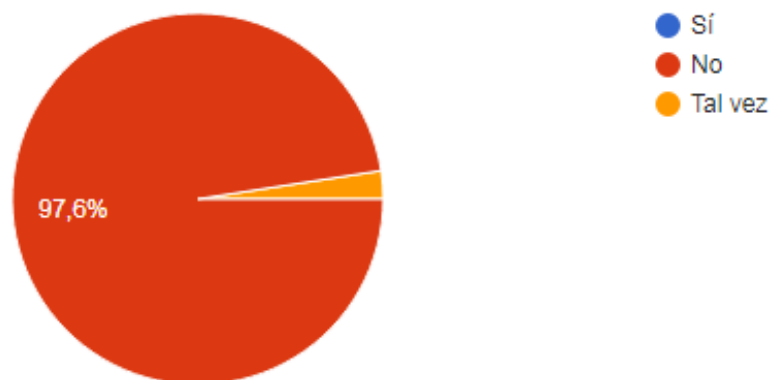
**Figura 39. Porcentaje de respuestas al cuestionario 4.**

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico de porcentaje de respuestas al cuestionario 4, con la pregunta de que si desea o no reubicarse en otro lugar que no esté propenso a inundarse, el 85,4% del total de las personas encuestadas respondieron que sí lo desean mientras que el 15,6% respondieron que no lo desean.

#### 5-¿Piensa que las autoridades se preocupan por cuidar la Laguna?

(41 respuestas)



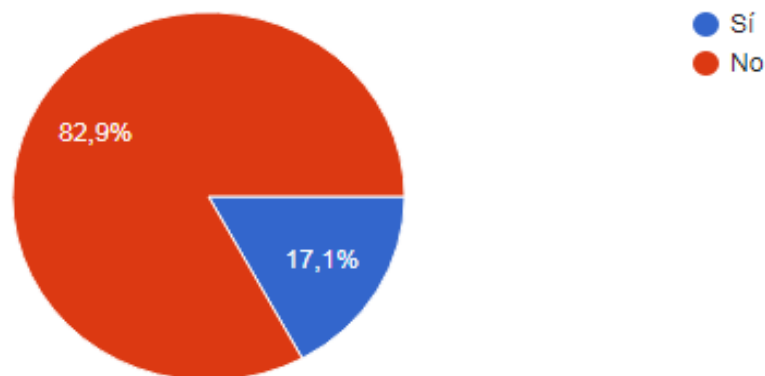
**Figura 40. Porcentaje de respuestas al cuestionario 5.**

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico de porcentaje de respuestas al cuestionario 5, con la pregunta ¿piensa que las autoridades se preocupan por cuidar la Laguna?, el 97,6% del total de las personas encuestadas respondieron de manera negativa, mientras que el 2,4 de las personas respondieron que tal vez las autoridades se preocupen.

**6-¿En su domicilio cuenta con desagüe cloacal?**

(41 respuestas)



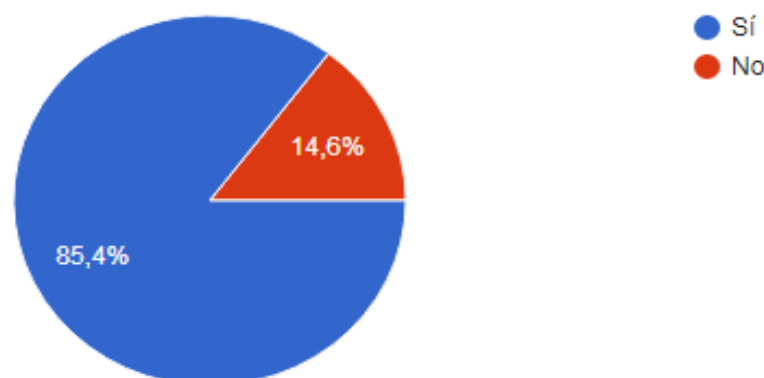
**Figura 41. Porcentaje de respuestas al cuestionario 6.**

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico de porcentaje de respuestas al cuestionario 6, con respecto a si las familias cuentan en su domicilio con desagüe cloacal, el 82,9% del total de las personas encuestadas respondieron que no, y el 17,1% respondieron que sí.

**7-¿En su domicilio cuenta con los servicios básicos correspondientes (luz, agua, recolección de residuos)?**

(41 respuestas)

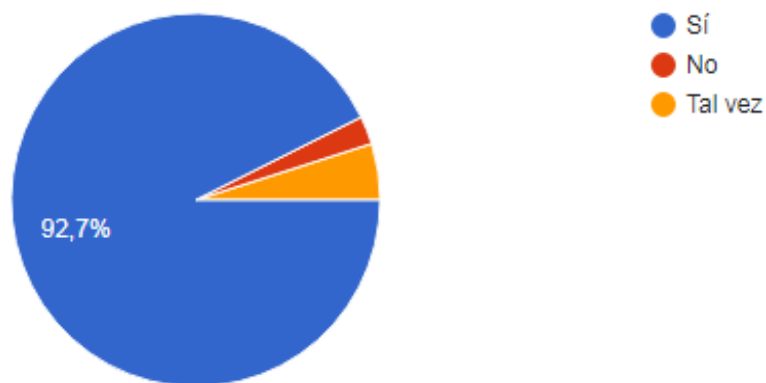


**Figura 42. Porcentaje de respuestas al cuestionario 7.**

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico de porcentaje de respuestas al cuestionario 7, en referencia que las familias en su domicilio cuentan con los servicios básicos correspondientes (luz, agua, recolección de residuos), el 85,4% de las personas respondieron afirmativamente, mientras que el 14,6% respondieron negativamente.

**8-¿Está de acuerdo con que el vertedero Cateura se reubique??**



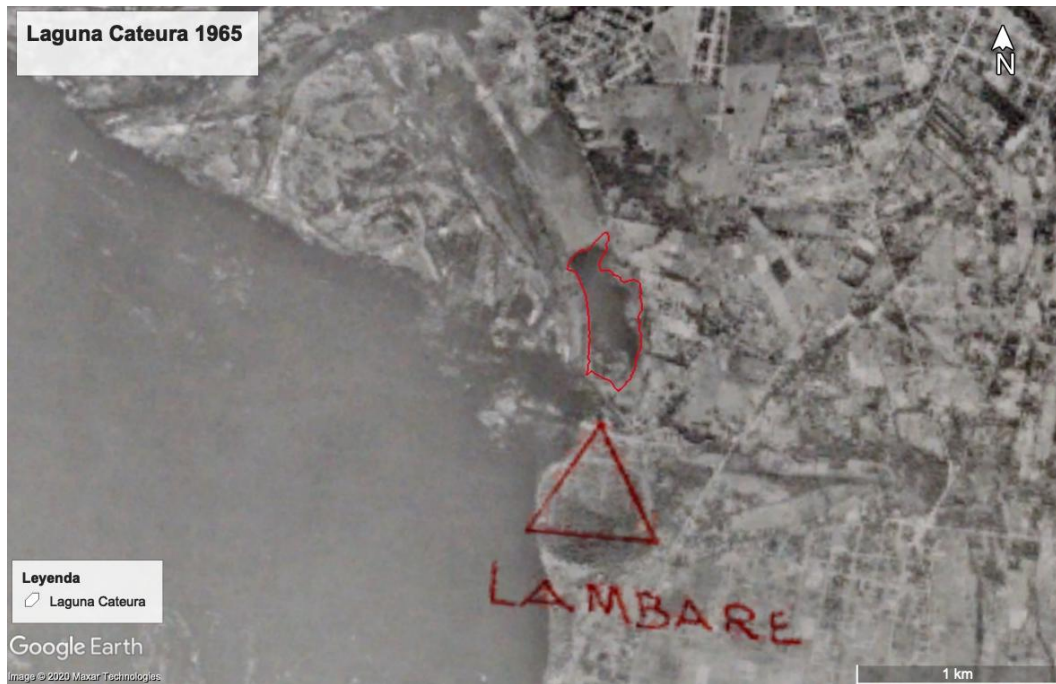
**Figura 43. Porcentaje de respuestas al cuestionario 8.**

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico de porcentaje de respuestas al cuestionario 8, que menciona si estarían de acuerdo con que el vertedero Cateura se reubique, el 92,7% del total de las personas encuestadas, respondieron de manera positiva, el 4,9% respondieron que tal vez, y el 2,4% dieron una respuesta negativa.



#### 4.5 Análisis de la Comparación Multitemporal



**Figura 44. Fotografía aérea de Laguna Cateura año 1965.**

Fuente: Dirección General del Servicio Geológico Militar.



**Figura 45. Imagen Satelital de Laguna Cateura año 2020.**

Fuente: Elaboración propia.



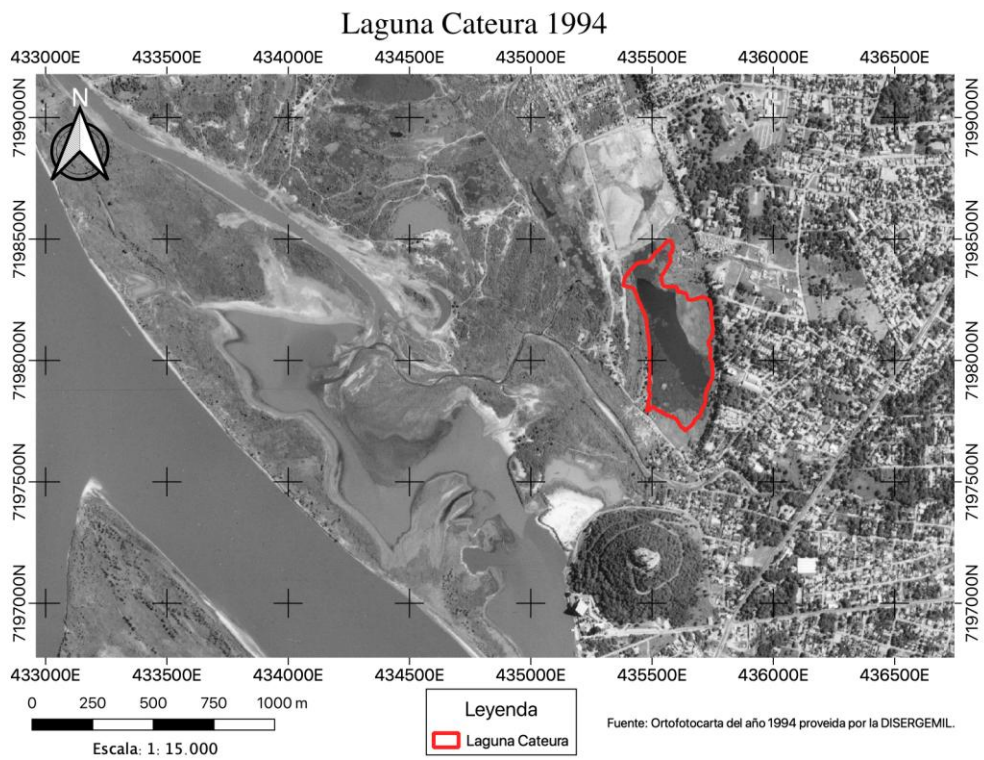


**Figura 46. Fotografía antigua de Laguna Cateura año 1970.**  
Fuente: Fotografías Antiguas del Paraguay.

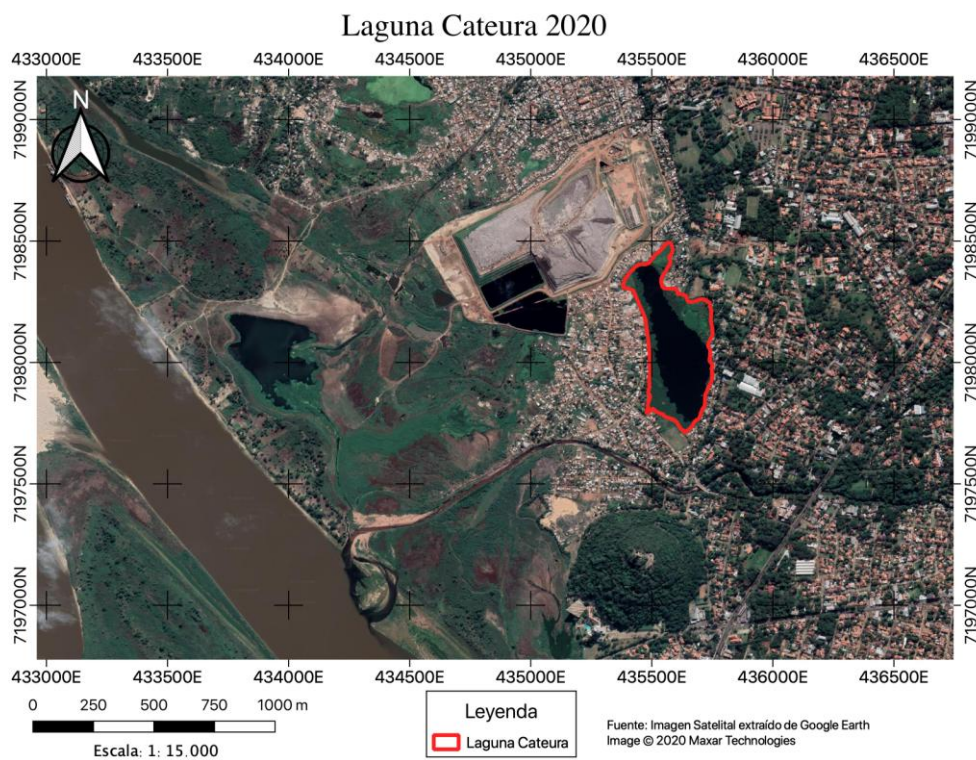


**Figura 47. Fotografía antigua Laguna Cateura año 1980.**  
Fuente: Fotografías Antiguas del Paraguay





**Figura 48. Ortofotocarta de Laguna Cateura año 1994.**  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 49. Imagen Satelital de Laguna Cateura año 2020.**  
Fuente: Elaboración propia.





**Figura 50. Imagen Satelital de Laguna Cateura año 2005.**  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 51. Imagen Satelital de Laguna Cateura año 2014.**  
Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis multitemporal de las imágenes, se realizó una comparación de la fotografía aérea de la zona de la Laguna Cateura del año 1965, con una imagen satelital de *Google Earth* del año 2020, donde se puede visualizar que aparentemente la Laguna Cateura es un remanente del paleocauce del río Paraguay, se puede constatar que el mismo llegaba al pie del cerro Lambaré, y que el Vertedero Cateura fue instalado prácticamente sobre el río.

En las fotografías antiguas de los años 1970 y 1980, a color, se puede visualizar la zona con mucha vegetación y sin la instalación del Vertedero Cateura.

En la superposición de la ortofotocarta del año 1994, con la imagen satelital de *Google Earth* del año 2020, se evidencia la instalación del vertedero con 10 años de antigüedad aproximadamente en la primera imagen, actualmente el vertedero ocupa aproximadamente 40 ha.

Por último en las imágenes satelitales de *Google Earth* de los años 2005 y 2014 respectivamente, se pueden visualizar época de sequía e inundación en la zona de estudios.

## 5. CONCLUSIONES

La mayoría de las concentraciones de los parámetros en agua no sobrepasaron los valores máximos establecidos de las normas ambientales (Res. N° 222/02), manteniendo concentraciones parecidas en los tres puntos de muestreo. A excepción del Fósforo y el Mercurio; mientras que las concentraciones en los sedimentos fueron comparadas con normas internacionales *NOAA-SQuiRTs* de los *EE.UU* y *CCME-SQGPA* Canadiense, arrojando valores que sobrepasan lo permisible en los resultados del Cr y Pb, esto muestra que tanto en la columna de agua como en la de sedimentos del lecho de la Laguna Cateura, los valores sobrepasen las normas de referencia.

Éstas se ven relacionadas con los parámetros fisicoquímicos y granulométricos, viéndose potencialmente afectada la calidad ambiental, representando la importancia del estudio de los sedimentos y no solamente la columna de agua. Respondiendo a la hipótesis de que la degradación ambiental de la Laguna Cateura es consecuencia de desechos y vertidos clandestinos.

En cuanto a la percepción social, se pudo visualizar la problemática de los habitantes del barrio Jukyty, concretamente los que habitan alrededor de la Laguna Cateura. Concluyendo que es de suma importancia tomar conciencia y reflexionar sobre el impacto de la contaminación en la calidad de vida de las generaciones futuras, mediante soluciones sustentables y sostenibles de los recursos naturales, así como también la evaluación y gestión medioambiental.

## **6. RECOMENDACIONES**

De acuerdo a los resultados de la investigación realizada, se presentan a continuación las siguientes recomendaciones:

El factor principal para viabilidad de un vertedero es la ubicación, al no tener en cuenta este punto, los efectos relacionados con la naturaleza indefectiblemente será negativo, mediante los resultados y conclusiones de este trabajo, el Vertedero Cateura, los vertederos clandestinos y el ordenamiento territorial representan los principales riesgos de contaminación para la Laguna Cateura.

Desde el punto de vista de sustentabilidad y sostenibilidad, para solucionar o al menos remediar los efectos negativos en el ambiente, producidos por la intervención humana, se requiere la aplicación de diversas acciones estructurales (construcción de infraestructura urbana y de servicios básicos). Pero antes de actuar era necesario conocer los factores de la presión antropogénica y de la situación ambiental en general, para informar a las autoridades correspondientes, las condiciones actuales, lo que permitió evaluar la magnitud de los cambios sucedidos, detectar sus dinámicas evolutivas y proponer las medidas adecuadas de respuesta al respecto.

Se inspeccionó las inmediaciones del Relleno Sanitario, donde se pudo observar presencia de casas con gran cantidad de basura acumulada, canales de desagüe de agua colmatadas de basuras. En los alrededores de la laguna Cateura se evidenció la presencia de gran cantidad de residuos sólidos y líquidos, peces muertos y caños de desechos industriales vertidas en la misma.

Se recomienda realizar nuevamente los análisis de parámetros de calidad de agua y sedimentos de la Laguna Cateura, por estaciones del año, como así también en épocas de sequía e inundaciones; siendo conveniente también efectuar los análisis de calidad de aire, teniendo en cuenta los gases tóxicos emitidos por los residuos.

Aunque se han realizado numerosos esfuerzos por varias décadas a fin de mejorar la problemática asociada al manejo inadecuado de los desechos sólidos en el país, la poca o nula coordinación no ha producido los resultados esperados. Es necesario un trabajo interdisciplinario entre diversas instituciones. Cabe destacar la escasa participación comunitaria en el planteamiento de los problemas y sus soluciones. La preocupación por los asuntos relacionados con la salud y el ambiente como consecuencia. Es necesario promover la conciencia ciudadana y fortalecer las organizaciones comunitarias. Además, no debe faltar el apoyo a grupos juveniles y ONG, que trabajan en el área del saneamiento ambiental.

También es importante promover medidas preventivas y de mitigación que se basen en la reutilización, recuperación y reciclaje de los diversos materiales aprovechables, a manera de disminuir las cantidades de desechos y reducir los impactos ambientales que ellos ocasionan.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCIVAR TENORIO, M., & MOSQUERA ARMIJO, J. (2011). Concentración de metales pesados (Cr total, Pb, Cd) en agua superficial y sedimentos en el Estero Salado (Guayaquil) (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Naturales. Escuela de Biología).

ALVES, L. M. (2014). Evaluación del riesgo ambiental de sedimentos marinos afectados por la contaminación de productos farmacéuticos: estudios en laboratorio e in situ (Doctoral dissertation, Universidad de Cádiz).

ARAGÓN, M. & SANCHEZ, M. (2015). Determinación De Sodio, Potasio, Calcio, Bario Y Litio En El Agua Que Se Distribuye En El Cantón Ojo De Agua Municipio De Huizucar Departamento De La Libertad Por Fotometría De Llama. El Salvador.

ARIAS ALMEIDA, J. C., & RAMÍREZ, J. J. (2009). Caracterización preliminar de los sedimentos de un embalse tropical: represa La Fe (El Retiro, Antioquia, Colombia). *Limnetica*, 28(1), 065-78.

ARIAS, F. A. (2003). Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos). Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12010/13536>.

BARONA, N. FERNÁNDEZ, B. SALINAS, P. (2012). Sedimentología y Estratigrafía. Ambientes Lacustres. Universidad Autónoma de México.

BARRIOS L. (02 de mayo de 2018). Cuatro Barrios se vuelven vertederos. ABC Color. Disponible en <https://www.abc.com.py/>.

BENÍTEZ A. (19 de mayo de 2018). Cateura es área protegida de Asunción dentro de un Parque Nacional. Última Hora. Disponible en <https://www.ultimahora.com/>

BRINSON, M. M., & MALVÁREZ, A. I. (2002). Temperate freshwater wetlands: types, status, and threats. *Environmental Conservation*.

BRIREZ, L. (2019). Contenido De Metales Pesados Cr Y Pb En Sedimentos En Un Tramo Del Cauce Del Arroyo Yukyry-Mí. (Tesis de Grado). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales-Paraguay.

CABELLO, J., (2018). El medio ambiente a través de la Geología. Prólogo. Geohuellas. Año 1 Número 1. Chile.

CABRERA, M. (2019). Determinación de la calidad del agua en los sitios de recreación turística: diques de Mera, Shell y Pambay de la provincia de Pastaza (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

CASTILLO MARÍN, G. P. (2009). Análisis del riesgo ambiental de un vertedero controlado de residuos.

CATÁSTROFE AMBIENTAL LATENTE, ADMINISTRADORA DE CATEURA OCULTA DATOS. (18 de diciembre de 2015). Disponible en <https://www.lanacion.com.py/>.

CELABE, R. (2018). Geoturismo En El Cerro Yaguarón, Ciudad de Yaguarón, Departamento de Paraguari. (Tesis de Grado). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales-Paraguay.

COLMAN, C., MOISES, G., RICARDO, S., DANIEL, V., SERGIO, R. (29 y 30 de noviembre del 2018). Geomorfología de la Ciudad de Asunción. Universidad Nacional de Asunción.

COMIN-CHIARAMONTI, P., CUNDARI, A., GOMES, C. B., PICCIRILLO, E. M., CENSI, P., DEMIN, A., & ORUÉ, D. (1991). Potassic dyke swarm in the Sapucaí graben, Eastern Paraguay: petrographical, mineralogical and geochemical outlines. *Lithos*.

COWARDIN, LM (1979). Clasificación de humedales y hábitats de aguas profundas de Estados Unidos. Servicio de Pesca y Vida Silvestre, Departamento del Interior de EE. UU.

DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICAS, ENCUESTAS Y CENSO. (2012). Atlas Censal del Paraguay. Disponible en <https://www.dgeec.gov.py/>

GEOLOGÍA DEL PARAGUAY. Disponible en: <http://www.geologiadelparaguay.com>

GONZÁLEZ, M; BARTEL, W. 1998. Mapa Geológico de la República del Paraguay: Hoja Paraguari (en línea). Asunción, PY. Disponible en <http://www.geologiadelparaguay.com/ParaguarC3AD.pdf>

GONZÁLEZ, M. C. (2001). El terreno (Vol. 44). Univ. Politèc. de Catalunya.  
Pérez, S. (2005). Análisis Físico-Químico de Suelos y Sedimentos. Escuela Nacional de Antropología e Historia, Distrito Federal., pag, 15-23.

GONZÁLEZ SEPÚLVEDA, E., RETAMAL CIFUENTES, M., MEDINA PEDREROS, V., AHUMADA BERMÚDEZ, R., & NEIRA HINOJOSA, J. (2009). Enriquecimiento, disponibilidad y contaminación de metales traza (Cd, Cu, Pb y Zn) en sedimentos de lagunas urbanas de Concepción-Chile. *Química Nova*, 32(4), 902-907.

GRANADA, N., MEZA, J. (15 de enero de 2019). No hay música para el conflicto de la basura. Infotierra. Disponible en <https://archivo.elsurti.com/cateura/#>

HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ-COLLADO, C., & BAPTISTA-LUCIO, P. (2014). Metodología de la investigación. 6ta Edición. México.

LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN PARAGUAY. FUENTE: REVISTA N° 158, Año 39, de Coomecpar, Pág. 36 y 37. Disponible en <http://www.geam.org.py/v3/blog>

LA SALUD ES DE TODOS- INFORME FINAL. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PES/rendicion-cuentas-informe-gestion-2018.pdf>

LÓPEZ, J., VÁSQUEZ V., GÓMEZ A., PRIEGO, A., (2010). Humedales. Disponible en <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/9655/09/HUMEDALESB.pdf;jsessionid=EA5>

MACÍAS HERNÁNDEZ, P. G. (2015). Determinación de metales pesados (Pb, Cd, Cr) en agua y sedimentos de la zona estuarina del río Tuxpan, Veracruz.

MARTINS A. Relaciones entre La Tectónica y la Sedimentación Cenozoica en la Region del Graben de Ypacaraí (Rift de Asunción, Paraguay Oriental).

MOLINA, P. X., RODRÍGUEZ, B. X., & ARÁNGUIZ, A. A. (2010). Análisis de la composición físico química de los sedimentos fluviales y su relación con la disponibilidad de metales en agua. Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). Santiago, Chile, 69.

NAKAYAMA, H. (2016). Plan Maestro del Centro Histórico de Asunción – Paraguay (Plan CHA). AV proyectos, (92), 16-19.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OPS/OMS) 2001. Análisis sectorial de residuos sólidos en Paraguay.

OROZCO, A. (2005). Bioingeniería de aguas residuales. acodal.

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.

PLAN MAESTRO DEL CENTRO HISTÓRICO DE ASUNCIÓN. Disponible en: [https://issuu.com/ecosistemaurbano/docs/plan\\_cha\\_t1\\_p1\\_documentacion](https://issuu.com/ecosistemaurbano/docs/plan_cha_t1_p1_documentacion)

RAMIREZ L., GOMEZ R., CANTERO N., LUGO L., (2006). Carta Geotécnica de la Ciudad de Asunción. Facultad de Ciencias y Tecnología. Universidad Católica “Nuestra Señora de la Asunción y Facultad de Ingeniería Universidad de Asunción.

RAMOS, C. (2015). Evaluacion De Metales Pesados En Aguas Superficiales En El Area De Influencia Al Emisario Submarino En El Corregimiento De Punta Canoas Departamento De Bolivar. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10819/2844>

SIERRA RAMÍREZ, C. A. (2011). Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico. Sello Editorial de la Universidad de Medellín.

SALINAS, N. (2019). Presencia De Metales Cr, Hg, Pb, Zn, Mn, Cu Y Fe En Los Sedimentos Y El Agua Del Cauce Del Arroyo San Lorenzo (Dpto. Central, Paraguay).(Tesis de Mestría). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales-Paraguay.

SIGLER, A., & BAUDER, J. (2017). Alcalinidad, pH, y sólidos disueltos totales. Obtenido de WellEducated Educación en el Agua de Pozo: [http://region8water.colostate.edu/PDFs/we\\_espanol/Alkalinity\\_pH\\_TDS](http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS), 20, 2012-11.

TARBUCK, E. J., & LUTGENS, F. K. (2005). Ciencias de la Tierra. Universitario, 32.

## **ANEXOS**

### **Anexos A. Trabajo de Campo**



**A1. Vista al Vertedero Cateura, desde la Laguna.**  
Fuente: Elaboración propia.



**A2. Vista al Cerro Lambaré, desde la Laguna.**  
Fuente: Elaboración propia.





**A3. Basura a orillas de la Laguna Cateura.**  
Fuente: Elaboración propia.

**Anexos B. Fotografías Extraídas de Publicaciones**



**B1. A un lado del vertedero más grande del país, un barrio: San Cayetano. Al otro, un Río: el Paraguay.**  
Fuente: Juan Carlos Meza / Fotociclo.





**B2. Cada día, 800 a 1.200 toneladas de basura ingresan al vertedero de Asunción. Se calcula que se recolecta la mitad de lo que producen sus habitantes. La cobertura de recolección en el país es del 57%, la segunda más baja de la región después de Haití.**  
Fuente: Juan Carlos Meza / Fotociclo.



**B3. Las piletas de lixiviado tienen un dique de contención de 11 mts. Según la empresa que gestiona el vertedero, la inundación del Río debe superar los 10 mts. para ser un riesgo. El Río Paraguay tuvo su mayor inundación en 1983, superando los 9 mts.**  
Fuente: Juan Carlos Meza / Fotociclo.





**B4. Inmediatamente fuera de los lindes de Cateura, casi un centenar de pequeños vertederos clandestinos son la principal amenaza de vertido de lixiviado al cauce del Río.**

Fuente: Juan Carlos Meza / Fotociclo.



**B5. Una consultora internacional comisionada por el gobierno calcula que la capacidad del vertedero será sobrepasada en el 2020. El pleito judicial que impide su mudanza está desde 2017 en manos de la Corte Suprema de Justicia.**

Fuente: Juan Carlos Meza / Fotociclo.





**B6. Orilla de la Laguna Cateura.**

Fuente: ABC color.



**B7. Inundación en fecha 06/2014.**

Fuente: ABC color.





**B8. La inundación que afectó al vertedero de Asunción en fecha 12/2015.**  
Fuente: La Nación.



**B9. Humo tóxico tras incendio en Cateura en fecha 10/2020.**  
Fuente: ABC color.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN  
 Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
 Laboratorio de Calidad de Agua

**INFORME DE ENSAYO**

INF.0588/2020

Solicitante: CLARA VELAZQUEZ	Solicitud de trabajo Nº: 241/2020
Dirección: Campus de la UNA	Código de ítem: 543

**Descripción de ítem:** Datos declarados por el cliente; Sedimento de fondo proveniente de Laguna Cateura – CO2. Fecha de muestreo: 15/07/2020.

Fecha de recepción: 15/07/2020	Fecha de ejecución del ensayo: 15/07/2020	Fecha del informe: 29/07/2020
--------------------------------	---	-------------------------------

Determinaciones	Métodos	Resultados	Unidad	No Aplica
pH	PRO.ME 002-Rev.03/SM 4500-H+ B	5,62	UpH	--
Materia Orgánica (como O <sub>2</sub> )	Reducción del Permanganato - NN	105700,0	mg/kg	--
Cromo (Cr) Total	SM 3500-Cr D	40,45	mg/kg	--
Mercurio (Hg) total	SM 3500-Hg B	0,63	µg/kg	--
Plomo (Pb)	SM 3030, SM 3500-Pb B	60,50	mg/kg	--

**Abreviaturas:** UpH = unidad de pH, mg/kg = miligramos por kilogramo, µg/k = microgramos por kilogramo. SM = Método Estándar - Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, edición Nº 17 (APHA-AWWA-WPCF). PRO.ME = procedimiento interno, Rev. = revisión, NN = no normalizado.

**Ítem:** muestra ensayada

**Notas:**

- Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio.
- El(Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) únicamente a la(s) muestra(s) ensayada(s) y suministrada(s) por el solicitante.
- Nombre del contacto: Clara Velázquez                      Teléfono: 0981 810 732



*(Signature)*  
 Prof. Lic. Estanislaa Acosta Morales  
 Jefe, Laboratorio de Calidad de Agua

Fin del informe  
 Pag. 1/1

REG 063.06





UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Laboratorio de Calidad de Agua

**INFORME DE ENSAYO**

INF.0589/2020

Solicitante: CLARA VELAZQUEZ	Solicitud de trabajo N°: 241/2020
Dirección: Campus de la UNA	Código de ítem: 544

**Descripción de ítem:** Datos declarados por el cliente; Sedimento de fondo proveniente de Laguna Cateura – CO3. Fecha de muestreo: 15/07/2020.

Fecha de recepción: 15/07/2020      Fecha de ejecución del ensayo: 15/07/2020      Fecha del informe: 29/07/2020

Determinaciones	Métodos	Resultados	Unidad	No Aplica
pH	PRO.ME 002-Rev.03/SM 4500-H+ B	5,30	UpH	--
Materia Orgánica (como O <sub>2</sub> )	Reducción del Permanganato - NN	82900,0	mg/kg	--
Cromo (Cr) Total	SM 3500-Cr D	26,09	mg/kg	--
Mercurio (Hg) total	SM 3500-Hg B	0,46	µg/kg	--
Plomo (Pb)	SM 3030, SM 3500-Pb B	51,00	mg/kg	--

**Abreviaturas:** UpH = unidad de pH, mg/kg = miligramos por kilogramo, µg/k = microgramos por kilogramo. SM = Método Estándar - Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, edición N° 17 (APHA-AWWA-WPCF). PRO.ME = procedimiento interno, Rev. = revisión, NN = no normalizado.

**Ítem:** muestra ensayada

**Notas:**

- Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio.
- El(Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) únicamente a la(s) muestra(s) ensayada(s) y suministrada(s) por el solicitante.
- Nombre del contacto: Clara Velázquez      Telefono: 0981 810 732



Prof. Lic. Estanislao Acosta Morales  
Jefe, Laboratorio de Calidad de Agua

**Fin del informe**  
Pag. 1/1

REG 063.06



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Laboratorio de Calidad de Agua

**INFORME DE ENSAYO**

INF.0584/2020

Solicitante: CLARA VELAZQUEZ	Solicitud de trabajo N°: 240/2020
Dirección: Campus de la UNA	Código de ítem: 539

**Descripción de ítem:** Datos declarados por el cliente; Agua de Laguna Cateura – CO1.  
Fecha de muestreo: 15/07/2020.

Fecha de recepción: 15/07/2020	Fecha de ejecución del ensayo: 15/07/2020	Fecha del informe: 29/07/2020
--------------------------------	---	-------------------------------

Determinaciones	Métodos	Resultados	Unidad	Referencia – Resol. N° 222/02 SEAM - valores máximos admisibles
pH	PRO.ME 002-Rev.03/SM 4500-H+ B	7,10	UpH	6,0 a 9,0
Conductividad	SM 2510 B	437,0	µS/cm	SR
Sólidos Totales Disueltos a 180 °C	SM 2540 C	258,0	mg/L	500
Nitrato (como N-NO <sub>3</sub> )	Reducción con Cinc - NN	0,400	mg/L	10
Fósforo Total	SM 4500-P B, SM 4500-P E	0,930	mg/L	0,05
Sodio (Na)	SM 3500-Na B	24,34	mg/L	200
Cromo (Cr) Total	SM 3500-Cr D	0,005	mg/L	0,5
Mercurio (Hg) total	SM 3500-Hg B	3,93	µg/L	2
Plomo (Pb)	SM 3030, SM 3500-Pb B	<0,01	mg/L	0,01
Grado de salinidad	Método de calculo	0,12	‰	SR

**Abreviaturas:** °C = grados Celsius, UpH = unidad de pH, µS/cm = micro siemens por centímetro, mg/L = miligramos por litro, µg/L = microgramos por litro, N = nitrógeno, ‰ = partes por mil, < = menor que, SR = sin referencia. Resol. = Resolución, SM = Método Estándar - Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, edición N° 17 (APHA-AWWA-WPCF). PRO.ME = procedimiento interno, Rev. = revisión, NN = no normalizado, SEAM = Secretaría del Ambiente (Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADES).

**Ítem:** muestra ensayada

**Notas:**

- Valores de referencia establecidos para agua de Clase 2 por la mencionada resolución del MADES.
- Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio.
- El(Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) únicamente a la(s) muestra(s) ensayada(s) y suministrada(s) por el solicitante.
- Nombre del contacto: Clara Velázquez                      Telefono: 0981 810 732



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Laboratorio de Calidad de Agua

INFORME DE ENSAYO

INF.0585/2020

Solicitante: CLARA VELAZQUEZ	Solicitud de trabajo N°: 240/2020
Dirección: Campus de la UNA	Código de ítem: 540

**Descripción de ítem:** Datos declarados por el cliente; Agua de Laguna Cateura – CO2.  
Fecha de muestreo: 15/07/2020.

Fecha de recepción: 15/07/2020    Fecha de ejecución del ensayo: 15/07/2020    Fecha del informe: 29/07/2020

Determinaciones	Métodos	Resultados	Unidad	Referencia – Resol. N° 222/02 SEAM - valores máximos admisibles
pH	PRO.ME 002-Rev.03/SM 4500-H+ B	7,06	UpH	6,0 a 9,0
Conductividad	SM 2510 B	446,0	µS/cm	SR
Sólidos Totales Disueltos a 180 °C	SM 2540 C	265,0	mg/L	500
Nitrato (como N-NO <sub>3</sub> )	Reducción con Cinc - NN	0,660	mg/L	10
Fósforo Total	SM 4500-P B, SM 4500-P E	0,996	mg/L	0,05
Sodio (Na)	SM 3500-Na B	26,06	mg/L	200
Cromo (Cr) Total	SM 3500-Cr D	0,006	mg/L	0,5
Mercurio (Hg) total	SM 3500-Hg B	1,76	µg/L	2
Plomo (Pb)	SM 3030, SM 3500-Pb B	<0,01	mg/L	0,01
Grado de salinidad	Método de calculo	0,07	‰	SR

**Abreviaturas:** °C = grados Celsius, UpH = unidad de pH, µS/cm = micro siemens por centímetro, mg/L = miligramos por litro, µg/L = microgramos por litro, N = nitrógeno, ‰ = partes por mil, < = menor que, SR = sin referencia. Resol. = Resolución, SM = Método Estándar - Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, edición N° 17 (APHA-AWWA-WPCF). PRO.ME = procedimiento interno, Rev. = revisión, NN = no normalizado, SEAM = Secretaria del Ambiente (Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADES).

**Ítem:** muestra ensayada

**Notas:**

- Valores de referencia establecidos para agua de Clase 2 por la mencionada resolución del MADES.
- Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio.
- El(Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) únicamente a la(s) muestra(s) ensayada(s) y suministrada(s) por el solicitante.
- Nombre del contacto: Clara Velázquez                      Telefono: 0981 810 732



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Laboratorio de Calidad de Agua

INFORME DE ENSAYO

INF.0586/2020

Solicitante: CLARA VELAZQUEZ	Solicitud de trabajo N°: 240/2020
Dirección: Campus de la UNA	Código de ítem: 541

Descripción de ítem: Datos declarados por el cliente; Agua de Laguna Cateura – CO3.  
Fecha de muestreo: 15/07/2020.

Fecha de recepción: 15/07/2020    Fecha de ejecución del ensayo: 15/07/2020    Fecha del informe: 29/07/2020

Determinaciones	Métodos	Resultados	Unidad	Referencia – Resol. N° 222/02 SEAM - valores máximos admisibles
pH	PRO.ME 002-Rev.03/SM 4500-H <sup>+</sup> B	6,36	UpH	6,0 a 9,0
Conductividad	SM 2510 B	451,0	µS/cm	SR
Sólidos Totales Disueltos a 180 °C	SM 2540 C	264,0	mg/L	500
Nitrato (como N-NO <sub>3</sub> )	Reducción con Cinc - NN	0,637	mg/L	10
Fósforo Total	SM 4500-P B, SM 4500-P E	1,00	mg/L	0,05
Sodio (Na)	SM 3500-Na B	24,11	mg/L	200
Cromo (Cr) Total	SM 3500-Cr D	0,005	mg/L	0,5
Mercurio (Hg) total	SM 3500-Hg B	0,813	µg/L	2
Plomo (Pb)	SM 3030, SM 3500-Pb B	<0,01	mg/L	0,01
Grado de salinidad	Método de calculo	0,07	‰	SR

**Abreviaturas:** °C = grados Celsius, UpH = unidad de pH, µS/cm = micro siemens por centímetro, mg/L = miligramos por litro, µg/L = microgramos por litro, N = nitrógeno, ‰ = partes por mil, < = menor que, SR = sin referencia. Resol. = Resolución, SM = Método Estándar - Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, edición N° 17 (APHA-AWWA-WPCF). PRO.ME = procedimiento interno, Rev. = revisión, NN = no normalizado, SEAM = Secretaría del Ambiente (Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADES).

**Ítem:** muestra ensayada

**Notas:**

- Valores de referencia establecidos para agua de Clase 2 por la mencionada resolución del MADES.
- Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio.
- El(Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) únicamente a la(s) muestra(s) ensayada(s) y suministrada(s) por el solicitante.
- Nombre del contacto: Clara Velázquez      Telefono: 0981 810 732

## Resolución N° 222/02

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

Asunción, 22 de abril de 2002

**VISTO:** La necesidad de establecer, un padrón de calidad de agua esencial para la defensa de los niveles de calidad basados en parámetros e indicadores específicos, de modo de asegurar sus usos preponderantes, y

**CONSIDERANDO:** Que, la salud es el bienestar del ser humano, bien como equilibrio ecológico, no debe ser afectado como consecuencia del deterioro de la calidad de las aguas,



Que, los costos del control de la polución pueden ser mejor adecuados, cuando los niveles de calidad exigidos para un determinado cuerpo de agua o sus diferentes trechos, están de acuerdo con los usos que se pretende dar a los mismos.

Que, la clasificación de los cuerpos de aguas debe ser compatible fundamentalmente, los niveles de calidad que deberían de poseer para atender las necesidades de la comunidad.

Que, la necesidad de crear instrumentos para evaluar la evolución de la calidad de las aguas, con relación a los niveles establecidos en la clasificación, de forma a facilitar los controles de metas fijando atender gradualmente los objetivos permanentes.

Que, el desarrollo industrial y usos de defensivos agrícolas que pueden encontrarse actualmente en el país.

Que la necesidad de reformular, periódicamente, el padrón de calidad de agua, de acuerdo con la evolución industrial y tecnológica bien como socioeconómica;

Que de conformidad al Art. 18 cinc. g) de la Ley 1561/00, es atribución del Secretario Ejecutivo dictar todas las Resoluciones que sean necesarias para la consecución de los fines de la Secretaria, pudiendo establecer los reglamentos internos necesarios para su funcionamiento.

POR TANTO, en uso de sus atribuciones

EL SECRETARIO EJECUTIVO DE LA SECRETARIA DEL AMBIENTE

RESUELVE

Art. 1º: Son clasificadas, según sus usos preponderantes, en 4 clases del Territorio Nacional.

1 Clase 1- Aguas destinadas:

- a) Los abastecimientos domésticos después del tratamiento simplificado;
- b) La protección de las comunidades acuáticas
- c) Las recreaciones de contacto primario (natación, esquí-acuático)
- d) La irrigación de hortalizas que son consumidas crudas, las frutas que crecen en los suelos y que sean ingeridas crudas sin la remoción de la película.
- e) La cría natural y/o intensiva (acuicultura), de especies destinadas para la alimentación humana.

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) La irrigación de hortalizas que son consumidas crudas, las frutas que crecen en los suelos y que sean ingeridas crudas sin la remoción de la película.

e) La cría natural y/o intensiva (acuicultura), de especies destinadas para la alimentación humana.

3 Clase 3- Aguas destinadas

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

4 Clase 4- Aguas destinadas

- a) Para la navegación
- b) Para la 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 o 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. 2º: 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
- d) Colorantes 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 fructíferas que se manejan en el suelo y que son consumidas crudas, sin remoción de las cáscaras o la película, no deben ser poluidas por excrementos humanos, atendiendo a la necesidad de una inspección sanitaria periódica.

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 recolectando 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 nefelometría de turbidez (UNT)
- j) Color: hasta 15 mgPt/l

k) pH: 6,0-9,0

l) Sustancias potencialmente perjudiciales (tenores máximos permisibles):

**Inorgánicos (mg/l)**

Aluminio	0,2 Al
Amonio no ionizable	0,02 NH <sub>3</sub>
Cloratos	250 CL
Hierro Soluble	0, 3 Fe
Sólido disuelto total	0,025 P
Nitrógeno Total	0,30 N
Sulfatos	250 S <sub>04</sub>
Nitrato	10 N
Nitrito	1,0 N
Sodio	200 Na
Dureza	300 Ca
Selenio	0,01 Se
Manganeso	0,1 Mn
Bario	2, 0 Ba
Arsénico	0,01 As
Cianatos (como cianato libre)	0, 2 CN
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
Glifozato	0,7
Alaclor	cero
Trifluralina	0,02
Propanil	0,02
Picloran	0,5
Bentazón	0,03
Carbofuran	0,04
Endosulfan	0,056
Enithothion	0,003
DDVP (dicholorvos)	0,01
Diazion	0,005
Simazina	0,004

Chlordane	cero
DDT	0,002
Endrin	0,002
Heptaclor	cero
Lindano (BHC)	0,0002
Methoxyclor	0,04
Dioxina (2,3,7,8-TCDD)	cero
PCBs (bifenilpoliclorados)	cero
Benzo (a) pireno	0,0007
Etilbenzeno	cero
Tricloroetileno	cero
Trihalometano total (TTHMs)	0,1
Micocistina LR	0,001

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

- a) No será permitida la presencia de colorantes artificiales que no sean removidos por procesos de coagulación, sedimentación y filtración convencional
- b) Coniformes 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 coliformespor 100 ml en 80 % o más de por lo menos 5 muestras mensuales,
- c) Color: hasta 75 Pt/l
- d) Turbidez: hasta 100 UNT
- e) DBO 5d 20° C hasta 5 mg/l
- f) OD, en cualquier muestra: no inferior a 5 mg/l O<sub>2</sub>
- g) Fosforo Total o 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 coniformes fecales: hasta 4000, por 100 ml en 80 % en las muestras
  - b) DBO 5d e 20°C hasta 10 mg/l
  - c) OD, en cualquier, no inferior a 4 mg/l
  - d) Turbidez: hasta 100 UTN
  - e) Color: hasta 75 mg/l
  - f) pH: 6,0 a 9,0
  - g) Substancias potencialmente perjudiciales (tenores máximos permisibles)
- |                       |                     |
|-----------------------|---------------------|
| Aluminio              | 0,2 Al              |
| Cloratos              | 250 CL              |
| Hierro Soluble        | 0,3 Fe              |
| Sólido disuelto total | 500                 |
| Sulfatos              | 250 S <sub>04</sub> |

Nitrato	10 N
Nitrito	10 N
Sodio	200 Na
Dureza	300 Ca
Selenio	0,01 Se
Manganeso	0,1 Mn
Bario	1, 0 Ba
Arsénico	0,05 As
Cianatos (como cianato libre)	0, 2 CN
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	0,002 Ni
Zinc	3,0 Zn
Na	200 Na

**Compuestos Orgánicos (mg/l)**

Dioxina (2,3,7,8 –TCDD)	cero
BifenilPoliclorados (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 contribuyan la colmatación e impidan la libre navegación : virtualmente ausentes
- e) Índice de fenoles; hasta 1 mg/l
- f) OD: superior a 2 mg/l
- g) pH 6-9

Art. 6° Las aguas destinadas a usos de recreación de contacto primario, serán encuadradas y tendrán su condición avaladas en Excelentes, 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 coniformes fecales es nulo.
- b) Muy buena; Cuando en 80% o más de u conjunto de muestras obtenidas en cada una de las 5 semanas, hubiera, en un máximo de 250 coliformes fecales por 100 ml.

- 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 100 ml.
- d) No Apta: Cuando ocurriera, cualquier de las 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 organolepticamente.
  - Presencia en las aguas, de moluscos transmisores potenciales de equistomiasis
  - 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 del cuerpo receptor no deberá exceder a 3 °C
- e) Materias sedimentables, hasta 1 ml/l en test de 1 hora como Imhoff
- f) régimen de lanzamiento con caudal máximo de hasta 1,5 veces a razón media del periodo crítico
- g) Aceites y grasas
  - aceites minerales hasta 20 mg/l
  - aceites vegetales e grasas animal hasta 50 mg/l
- h) ausencia de materias flotantes
- i) valores máximos admisibles en las siguientes sustancias (mg/l)

- Amonio	5,0 N
- Arsénico	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
- Cromo Hexavalente	0,5 Cr
- Cromo Trivalente	2,0 Cr
- Estaño	4,0 Sn
- Índice de Fenoles	0,5 C6H5OH
- Hierro Soluble	15 mg/l Fe
- Manganeso soluble	1,0 Mn
- Mercurio total	0,01 Hg
- Níquel	2,0 Ni

- Plata	0,1 Ag
- Selenio	0,05 S
- Sulfatos	0,05 Se
- Zinc	5,0 Zn
- Nitrógeno Total	40 N
- Fosforo total	4 P
- Coliformes fecales	4000 NMP/100ml

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

Art. 8° No será permitida la disolución de efluentes 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 del cuerpo receptor, demostrando por estudio de auto depuración realizado por la entidad responsable, la SEAM podrá 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 las aguas establecidas en esta resolución constituyen los límites individuales para cada sustancia. Eventuales acciones cinéticas 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.

Art. 11° En función a la recomendación de la OMS (Organización Mundial de la Salud- 1999) sugiere la realización de riguroso acompañamiento del lago eutrofizado para la protección y salud de usuarios (balneabilidad y abastecimiento público) cuando pase el número de células de cianobacteria 100.000 por ml.

Art. 12° Los límites de DBO, establecidos para clase 2 y 3, podrán ser elevados, en caso de que se presente el estudio de capacidad de auto depuración del cuerpo receptor y se demuestre que los tenores mínimos de Oxígeno disuelto OD, previstos, no serán cumplidos en ningún punto del mismo, en las condiciones críticas del caudal Q 7.10

Art. 13° Colectas de muestras de agua y sus respectivos análisis deberán ser efectuadas, según las metodologías internacionalmente reconocidas, como por ejemplo, normas publicadas por la ISO (Internacional Standardization Organization) y el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater- APHA-AWWA-WPCF de la última edición)

Art. 14° Después de la publicación de esta reglamentación, los laboratorios competentes deberán ser adecuados, para atender a pleno la ejecución de los análisis y exámenes constantes en los padrones

Art. 15° En las aguas de clase I no serán tolerados lanzamiento de aguas residuales de origen doméstico e industriales bien como cualquier substancia potencialmente tóxica.

Art. 16° En base a los usos y calidad fijada en los padrones de esta Resolución, la SEAM efectuara la clasificación de todos los sistemas hídricos del Territorio Nacional.

Art. 17° A fin de efectuar la clasificación y preservación de la calidad del agua compatible con las respectivas clases, serán realizadas monitoramientos en puntos escogidos estratégicamente y los resultados obtenidos serán publicados.

Art. 18° El cuerpo de agua conforme a su clasificación, que presenten condiciones en desacuerdo al padrón establecido, será objeto de disposiciones con plazos determinados fijando su recuperación para atender usos preponderantes de este recurso hídrico.

Art. 19° Los parámetros de calidad de las aguas y sus límites permisibles adoptados en esta Resolución deberán ser revisados periódicamente,

Art. 20° Comuníquese a quienes corresponda y cumplida archívese

EDMUNDO ROLON OSNAGHI  
Secretario Ejecutivo, Ministro



## **GLOSARIO**

**Calidad Ambiental:** Indicador del grado de adecuación del medio ambiente con las necesidades de vida de los organismos vivos, en especial del hombre.

**Conflicto Ambiental:** Situación de origen antrópico y/o natural que provoca un daño ambiental que se refleja en la sociedad y los ecosistemas, con la afectación de su existencia y desarrollo.

**Contaminación:** Cambio indeseable de las propiedades físicas, químicas y biológicas que puede provocar efectos negativos en los diferentes componentes del medio ambiente.

**Contaminante:** Sustancia química, biológica o radiológica, en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o encontrarse por encima de sus concentraciones normales en la atmósfera, agua, suelo, fauna o cualquier elemento natural altera y cambia su composición y condición natural.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno:** Medida indirecta de la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos durante la degradación biológica de la materia orgánica. Obs: Se usa también la sigla DBO.

**Demanda Química de Oxígeno:** Medida indirecta de la cantidad de oxígeno necesaria para estabilizar un residual. Obs: Se usa también la sigla DQO.

**Desarrollo Sostenible:** Proceso de mejoramiento equitativo de la calidad de vida de las personas mediante el cual se procura el crecimiento económico social en una relación armónica con la protección del medio ambiente, de modo tal que se satisfagan las necesidades de las generaciones actuales y de las futuras.

**Desechos Peligrosos:** Sustancias provenientes de diversas actividades y en cualquier estado físico que, por la magnitud o modalidad de sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, nocivas, explosivas, inflamables, biológicamente perjudiciales, infecciosas, irritantes u otras, representan un peligro para la salud humana y el medio ambiente.

**Desechos Tóxicos:** Residuos de un proceso productivo o investigativo peligrosos por su alto grado de toxicidad para las personas, plantas o animales.

**Eutrofización:** es el proceso de contaminación más importante de las aguas en lagos, balsas, ríos, embalses, etc. Este proceso está provocado por el exceso de nutrientes en el agua, principalmente nitrógeno y fósforo, procedentes mayoritariamente de la actividad del hombre.

**Evapotranspiración:** Se denomina evapotranspiración a la cantidad de agua evaporada del suelo y de las plantas cuando el terreno se encuentra con su contenido natural de humedad. Es la combinación de los fenómenos de evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación.

**Gestión Ambiental:** son las acciones encaminadas a lograr la máxima racionalidad en el proceso de decisiones en relación a la conservación, defensa, protección y mejora del Medio Ambiente, basándose en una coordinación multidisciplinaria y en la participación ciudadana. Una adecuada Gestión Ambiental permite: prevenir conflictos ambientales en un futuro, corregir conflictos actuales en materia ambiental y revertir procesos existentes de deterioro ambiental.

**Gestión de Residuos:** Formas y métodos de administración y utilización de los residuos de un territorio o área protegida que se aplican con el propósito de lograr su aprovechamiento sostenible.

**Laguna:** depósito de agua natural, generalmente de aguas dulces, y con menores dimensiones que el lago. La palabra laguna es de origen latín “lacuna”.

Formación de las lagunas puede ser por diversas causas, entre las cuales se puede mencionar las siguientes:

Origen tectónico, se forman por depresiones creadas por plegamientos de la corteza terrestre.

Volcánicas, creadas por la depresión formada después de la actividad de los volcanes.

Glaciares, en su avance y retroceso forman cavidades que con el tiempo se llenan por el agua del deshielo.

Desmoronamiento de la ribera de un río, o por el aislamiento de un brazo o meandro del mismo.

**Medio ambiente:** es el entorno vital, es decir, el conjunto de factores físico-naturales, socio-culturales, económicos y estéticos que interactúan entre sí, con el individuo y con la comunidad en la que vive, determinando su forma, carácter, relación y supervivencia. Está caracterizado por: **Medio Físico o Medio Natural:** es el sistema constituido por los elementos y procesos del ambiente natural y sus relaciones con el hombre. A su vez lo componen 3 subsistemas: - Medio Inerte: aire, tierra, agua. - Medio Biótico: flora y fauna. - Medio Perceptual: unidades de paisaje tales como: valles, cuencas, cordones montañosos, vistas (en el sentido paisajístico, como fondo escénico), etc. **Medio Socio-económico:** constituido por estructuras, condiciones sociales, histórico-culturales-patrimoniales y económicas de la población de un área determinada.

**Metales Pesados:** Elementos de elevado peso atómico potencialmente tóxicos que se emplean en procesos industriales, tales como el cadmio, el cobre, el plomo, el mercurio y el níquel que, incluso en bajas concentraciones, pueden ser nocivos para las plantas y los animales.

**Vertedero de residuos urbanos:** Un vertedero es un almacenamiento con carácter definitivo de residuos en tierra, en el que se deben controlar y someter a seguimiento todos los aspectos ambientales al objeto de no afectar al entorno, o en todo caso, conseguir que los efectos ambientales sean mínimos.

Un vertedero de residuos urbanos es un digestor de grandes dimensiones, situado en el suelo o en el subsuelo. Dentro de este gran digestor durante mucho tiempo se producen complejas reacciones químicas y biológicas.

**Relleno Sanitario:** El relleno sanitario es un método diseñado para la disposición final de la basura.

Este método consiste en depositar en el suelo los desechos sólidos, los cuales se esparcen y compactan reduciéndolos al menor volumen posible para que así ocupen

un área pequeña. Luego se cubren con una capa de tierra y se compactan nuevamente al terminar el día.

**Residuos Peligrosos:** Desechos sólidos, líquidos y gaseosos que por ser nocivos, tóxicos, infecciosos, radiactivos o inflamables, representan un peligro importante, ya sea real o potencial, para la salud humana, otros organismos vivos y el medio ambiente.

**Residuos Sólidos:** Materiales inservibles en estado sólido que incluyen la basura urbana, fangos cloacales, algunos desechos industriales y comerciales, los provenientes de operaciones agrícolas, cría de animales y otras actividades afines, así como de actividades de demolición y minería.