



FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

DETERMINACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO UTILIZANDO ÍNDICES NUMÉRICOS EN LA LAGUNA LA PAMPA, HUMEDALES DE VILLA, LIMA-PERÚ

Línea de investigación:

Biodiversidad, Ecología y Conservación

Tesis para Optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Cosme Fustamante, Alberto Pedro

Asesor:

Zamora Talaverano, Noé Sabino

Codigo ORCID 0000-0002-4368-8955

Jurado:

Aylas Humareda, María del Carmen

Martínez Cabrera, Rubén

Valdivia Orihuela, Braulio Armando

Lima - Perú

2023



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

**DETERMINACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO UTILIZANDO
ÍNDICES NUMÉRICOS EN LA LAGUNA LA PAMPA,
HUMEDALES DE VILLA, LIMA-PERÚ**

Línea de investigación: Biodiversidad, Ecología y Conservación

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Cosme Fustamante, Alberto Pedro

Asesor:

Zamora Talaverano, Noé Sabino

(ORCID: 0000-0002-4368-8955)

Jurado:

Aylas Humareda, María del Carmen

Martínez Cabrera, Rubén

Valdivia Orihuela, Braulio Armando

Lima – Perú

2023

Dedicatoria:

A mis padres, María e Hilario, cuyo ejemplo me mantiene a flote y provee de fuerza para seguir avanzando, a pesar de las dificultades que se presentan.

A todo aquel que demuestra ser fiel a sus convicciones y con su ejemplo es agente de cambio en la sociedad.

Agradecimiento:

Expreso un agradecimiento a mi asesor de tesis Dr. Noe Zamora Talaverano, por compartir su conocimiento y brindarme sus valiosas y oportunas sugerencias para el desarrollo de la presente investigación.

Mis más sinceros agradecimientos al Mg. Omar Ubillus Tolentino, Jefe del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (RVSLPV), por brindarme las facilidades y concederme el permiso para ingresar a la Laguna La Pampa.

Agradezco a los especialistas del RVSLPV, María del Carmen Díaz y Catalino Castillo, a los guardaparques por brindarme la ayuda necesaria en mis muestreos; en especial al Sr. Georgy León Blas, sin duda la historia del área incluye a todos ellos.

A mi amigo Wilfredo Puelles Ramírez, por ofrecerme su apoyo para los monitoreos y transporte de muestras, más aún cuando no podía hacer esfuerzo físico debido a mi operación.

Agradezco también a aquellas personas que me han ofrecido su ayuda sincera en cada etapa de esta tesis, aunque no los mencione, tiene un lugar especial en mis recuerdos.

A la vida, que me permitió formarme en esta emblemática casa de estudios, Universidad Nacional Federico Villarreal. A los maestros, que con sus clases memorables y en los viajes de campo, impartieron valiosos conocimientos.

ÍNDICE

<i>Dedicatoria</i>	2
<i>Agradecimiento</i>	3
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Descripción y formulación del problema.....	14
1.1.1. Descripción del problema	14
1.1.2. Formulación del problema	16
1.1.2.1. Problema principal	16
1.1.2.2. Problemas Secundarios	16
1.2. Antecedentes	17
1.2.1. Antecedentes nacionales	17
1.2.2. Antecedentes internacionales	22
1.3. Objetivos	27
1.3.1. Objetivo general.....	27
1.3.2. Objetivos específicos	27
1.4. Justificación e importancia.....	28
1.4.1. Justificación	28
1.4.2. Importancia	29
1.5. Hipótesis	29
II. MARCO TEÓRICO	30
2.1. Bases teóricas.....	30
2.1.1. Humedal.....	30
2.1.2. Clasificación de humedales.....	32
2.1.2.1. Sistema de clasificación de Cowardin et al. (1979).	32
2.1.2.2. Sistema de clasificación de Warner y Rubec (1997).....	34
2.1.2.3. Sistema de clasificación de la Convención de Ramsar (1990).....	36
2.1.3. Ambientes costeros	41
2.1.3.1. Costa peruana.....	41
2.1.3.2. Humedales costeros.....	42
2.1.4. Eutrofización.....	45
2.1.4.1. Proceso de Eutrofización	46

2.1.4.2. Clasificación de los estados tróficos	48
2.1.4.3. Factores de Eutrofización.....	51
2.1.4.4. Efectos de la eutrofización	53
2.1.4.5. Nutriente limitante	54
2.1.5. Ciclos biogeoquímicos	57
2.1.5.1. Ciclo del nitrógeno.....	58
2.1.5.2. Ciclo del fósforo.....	63
2.1.6. Parámetros químicos y físicos considerados para la determinación del estado trófico.....	66
2.1.6.1. Clorofila "a"	66
2.1.6.2. Fósforo total	67
2.1.6.3. Nitrógeno total	68
2.1.6.4. Transparencia del agua.....	69
2.1.7. Índices de estado trófico	70
2.1.7.1. Índice de Carlson (1977).....	71
2.1.7.2. Índice de Toledo et al. (1984)	75
2.1.7.3. Índice de OCDE (1982)	76
2.1.7.4. Índice de CEPIS	77
2.1.8. Descripción del área de estudio.....	79
2.1.8.1. Ubicación geográfica	79
2.1.8.2. Diagnóstico físico	80
2.1.8.3. Diagnóstico socioeconómico	92
2.2. Definición de términos básicos	95
III. MÉTODO	99
3.1. Tipo y nivel de investigación.....	99
3.1.1. Tipo de investigación	99
3.1.2. Nivel de investigación.....	99
3.2. Ámbito temporal y espacial	100
3.3. Variables	101
3.4. Población y muestra.....	104
3.4.1. Población.....	104
3.4.2. Muestra	104
3.5. Instrumentos y equipos	104
3.6. Metodología	107

3.6.1. Muestreo	107
3.6.2. Primera etapa: Gabinete I.....	115
3.6.3. Segunda etapa: Pre-trabajo de campo	116
3.6.4. Tercera etapa: Trabajo de campo	116
3.6.5. Cuarta etapa: Gabinete II	117
IV. RESULTADOS	118
4.1. Variación de parámetros durante el periodo de estudio	118
4.1.1. Parámetros de campo	118
4.1.1.1 Temperatura (T), Potencial de hidrógeno (pH) y Conductividad (CE).....	118
4.1.1.2. Disco Secchi o transparencia de la columna de agua.....	119
4.1.2. Parámetros químicos	120
4.1.2.1. Clorofila "a"	120
4.1.2.2. Fósforo Total.....	121
4.1.2.3. Nitrógeno Total.....	121
4.2. Nutriente limitante	122
4.3. Matriz de correlación	123
4.4. Variación de índices de estado trófico y clasificación	124
4.4.1. Índice de estado trófico según Carlson (1977).....	124
4.4.2. Índice de estado trófico según Toledo et al. (1984)	126
4.4.3. Clasificación de estado trófico.....	127
4.4.3.1. Clasificación de estado trófico según Carlson (1977).....	128
4.4.3.2. Clasificación de estado trófico según Toledo et al. (1984)	129
4.4.3.3. Clasificación de estado trófico según OCDE (1982)	130
4.4.3.4. Clasificación de estado trófico según CEPIS	131
4.5. Plantear medidas preventivas y de manejo ante la eutrofización de la laguna la pampa	132
4.5.1. Medidas preventivas	132
4.5.1.1. Educación ambiental.....	132
4.5.1.2. Construcción de una barrera verde.....	135
4.5.1.3. Limpieza y mantenimiento de canal	138
4.5.2. Medidas de manejo	139
4.5.2.1. Fitorremediación con Eichhornia crassipes o Lemna Sp	139
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	148
5.1. Temperatura	148

5.2. Potencial de hidrógeno (pH)	149
5.3. Conductividad	152
5.4. Clorofila "a"	154
5.5. Fósforo total	156
5.6. Nitrógeno total	158
5.7. Disco Secchi.....	162
5.8. Nutriente limitante	163
5.9. Índice de Estado Trófico de Carlson (1977)	164
5.9.1. Índice de Carlson (1977) – Clorofila "a"	164
5.9.2. Índice de Carlson (1977) – Fósforo total	167
5.9.3. Índice de Carlson (1977) – Nitrógeno total.....	168
5.9.4. Índice de Carlson (1977) – Disco Secchi.....	169
5.10. Índice de Estado Trófico de Toledo et al. (1984).....	171
5.10.1. Índice de Toledo et al. (1984) – Clorofila "a"	171
5.10.2. Índice de Toledo et al. (1984) – Fósforo total.....	172
5.10.3. Índice de Toledo et al. (1984) – Disco Secchi	173
5.11. Índice de OCDE (1982)	175
5.12. Índice de CEPIS	176
VI. CONCLUSIONES	177
VII. RECOMENDACIONES	180
VIII. REFERENCIAS	182
IX. ANEXOS	200
Anexo A: Informes de ensayo.....	201
Anexo B: Certificado de calibración de equipo	209
Anexo C: Mapas	212
Mapa de ubicación	213
Mapa de accesibilidad.....	214
Mapa de principales actividades humanas	215
Mapa de puntos de monitoreo.....	216

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Características de los estados tróficos en cuerpos de agua.....	50
Figura 2	Procesos globales que inciden en eutrofización en cuerpos de agua naturales.....	52
Figura 3	Ciclo del nitrógeno	59
Figura 4	Ciclo del fósforo	65
Figura 5	Cambios que ocurren en las formas nitrogenadas presentes en aguas poluídas bajo condiciones aeróbicas	69
Figura 6	Vista de segmentaciones naturales	109
Figura 7	Ubicación de puntos de monitoreo	110
Figura 8	Toma de muestras.....	111
Figura 9	Medición de parámetros de campo en el punto LP-2 (Octubre de 2017).....	112
Figura 10	Medición de profundidades de la laguna La Pampa (Agosto de 2017).....	113
Figura 11	Medición de la transparencia del agua utilizando Disco Secchi en el punto LP-2 (Octubre de 2017).....	114
Figura 12	Actores involucrados en la concientización del valor de los humedales	134
Figura 13	Residuos sólidos en los bordes de la laguna La Pampa.....	135
Figura 14	Perímetro de la barrera verde.....	136
Figura 15	Invasión de vegetación en canal de la laguna La Pampa paralelo a la Av. 12 de Octubre	138
Figura 16	Morfología de Eichhornia crassipes	140
Figura 17	Morfología de Lemna minor.....	141
Figura 18	Sistemas flotantes	143
Figura 19	Espejo de agua para la fitorremediación.....	144
Figura 20	Diseño de sistema flotante para laguna La Pampa	147
Figura 21	Variación temporal de la Temperatura en los puntos de muestreo, periodo Agosto 2017-.....	148
Figura 22	Variación temporal de pH en los puntos de muestreo, periodo Agosto 2017- Junio 2018.....	150
Figura 23	Variación temporal de Conductividad en los puntos de muestreo, periodo Agosto 2017- Junio 2018	152
Figura 24	Variación temporal de clorofila "a" en los puntos de muestreo, periodo Agosto 2017- Junio 2018	155
Figura 25	Variación temporal de fósforo total en los puntos de muestreo, periodo Agosto 2017 - Junio 2018	157
Figura 26	Variación temporal de Nitrato en los puntos de muestreo, periodo Agosto 2017- Junio 2018.....	159
Figura 27	Promedios mensuales de clorofila "a", fósforo total y nitrato, periodo Agosto 2017- Junio 2018	161
Figura 28	Variación temporal de Disco Secchi en los puntos de muestreo, periodo Agosto 2017- Junio 2018	162
Figura 29	Relaciones nitrógeno/fósforo (NT/PT).....	163
Figura 30	Variación temporal del índice de Carlson-clorofila "a" (Chl "a") en los puntos de muestreo.....	165
Figura 31	Variación temporal del Índice de Carlson-fósforo total (PT) en los puntos de muestreo.....	167
Figura 32	Variación temporal del Índice de Carlson-nitrógeno total (NT) en los puntos de muestreo	168
Figura 33	Variación temporal del Índice de Carlson-Disco Secchi en los puntos de muestreo.....	169
Figura 34	Variación temporal del Índice de Toledo-clorofila "a" (Chl "a") en los puntos de muestreo.....	171
Figura 35	Variación temporal del Índice de Toledo-fósforo total (PT) en los puntos de muestreo.....	173

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Sistema de clasificación de humedales (Convención Ramsar, 2006) Adaptado para la Costa peruana.....	43
Tabla 2 Clasificación del estado trófico – Carlson (1977).....	72
Tabla 3 Clasificación del estado trófico – Kratzer y Brezonik (1981).....	74
Tabla 4 Clasificación del estado trófico – Toledo et al. (1984).....	76
Tabla 5 Criterios de aplicación del Índice de OCDE (1982).....	77
Tabla 6 Criterios de aplicación del Índice de CEPIS.....	78
Tabla 7 Población censada (1993, 2007 y 2017) y tasa de crecimiento del distrito de Chorrillos.....	93
Tabla 8 Relación de habilitaciones año 2006.....	93
Tabla 9 Población por núcleo urbano año 2007.....	94
Tabla 10 Población proyectada al año 2018.....	94
Tabla 11 Variables e indicadores.....	101
Tabla 12 Puntos de monitoreo.....	107
Tabla 13 Métodos de ensayo del laboratorio.....	115
Tabla 14 Resultados de las mediciones de Temperatura, pH y conductividad.....	118
Tabla 15 Resultados de las mediciones de Disco Secchi.....	119
Tabla 16 Valores de concentración de clorofila "a".....	120
Tabla 17 Valores de concentración de fósforo total.....	121
Tabla 18 Valores de concentración de nitrógeno total.....	121
Tabla 19 Valores de relaciones NT/PT.....	122
Tabla 20 Matriz de correlación.....	123
Tabla 21 Índice de estado trófico de Carlson (1977) para Disco Secchi.....	124
Tabla 22 Índice de estado trófico de Carlson (1977) para clorofila "a".....	124
Tabla 23 Índice de estado trófico de Carlson (1977) para fósforo total.....	125
Tabla 24 Índice de estado trófico de Carlson propuesta por Kratzer y Brezonik (1981) para nitrógeno total.....	125
Tabla 25 Índice de estado trófico de Toledo et al. (1984) para Disco Secchi.....	126
Tabla 26 Índice de estado trófico de Toledo et al. (1984) para clorofila "a".....	126
Tabla 27 Índice de estado trófico de Toledo et al. (1984) para fósforo total.....	127
Tabla 28 Estado trófico según Carlson (1977).....	128
Tabla 29 Estado trófico según Toledo et al. (1984).....	129
Tabla 30 Estado trófico según OCDE.....	130
Tabla 31 Estado trófico según CEPIS.....	131
Tabla 32 Costos para construcción de barrera verde.....	137
Tabla 33 Costos para construcción de sistema flotante.....	146

RESUMEN

Con el objetivo de determinar el estado trófico de la laguna La Pampa de los Humedales de Villa, Lima-Perú, se realizaron muestreos bimestrales en el periodo de Agosto de 2017 a Junio de 2018, teniendo un total de seis campañas de muestreo, se tuvo cuatro (04) puntos de muestreo en los cuales se analizaron parámetros de campo: temperatura (T), potencial de hidrógeno (pH), conductividad (CE). Así mismo se midieron parámetros para el cálculo de los índices de estado trófico: profundidad de Disco Secchi (SD), clorofila "a" (Chl "a"), fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT). Los valores promedio más altos a nivel temporal fueron; para el Índice de Carlson (TSI) un $TSI_{PT} = 86.80$, para Toledo et al. (IET_M) un $IET_{M-Chl\ "a"} = 82.00$, OCDE (Organización para la cooperación y el Desarrollo Económico) manifestó $SD = 0.21\ m$, $Chl\ "a" = 178.00\ mg/m^3$ y $PT = 320.83\ mg/m^3$, CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente) presentó $Chl\ "a" = 168.84\ mg/m^3$ y $PT = 307.64\ mg/m^3$. Los resultados clasifican a la laguna La Pampa mayormente en un nivel Hipereutrófico según las metodologías de Carlson, Toledo et al., OCDE y Eutrófico por CEPIS; además, la laguna presenta una limitación por fósforo (72.2% de los datos $NT/PT > 9$), las correlaciones significativas entre parámetros fueron moderadas y los índices para fósforo total tuvieron un mayor rango de variación a nivel temporal (CV% de $TSI_{PT} = 5.26\% - 11.59\%$ y CV% de $IET_{M-PT} = 5.75\% - 12.80\%$). Debido a los resultados, se plantean medidas preventivas y de manejo ante la eutrofización, las cuales son: educación ambiental, limpieza y mantenimiento de canal, construcción de una barrera verde y fitorremediación con *Eichhornia crassipes*.

Palabras clave: Humedales de Villa, eutrofización, índice de estado trófico, Carlson, Toledo et al., OCDE, CEPIS, clorofila "a", Disco Secchi, nutriente, fitoplancton, macrófita, fitorremediación, *Eichhornia crassipes*.

ABSTRACT

With the objective of determining the trophic status of the La Pampa Lagoon of Villa Wetlands, Lima-Peru, bimonthly samplings were conducted in the period from August 2017 to June 2018, having a total of six sampling campaigns; sampling points in which field parameters were analyzed: temperature (T), hydrogen potential (pH), conductivity (CE). Likewise, parameters for the calculation of trophic status indices were measured: Secchi disk depth (SD), chlorophyll "a" (Chl "a"), total phosphorus (PT) and total nitrogen (NT). The highest average values at the temporal level were; for the Carlson Index (TSI) a $TSI_{PT} = 86.80$, for Toledo et al. (IETM) an $IET_{M-Chl\ "a"} = 82.00$, OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) expressed $SD = 0.21\ m$, $Chl\ "a" = 178.00\ mg/m^3$ and $PT = 320.83\ mg/m^3$, CEPIS (Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences) presented $Chl\ "a" = 168.84\ mg/m^3$ and $PT = 307.64\ mg/m^3$. The results classify the La Pampa lagoon mostly at a Hypereutrophic level according to the Carlson, Toledo et al., OECD and Eutrophic methodologies by CEPIS; In addition, the lagoon has a limitation by phosphorus (72.2% of the data $NT/PT > 9$), the significant correlations between parameters were moderate and the indices for total phosphorus had a greater range of variation at the temporal level (CV% of $TSI_{PT} = 5.26\% - 11.59\%$ and CV% of $IET_{M-PT} = 5.75\% - 12.80\%$). Due to the results, preventive and management measures against eutrophication are proposed, which are: environmental education, canal cleaning and maintenance, construction of a green barrier and phytoremediation with *Eichhornia crassipes*.

Keywords: Villa wetlands, eutrophication, trophic status index, Carlson, Toledo et al., OECD, CEPIS, chlorophyll "a", Secchi disk, nutrient, phytoplankton, macrophyte, phytoremediation, *Eichhornia crassipes*.

I. INTRODUCCIÓN

La eutrofización es el enriquecimiento de nutrientes de un sistema hídrico lótico o léntico, el problema radica en que el exceso produce una degradación del ecosistema acuático, esta es una situación que puede darse de manera natural o antropogénica, en cuyo caso acelera más el proceso. La determinación del estado trófico tiene una gran importancia porque consiste en la cuantificación de este fenómeno llevado a una escala de 0-100 mediante metodologías de Carlson o Toledo et al. o a través de promedios anuales aritméticos y geométricos, siendo el caso de la metodología de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), para finalmente clasificar los resultados según nomenclaturas preestablecidas.

En Perú, los estudios en humedales con fines de caracterización y control de la calidad del agua para el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental, son abundantes; sin embargo, los referidos a la eutrofización son menos frecuentes, los Humedales de Villa que son de importancia internacional (sitio RAMSAR), no son la excepción. La pregunta central de la investigación es ¿Cuál es el nivel de eutrofización en la laguna La Pampa? La hipótesis es que los índices de estado trófico clasifican a la laguna La Pampa en un nivel Eutrófico. El objetivo principal es determinar el estado trófico de la laguna La Pampa utilizando índices numéricos.

La investigación se ha estructurado en siete capítulos. El capítulo I, aborda los antecedentes nacionales e internacionales que son el estado del arte respecto al tema a tratar; el planteamiento del problema, que lleva a conocer la situación de la laguna, es ahí que se define el alcance de la investigación; los objetivos de la investigación, que son las metas a alcanzar para

dar respuesta a las preguntas de investigación y finalmente las hipótesis, variables, justificación e importancia.

En capítulo II, aborda las bases teóricas como el concepto de humedales y su clasificación bajo distintos sistemas, los ambientes costeros del Perú, la eutrofización, como también el concepto de nutriente limitante y ciclos biogeoquímicos implicados, descripción del área de estudio; por otro lado, se hace una descripción de los parámetros utilizados para el cálculo de los índices de estado trófico, así como las metodologías para calcularlos.

En el capítulo III, se describe los materiales y se explica la metodología empleada, así mismo, se menciona las etapas de la investigación.

En el capítulo IV se expone los resultados de la investigación.

El capítulo V, VI y VII, expone la discusión, conclusiones y finalmente las recomendaciones.

1.1. Descripción y formulación del problema

1.1.1. Descripción del problema

Los Humedales de Villa, ubicados en el distrito de Chorrillos, departamento de Lima, comprende nueve puquiales u ojos de agua, dos en Lomas de Villa (nor – este) y siete en Villa Baja (sur – este) (MINAGRI, 1998), cinco espejos de agua de diferentes tamaños (laguna Mayor o Principal, Génesis, ANAP, Marvilla y La Pampa) y canales de agua alimentados por dos puquios que abastecen al humedal (Elmore, 1904).

La laguna La Pampa se encuentra entre las Av. Defensores del Morro (Ex-Huaylas) y Av. 12 de Octubre, en cuya área circundante se encuentran campos deportivos y urbanizaciones, soportando una alta presión antrópica debido a las actividades de vivienda, comerciales e industriales; al respecto Alvarez (2016) indica que, al contaminar los canales de abastecimiento o algunas lagunas con desechos urbanos, se acelera severamente el proceso de eutrofización y, en consecuencia, se degrada una reserva natural rica en biodiversidad y altamente frágil.

Es relevante mencionar el evento ocurrido en un espejo de agua en el verano del 2003, que se manifestó como coloración rojiza en un sector adyacente a la laguna Principal frente al Country Club Villa y que el Servicio de Parques de Lima informó que procedía de la excesiva reproducción de *Euglena clorophoenicea*; en general, el que este fenómeno se presente por temporadas anuales debe de ser atribuido a que los niveles de contaminación o eutrofización no disminuyen sino permanecen o aumentan (Álvarez y Santiago, 2006).

Con referencia a lo anterior, Guillen (2002) concluye en su investigación que la contaminación y los cambios ambientales por causas antropogénicas está ocasionando una aceleración de la eutrofización en los Pantanos de Villa, lo que estaría afectando el ambiente

acuático, y trayendo como consecuencia la desaparición de algunos protozoarios sensibles a estos cambios y la aparición de nuevas especies que habitan estos tipos de ambientes acuáticos.

El proceso de eutrofización específicamente en la laguna La Pampa ha sido poco estudiado, la presencia de canales, usados como lavaderos domésticos, podría estar acelerando el proceso de eutrofización en la laguna; al respecto (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado [SERNANP], 2016), indica que, entre las principales fuentes de afectación están el crecimiento urbano, canales, plantas recicladoras, entre otras empresas que ya han sido denunciadas por verter efluentes domésticos y/o industriales en los canales que proveen agua a las lagunas.

Con respecto a la determinación de parámetros químicos en la laguna La Pampa, existen mediciones de sulfatos, nitratos, entre otros realizados por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA, 2005) y de detergentes, muestreado en canales y otras lagunas (Alvarez, 2016), resultados que permiten obtener un panorama de la situación actual y están direccionados bajo distintos objetivos; sin embargo, aún no se ha realizado mediciones para obtener resultados que a través de expresiones numéricas clasifiquen el estado trófico de la laguna.

De las evidencias anteriores y considerando el estado actual de presión antrópica que soporta la laguna La Pampa, es necesario realizar mediciones para determinar su estado trófico a lo largo de un ciclo anual a través de índices numéricos. En tal sentido, la presente investigación no pretende hacer una comparación con la normativa nacional, sino más bien, aportar información útil e introducir una herramienta de gestión que permita detectar desequilibrios en el ecosistema a lo largo del tiempo.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema principal

- ¿Cuál es el estado trófico de la laguna La Pampa utilizando índices numéricos?

1.1.2.2. Problemas Secundarios

- ¿Cómo varían los parámetros durante el periodo de estudio de Agosto de 2017 - Junio de 2018?
- ¿Cuál es el nutriente limitante en laguna La Pampa?
- ¿Existe alguna relación entre las variables clorofila "a" - fósforo total - nitrógeno total - Disco Secchi - temperatura - pH - conductividad?
- ¿Cómo varían los índices de estado trófico y su clasificación durante el periodo de estudio de Agosto de 2017 - Junio de 2018.?
- ¿Qué medidas preventivas y de manejo podrán tomarse ante la eutrofización de la laguna La Pampa?

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes nacionales

“Análisis y determinación de macrozoobentos en la Laguna Marvilla de los Humedales de Villa, Chorrillos– Perú.” (Chinchayán et al., 2008).

Realizaron un estudio para evaluar la biodiversidad y similaridad de los macrozoobentos de la laguna Marvilla de los Humedales de Villa. Se desarrollaron 3 muestreos en 8 zonas de la laguna, las muestras de macrozoobentos fueron recolectadas usando un tubo de pvc de 40cm de longitud y 15cm de diámetro, y fueron preservadas empleando una solución de formol azucarado al 10 %. Se determinaron algunos parámetros fisicoquímicos, entre ellos, la transparencia de la columna de agua utilizando un disco secchi. Un total de 1379 especímenes de gasterópodos dulceacuícolas, 4 familias y 8 especies fueron colectados en el macrozoobentos durante todo este estudio.

“Monitoreo y diagnóstico de la eutroficación de la laguna de Patarcocha por actividades antropogénicas, en Cerro De Pasco.” (Avelino, 2011).

Diagnosticó el grado de eutrofia de la laguna de Patarcocha por la aparición de malos olores, acumulación de aguas estancadas, el aumento de las poblaciones de insectos y el crecimiento desmedido de vegetación litoral. Se tuvo 33 estaciones de muestreo distribuidas: 16 en la zona litoral, 11 en la zona media y 6 en la zona central.

Los parámetros medidos fueron: temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, transparencia Disco Secchi, fosfatos, nitratos, amonio, fósforo total, productividad y clorofila "a". Los resultados fueron comparados con los valores límite de la Organización para la

Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), concluyendo que la laguna de Patarcocha se encuentra en la categoría eutrófica.

“Evaluación de la eutrofización de la laguna Conococha – Ancash a agosto de 2012.” (Díaz y Sotomayor, 2012).

Determina el nivel trófico en la laguna Conococha en el departamento de Ancash en Perú, aplicando metodologías para la determinación por cada variable (Organization for Economic Cooperation and Development, 1982; American Public Health Association, 1981 y Carlson 1977), realizándose dos muestreos en el año 2012, una en época de estiaje y la otra en época de lluvia.

Las variables fundamentales que se consideraron para la determinación del nivel trófico fueron: el fósforo total, nitrógeno en forma de nitrato, transparencia del agua y clorofila "a", obteniendo como resultado que el nivel de eutrofización de la laguna Conococha a agosto del 2012 fue de Eutrófico a Hipereutrófico según las metodologías descritas por OCDE (1982), American Public Health Association (APHA, 1981) y Carlson (1977).

“Factores abióticos y su influencia en la eutrofización estacional en las aguas de la laguna La Encantada, año 2013.” (Benites et al., 2013).

Contrastó en su trabajo cómo los factores abióticos influyen en la eutrofización de las aguas de la laguna La Encantada en la provincia de Huaura, Lima -Perú ; se localizaron cuatro estaciones de muestreo, durante las cuatro estaciones del año, determinando fósforo, nitrógeno total y amonio, entre otros parámetros; los resultados obtenidos demuestran como las oscilaciones de estos se relacionan con temporada de laboreo agrícola (siembra y cosecha) en los cuales se usan abonos sintéticos y fertilizantes, además de encontrarse que las excretas y

excedentes de alimentación provenientes de la actividad de piscicultura también contribuía a este hecho, concluyendo que la laguna está en camino a la eutrofización.

“Limnología y nivel trófico de la laguna de Urcos – Cusco” (Tucto, 2014).

Se determinó los principales parámetros limnológicos y el nivel trófico mediante el método de Estado Trófico de Carlson o Trophic State Index (TSI), teniendo cinco estaciones de muestreo en el periodo intermensual de Febrero - Diciembre de 2013 y como parámetros fundamentales la Transparencia al Disco de Secchi, fosforo total y clorofila "a". Se determinaron también, otros parámetros como: Temperatura, Color de agua, Turbidez, Conductividad Eléctrica, Alcalinidad, Oxígeno Disuelto, Nitratos, pH, Sólidos Totales Disueltos, Salinidad y Organismos fitoplanctónicos.

Los resultados que también fueron comparados con el método cerrado de la OCDE, llevaron a concluir que la laguna de Urcos se encuentra en un nivel de estado trófico de carácter Mesotrófico intermedio.

“Caracterización de sedimentos de la laguna El Paraíso, Huacho, región Lima.” (Tello et al., 2014).

Evaluaron parámetros fisicoquímicos, entre ellos, la transparencia de la columna de agua utilizando un disco secchi y determinaron la concentración de elementos químicos en los sedimentos de la laguna El Paraíso. Las técnicas utilizadas fueron fluorescencia de rayos X por energía dispersiva y espectroscopia de absorción atómica. Los niveles de concentración de los parámetros fisicoquímicos del agua de la laguna cumplieron con los estándares nacionales de calidad ambiental marino costeras.

“Relación entre la carga de nutrientes y el estado trófico de la bahía interior del lago Titicaca Puno-2015.” (Ortega, 2015).

Determina la relación que existe entre la carga de nutrientes y el estado trófico en la bahía interior del lago Titicaca, Puno. Las variables fueron fósforo total, clorofila total y turbiedad, muestreadas en una zona donde existen efluentes de aguas servidas procedentes de la ciudad, los puntos de muestreo fueron cuatro, determinándose de manera aleatoria simple.

El estudio concluyó en que los valores de la carga de nutrientes se relacionan directamente con los valores propuestos en el estado trófico” (Carlson, 1977) indicando que la bahía interior del lago Titicaca Puno, se encuentra en un estado Eutrófico considerable con una tendencia a ser hipertrófico.

“Estudio de los efectos de las actividades ribereñas de la población en el comportamiento de la laguna de Ñahuinpuquio - Chupaca” (Campos, 2015).

Determinó los efectos de las actividades ribereñas de la población en el comportamiento de la laguna de Ñahuinpuquio en el año 2015.

Se establecieron cinco puntos de monitoreo y los indicadores fueron la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), nitratos (NO_3), amoníaco (NH_4), fósforo total, oxígeno disuelto, nitrógeno total como nitrato ($N-NO_3$), además se determinó el nivel trófico mediante las metodologías de OCDE y el Índice de Carlson para fósforo total.

“Estado trófico de la laguna de Piuray – Chinchero – Cusco” (Villalva y Lima, 2016).

Se halló el estado trófico mediante la metodología del Índice de Carlson (TSI), en laguna de Piuray del distrito de Chinchero, provincia de Urubamba, región Cusco. El estudio se

desarrolló entre los meses de Febrero - Octubre de 2015, teniendo un total de siete estaciones de muestreo considerando las actividades antrópicas que inciden en la laguna. Los resultados de los parámetros físico-químicos presentaron valores promedios de temperatura 15.75 °C, turbidez 13.40 NTU, pH 8.71, sólidos totales disueltos 268.89 mg/l, color 29.50 u.c., conductividad eléctrica 382.52 $\mu\text{s}/\text{cm}$, oxígeno disuelto 4.62 mg O₂/l, nitratos 0.12 mg/l. La investigación permitió concluir que la laguna de Piuray presenta un carácter Mesotrófico inicial.

“Determinación analítica de detergentes en las aguas de los Pantanos de Villa.”

(Alvarez, 2016).

La presente investigación sobre detergentes aniónicos en las aguas de los Pantanos de Villa, Lima – Perú, tuvo como objetivo general diagnosticar la contaminación química por detergentes aniónicos en las aguas de los principales canales de abastecimiento de las lagunas de los Pantanos de Villa, cuantificando los contenidos de nitrógeno, fósforo disuelto y total en el agua para determinar el nivel de eutrofización de las lagunas del humedal. Se realizó dos trabajos de campo (época de verano e invierno), tomando muestras en cuatro de las cinco lagunas de Los Pantanos de Villa y en cuatro canales superficiales que conectan la zona urbana con dichas lagunas; teniendo como una de sus conclusiones que, las concentraciones de nutrientes encontrados (fósforo y nitrógeno total Kjeldahl) conducen a clasificar las lagunas Sur y ANAP en un estado Hipereutrífico.

“Estudio de la teledetección y caracterización fisicoquímica del humedal “El Cascajo”, Santa Rosa, Chancay- Lima, Perú.” (Loayza et al., 2017).

Utilizaron la teledetección para evaluar la contaminación del humedal El Cascajo - Santa Rosa, en el Distrito de Chancay. Mediante la caracterización de parámetros fisicoquímicos y el

uso de la técnica de teledetección, realizados en muestras puntuales con el propósito de evaluar las condiciones del Humedal. En la caracterización fisicoquímica se analizaron parámetros fisicoquímicos incluyendo la transparencia de la columna de agua, realizados in situ y de procesamiento en laboratorio según la necesidad; utilizando imágenes satelitales provenientes de los sensores del satélite Landsat de los años 2005, 2011 y 2015. En función a los parámetros estudiados y según al análisis de la teledetección, el humedal se encuentra en un estado de eutrofización debido a la influencia de la actividad antrópica, vertimiento de alcantarilla y sobrepastoreo en la zona de influencia.

“Conservar los Humedales Costeros de la región Lima: Una Acción Contra el Cambio climático.” (Gobierno Regional de Lima, 2017).

Boletín en el que se muestra reportes de monitoreos de parámetros fisicoquímicos de diferentes humedales costeros representativos: Albufera Medio Mundo, Humedal Carquín, Humedal Lagunas "El Paraiso", Humedal Santa Rosa y Humedales de Puerto Viejo.

1.2.2. Antecedentes internacionales

“Metodologías simplificadas para la evaluación de eutrofización en lagos cálidos tropicales. Programa Regional CEPIS/HPE/OPS” (Salas y Martino, 1990).

Publicaron un estudio realizado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), denominado "Desarrollo de metodologías simplificadas para la evaluación de eutrofización en lagos cálidos Tropicales", en el que utilizaron datos de aproximadamente cuarenta lagos, lagunas y embalses, principalmente de Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador, México, Puerto Rico, Estados Unidos y Venezuela. El estudio tuvo como

una de los objetivos, el establecimiento de un sistema de clasificación de estado trófico para lagos cálidos tropicales.

“Variación temporal de la condición trófica del lago del Parque Norte, Medellín (Antioquia), Colombia.” (Moreno y Ramírez, 2010).

Utilizaron los índices de Carlson (TSI) y el mismo modificados por Toledo et al. (IETM) con el propósito de evaluar la variación temporal del estado trófico, además de una variación del TSI de Carlson para nitrógeno total propuesta por Kratzer y Brezonik (1981).

Se realizaron muestreos quincenales entre marzo y agosto de 2004 en una estación de muestreo, en la zona más profunda del cuerpo de agua, utilizando los parámetros profundidad de visión del Disco Secchi y las concentraciones superficiales de fósforo total y clorofila "a". Los resultados obtenidos permitieron llegar a la conclusión de que no hubo variación considerable en la condición trófica del sistema y el IET_M fue el mejor descriptor del estado trófico del lago del Parque Norte.

“El estado trófico de la Laguna de Limoncocha en el período (febrero 2010 – enero 2011).” (Granizo, 2011).

Determinó el estado trófico de la laguna de Limoncocha en Ecuador empleando el Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M) de Toledo. El periodo de estudio se desarrolló desde febrero de 2010 hasta el enero de 2011 y se estableció ocho puntos de muestreo.

Se realizaron análisis "in situ" de profundidad Secchi, pH, conductividad, temperatura, sólidos disueltos totales y análisis de laboratorio de clorofila "a" y fósforo total. El estudio concluye con la obtención de un valor global de la laguna que la clasifica en un estado Eutrófico que podría producirse de forma natural, así como también, por la intervención del hombre.

“Determinación del estado trófico de tres ecosistemas lénticos de la Sabana de Bogotá con base al fitoplancton, en dos periodos climáticos contrastantes.” (Rodríguez, 2012).

Determinó el estado trófico en humedales de tres ecosistemas lénticos de la Sabana de Bogotá en Colombia (humedales Juan Jaramillo, Santa Lucía del Lago y embalse de San Rafael) mediante microalgas planctónicas, análisis fisicoquímico del agua y numérico, utilizando el índice promedio ponderado de estado trófico de Carlson (IET), cuyos resultados sirvieron para la elección de tres sistemas más representativos de condiciones oligotróficas, mesotróficas y eutróficas en los cuales se llevó a cabo los muestreos definitivos; llegando a la conclusión de que las variables fisicoquímicas son fundamentales para comprender la presencia y abundancia de las especies fitoplanctónicas presentes en un sistema acuático, permitiendo crear una relación directa entre las especies presentes, su abundancia y el estado trófico.

“Primer Reporte del Estado del medio Ambiente.” (Ministerio del Medio Ambiente de Chile, 2013).

Publica un reporte del Estado del Medio Ambiente donde se aborda la evaluación del estado trófico de lagos y lagunas en Chile para el año 2009, en base a datos de la Dirección General de Aguas (DGA), utilizando el índice de Carlson (TSI) para la clorofila y el fósforo total. El reporte indica que la mayor parte de los lagos y lagunas monitoreados, se encuentran en estado de oligomesotrofia.

“Lakes of Malaysia: Water quality, eutrophication and management.” (Zati Sharip et al., 2014).

Realizan un estudio con la finalidad de evaluar el estado de la calidad del agua y el estado trófico de 15 lagos y embalses principales en Malasia. Las evaluaciones del estado trófico se

basaron en el Índice Trófico de Carlson (TSI), los muestreos se dieron entre los meses de septiembre y octubre de 2012. Como resultados se obtuvieron valores de TSI divergentes en base a la profundidad de Secchi, fósforo total (TP) y concentraciones de clorofila "a", cabe resaltar que la mayoría de los lagos en este estudio fueron reservorios, exhibiendo altas concentraciones de TP, es así que la relación TP - clorofila "a" puede desviarse de la respuesta de carga de nutrientes que se desarrolló para los lagos templados, sin embargo, todos los lagos se clasificaron como eutróficos.

“Observaciones sobre el estado trófico de un conjunto de lagunas costeras del arco atlántico-mediterráneo español.” (Torres, 2014).

Diagnostica el estado trófico de las 26 lagunas costeras españolas incluidas la Red Española de Humedales y Lagunas Costeras (Red Marismas), utilizando para su estudio la base de datos publicada por los investigadores de dicha red (Red Marismas, 2008). Aplicó para dicho estudio las expresiones que utilizan como variables de diagnóstico el fósforo total y clorofila "a" propuestas por Carlson (1977). Como resultado se obtuvo que, en función de la variable de diagnóstico considerada, entre el 68% y el 86% de las lagunas costeras estudiadas presentaron valores de TSI correspondientes a la categoría Hipereutrófico, salvando unas pocas excepciones como Cabane (Castellón) o el Mar Menor (Murcia), que corresponden al 7-8% de lagunas estudiadas en las que el TSI sugiere un estado trófico correspondiente a la categoría de Oligotrófico.

“Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: caso laguna de La Cocha.” (López y Madroño, 2015).

Determinaron el estado trófico en el Humedal Ramsar, Laguna de La Cocha en el departamento de Nariño en Colombia; utilizando como criterio los índices de Carlson (TSI), el

índice desarrollado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y el índice de Carlson modificado por Toledo et al. (IET_M) para condiciones climáticas de ambientes tropicales. El muestreo fue realizado desde Enero a Junio del 2013, concluyendo según los índices de estado trófico TSI e IETM, que la laguna de La Cocha se clasificó como oligotrófica y ultraoligotrófica, característica típica de lagos de alta montaña con bajos procesos de contaminación de origen aloctóno y autóctono.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Determinar el estado trófico de la laguna La Pampa utilizando índices numéricos.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar la variación de parámetros fisicoquímicos durante el periodo de estudio de Agosto de 2017 - Junio de 2018.
- Identificar el nutriente limitante en la laguna La Pampa.
- Analizar la correlación por pares de clorofila "a" - fósforo total - nitrógeno total - Disco Secchi - temperatura - pH - conductividad.
- Analizar la variación de los índices de estado trófico y su clasificación durante el periodo de estudio de Agosto de 2017 - Junio de 2018.
- Plantear medidas preventivas y de manejo ante la eutrofización de la laguna La Pampa.

1.4. Justificación e importancia

1.4.1. Justificación

Los humedales cubren el seis por ciento de la superficie de la Tierra, se encuentran en cualquier zona climática, pero su presencia es local. Solo unos pocos, como los Everglades, en Florida; el Pantanal, en Brasil; el Okavongo, en África del Sur, y los Fens, en Inglaterra, cubren áreas extensas del paisaje (Smith y Smith, 2007).

En todo el mundo, se ha perdido o alterado los humedales debido al deterioro de los procesos naturales (Dugan, 1992), en ese mismo sentido, como señala Young (1998), la coexistencia de los humedales con las poblaciones humanas ocasiona su deterioro, tanto por las actividades que se realizan en ellos como por la contaminación (vertimiento de efluentes domésticos, depósitos de basura).

El estudio de la eutrofización y otros procesos de deterioro de la calidad de las aguas, en países que se encuentran en vías de desarrollo resultan necesarios teniendo en cuenta, que los aportes de nutrientes pueden ser importantes debido a que los sistemas de tratamiento de desechos sólidos y líquidos, todavía no existen y/o son poco eficientes (Seeliger y Kjerfve, 2001).

Los Humedales costeros del Perú no son ajenos a esta realidad, de acuerdo con Young (1998), la contaminación de los humedales costeros de Lima ha sido causada por los silos y desagües de las poblaciones aledañas, afectando de esta forma las condiciones del agua y suelo.

Actualmente la vigilancia de la calidad de los recursos hídricos realizado por la autoridad competente, lleva a cabo la cuantificación de diferentes parámetros; la presente investigación pretende determinar el estado trófico actual mediante índices numéricos de estado trófico que

incluyen el análisis de nutrientes en la laguna La Pampa de los Humedales de Villa, resultando conveniente su realización ya que no existen estudios similares en esta Área Natural Protegida (ANP), teniendo como utilidad su aplicabilidad en los demás cuerpos de agua que constituyen esta ANP.

1.4.2. Importancia

El presente documento, proporcionará una visión actual del comportamiento del proceso de eutrofización mediante índices numéricos de estado trófico, además de aportar con herramientas numéricas para poder clasificarlo. Dichas herramientas pueden ser utilizadas por los profesionales que gestionan este tipo de áreas en cuerpos de agua similares, así como servir de complemento en los programas de monitoreo y generar información que sirva para la detección temprana de cambios en el ecosistema, planeación de la conservación de los cuerpos de agua y comparación futura.

1.5. Hipótesis

- Los índices de estado trófico clasifican a la laguna La Pampa en un nivel Eutrófico.
- Los valores de clorofila "a", fósforo total, nitrógeno total y Disco Secchi, son menores en temporada húmeda que en seca.
- El nutriente limitante en la laguna La Pampa es el fósforo y no el nitrógeno.
- La correlación por pares entre las variables clorofila "a"- fósforo total - nitrógeno total - Disco Secchi - temperatura - pH – conductividad, es altamente significativa.
- Los índices de Carlson, Toledo y OCDE mantienen su clasificación durante el periodo de estudio de Agosto de 2017 - Junio de 2018.
- Plantearé medidas preventivas y de manejo ante la eutrofización de la laguna La Pampa.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas

2.1.1. *Humedal*

Martin et al. (1953); Shaw y Fredine, (1956) mencionan que hace menos de 50 años, el término "humedal" era prácticamente desconocido para la ciencia. Su primer uso se remonta a comienzos de los años cincuenta, cuando el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos preparó un inventario de humedales en ese país por su valor como hábitats de vida silvestre y aves acuáticas (citado en Gopal, 2003).

A partir de aquellas décadas, este término ha sido definido de diversas formas y también ha ido complementándose entre sí, pero quizá la principal dificultad para tener una definición válida, es que cada uno de estos ambientes distribuidos en todo el mundo, poseen características peculiares, por lo cual, como menciona Dugan (1992), no es extraño que exista más de cincuenta definiciones diferentes en relación con los humedales.

Reafirmando lo anterior, Mitsch y Gosselink (1986) consideran que como las características de los humedales oscilan entre lo terrestre y acuático, cualquier definición utilizada será de alguna forma arbitraria, por ello, no existe una definición única y universal. Esta carencia ha causado confusión e inconsistencias en el manejo, clasificación e inventariado de humedales, pero considerando las particularidades de ellos, esta inconsistencia no debería sorprendernos.

Así mismo Barbier et al. (1994) mencionan:

No existe una definición general satisfactoria para un “humedal”. Además, los humedales costeros y las áreas interiores interactúan de manera diferente con el ambiente que las rodea. No hay dos áreas de humedal que presenten las mismas características. [...] El término “humedales” abarca una amplia gama de ecosistemas. “Agrupa una gran gama de hábitats interiores, costeros y marinos que comparten ciertas características”. Son ecosistemas descritos por la presencia de suelos, plantas y una hidrología singulares. (pp. 10-11).

Lo mencionado anteriormente da a entender que la definición de lo que es un humedal tendrá que ser comprendida desde un sentido amplio, teniendo en cuenta que todas estas áreas poseen atributos básicos para ser consideradas como tal, así pues Gopal (2003), señala que existe un consenso general que reconoce que dos de las principales características de los humedales son, la abundancia de agua, por lo menos durante una época del año y que de ello se deriva la presencia de numerosas y diversas aves acuáticas.

La Convención de Ramsar, Convención sobre Humedales de Importancia Internacional (1971), define a los humedales como:

“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 ”.

Además, en el mismo tratado se especifica respecto a sus límites que: “podrán comprender 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”.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, se utilizará para la presente investigación la definición establecida por la Convención de Ramsar, por ser reconocida y aceptada internacionalmente; que como manifiesta Blanco (2000) es una de las más amplias y adecuadas para fines de conservación y manejo.

2.1.2. Clasificación de humedales

La formación de humedales está en función del clima (precipitación, temperatura, viento e insolación), hidrología (drenaje interno y externo), química (agua y suelos), geomorfología (forma de relieve y material parental del suelo) y biología (fauna y flora) (Warner y Rubec, 1997), por ello, como menciona (Tabilo-Valdivieso, 1999; citado en Cruz, 2002), “los criterios para clasificar los diferentes tipos de humedales varían si son de agua dulce o salada; naturales o artificiales; de acuerdo al tipo de vegetación; a la fluctuación en el nivel de agua; del clima; o simplemente por su característica paisajística más sobresaliente”.

Se ha diseñado numerosos sistemas de clasificación en todo el mundo, desarrollados bajo criterios que responden a realidades y fines específicos, de ahí que su aplicación sea muchas veces local. A continuación se presentan los sistemas más representativos que han sido adoptados en diferentes países, a menudo con modificatorias, para ajustarlas a distintas circunstancias.

2.1.2.1. Sistema de clasificación de Cowardin et al. (1979).

Cowardin et al. (1979) desarrollaron un sistema de clasificación de humedales que es oficialmente utilizado en Estados Unidos, es la base del inventario de humedales en ese país y

además uno de los más importantes y adaptables en otras partes del mundo; además, como indica Abarca (2007), tiene como propósito asignar un tipo de humedal a una categoría específica dentro de un sistema jerárquico, basado en interpretación de fotografía aérea y/o de observaciones a nivel de campo. Este sistema incorpora el concepto de “aguas profundas” a fin de diferenciarlo del concepto “humedales”.

Estos autores, Cowardin et al. (1979), consideran cinco sistemas ecológicos que se especifican a continuación (Abarca, 2007; Roldán y Ramírez, 2008):

- Marino y estuarino; con dos subsistemas, mareal e intermareal:

Marino: Océano abierto sobre la plataforma continental

Estuarino: Ambiente mareal, profundos o someros, con acceso al mar de manera esporádica o parcialmente obstruido, y que por lo menos ocasionalmente recibe escurrimientos de agua dulce.

- Ribereño, dividido en cuatro subsistemas; mareal, perenne inferior, perenne superior e intermitente: Ambiente contenido dentro de un canal más o menos profundo, con dos condiciones; la salinidad no debe exceder 0.5 ppm y no incluye humedales dominados por árboles, arbustos o emergentes perennes.

- Lacustre; dividido en dos subsistemas, litoral y limnético: Humedal situado en una depresión topográfica (canal o depresión represada), cuya vegetación arbórea, arbustiva o de emergentes perennes no cubra más del 30% del área, y que tenga una superficie total mayor a 8 hectáreas. Se incluyen en esta categoría los menores de 8 ha cuando la parte más profunda exceda los 2 m (durante el período de aguas más bajas) o cuando exista un litoral activo formado por el oleaje como límite del humedal.

- Palustre, que no tiene ningún subsistema: Humedal que no recibe la influencia de las mareas, dominado por árboles, arbustos y/o emergentes perennes. También se incluyen en esta categoría los humedales que no tienen una cubierta de vegetación como la descrita, pero que presentan todas las características siguientes: su área es menor de 8 ha, la profundidad mayor es menor de 2 m, no tienen un litoral activo formado por el oleaje y su afectación por el régimen de mareas no debe producir una salinidad mayor a 0.5 ppm.

Este sistema jerárquico, como explican Berlanga et al. (2008):

Posee dos niveles superiores: Sistema y Subsistema; y tres niveles inferiores: Clase, Subclase y Tipo Dominante. Los niveles superiores se definen con bases hidrológicas, geomorfológicas, químicas o biológicas. Las clases se definen por las formas dominantes de vida de la vegetación o la fisiografía y composición del substrato. Si la vegetación cubre el 30% o más del substrato las clases se distinguen con base en las formas dominantes de vida que constituye el estrato más alto de la vegetación. Si la vegetación cubre menos del 30% del substrato, la fisiografía y composición del substrato son usadas para distinguir clases. Contiene hábitats con y sin vegetación e incluye ambientes de aguas profundas (>2 m). (p. 28).

2.1.2.2. Sistema de clasificación de Warner y Rubec (1997)

El sistema de clasificación de humedales de Canadá de Warner y Rubec (1997), es un sistema de clasificación mucho más simplificado que el de los EE.UU., tomando en cuenta que la mayoría de los humedales en Canadá son turberas, por ello el sistema de Cowardin et al. (1979) es de poca utilidad en este país ya que está diseñado para humedales que no son predominantemente turberas (Abarca, 2007).

El sistema de clasificación de humedales canadiense contiene tres niveles jerárquicos:

1) clase, 2) forma, y 3) tipo (Warner y Rubec, 1997).

Están basados en origen genético (clase), morfológico (forma) y fisionómico (tipo) en ese orden con criterios hidrológicos y de química del agua, existen cinco clases para este sistema:

1. Turbera (bog)
2. Turbera minerotrófica (fen)
3. Pantano (swamp)
4. Marismas/Ciénagas (marsh)
5. Aguas someras (shallow waters)

Cada clase se subdivide a su vez en formas (75 en total), las cuales se diferencian con base en la morfología y los patrones de superficie, el tipo de agua y la naturaleza del suelo mineral o la roca madre subyacentes. Por último, las clases se subdividen en tipos, que se diferencian con base en la estructura de la vegetación (Abarca, 2007).

Roldán y Ramírez (2008) agregan que, también existe un tipo de clasificación denominada paisajística que clasifica los ecosistemas de humedal de acuerdo con unidades de paisaje y sus relaciones funcionales. Bravo y Windevoxhel (1997), basados en este tipo de clasificación, consideran para zonas tropicales los siguientes paisajes: costas, arrecifes de coral, pastos de fanerógamas marinas, estuarios, costas abiertas, esteros, deltas, llanuras litorales, llanuras o planicies de inundación, pantanos, lagos y lagunas, turberas, bosques inundados por agua dulce o por influencia de mareas (manglares).

2.1.2.3. Sistema de clasificación de la Convención de Ramsar (1990)

En 1990 la Conferencia de las Partes Contratantes de la Convención de Ramsar aprobó un sistema de clasificación de distintos tipos de humedales, que con el tiempo enmendó y complementó; este sistema consiste en una adaptación de la clasificación de Cowardin et al. (1979).

Berlanga et al. (2008) mencionan que en varios países se usa la clasificación de Ramsar o alguna modificación de ésta, incluyendo a países como Australia que la han adoptado oficialmente a pesar de contar con varias propuestas regionales; así como en Colombia, el sistema fue modificado especificando las jerarquías y es el sistema oficial.

La jerarquía en este sistema de clasificación no es explícita como indica Berlanga y Ruiz (2004), a pesar de agrupar las clases en tres categorías amplias:

1. Humedales marinos y costeros
2. Humedales continentales
3. Humedales artificiales

Por ello, como enfatiza la Secretaría de la Convención de Ramsar (2013):

Esta clasificación no pretende ser científicamente exhaustiva, por el contrario, tiene como objetivo práctico, proveer un marco muy amplio que facilite la identificación de los tipos de humedales y señalar el "tipo de humedal dominante".

Al respecto Pro Naturaleza (2010) explica que:

La Convención Ramsar considera que el sistema de clasificación basado en los rasgos fundamentales que definen un humedal – la geomorfología y el régimen hídrico - es superior a las que se fundamentan en otros rasgos. Estas categorías básicas de geomorfología y de

régimen hídrico pueden complementarse con modificadores que describen otros rasgos del humedal, como por ejemplo; tamaño, vegetación, calidad del agua, etc.

El Sistema de Clasificación de Tipos de Humedales de Ramsar indica qué humedales quedan comprendidos en cada código asignado.

Esta Convención considera tres grandes categorías de humedales: marinos y costeros, continentales, y artificiales, y pudiendo haber humedales de dos o más de estas categorías en un sitio, sobre todo si es extenso (> a 1000 ha.). (p. 24).

En relación a la clasificación de humedales de Ramsar, Barbier et al. (1994), nos dicen que, los componentes más importantes para la región del Trópico Americano son los estuarios y lagunas, costeras abiertas, llanuras de inundación, pantanos de agua dulce y salada, lagos, turberas y bosques de inundación.

Sistema de clasificación de tipos de Humedales Ramsar:

- **Humedales marinos y costeros:**

A) Aguas marinas someras permanentes, en la mayoría de los casos de menos de seis metros de profundidad en marea baja; se incluyen bahías y estrechos.

B) Lechos marinos submareales; se incluyen praderas de algas, praderas de pastos marinos, praderas marinas mixtas tropicales.

C) Arrecifes de coral.

D) Costas marinas rocosas; incluye islotes rocosos y acantilados.

E) Playas de arena o de guijarros; incluye barreras, bancos, cordones, puntas e islotes de arena; incluye sistemas y hondonales de dunas

F) Estuarios; aguas permanentes de estuarios y sistemas estuarinos de deltas.

G) Bajos intermareales de lodo, arena o con suelos salinos (“saladillos”).

H) Pantanos y esteros (zonas inundadas) intermareales; incluye marismas y zonas inundadas con agua salada, praderas halófilas, salitrales, zonas elevadas inundadas con agua salada, zonas de agua dulce y salobre inundadas por la marea.

I) Humedales intermareales arbolados; incluye manglares, pantanos de “nipa”, bosques inundados o inundables mareales de agua dulce.

J) Lagunas costeras salobres/saladas; lagunas de agua entre salobre y salada con por lo menos una relativamente angosta conexión al mar.

K) Lagunas costeras de agua dulce; incluye lagunas deltaicas de agua dulce.

Zk(a) Sistemas kársticos y otros sistemas hídricos subterráneos, marinos y costeros.

• **Humedales continentales:**

L) Deltas interiores (permanentes).

M) Ríos/arroyos permanentes; incluye cascadas y cataratas.

N) Ríos/arroyos estacionales/intermitentes/irregulares.

O) Lagos permanentes de agua dulce (de más de 8 ha); incluye grandes madre viejas (meandros o brazos muertos de río).

P) Lagos estacionales/intermitentes de agua dulce (de más de 8 ha); incluye lagos en llanuras de inundación.

Q) Lagos permanentes salinos/salobres/alcalinos.

R) Lagos y zonas inundadas estacionales/intermitentes salinos/salobres/alcalinos.

Sp) Pantanos/esteros/charcas permanentes salinas/salobres/alcalinos.

Ss) Pantanos/esteros/charcas estacionales/intermitentes salinos/salobres/alcalinos.

Tp) Pantanos/esteros/charcas permanentes de agua dulce; charcas (de menos de 8 ha), pantanos y esteros sobre suelos inorgánicos, con vegetación emergente en agua por lo menos durante la mayor parte del período de crecimiento.

Ts) Pantanos/esteros/charcas estacionales/intermitentes de agua dulce sobre suelos inorgánicos; incluye depresiones inundadas (lagunas de carga y recarga), “potholes”, praderas inundadas estacionalmente, pantanos de ciperáceas.

U) Turberas no arboladas; incluye turberas arbustivas o abiertas (“bog”), turberas de gramíneas o carrizo (“fen”), bofedales, turberas bajas

Va) Humedales alpinos/de montaña; incluye praderas alpinas y de montaña, aguas estacionales originadas por el deshielo.

Vt) Humedales de la tundra; incluye charcas y aguas estacionales originadas por el deshielo.

W) Pantanos con vegetación arbustiva; incluye pantanos y esteros de agua dulce dominados por vegetación arbustiva, turberas arbustivas (“carr”), arbustales de *Alnus* sp; sobre suelos inorgánicos.

Xf) Humedales boscosos de agua dulce; incluye bosques pantanosos de agua dulce, bosques inundados estacionalmente, pantanos arbolados; sobre suelos inorgánicos.

Xp) Turberas arboladas; bosques inundados turbosos.

Y) Manantiales de agua dulce, oasis.

Zg) Humedales geotérmicos.

Zk(b) Sistemas kársticos y otros sistemas hídricos subterráneos, continentales.

Nota: “llanuras de inundación” es un término utilizado para describir humedales, generalmente de gran extensión, que pueden incluir uno o más tipos de humedales, entre los que se pueden

encontrar R, Ss, Ts, W, Xf, Xp, y otros (vegas/praderas, sabana, bosques inundados estacionalmente, etc.). No es considerado un tipo de humedal en la presente clasificación.

- **Humedales artificiales:**

- 1) Estanques de acuicultura (por ej. estanques de peces y camarónicas)
 - 2) Estanques artificiales; incluye estanques de granjas, estanques pequeños (generalmente de menos de 8 ha).
 - 3) Tierras de regadío; incluye canales de regadío y arrozales.
 - 4) Tierras agrícolas inundadas estacionalmente; incluye praderas y pasturas inundadas utilizadas de manera intensiva.
 - 5) Zonas de explotación de sal; salinas artificiales, salineras, etc.
 - 6) Áreas de almacenamiento de agua; reservorios, diques, represas hidroeléctricas, estanques artificiales (generalmente de más de 8 ha).
 - 7) Excavaciones; canteras de arena y grava, piletas de residuos mineros.
 - 8) Áreas de tratamiento de aguas servidas; “sewage farms”, piletas de sedimentación, piletas de oxidación
 - 9) Canales de transportación y de drenaje, zanjales.
- Zk(c) Sistemas kársticos y otros sistemas hídricos subterráneos, artificiales.

2.1.3. Ambientes costeros

2.1.3.1. Costa peruana

En todas las costas del mundo, la línea costera es el resultado de transgresiones y regresiones marinas a través de la historia geológica, las mismas que han configurado el perfil actual que determina la línea de costa. En el Perú se sitúa entre la latitud 3° 24'S, que corresponde a la línea fronteriza con Ecuador (punta Capones); y 18° 20.8'S, línea fronteriza con Chile (Hito Concordia) (Morón, 2000).

Fisiografía

Se caracteriza por la extrema aridez del litoral y por las condiciones desérticas donde prácticamente nunca llueve. También destaca la presencia de aproximadamente 40 ríos los cuales en sus desembocaduras conforman estuarios, que se caracterizan por su alta diversidad biológica.

Se clasifica de la siguiente manera:

Valles y Planicies Aluviales, Pampas Costaneras, Montañas bajas y colinas, Altiplanicies y valles interandinos (ProNaturaleza, 2010).

Clima

Según el sistema de clasificación de Köppen se dividen en dos tipos:

Clima Cálido Muy Seco (Árido Tropical):

Correspondiente a los departamentos de Tumbes y Piura donde la temperatura media anual es de 24 °C con una reducida variación estacional y la precipitación media anual se encuentra entre los 25 y 100 mm. (Moschella, 2012), como esta parte del país no sufre el efecto de las aguas frías, ello se traduce en casi 300 días de sol con temperaturas cálidas a lo largo del año que llega a máximas de hasta 35°C en verano (Sánchez et al., 2010), además cabe mencionar

que las precipitaciones aumentan en los ENSO (Eventos de El Niño), los cuales son periodos en que éstas pueden alcanzar hasta los 3000 mm (ProNaturaleza, 2010).

Clima Semi-cálido Muy Seco (Árido Sub-Tropical):

Se manifiesta en el centro y sur, entre los departamentos de Lambayeque y Tacna, el clima es semicálido muy seco (árido subtropical); la temperatura promedio anual se encuentra entre los 18 °C y 20 °C, y la precipitación media anual es de 0 a 50 mm (Moschella, 2012).

En invierno son frecuentes las lloviznas ligeras o "garúas". A pesar de la sensación de frío intenso, producto de la gran humedad reinante, la temperatura raramente baja de 12 °C, Durante el verano, en cambio, el sol brilla con fuerza y la temperatura puede alcanzar los 30 °C (Sánchez et al., 2010).

En este sector, también se presenta gran humedad, densas nieblas y tenue garúa; y entre los meses de 22 mayo a diciembre suele estar cubierta por un manto de nubes estrato debido a la influencia de las aguas frías de la Corriente Peruana. (Moschella, 2012).

2.1.3.2. Humedales costeros

Los humedales costeros; a lo largo de nuestros 3080 km costa desértica peruana, albergan una gran variedad de especies de flora y fauna; constituyen un corredor biológico además de ser lugar de descanso y alimentación para especies de aves migratorias neárticas, neotropicales y andinas; debido al crecimiento poblacional, los humedales tienen una relación cercana y beneficiosa con las poblaciones humanas.

Acerca de ellos Ferreyra, 1983 y León et al.,1997, mencionan que, “a lo largo de la estrecha franja de desierto costero, se encuentran distribuidas de manera dispersa y aislada algunas lagunas de agua salobre y/o dulce, conocidas como “albuferas” o “humedales costeros”” (citado en Arana, 1998); sin embargo, actualmente, ProNaturaleza (2010), en su proyecto de evaluación de Humedales Costeros en Perú, han reconocido a un total de 92 humedales que se encuentran en diez departamentos: 56 naturales, 11 artificiales, 11 extinguidos y 14 desembocaduras de ríos, además indican qué tipo de humedales se encuentran en nuestra costa (Tabla 1).

Tabla 1

Sistema de clasificación de humedales (Convención Ramsar, 2006) Adaptado para la Costa peruana

Tipo de humedal	Tipo								
Humedales marinos y costeros	A	D	E	F	G	H	I	J	K
Humedales continentales	Q	R	Y						
Humedales artificiales	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Nota. ProNaturaleza (2010).

En la costa central (10° - 15°S), los ríos y humedales constituyen la base de los ecosistemas acuáticos continentales de mayor importancia. Estos ambientes sirven como reguladores de los regímenes hidrológicos, como un recurso de gran valor económico, cultural, científico y recreativo y como hábitat de una fauna y flora características (Scott y Carbonell, 1985; Cano et al., 1933; citado en Duárez, 1998).

El área de los humedales en la costa central, como sostienen León et al. (1998), no excede los 100 km², los que corresponden a 0.6% del territorio que esta región ocupa. Sin embargo, es claro que los humedales tienen un significado especial para el poblador costero, por

ser fuente indicadora de agua, de otros recursos naturales y por la historia del desarrollo cultural y agrícola del antiguo peruano.

La vegetación de los humedales de la costa central está constituida por un mosaico de comunidades, mayormente, de plantas herbáceas acuáticas y palustres de formas diversas.

Importancia de los humedales en la Costa del Perú (ProNaturaleza, 2010):

Los humedales son considerados sumamente importantes para el desarrollo de diversas actividades para el hombre y cumplen una serie de funciones para el normal desenvolvimiento del paisaje, entre los cuales destacan:

- Reserva de agua dulce.
- Acumulación de biomasa y formación de suelos orgánicos.
- Presencia de especies amenazadas o en peligro de extinción.
- Zona de recarga, almacenamiento y/o de descarga de las aguas superficiales y subterráneas.
- Mantenimiento de la calidad del agua y reducción de la contaminación.
- Sostén para la pesca, la ganadería y la agricultura.
- Actividades educativas y recreativas al aire libre para la sociedad humana.
- Hábitat para fauna y flora, en especial para las aves acuáticas.
- Regulador de la intrusión de agua de origen marino.
- Estabilización del litoral, control de la sedimentación y la erosión
- Mejoran el microclima, atenuando las temperaturas extremas e incrementando la humedad ambiental y las precipitaciones.

- Soporte de la agricultura y de los núcleos urbanos y zonas turísticas y de las áreas industriales.
- Incrementan la calidad paisajística y con ello las posibilidades de oferta turística.
- Producción de alimentos primarios que facilitan el comienzo de numerosas cadenas tróficas.

2.1.4. Eutrofización

La eutrofización o eutroficación, como explica Margalef et al., (1976), consiste en forzar un sistema acuático desde el exterior, con la incorporación de más nutrientes –generalmente nitrógeno y fósforo, pero, en ocasiones, otros como sílice, potasio, calcio, hierro o manganeso– y también de materia orgánica, que alteran temporalmente las condiciones de equilibrio, induciendo desviaciones en las características del sistema, en su composición biótica y en su sucesión.

No obstante, como menciona Ryding et al. (1989), “el término eutrofización ha sido utilizado para nombrar el aporte artificial e indeseable de nutrientes minerales (mayormente de fósforo y nitrógeno) a las masas de agua, este proceso está asociado a la presión antrópica pero también puede suceder de manera natural. Además, el aporte de nutrientes que puede resultar indeseable para una masa de agua puede ser inocuo e incluso beneficioso para otras” (citado en Torres, 2014).

De acuerdo a la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCDE, 1982): la eutrofización es el enriquecimiento en nutrientes de las masas de agua, que provoca una serie de cambios sintomáticos que resultan indeseables e interfieren con la utilización de las

aguas como recurso. Entre estos cambios se encuentran el incremento en la producción de algas y macrófitas y el deterioro de la calidad físicoquímica del agua.

Abbott et al. (1986), indica que tanto los sistemas hídricos loticos, lenticos y las zonas estuarinas, sufren procesos de eutrofización cuando sus aguas se enriquecen en nutrientes. El inconveniente con el exceso de nutrientes es que las plantas y otros organismos crecen en abundancia, y al morir se descomponen y degradan, conllevando a la explosión poblacional de bacterias que aumenta la demanda del oxígeno disuelto. Las consecuencias de ello es que afecta negativamente al desarrollo y distribución de la biota acuática, y como eventual resultado final, el ecosistema acuático modifica sus funciones y procesos ecológicos normales (citado en Vásquez et al., 2012).

Las consecuencias de la eutrofización como refiere Cirujano (2003), “que no suelen ser inmediatas, se concretan en una transformación gradual de los ecosistemas acuáticos debido al empobrecimiento cualitativo y cuantitativo de las formaciones vegetales, especialmente de las sumergidas y de las plantas más sensibles que suelen ser las más raras y amenazadas”.

2.1.4.1. Proceso de Eutrofización

El proceso de eutrofización implica el incremento del fitoplancton causado por una mayor abundancia de nutrientes. Si bien este proceso se manifiesta de diversas maneras, todas estas incluyen un aumento de la biomasa, seguido por cambios de las especies dominantes y disminución de la diversidad (Mazzeo et al., 2002); el aumento de biomasa de productores primarios y secundarios en el sistema, se traduce en una notoria modificación de la transparencia y la coloración del agua (Wetzel, 2001).

(Nebel y Wright, 1999; citado en Moreno et al., 2010), nos dicen:

Con la desaparición de la vegetación acuática sumergida, es evidente que se pierden alimentos, hábitats y el oxígeno disuelto (OD) de la fotosíntesis. Pero la pérdida de OD se agrava por la siguiente razón: el fitoplancton está compuesto de organismos fotosintéticos que también producen oxígeno, como todas las plantas verdes. Como ocupan la superficie, ésta se satura del gas y el exceso se escapa a la atmósfera. En un día tranquilo y soleado, se pueden apreciar las burbujas de oxígeno que después de quedar atrapadas en las algas filamentosas, son liberadas a la superficie. De esta manera, la fotosíntesis del fitoplancton no abastece de oxígeno a las aguas más profundas, excepto durante ciertos momentos en la primavera y otoño. Además, el fitoplancton tiene índices de crecimiento y reproducción muy elevados. En condiciones óptimas, su masa puede duplicarse en un día. Así, el fitoplancton alcanza su máxima densidad poblacional y este crecimiento alcanza su estado estable para finalmente entrar en decaimiento siguiendo el comportamiento logístico. El fitoplancton muerto se asienta y produce en el fondo depósitos espesos de detritos. (pp. 26-27).

Estos detritos, como explica Von Sperling (2005), traen como consecuencia una nueva proliferación de bacterias de descomposición y un aumento adicional en el consumo de oxígeno por estos organismos. El agotamiento del oxígeno conduce a la muerte por asfixia de los peces y otros organismos aeróbicos. Mientras tanto, las bacterias realizan la fermentación y la respiración anaeróbica, produciendo gases tóxicos. Por último, la muerte de los organismos forma parte de una nueva materia orgánica en el ecosistema.

2.1.4.2. Clasificación de los estados tróficos

Naumann y Thienemann clasificaron los lagos de acuerdo con su estatus trófico, introduciendo los conceptos de oligo y eutrofia (Guerra y Pascual, 2008); “el paso de un estado a otro se caracteriza por un cambio importante en las especies presentes. En el estado Oligotrófico la relación producción/biomasa es muy baja y existe una mayor diversidad biológica. A medida que se evoluciona hacia la eutroficación disminuye el número de especies pero no su densidad” (Sierra, 2011).

Limnológicamente, los cuerpos de agua se pueden clasificar de forma simplificada en tres grandes tipos, los tres tipos representan un espectro de condiciones lacustres y no existe una demarcación fija entre ellos (Salas y Martino, 1996a), cabe indicar que actualmente se ha sumado a las categorías mencionadas, el término Hipereutrófico (nutrido en exceso), ver Figura 1.

Las principales categorías tróficas son:

Oligotrófico: Sistema acuático de bajo contenido de nutrientes, producción vegetal mínima y casi siempre rico en oxígeno disuelto.

Al respecto Smith y Smith (2007) mencionan que:

Los lagos oligotróficos tienen una baja proporción superficie/volumen. El agua es transparente y se ve azul o azul verdosa a la luz del sol. El contenido de nutrientes del agua es bajo y aunque el nitrógeno puede ser abundante, el fósforo está muy limitado. Una baja incorporación de nutrientes de los ecosistemas terrestres circundantes y otras fuentes externas son los principales responsables de esta condición. La poca disponibilidad de nutrientes causa

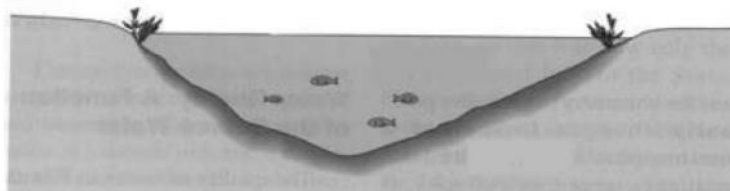
una baja producción de materia orgánica que deja poco para los descomponedores, de manera que la concentración de oxígeno permanece elevada en el hipolimnion. Los sedimentos del fondo son principalmente inorgánicos. Aunque la cantidad de organismos en los lagos y estanques oligotróficos puede ser baja, la diversidad de las especies a menudo es alta. (p. 552).

Mesotrófico: sistema acuático con características intermedias entre oligotrófico y eutrófico

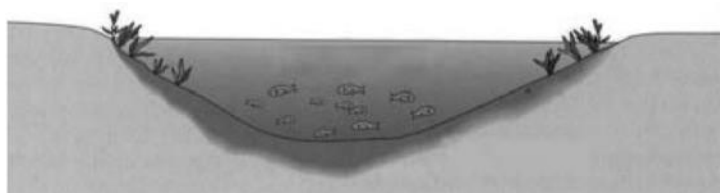
Eutrófico: sistema acuático de alto contenido de nutrientes, en especial nitrógeno y fósforo, y producción vegetal excesiva que se concentra en la capa superior del cuerpo de agua, dándole un color verdoso; la parte superior de la columna de agua presenta niveles altos de oxígeno aportado por las algas, pero la parte inferior es deficiente en oxígeno. Smith y Smith (2007) indican que presenta una alta proporción superficie/volumen; es decir, el área de la superficie es grande con respecto a la profundidad. El aumento de la producción fotosintética conduce al aumento del reciclado de nutrientes y compuestos orgánicos, estimulando aún más el crecimiento.

Figura 1

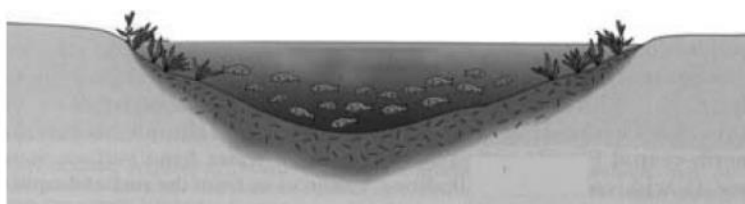
Características de los estados tróficos en cuerpos de agua



Oligotrófico: cuerpo de agua que tienen el nivel más bajo de la productividad biológica. Presenta agua clara, pocas plantas acuáticas, pocos peces, no mucha flora y fauna y un fondo arenoso.



Mesotrófico: cuerpo de agua que tiene un nivel moderado de productividad biológica. Presenta agua moderadamente clara y una cantidad moderada de plantas acuáticas.



Eutrófico: cuerpo de agua que tienen un alto nivel de productividad biológica. Presenta una gran cantidad de plantas acuáticas y claridad del agua o pocas plantas acuáticas y poca claridad del agua. Tiene el potencial para soportar gran cantidad de peces y vida silvestre.



Hipereutrófico: cuerpo de agua que tiene altísimos niveles de productividad biológica. Presenta muy baja claridad del agua, abundancia de plantas acuáticas y el potencial para soportar una gran cantidad de peces y vida silvestre.

Nota. Modificado de Forsberg and Ryding en: Florida LAKEWATCH (2004).

2.1.4.3. Factores de Eutrofización

Los factores, entendiéndose estos como elementos o causas que actúan junto con otros, que promueven la eutrofización; según Vidal (1991, citado en Villaseñor, 1998), “se clasifican en dos grandes grupos. En el primero se engloban los factores fisicoquímicos y caracteres morfométricos (profundidad, que afecta sobre el nivel de luz solar recibida). En el segundo se agrupan los factores nutricionales, donde el control cuantitativo de la biomasa vegetal viene determinado por la disponibilidad de los nutrientes limitantes para el crecimiento”.

La presencia de nutrientes en un cuerpo de agua tiene su origen a través de fuentes internas y/o externas.

Entre las fuentes internas, Sierra (2011) indica que se puede considerar a la vegetación inundada, liberación de fósforo en los sedimentos, estructura granular del sedimento y la clase de organismos presentes.

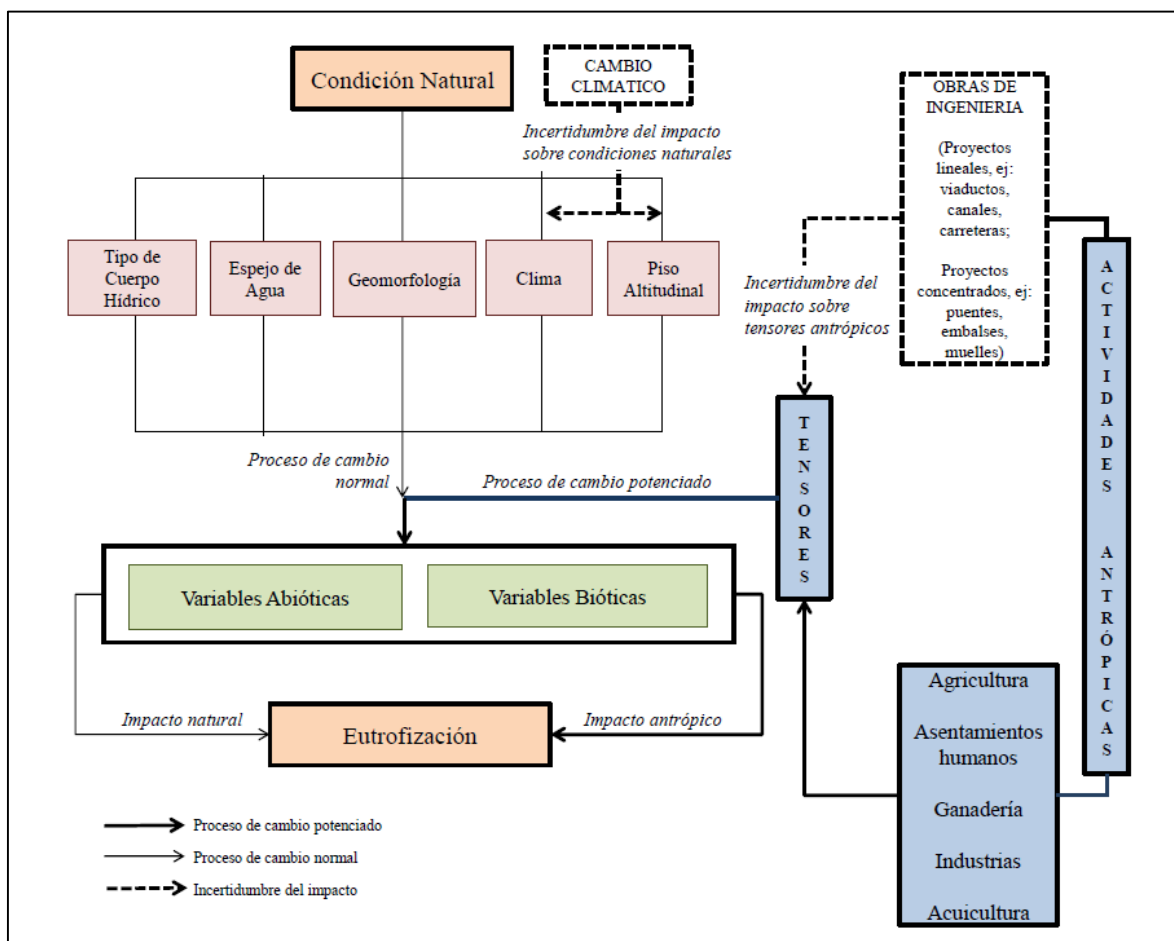
Las fuentes externas provienen de la cuenca y entre las principales se pueden citar: Vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales, escorrentía urbana, escorrentía de aguas provenientes de la agricultura y la vegetación natural, precipitación atmosférica.

Vásquez et al. (2012) identifican los procesos globales que inciden en el desarrollo de la eutrofización (Figura 2), indicando condiciones naturales y factores antropogénicos, además incluye al cambio climático porque en la actualidad está empezando a modificar las funciones y servicios de los ecosistemas continentales y marinos, aunque con un alto grado de incertidumbre, por lo cual no se puede establecer su impacto sobre los procesos

de eutrofización; por lo tanto, se requiere del diseño de planes de monitoreo para evaluar sus efectos.

Figura 2

Procesos globales que inciden en eutrofización en cuerpos de agua naturales



Nota. Vásquez et al. (2012).

2.1.4.4. Efectos de la eutrofización

Los efectos de la eutrofización, se evidencian en cambios físicos, químicos y biológicos, trayendo consigo un desequilibrio en el ecosistema acuático; Camargo y Alonso (2006) y Ongley (1997), describen los síntomas y efectos ecológicos y toxicológicos de la eutrofización:

- Reducción de la disponibilidad de luz debido a la disminución de la transparencia en la columna de agua.
- Reducción de la concentración de oxígeno en capas inferiores de la columna de agua, especialmente al finalizar las situaciones de proliferación de algas, lo que normalmente da lugar a una mortandad de peces.
- Incremento de la cantidad de materia orgánica que sedimenta.
- Disponibilidad de fósforo por la degradación de la materia orgánica acumulada en los sedimentos.
- Producción y acumulación de compuestos reducidos como el sulfuro de hidrógeno (H_2S) en aguas profundas y sedimentos.
- Incremento de la biomasa y actividad del fitoplancton. Cambios en la composición del fitoplancton que pueden promover el desarrollo de especies tóxicas.
- Incremento de la biomasa, productividad y composición de especies de zooplancton. Pérdida de biodiversidad debido al desarrollo de especies dominantes.
- Pérdida de biodiversidad en especies y comunidades de fitoplancton, perifiton, macrófitas y macroalgas.
- Modificación de las características del hábitat debida a la transformación del conjunto de plantas acuáticas.

- Incremento de la biomasa, productividad y composición de invertebrados bénticos y peces. Pérdida de la biodiversidad debido al desarrollo de especies dominantes. Degradación de las condiciones del hábitat para la reproducción.
- Colmatación y obstrucción de los canales de riego por las malas hierbas acuáticas.
- Reducción de la posibilidad de utilización del agua para fines recreativos, debido al lodo, infestación de malas hierbas y olores molestos producidos por la descomposición de las algas.
- Impedimentos a la navegación debido al crecimiento de densas masas de malas hierbas.
- Pérdidas económicas debidas a la modificación de las especies ícticas, mortandad de peces, etc.
- Alteraciones de la cadena alimentaria que afectan todos los niveles tróficos

2.1.4.5. Nutriente limitante

El concepto de nutriente limitante se basa en la premisa que, dada una determinada estequiometría celular de las plantas acuáticas, el nutriente que controlará la máxima cantidad de biomasa vegetal es aquél que primero se consume o que alcanza un mínimo antes que los otros nutrientes relativos a tal estequiometría, en otras palabras, la tasa de crecimiento algal será restringida por el elemento que se encuentre presente en menor concentración respecto a la proporción requerida por el alga. Solamente la adición de este elemento limitante estimularía el crecimiento algal (Salas y Martino, 1990, 1996a).

Vollenweider (1983; citado por Salas y Martino, 1990), propuso la relación nitrógeno total (TN) a fósforo total (PT) de 9:1 utilizada en el estudio de lagos de aguas cálidas tropicales realizado por CEPIS; de este modo, los lagos/embalses con relaciones TN/PT superiores a 9

estaban potencialmente limitados por fósforo, en cambio, aquellos cuya razón fue inferior a 9 fueron limitados por nitrógeno.

En casi todos los ecosistemas acuáticos continentales, el nitrógeno y el fósforo son factores limitantes, aunque de los dos, el fósforo se considera como el más importante y limitante. Según Ramírez y Machado (1982) el fósforo es el responsable directo de la eutrofización en lagos, embalses y humedales (Rodríguez, 2012); así mismo, Blau y Seneviratne (1995; citado en Schmid, 2008) sostienen que, generalmente las aguas oceánicas (zonas de mar abierto) se consideran limitadas de manera crónica por nitrógeno; mientras que los lagos y los ríos largos y lentos se considera que están limitados por fósforo.

Salas y Martino (1996b) explican lo siguiente:

En condiciones normales, las plantas utilizan los nutrientes disponibles para su crecimiento hasta que uno de ellos se vuelve limitante (según sus concentraciones iniciales en la columna de agua) y la población decrece.

Como se mencionó anteriormente, los elementos que más frecuentemente limitan el crecimiento son: nitrógeno y, fundamentalmente, fósforo. La importancia del fósforo debe a que:

- a. Si los compuestos de nitrógeno están presentes y el fósforo ausente no se producen crecimientos algales, mientras que,
- b. Si los compuestos de nitrógeno están ausentes y el fósforo presente, se puede esperar cierto crecimiento algal por la actividad de las algas fijadoras de nitrógeno. (p.3).

En contraste con lo anterior, Vincent et al. (1984), argumentan que, se ha generalizado la idea del fósforo como nutriente limitante debido a estudios realizados en zonas templadas de América del Norte y Europa que derivan en dicha conclusión; sin embargo, estudios desarrollados en latitudes más bajas como en el Lago Titicaca y en lagos tropicales como en Costa de Marfil, Brasil, Lago Jacaretinga en el Amazonas, Lago de Valencia en Venezuela, indican que estos sistemas lacustres están más frecuentemente limitados por nitrógeno que por el fósforo, dichos hallazgos llevan a la especulación de que podría no haber un único nutriente limitante en aguas tropicales.

(Lewis 2000, 2002; citado en Ramírez, 2012) manifiestan:

En los ambientes leníticos ecuatoriales, tropicales, y templados, aquéllos que tienen una mezcla limitada a los primeros metros de la columna de agua, presentarán la más severa limitación de nutrientes debido a la separación de una zona de alta demanda de nutrientes y otra de acumulación de los mismos, por una frontera transicional variable que impide el paso de material disuelto y gases; como consecuencia, en principio, los nutrientes se acumulan en las aguas más profundas. Estas aguas en las zonas ecuatoriales y tropicales presentan altas temperaturas (cuando comparadas con la temperatura de la misma profundidad en zonas templadas) que incrementan el metabolismo bacteriano y, consecuentemente, se produce anoxia de fondo que favorece la desnitrificación y con ello la pérdida de una mayor proporción del nitrógeno inorgánico total que en los lagos templados. Esta condición ocasionaría una limitación por nitrógeno en los lagos tropicales incrementada en aquellos más cercanos a la zona ecuatorial por las altas temperaturas reinantes casi todo el año. (pp. 423-424).

2.1.5. Ciclos biogeoquímicos

Los ciclos biogeoquímicos son procesos que se producen en nuestro medio, a través de los cuales los elementos químicos circulan y se transforman en compuestos en su paso por la atmósfera, hidrósfera, litósfera y biosfera.

Pueden clasificarse en tres tipos; los gaseosos, que están representados por los ciclos del oxígeno, carbono y nitrógeno; los sedimentarios, representados por los ciclos del fósforo, azufre, potasio, entre otros y el ciclo hidrológico; todos ellos están interconectados entre sí, de manera que no coexisten de forma aislada y los elementos químicos no sólo circulan dentro de un mismo ecosistema, sino que también entran y salen de él, dando lugar a un intercambio de nutrientes entre ecosistemas.

Partiendo del hecho de que se entiende que los ciclos no se llevan a cabo de forma aislada, se abordarán dos importantes ciclos biogeoquímicos relacionados directamente con la presente investigación, el ciclo del nitrógeno y el ciclo del fósforo.

El ciclo del nitrógeno, como mencionan Odum y Warrett (2006), “constituye un ejemplo de ciclo gaseoso bien amortiguado y sumamente complejo; el ciclo del fósforo es un ejemplo de ciclo con regulación sedimentaria, menos amortiguado y más sencillo. Estos dos elementos a menudo constituyen factores de suma importancia que limitan o controlan la abundancia de los organismos”.

2.1.5.1. Ciclo del nitrógeno

El nitrógeno se introduce en el ecosistema a través de dos rutas y la importancia relativa de cada una de ellas varía enormemente entre los distintos ecosistemas.

Smith y Smith (2007) nos dicen:

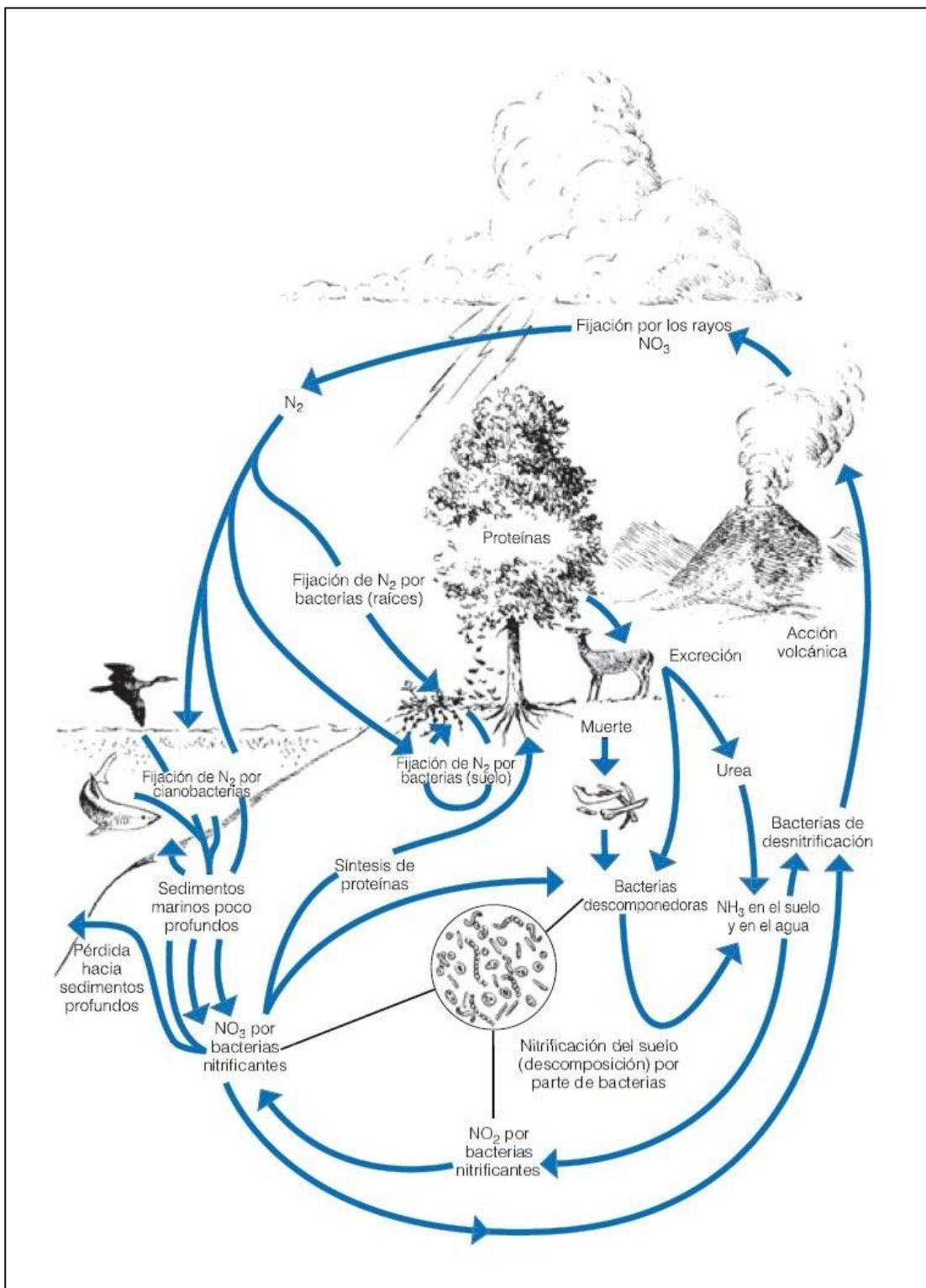
La primera es la deposición atmosférica, por esta ruta el nitrógeno se suministra de forma tal que se encuentra disponible para que los vegetales lo absorban.

La segunda ruta por el cual el nitrógeno se incorpora a los ecosistemas es mediante la fijación del nitrógeno. Esta fijación se produce de dos maneras. Una es la fijación de alta energía. La radiación cósmica, la estela de los meteoritos y los rayos proporcionan la alta energía necesaria para combinar el nitrógeno con el oxígeno y el hidrógeno del agua. El amonio y los nitratos resultantes se transportan hacia la superficie de la Tierra mediante el agua de lluvia.

La segunda forma de fijación es biológica, que se lleva a cabo por las bacterias simbióticas que viven en asociación mutualista con las plantas, por bacterias aeróbicas libres y por las cianobacterias (algas verde azuladas). (p. 504).

Figura 3

Ciclo del nitrógeno



Nota. Smith y Smith (2007).

El ciclo del nitrógeno se describe en cinco etapas fundamentales:

a) Fijación:

La fijación consiste en la conversión de nitrógeno gaseoso (N_2) en amoníaco (NH_3) o nitratos (NO_3^-), formas que son asimilables por los organismos; las bacterias y algas cianofíceas que se encuentran en los ambientes terrestres y acuáticos, emplean la enzima nitrogenasa que divide el nitrógeno molecular (N_2) en dos átomos de nitrógeno libre que se combinan con hidrógeno y forman dos moléculas de amoníaco (NH_3) que son rápidamente protonadas cuando se encuentran en un medio levemente ácido, para formar amonio (NH_4^+).

b) Amonificación:

El proceso de amonificación consiste en la formación de NH_3 como producto de la degradación o descomposición de la materia orgánica llevada a cabo por microorganismos del suelo. Entre las bacterias que participan en esta fase, Pelczar, Reid y Chan (1993) señalan que están *Bacillus*, *Clostridium* y *Serratia*, y los hongos *Alternaria*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillum*, entre otros.

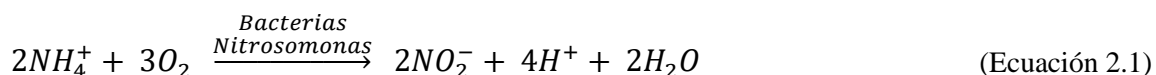
c) Nitrificación:

La nitrificación es un proceso que convierte el amonio en nitratos, por medio de bacterias de los géneros *Nitrosomonas*, *Nitrospira*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus* y *Nitrosovibrio* que están especializadas para convertir amonio a nitrito, y además de *Nitrobacter* miembros de los géneros *Nitrospira*, *Nitrospina* y *Nitrococcus* están especializadas para convertir nitrito a nitrato (Head et al., 1993; Bock et al. 1990; citado en Rodríguez y Toro, 2006).

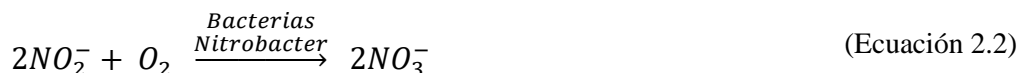
Este proceso puede dividirse en dos etapas; en la primera, las bacterias del género *Nitrosomonas* oxidan al NH_4^+ para convertirlo en NO_2^- (Ec. 2.1) y en la segunda, este es oxidado a NO_3^- (Ec. 2.2) por las bacterias del grupo *Nitrobacter*, con el nitrato producido se puede llevar

a cabo la desnitrificación o también este mismo puede ser tomado por las raíces de las plantas e incorporado a sus proteínas y ácidos nucleicos, los animales (heterótrofos) consumen estas plantas y de esta forma el nitrógeno se incorpora a la cadena alimenticia para ser devuelto al medio en la desintegración de los seres vivos y como excretas que contienen úrea, ácido úrico y amonio.

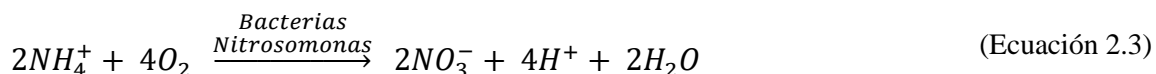
Conversión de Amonio a Nitrito



Conversión de Nitrito a Nitrato



Reacción global de nitrificación

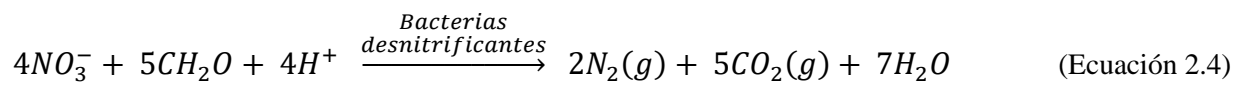


d) Asimilación:

Cuando el nitrato es absorbido por la planta se reduce de nuevo a amonio. Los iones amonio así formados se transfieren a compuestos que contienen carbono para producir aminoácidos y otras moléculas orgánicas nitrogenadas que la planta necesita. Los compuestos nitrogenados de las plantas terrestres vuelven al suelo cuando mueren las plantas o los animales que las han consumido; así, de nuevo son captados por las raíces como nitrato disuelto en el agua del suelo y se convierten en compuestos orgánicos (Guadalupe, 2002).

e) Desnitrificación:

El proceso de desnitrificación, se da en condiciones anaeróbicas en la que el grupo de bacterias desnitrificadoras del género *Pseudomonas* reducen el NO_3^- en presencia de una fuente de carbono orgánica, para ser devuelto a la atmósfera como óxido nitroso (N_2O) y nitrógeno gaseoso (N_2) (Ec. 2.4), al respecto Smith y Smith (2007), mencionan que las condiciones anaeróbicas necesarias para la desnitrificación son generalmente poco comunes en la mayor parte de los ecosistemas terrestres (pero pueden darse de forma estacional). Estas condiciones, sin embargo, son comunes en ecosistemas de humedales y en los sedimentos de ecosistemas acuáticos de aguas abiertas.

Reacción global de desnitrificación

2.1.5.2. Ciclo del fósforo

El ciclo del fósforo se realiza a través del agua, suelo y sedimentos porque a diferencia del nitrógeno, normalmente no se presenta en estado gaseoso en la atmósfera; debido a esto cualquier pérdida del fósforo del suelo por erosión es una materia relativamente seria (Burgos, 1983); aunque el transporte de fósforo mediante polvo atmosférico y el aerosol marino se encuentra en el orden de 1×10^{12} g P/año (Smith y Smith, 2007); su reserva fundamental se halla en la corteza terrestre en depósitos de mineral apatita formados en eras geológicas antiguas (Odum y Warrett, 2006).

En la corteza terrestre, se encuentra el fósforo principalmente como ortofosfato PO_4^{-3} en rocas ígneas como la apatita $Ca_5[(PO_4)_3(F, Cl, OH)]$ entre muchos otros minerales fosforados, estas rocas, por el proceso denominado meteorización o intemperismo; sufren desintegración y descomposición, liberando así al Fósforo.

Este elemento se incorpora al suelo como fosfatos que son absorbidos por las raíces de las plantas, éstas al ser consumidas por los organismos, incorporan el fósforo a la cadena alimenticia para regresar al suelo por medio de las excretas o descomposición de la materia orgánica; asimismo, ya sea por transporte como polvo atmosférico o por arrastre del agua, llega finalmente al mar y como menciona Odum y Warrett (2006), parte del mismo se deposita en sedimentos poco profundos y otra parte se pierde en sedimentos de mayor profundidad.

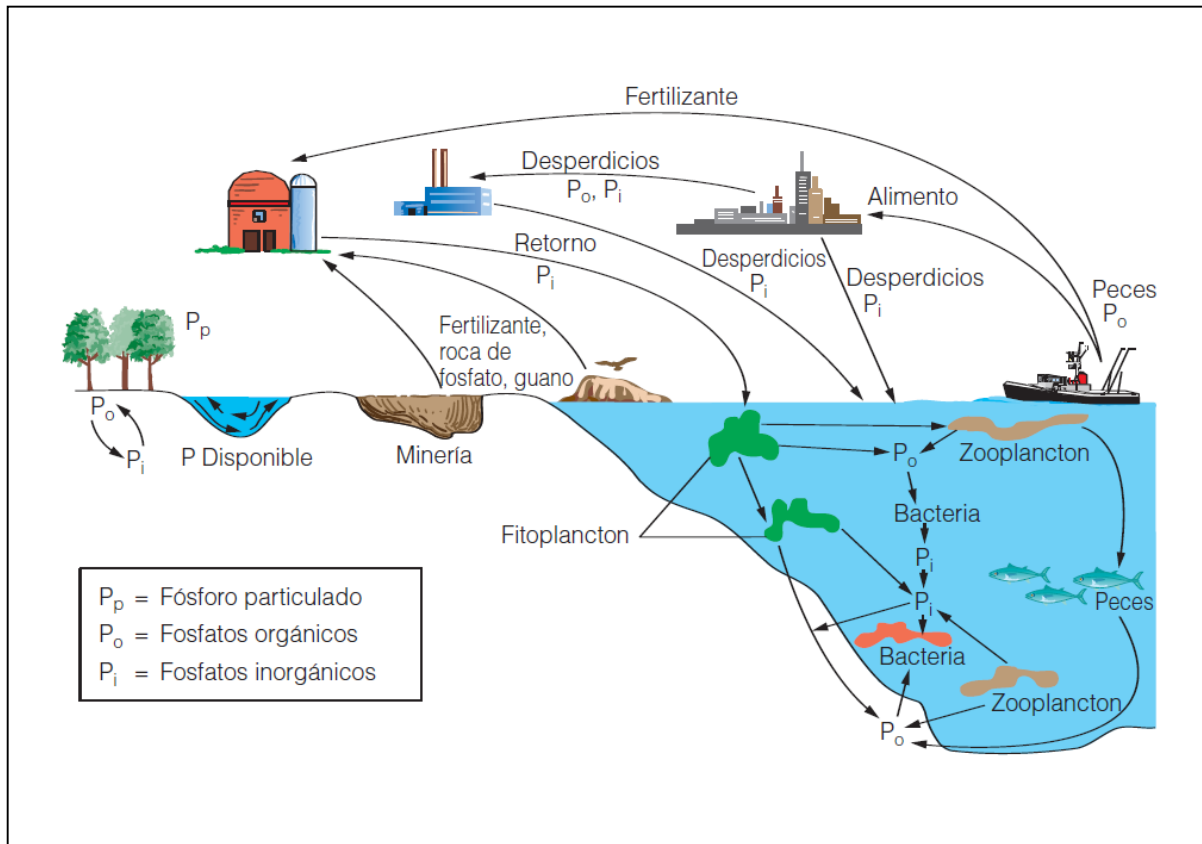
El ciclo del fósforo (Figura 4) en ambientes acuáticos, ocurre como indican Smith y Smith (2007):

En los ecosistemas marinos y de aguas dulces, el ciclo del fósforo se encuentra en tres estados: fósforo orgánico particulado, fosfatos orgánicos disueltos y fosfatos inorgánicos. Los fosfatos orgánicos son absorbidos rápidamente por todas las formas de fitoplancton, que son ingeridos a su vez por el zooplancton y los organismos que se alimentan de detritos. El zooplancton excreta fósforo diariamente (más de la mitad es fosfato inorgánico), de esta forma, vuelve al ciclo.

El resto del fósforo se encuentra en compuestos orgánicos que pueden ser utilizados por las bacterias, que no logran regenerar grandes cantidades de fosfato inorgánico disuelto. Los bacteriófagos consumen bacterias y luego excretan el fosfato que ingieren. Una parte del fosfato se deposita en sedimentos de poca profundidad y la otra parte se deposita en sedimentos profundos. (p. 510).

Figura 4

Ciclo del fósforo



Nota. Smith y Smith (2007).

El afloramiento de las aguas es importante debido a que permite llevar a la superficie parte de los sedimentos fosfatados que son absorbidos por el fitoplancton, pero a su vez, el zooplancton, al respecto Roldán y Ramírez (2008) explican:

Es el gran responsable de que el fósforo esté disponible en la columna de agua para ser así reciclado de forma inmediata. Este hecho es de evidente importancia en lagos de zonas templadas, durante las épocas del florecimiento de algas, por los períodos de circulación de primavera y otoño.

Aunque este fenómeno no ha sido estudiado suficientemente en el trópico, es de esperar que parte del fósforo presente en la columna de agua esté disponible debido a dicho mecanismo.

Sin embargo hay que tener en cuenta que las altas temperaturas tropicales prevalecientes a lo largo del año aceleran la actividad fitoplanctónica, por lo que deberá haber un suplemento de fósforo alóctono, especialmente en lagos oligotróficos. Quizá en lagos muy eutróficos este mecanismo de circuito rápido sea autosuficiente. (p. 250).

2.1.6. Parámetros químicos y físicos considerados para la determinación del estado trófico

2.1.6.1. Clorofila "a"

La clorofila *a* ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) es el único pigmento responsable de la transformación de la energía luminosa en energía química; existe en todas las algas, con excepción de las escasas formas heterótrofas (saprófitas o parásitas), la clorofila *a*, en estado puro, absorbe energía luminosa de una longitud de onda de 663 (luz rojo-naranja).

Sin embargo el cloroplasto completo (que contiene todos los pigmentos de la planta) absorbe luz más roja, de una longitud de onda de 680. Esto se debe a la presencia de otras moléculas que interactúan con la clorofila cambiando su espectro de absorción

En las plantas superiores, se sabe que esta clorofila *a* está siempre asociada a una cantidad menor de clorofila *b* ($C_{55}H_{72}O_6N_4Mg$) (Des Abbayes et al., 1989; Abate, 1993), al respecto Rodríguez (2012) indica que, “las clorofilas *b*, *c* y *d* solo están presentes como pigmentos accesorios en determinados grupos (Mora et al., 2002). La clorofila *b* es propia de las clases Euglenophyceae, Chlorophyceae y Chrysophyceae, la clorofila *c* se encuentra en las clases Dinophyceae, Cryptophyceae y Bacillariophyceae (Parra et al., 1982; Mora et al., 2002) y la clorofila *d* es exclusiva de Rhodophyceae y Cyanophyceae”.

La medición de clorofila "a" es un indicador de la existencia de células vivas de origen fitoplanctónico, así que la cantidad de clorofila medida en el agua es una medición indirecta aunque no necesariamente proporcional y relativa de la abundancia de individuos de poblaciones de fitoplancton (López, 2008).

2.1.6.2. Fósforo total

El fósforo es un elemento que en el medio acuático se presenta en forma de fosfatos en tres formas principales: ortofosfatos, polifosfatos y organofosfatos. Los ortofosfatos (PO_4^{2-} , HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$), son considerados como la única forma soluble y asimilable para las plantas acuáticas y el fitoplancton, por ello se le nombra como fósforo soluble reactivo (FSR) o fósforo asimilable y son fáciles de medir; los polifosfatos (principalmente hexametafosfatos $Na^+(PO_4)_6$ y tripolifosfatos $Na_5P_3O_{10}$) que no son asimilables directamente pero en medio acuoso regresan a la forma orto de la cual derivaron; y organofosfatos que son complejos asociados a la materia orgánica y que tampoco son asimilables directamente (Roldán y Ramírez, 2008; Zouiten, 2012). “En algunos estudios, son los ortofosfatos los que se miden (Allier, 2004). Sin embargo, las normas se enfocan sobre la concentración en fósforo total” (Zouiten, 2012), que es una medida de todas las formas de fósforo presentes en los sistemas acuáticos.

La disponibilidad de los fosfatos en el agua como PO_4^{-3} aumenta en pH básicos y disminuye en pH ácidos. En parte, esto explica porqué los lagos de pH básicos son más productivos que los ácidos.

En los trópicos, las altas temperaturas aumenta el metabolismo de las plantas y el fitoplancton, por lo que el FSR se consume más rápidamente (Roldán y Ramírez, 2008), pero a su vez, el ingreso de fósforo a los cuerpos de agua en los últimos tiempos, se ve potenciado por la intervención humana.

2.1.6.3. Nitrógeno total

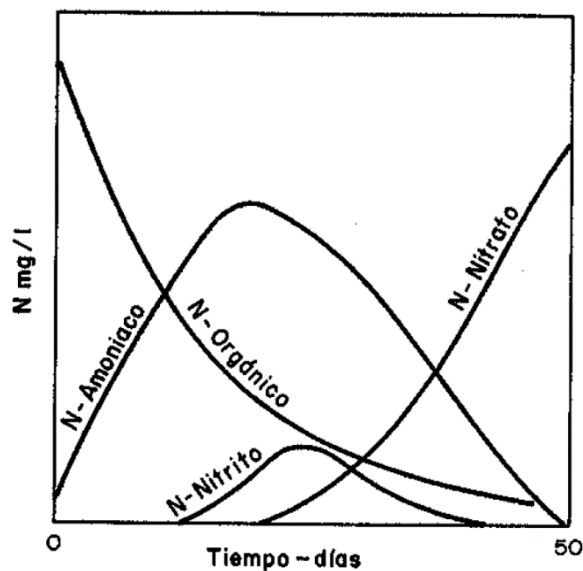
El nitrógeno es un elemento de importancia crítica para todas las formas de vida. Las proteínas, que son componentes de todas las células, en promedio contienen 16% de nitrógeno en peso (Henry y Heinke, 1999); presente en el medio acuático puede existir en cuatro formas: nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, compuestos en forma de nitritos y nitratos.

“El nitrógeno total contenido en una muestra de agua puede dividirse en dos fracciones diferentes: nitrógeno particulado (casi todo de origen orgánico) y nitrógeno soluble total. Esta última fracción incluye las formas de nitrógeno inorgánico en diferentes grados de oxidación (nitrato, nitrito y amonio) y el nitrógeno orgánico disuelto. Los productores primarios pueden tomar cualquiera de las formas inorgánicas pero el NH_4^+ es el más fácilmente asimilable” (Vidal-Abarca et al., 1994).

En un cuerpo de agua contaminado, indica Castro (1995), que el nitrógeno presente bajo las formas de nitrógeno orgánico y amoniacal, a medida que pasa el tiempo, el nitrógeno orgánico se va convirtiendo en amoniacal y más tarde, según las condiciones aerobias, se oxidaría a nitritos y nitratos (Figura 5).

Figura 5

Cambios que ocurren en las formas nitrogenadas presentes en aguas poluídas bajo condiciones aeróbicas



Nota. Castro (1995).

Las concentraciones relativas de las diferentes formas de nitrógeno presentes en un agua, como señalan (Castro, 1995; Contreras y Molero, 2011), proporcionan una buena información sobre la naturaleza de la muestra. Así por ejemplo, un agua que contenga cantidades elevadas de N orgánico y amoniacal (bajo las formas NH_3 y NH_4^+) y poco de NO_2^- y NO_3^- indicará que ha sido contaminada recientemente y es de gran peligro potencial.

2.1.6.4. Transparencia del agua

Se entiende por transparencia a la capacidad que tiene un material para dejarse atravesar fácilmente por la luz, ésta, en un cuerpo de agua, como indica Sierra (2011) se mide con el Disco de Secchi y se reporta en unidades de longitud. Este parámetro realmente representa la profundidad de la zona fótica, es decir, la zona hasta donde penetra la luz en el agua y puede realizarse fotosíntesis.

La transparencia del agua en una laguna es una característica que puede verse influenciada significativamente por la presencia de grandes cantidades de sedimentos inorgánicos (así como biomasa de algas) en la columna de agua (Drovandi et al., 2005), esto se explica debido a que las partículas suspendidas, tanto vivas como muertas y el agua misma, interceptan la luz y la absorben o la dispersan. La dispersión de la luz aumenta su recorrido a través del agua y la atenúa aún más (Smith y Smith, 2007).

Las longitudes de onda más altas y más bajas (rojos y azules) se absorben mejor, de modo que, por debajo de unos pocos metros de profundidad, la luz se compone principalmente de las longitudes de onda verdes y amarillas. Los materiales orgánicos absorben con gran eficacia la luz roja y azul (Henry y Heinke, 1999). Estos cambios en la cantidad y en la calidad de la luz son muy importantes para la vida en los ambientes acuáticos, tanto porque influyen directamente en la cantidad y en la distribución de la productividad como porque influyen sobre el perfil vertical de la temperatura según la profundidad del agua (Smith y Smith, 2007).

2.1.7. Índices de estado trófico

El "estado trófico" de los lagos es un concepto fundamental en la ordenación de los mismos. Significa la relación entre el estado de nutrientes en un lago y el crecimiento de la materia orgánica en el mismo. Eutrofización es el proceso de cambio de un estado trófico a otro de nivel superior por adición de nutrientes (Ongley, 1997). Los índices de estado trófico son calculados en base a diferentes parámetros correlacionados y permiten la clasificación de los cuerpos de agua a través de una escala numérica, o también a partir de comparaciones de datos obtenidos con valores fijos propuestos.

La utilidad de los índices está en que, al ser construidos con parámetros correlacionados, permiten realizar comparaciones tróficas entre cuerpos de agua en los cuales sólo se dispone del registro de cualquiera de los parámetros que conforman el índice, cabe mencionar que los números generados son índices mas no definen al estado trófico ya que este es un concepto multidimensional.

2.1.7.1. Índice de Carlson (1977)

Carlson (1977) desarrolló un índice de estado trófico (TSI, Trophic State Index), utilizando información de aproximadamente 150 cuerpos de agua (Mulhauser, 1991), el índice proporciona valores que pueden variar de 0 – 100 (Tabla 2); este fue construido en base a la profundidad del disco Secchi y su correlación matemática con la concentración de la clorofila "a" y fósforo total; puede ser calculado con cualquiera de los tres parámetros pero Carlson (1977), recomienda que se de prioridad al índice derivado de la clorofila "a" ya que esta puede ser mejor para estimar la biomasa de algas.

Carlson (1977) tomó como referencia para el punto cero del índice, el mayor valor de transparencia de Secchi reportado por Hutchinson (1957) en el lago Masyuko de Japón, que fue de 41.6 m, tomándose la transparencia de 64 m por ser el próximo número entero en la escala logarítmica de base 2 de la profundidad de Secchi. Se obtiene un índice de estado trófico (TSI) de 0 a 64 m para la profundidad de disco Secchi, restando el logaritmo de 64 a partir de un índice de 6 (Ec. 2.5), tal que cada división de diez unidades del índice, representa una división o duplicación de la profundidad de Secchi.

$$TSI = 10(6 - \log_2 SD) \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

El valor se multiplica por 10 para dar a la escala un rango de 0 a 100 en lugar de 0 a 10. La escala completa comienza en 0 a SD = 64 m; con 32 m, 10; 16 m, 20; 8 m, 30; etc. El límite teórico es indefinido pero el límite práctico es 100 o 110 (valores de transparencia de 6.4 y 3.2 cm) (Carlson, 1977).

Tabla 2

Clasificación del estado trófico – Carlson (1977)

Clasificación*	TSI	SD (m)	P total (mg/m ³)	Clorofila a (mg/m ³)
Ultraoligotrófico (TSI ≤ 20)	0	64	0.75	0.04
	10	32	1.5	0.12
	20	16	3	0.34
Oligotrófico (20 < TSI ≤ 40)	30	8	6	0.94
	40	4	12	2.6
Mesotrófico (40 < TSI ≤ 50)	50	2	24	6.4
	60	1	48	20
Eutrófico (50 < TSI ≤ 60)	70	0.5	96	56
	80	0.25	192	154
	90	0.12	384	427
	100	0.06	768	1183
Hipereutrófico TSI > 60				

Nota. Modificado de Carlson (1977).

(*) Estados tróficos aproximados asignados por Kratzer y Brezonik (1981).

A continuación se muestran las expresiones matemáticas que se aplican para calcular los índices de estado trófico, además se usó una modificación del índice de Carlson (1977) propuesta por Kratzer y Brezonik (1981) que amplían los índices con la introducción de nitrógeno total:

$$TSI (SD) = 10x(6 - \frac{\ln SD}{\ln 2}) \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

$$TSI (Chl) = 10x(6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln Chl}{\ln 2}) \quad (\text{Ecuación 2.7})$$

$$TSI (TP) = 10x(6 - \frac{\ln \frac{48}{TP}}{\ln 2}) \quad (\text{Ecuación 2.8})$$

$$TSI (TN)^1 = 10x(6 - \frac{\ln(\frac{1.47}{TN})}{\ln 2}) \quad (\text{Ecuación 2.9})$$

Donde:

SD: profundidad de Disco Secchi (m) TP: concentración de fósforo total (mg/m³)
 Chl: concentración de clorofila "a" (mg/m³) TN: concentración de nitrógeno total (mg/l)

Kratzer y Brezonik (1981) en base estudios en lagunas subtropicales de La Florida predominantemente limitadas por nitrógeno, desarrollaron un índice de estado trófico basado en la concentración de nitrógeno total, los autores afirman que es una valiosa herramienta de clasificación cuando se combinan con los valores del TSI de Carlson, ya que permite considerar correctamente a los lagos limitados tanto con fósforo como con nitrógeno.

¹ Variación del índice de Carlson (1977) para nitrógeno total propuesta por Kratzer y Brezonik (1981)

Para un valor de Clorofila "a" (Chl a) de 10 ug/l el valor de nitrógeno total es 0.92 mg/l, este valor debería producir un TSI aproximado de 53 basado en Carlson TSI (Chl a); utilizando un enfoque similar al de Carlson, desarrollaron una ecuación TSI (TN) centrada alrededor de un valor de 60, cada incremento de 10 en el TSI significaría una duplicación de la concentración de TN.

Tabla 3

Clasificación del estado trófico – Kratzer y Brezonik (1981)

Clasificación	TSI	SD (m)	Clorofila a (mg/m³)	P total (mg/m³)	N Total (mg/l)
Ultraoligotrófico	0	64	0.04	0.75	0.02
	10	32	0.12	1.5	0.05
	20	16	0.34	3	0.09
Oligotrófico	30	8	0.94	6	0.18
	40	4	2.6	12	0.37
Mesotrófico	45	2.8	5	17	0.52
	50	2	7.3	24	0.74
Eutrófico	53	1.6	10	30	0.92
	60	1	20	48	1.47
Hipereutrófico	70	0.5	56	96	2.94
	80	0.25	154	192	5.89
	90	0.12	427	384	11.7
	100	0.06	1183	768	23.6

Nota. Kratzer y Brezonik (1981).

2.1.7.2. Índice de Toledo et al. (1984)

Debido a que el Índice de Estado Trófico de Carlson (TSI) fue desarrollado con datos obtenidos en lagunas de clima templado, Toledo et al. (1984), en base a estudios realizados en el reservorio de Barra Bonita en Brasil, propuso modificaciones en el TSI de Carlson con la finalidad de adaptarlo a las condiciones climáticas de los ambientes tropicales en los que la respuesta de los organismos acuáticos a factores que influyen en sus actividades vitales, es distinta a la de ambientes de clima templado.

El índice de Toledo se puede obtener por separado para cada parámetro o a través del IET medio (IET_M). A continuación se muestran las expresiones matemáticas que se aplican para calcular el índice de estado trófico modificado de Toledo (IET_M):

$$IET_M(SD) = 10x(6 - \frac{0.64 + \ln SD}{\ln 2}) \quad (\text{Ecuación 2.10})$$

$$IET_M(Chl) = 10x(6 - \frac{2.04 - 0.695 \ln Chl}{\ln 2}) \quad (\text{Ecuación 2.11})$$

$$IET_M(TP) = 10x(6 - \frac{\ln \frac{80.32}{TP}}{\ln 2}) \quad (\text{Ecuación 2.12})$$

$$IET_m = (\frac{IET(SD) + IET(Chl) + IET(TP)}{3}) \quad (\text{Ecuación 2.13})$$

Donde:

SD: profundidad de Disco Secchi (m)

Chl: concentración de Clorofila "a" (mg/m³)

TP: concentración de Fósforo total (mg/m³)

IET_M: Índice de Estado Trófico medio

Tabla 4*Clasificación del estado trófico – Toledo et al. (1984)*

Clasificación	SD (m)	P total (mg/l)	Clorofila a (µg/l)
Ultraoligotrófico $IET_M \leq 24$	≥ 7.8	≤ 0.006	≥ 0.51
Oligotrófico $24 < IET_M \leq 44$	7.7 – 2.0	0.007 – 0.026	0.52 – 3.81
Mesotrófico $44 < IET_M \leq 54$	1.9 – 1.0	0.027 – 0.052	3.82 – 10.34
Eutrófico $54 < IET_M \leq 74$	0.9 – 0.3	0.053 – 0.211	10.35 – 76.06
Hipereutrófico $IET_M > 74$	< 0.3	> 0.211	> 76.06

Nota. Toledo et al. (1984).**2.1.7.3. Índice de OCDE (1982)**

La OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) publicó en 1982 los resultados de un amplio estudio sobre el monitoreo, evaluación y control de la eutrofización de ambientes acuáticos para lagos de regiones templadas, dicho estudio tuvo una duración de 5 años y abarcó 200 ambientes en 22 países de Europa occidental, EEUU, Japón y Australia (Martino, 1989); a partir de estos estudios, se establecieron límites para las categorías tróficas y su utilización consiste en comparar datos obtenidos experimentalmente con valores fijos.

La OCDE utiliza la media anual de fósforo total (PT), la media anual eufótica de clorofila "a" (Chl "a"), el valor máximo anual de clorofila "a" (Chl "a" máx.) y la profundidad media anual de visión del Disco de Secchi (SD), en la Tabla 5 se muestra la clasificación cerrada, llamada así porque posee límites estrictos entre sus categorías tróficas.

Tabla 5*Criterios de aplicación del Índice de OCDE (1982)*

Clasificación	Clorofila "a" (µg/L)	Clorofila "a" máx. (µg/L)	Profundidad Secchi (m)	Fósforo (µg/L)
Ultraoligotrófico	<1	<2.5	>12	<4
Oligotrófico	1 – 2.5	2.5 - 8	6 – 12	4 – 10
Mesotrófico	2.5 – 7.9	8 – 24.9	3 – 6	10 – 35
Eutrófico	8 – 25	25 – 75	1.5 – 3	35 -100
Hipereutrófico	>25	>75	<1.5	>100

Nota. Modificado de OCDE (1982).**2.1.7.4. Índice de CEPIS**

Salas y Martino publicaron un estudio realizado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), vinculado a la Organización Mundial de la Salud (OMS), teniendo como punto de discrepancia que los modelos simplificados disponibles en ese entonces por la OCDE (1982), fueron desarrollados con datos de lagos templados, llegaron a la conclusión que debido a la diferencia con los lagos cálidos tropicales, dichos modelos no eran aplicables a la mayoría de cuerpos de agua de la región de América Latina y el Caribe. De esta forma se inició el proyecto "Desarrollo de metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos Tropicales", se utilizó un conjunto de datos de aproximadamente cuarenta lagos, lagunas y embalses, principalmente de los siguientes países: Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador, México, Puerto Rico, Estados Unidos y Venezuela. El estudio tuvo como una de las metas el establecimiento de un sistema de clasificación de estado trófico para lagos cálidos tropicales.

Tabla 6*Criterios de aplicación del Índice de CEPIS*

Clasificación	Promedio geométrico PT (µg/L)	Promedio geométrico Chl "a" (µg/L)
Oligotrófico	21,3	3,56
Mesotrófico	39,6	6,67
Eutrófico	118,7	17,39

Nota. Modificado de Salas y Martino (1990).

“Como fue propuesto por el Dr. R.V. Vollenweider (Consultor del Programa) y aceptado por los participantes (Salas, 1983), la definición del lago cálido tropical se basa en una temperatura mínima de 10°C durante condiciones normales y un promedio anual mínimo de 15°C” (Salas y Martino, 1990).

El CEPIS utiliza la media geométrica anual del fósforo total (PT) y de la clorofila "a" (Chl "a") para el establecimiento de las categorías tróficas (Tabla. 6).

2.1.8. Descripción del área de estudio

2.1.8.1. Ubicación geográfica

Ubicación:

El Refugio de Vida Silvestre los Pantanos de Villa o también conocido como Pantanos o Humedales de Villa, se encuentra ubicado en el distrito de Chorrillos de la ciudad de Lima, entre los 12° 11' 42" - 12° 13' 18" Latitud Sur y 76° 58'42" – 76° 59'42" Longitud Oeste, entre las intercruencias del río Rímac y Lurín.

El área de estudio comprende a la Laguna la Pampa que pertenece a los Humedales de Villa, está ubicada entre las avenidas Defensores del Morro (Ex-Huaylas) y Av. 12 de Octubre.

Límites:

Norte : A.H. La Sagrada Familia

A.H. Las Garzas de Villa

Urb. Huertos de Villa

Urb. La Encantada

Sur : Club Hípico del Perú

Este : Cerro Las Delicias de Villa

Oeste : Océano Pacífico

Superficie

Los Humedales de Villa tuvieron más de 5000 ha (Pulido y Gutiérrez, 1989); pero con el paso del tiempo ha ido reduciéndose, en 1989 fue declarada como Zona Reservada y en el año 2006 se estableció la categoría definitiva de Refugio de Vida Silvestre los Pantanos de Villa sobre 263.27 hectáreas.

El área de estudio que corresponde a la laguna La Pampa, tiene una extensión aproximada de 3.53 ha.

Altitud

La altitud varía desde 0 hasta los 5 m.s.n.m.

Vías de acceso

Su acceso es a través de la Av. Huaylas (Antigua Carretera Panamericana Sur) entre los kilómetros 19 y 22.

2.1.8.2. Diagnóstico físico

2.1.8.2.1. Geología

Durante milenios, los vientos y las olas han movido y depositado arena en las playas al sur del Morro Solar. Otros sedimentos han venido de los Andes arrastrados por el río Rímac, los que han formado un cono de deyección de más de 30 km de ancho encima del cual está ubicada la ciudad de Lima y los Pantanos de Villa (Young, 1998).

Los Pantanos de Villa se ubican dentro de una depresión plana de 1530 ha, rodeados de colinas entre los 100 y 300 m.s.n.m. (Morro Solar, Cerro Zig Zag y Lomo Corvina) y una línea de playa recta, muy favorable para el acondicionamiento microclimático en la zona continental húmeda de la interfase mar-continente en la que existen los pantanos. Litológicamente están compuestos de areniscas tipo cuarcita y limonitas que conforman las dominancias de montañas, relacionadas con los procesos geológicos-tectónicos del cretácico y cuaternario (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado [SERNANP], 1998).

Se observó el mapa geológico del cuadrángulo de Lurín 25-j, mostrando que los Humedales de Villa presentan según la litoestratigrafía y cronoestratigrafía a depósitos eólicos del cenozoico cuaternario reciente (Qr-e), depósitos marinos del cenozoico cuaternario pleistoceno (Qp-m), depósitos marinos del cenozoico cuaternario reciente (Qr-m); cerca de La Campiña se encuentran las formaciones Herradura (Ki-he) y Marcavilca (Ki-ma), ambos correspondientes al grupo Formación Morro Solar, perteneciente al mesozoico cretáceo.

“Las rocas cretácicas vienen formando la cadena de cerros que rodean a los Pantanos de Villa, así como el substrato rocoso cuaternario del acumulado de Villa. Los sedimentos predominantes son areniscas de diferentes tamaños de grano, tonalidad y composición mayormente de cuarzo. Los depósitos tienen diferentes orígenes” (SERNANP, 1998).

2.1.8.2.2. Hidrología

El agua que llega a los Humedales es parte del flujo subterráneo del río Rímac y su acuífero (Elmore, 1904) cuyo flujo tiene una dirección de norte a sur a partir del eje del río Rímac y se encuentran integrados a través del acuífero Ate-Surco-Chorrillos, en una depresión natural que permite el flujo de aguas del acuífero (que a su vez se recarga de las aguas del lecho del río, de las infiltraciones de las áreas agrícolas, de la red de canales de parques y jardines). Esto se manifiesta en 9 puquiales u ojos de agua, 2 en Lomas de Villa y 7 en Villa Baja. La planicie de Villa se encuentra a 35 m por debajo del nivel de la planicie de Chorrillos garantizando el flujo de agua subterránea a los pantanos (SERNANP, 1998), que ingresa a través de dos zonas definidas, el “Cuello de Villa” (entre los cerros Morro Solar y Zigzag) y la Quebrada de San Juan de Miraflores. Los Humedales poseen una fuente principal de recarga hídrica superficial que es el afloramiento de agua ubicada en el área “Villa Baja”, entre las Palmeras de Villa y Santa Isabel de Villa, según aforos realizados por ONERN en 1991, se estima que este manantial produce 145 l/s y discurre por canales hacia los Humedales, además existen otros aportes que contribuyen a este flujo, como menciona Gonzales (2000), “estudios realizados por la ONERN (1991), consideran que las 21 lagunas existentes en San Juan de Miraflores aportan por filtraciones al acuífero subterráneo de Los Pantanos de Villa cuyo afloramiento se aprecia en Villa Baja. Estas 21 lagunas ocupan un espacio de 20.5 ha e irrigan una extensión aproximada de 205 ha”.

Las fotografías aéreas del año 1943, muestran que el afloramiento de “Villa Baja” presentó un cauce bien definido con un caudal constante y tuvo una desembocadura natural al mar, ya para el año 1970 se aprecia que la alteración hídrica más notoria es la desaparición del cauce principal (Liviac, 2002), por ello actualmente no hay un flujo superficial natural que

conecte al mar. En cambio, debe de haber una zona subterránea de filtraciones entre el agua relativamente dulce de los Pantanos y las aguas marinas. La ubicación de esta zona y la cantidad de agua dulce subterránea que entra así, al mar, son desconocidas (Young, 1998).

La cantidad de agua de precipitación que ingresa directamente a los Pantanos es relativamente poca ya que la mayoría de ésta proviene de lluvias que cayeron varios meses antes en los Andes (Elmore 1904); esto trae dos consecuencias, que el nivel del agua esté determinado por la cantidad de lluvias en la sierra y que debido a la demora en llegar hasta la costa, la época alta en Los Pantanos corresponde a tiempos lluviosos de meses anteriores en la sierra (Young, 1998), los humedales alcanzan su máxima altura cuando el caudal del río Rímac es mayor a 800 millones de m³/año (Amaya et al., 1998) y su “trasvase” subterráneo por lo general demora de 6 a 8 meses (Gonzales, 2000); además cabe mencionar que con técnicas isotópicas, el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) determinó que las aguas de los pantanos de Villa tienen un tiempo de recarga de 30 años (Montoya, 2012).

Respecto a la profundidad de la napa freática en el área de estudio, Mugruza (2013) en base a un estudio de INRENA (1991), determinó que en parte de la Av. 12 de Octubre, Av. Los Granjeros (Vista Alegre) y la Av. Prolongación Huaylas (Defensores del Morro) fluctúa entre 1.00 a 1.70 m; sin embargo, en el resto del área presenta una profundidad mucho mayor, superando los 2 m como mínimo.

2.1.8.2.3. Clima

Según el sistema de clasificación de Köppen el clima es Semi-cálido Muy Seco (Árido Sub-Tropical). La precipitación total mensual promedio es baja, oscilando entre 0.0mm y 5.5mm; basándose en la clasificación de Köppen, el clima de los Humedales de Villa se encuentra en la categoría de desierto subtropical árido, presenta precipitaciones totales que alcanzan un promedio anual de 60mm. De acuerdo con SERNANP (1998), la temperatura media anual es de 18.6°C y la humedad relativa fluctúa entre 85 y 99%. El anticiclón del Pacífico Sur, produce subsidencia generando abundante nubosidad estratiforme, que explica la escasa precipitación y la predominancia de vientos de componente sur que en promedio alcanzan velocidades de 3m/s. Estos vientos en combinación con la corriente peruana producen nieblas de advección características de esta zona.

Durante los meses de octubre a mayo que es la temporada seca, como manifiesta Young (1998), el cielo está generalmente despejado con amplia radiación solar y con temperaturas que oscilan, típicamente entre 15°C y 26 °C, presentándose muy poca precipitación, pero vientos relativamente fuertes.

En los otros meses, la formación de una densa masa de nubes-estrato es frecuente encima de la costa, desde 150 m a 1000 m de altitud. El clima en los Pantanos se vuelve más fresco, con temperaturas de 14°C a 19°C, humedad relativa sobre 70% y radiación solar difusa e indirecta.

2.1.8.2.4. Suelos

Durante milenios, los vientos y las olas han movido y depositado arena en las playas al sur del Morro Solar. Otros sedimentos han venido de los Andes arrastrados por el río Rímac, los que han formado un cono de deyección de más de 30 km de ancho, encima del cual está ubicada la ciudad de Lima y Los Pantanos de Villa (Young, 1998).

Fisiográficamente, el área es una llanura formada por depósitos aluviales moderadamente profundos, de textura moderadamente gruesa en el límite de la sección de control (100 cm de profundidad), de textura franco-franco arenosa con problemas de excesiva salinidad (mayor a 16 mmhos/cm). Los suelos presentan un drenaje imperfecto, escurrimiento superficial lento, sin riesgo de erosión, son susceptibles de inundación y tiene una profundidad efectiva de raíces de 65 cm. Los factores limitantes son la topografía casi a nivel, el drenaje pobre y la salinidad (de fuerte a muy fuerte) (SERNANP, 1998).

Otros substratos de importancia en Los Pantanos son los que contienen mucha materia orgánica. Se forman principalmente de material vegetal depositado debajo del agua en condiciones que limitan la descomposición. Encima del nivel freático, se mezcla la materia orgánica con la arena, resultando de ellos la formación de suelos con buen o regular drenaje, pero, frecuentemente, con muchas sales (Young, 1998).

2.1.8.2.5. Flora

La dinámica de los ecosistemas presentes en Villa se constata al examinar la flora, la que está constituida por especies silvestres e introducidas que representan dos grandes divisiones de plantas vasculares: pteridófitas y magnoliófitas (León et al., 1995).

“Cano et al. (1993), identificaron 62 especies en base a muestras de herbario, de las cuales solo 52 fueron encontradas en campo en 1991; León et al. (1995) reportaron 67 especies silvestres documentadas con material de herbario de las cuales solo 55 fueron encontradas en campo, finalmente Cano en un trabajo recapitulativo (Cano y Young, 1998) documenta 65 especies de plantas silvestres, comprendidas en 57 géneros y 35 familias” (Ramírez y Cano, 2010).

Actualmente hay 58 especies de flora vascular en los Pantanos de Villa, 47 silvestres (81%) y 11 cultivadas (19%). El porcentaje de especies cultivadas es un indicador de la presión antrópica a la que está sometido el humedal. Con respecto al registro histórico, para la flora de los Pantanos de Villa, hay 65 especies silvestres documentadas con especímenes de herbario, éstas más los siete nuevos reportes de Ramírez y Cano (2010) (*Plantago major*, *Rumex obtusifolius*, *Limnobium laevigatum*, *Elodea potamogeton*, *Colocasia esculenta*, *Alternanthera haliimifolia*, *Alternanthera pubiflora*), hacen una lista de 72 especies silvestres.

Formaciones vegetales

La formación vegetal que alcanza mayor extensión corresponde al gramadal, se sustenta en la “grama salada” (*Distichlis spicata*), con elementos secundarios de porte herbáceo y arbustos dispersos. Esta cobertura se alimenta de nutrientes del subsuelo ricos en sales y materia orgánica acumulada a través de los años, además la humedad permanente se encarga de mantener verde el gramadal, especialmente en la estación de verano, época en que la floración de muchas plantas acuáticas lucen su belleza (SERNANP, 1998).

Según León et al. (1995) y Young (1998), hay seis zonas ecológicas o ambientes que son hábitat para las plantas vasculares; las cuales son, canales y depresiones, espejos de agua y cuatro asociaciones vegetales que se describen a continuación:

1) Totorales: Esta zona se ubica siempre en los suelos inundados o en los bordes de los espejos de agua. Se caracteriza por poblaciones densas de «totoras», *Typha domingensis*, que alcanza dos o tres metros de alto. Hay totorales al sureste del espejo de agua grande y en una depresión en el centro de la reserva, también hay franjas angostas que siguen los cursos de algunos de los canales.

2) Zona arbustiva: Representada por un solo sector de arbustos y cañaveral, de dos a cinco metros de alto, ubicado entre un totoral y una vega de ciperácea, cerca al espejo mayor de agua. Se caracteriza por la apariencia de un matorral denso. Hay 11 especies de plantas vasculares que usan ésta zona como hábitat; especies indicadoras son *Myrsine manglilla*, que es la dominante en ésta zona, además de *Ludwigina octovalvis*, *L. peruviana* y *Cladium jamaicense*, incluso, algunas raras veces se forman poblaciones tan densas de *Cladium jamaicense* que podría reconocerse como comunidad vegetal aparte. SERNANP (1998), añade que en el área también

existe una zona desértica cubierta por arbustos (pampa arbustiva), de distinto origen que la anterior, pues se originó a raíz de un plan de forestación fallido en el que se plantaron especies exóticas, tanto arbustivas como arbóreas.

3) Vegas: Se ubica en suelos saturados, a veces vecina a los cuerpos de agua y otras veces al totoral o al gramadal, están formadas principalmente por miembros de la familia Cyperaceae. Son más bajas de estatura que los totorales, mayormente alcanzan de 0.5 m a 1 m de alto. Cuando *Scirpus americanus* crece alto, forma poblaciones que se pueden denominar «juncales», ya que el nombre común local de esta especie es el junco. Sin embargo, en Los Pantanos de Villa, ese crecimiento no es frecuente; mayormente el junco se encuentra más abajo y mezclado con ciperáceas como *Cyperus laevigatus* y *Eleocharis geniculata* (indicadoras de éste hábitat), más la gramínea *Paspalum vaginatum*. La apariencia es de una vega y por eso la denominación de la comunidad vegetal como tal.

4) Gramadales: Es la comunidad que cubre más superficie y está dominada por la grama salada, (*Distichlis spicata*), el gramadal es una formación vegetal baja, normalmente de 20 cm a 50 cm de alto. En algunos sectores, la grama salada forma montículos de hasta un metro de alto, presentando un aspecto muy singular y en otros sectores hay acumulación de sales creándose parches donde crecen suculentas como *Heliotropium curassavicum*, *Salicornia fruticosa* y *Sesuvium portulacastrum*, los que, aparentemente son más tolerantes.

A veces *Distichlis spicata* se encuentra acompañada de *Sporobolus virginicus*, *Scirpus americanus* y/o *Paspalum vaginatum*

2.1.8.2.6. Fauna

Avifauna

Wust et al. (1994), reportaron 155 especies de aves para Villa, distribuidas en 46 familias. Del total, 77 fueron consideradas como migratorias (Pautrat y Riveros, 1998), clasificándose de la siguiente manera:

Migrantes de Norteamérica: 54 especies

Migrantes del sur de América: 6 especies

Migrantes de los andes peruanos: 8 especies

Migrantes de la Amazonía y del norte del país: 9 especies

“Asimismo, señalan que entre las residentes, 40 especies se reproducen en Villa y 28 presentan migración local. Barrios y Guillén (1994), registraron un total de 127 especies de aves, agrupadas en 39 familias” (Pautrat y Riveros, 1998).

Pautrat y Riveros (1998) registraron 119 especies y Iannacone et al. (2010), 58 especies; respecto a estas variaciones, Pautrat y Riveros (1998) indican que se ha comprobado que estos valores responden a una diversidad “inflada” por el aporte de un gran número de individuos raros u ocasionales que pueden aparecer ante determinados eventos climáticos como El Niño y en otros casos, que parece ser la causa más frecuente, provienen del mercado de mascotas de la ciudad de Lima o del arrojado intencional de especies exóticas en el humedal.

Por ello, se considera que existe una diversidad “real”, definida como aquella que se puede registrar un día cualquiera independientemente de la época del año, ésta varía entre 40 y 50 especies para toda el área.

Ictiofauna

Castro, Huamán y Ortega (1998), reportaron 13 especies, pertenecientes a 12 géneros y 7 familias de peces teleósteos.

De las especies registradas, cinco son nativas de la costa peruana y constituyen el 38,5% del total, éstas son: *Bryconamericus peruanus* (presenta mayor abundancia), *Lebiasina bimaculata*, *Mugil cephalus*, *Aequis rivulatus* y *Trichomycterus punctulatus*.

Las especies introducidas (exóticas) constituyen el 61.5%, son ocho y provienen de distintos continentes: *Carassius auratus* (Asia), *Gambusia affinis*, *Poecilia reticulata*, *Poecilia velifera* y *Xiphophorus maculatus* (Centro y Norteamérica), *Cichlasoma nigrofasciatum* (Centroamérica), *Oreochromis niloticus* (cuenca del Niño, África) y *Tilapia rendalli* (cuenca del Congo, África).

Malacofauna

Han sido registradas 11 especies de moluscos gasterópodos: *Heleobia cumingii* (Orbigny, 1835); *Fossaria viatrix* (Orbigny, 1835); *Physa venustula* (Gould, 1847); *Physa peruviana* (Gray, 1828); *Drepanotrema kermatoides* (Orbigny, 1835); *Drepanotrema limayanum* (Lesson, 1830); *Helisoma peruvianum* (Broderip, 1832); *Ancylus concentricus* (Orbigny, 1835); *Helisoma trivolvis* (Say, 1817); *Helisoma duryi* (Wetherby, 1879) y *Melanoides tuberculata* (Müller; 1774), las tres últimas probablemente han sido introducidas por el hombre en la década del 70, ninguna especie es endémica de Los Pantanos de Villa (Vivar et al., 1998).

Aracnofauna

Duárez (1998), da a conocer la diversidad de arañas a nivel de familia, registrando 13 familias; demostrando que la aracnofauna está constituida por los representantes de las órdenes Acari, Scorpiones, Pseudoscorpiones y Araneae; un estudio reciente, realizado por Paredes (2010), registra 55 especies distribuidas en 20 familias y explica que es posible que antes no se haya registrado tal número de familias por falta de esfuerzos de colecta adecuados, así como de muestreos estandarizados.

Protozoarios, turbelarios y nemátodos

En base a estudios de Sarmiento y Guerra (1960) y Barrera (1976); Sarmiento y Morales (1998) en un trabajo recopilatorio, reportaron 98 especies de protozoarios, 1 turbelario (*Dugesia festai*) y 13 nemátodos, indicando que en las aguas de Villa el grupo predominante era el de los ciliados que, junto a los sarcodinos, eran más numerosos durante la primavera y el otoño; mientras los mastigóforos abundaban durante el verano y eran escasos en el invierno.

Guillén (2002), en su estudio, registró 128 especies de protozoarios, pertenecientes a 28 órdenes, 69 familias y 101 géneros.

Mamíferos

Pacheco et al. (2015), registraron ocho especies de mamíferos: los roedores nativos; ratón campestre (*Akodon* sp.) y cuy silvestre, poronccooy (*Cavia tschudii* [Fitzinger]); los roedores múridos introducidos, ratón pericote (*Mus musculus* [Linnaeus]), rata negra (*Rattus rattus* [Linnaeus]) y rata gris (*R. norvegicus* [Berkenhout]) y los murciélagos; murciélago mastín (*Tadarida brasiliensis* [I. Geoffroy]), murciélago frutero fraternal (*Artibeus fraterculus* [Anthony]) y murcielaguito de Atacama (*Myotis atacamensis* [Lataste]).

Tabla 7

Población censada (1993, 2007 y 2017) y tasa de crecimiento del distrito de Chorrillos

AÑO	1993	2007	2017	TASA DE CRECIMIENTO 2007-2017
POBLACIÓN	217000	286977	314241	0.00908

Nota. Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018).

En base a la tasa de crecimiento y con datos de población de otros estudios para el 2006 y 2007 (Tabla 8 y Tabla 9), se utilizó la Ecuación 2.15 y se procedió a proyectar el total de población que se sitúa a los alrededores del área de estudio para el 2018 resultando un total de 70732 habitantes. Es importante mencionar que las zonas Santa Isabel de Villa, Túpac Amaru y 3 de Octubre, no fueron consideradas debido a que no se disponía de información.

Tabla 8

Relación de habilitaciones año 2006

HABILITACIÓN- LOTES DOMÉSTICOS	N° LOTES AÑO 2006
Aria Las Delicias de Villa	3312
Programa de vivienda Villa Municipal	223
AA.HH. Rinconada de Villa	134
AA.HH. Indoamérica	165
AA.HH. La Sagrada Familia	178
AA.HH. Las Garzas de Villa	53
Asociación Padres de Familia	140
Asoc. Viv. Las Delicias de Villa Aria Zona Dos	396
Fundo Villa Baja	39
Vista Alegre (comité 29, 30 y 31)	113
TOTAL	4753
CARACTERÍSTICAS	
Viviendas (número)	4753
Habitantes/vivienda *	4.631
Habitantes (población)	22011

Nota. (*) Estimado por CADUCEO Consultores S.A., en base a la Encuesta Socioeconómica y el número de lotes de plano de lotización (COFOPRI).

Fuente: Modificado de Bieberach (2013).

Tabla 9*Población por núcleo urbano año 2007*

NÚCLEO URBANO	POBLACIÓN AÑO 2007
Buenos Aires de Villa	16207
La campiña	9337
La Encantada de Villa	2729
Las Brisas de Villa	848
Los Huertos de Villa	2847
Navidad de Villa	2063
Paseo de la República	1997
San Juan Bautista	5226
TOTAL	41254

Nota. Modificado de J.J.R. DURAND S.A.C. (2012), en base a INEI-Censos Nacionales 2007: IX de Población y VI de Vivienda.

Tabla 10*Población proyectada al año 2018*

	HABITANTES	PROYECCIÓN AÑO 2018
Subtotal-Año 2006	22011	24754
Subtotal – Año 2007	41254	45978
TOTAL		70732

Nota. Elaboración propia.

Actividades económicas e industriales

Las actividades económicas formales e informales cercanas a la laguna La Pampa están muy ligadas a la expansión urbana; conformadas por talleres automotrices, lavaderos de auto (carwash), almacenes de reciclaje, establo, criadero de cerdos y camal, centros recreacionales, terrenos baldíos utilizados para almacenar residuos de construcción e industriales (ver mapa Anexo C elaborado con información levantada en campo para la presente investigación), a ello se suman camiones que arrojan residuos de construcción dentro del área natural protegida y personas que acumulan o queman sus residuos domésticos cerca a la laguna.

2.2. Definición de términos básicos

- **Alcalinidad:** La alcalinidad en el agua es entendida como la capacidad que tiene para neutralizar los ácidos. La alcalinidad puede considerarse como la presencia de sustancias básicas en el agua, principalmente, sales de ácidos débiles o bases fuertes (sustancias caracterizadas por el radical OH^- , por ejemplo la soda cáustica NaOH). La alcalinidad se reconoce por la presencia de los iones, $[\text{OH}^-]$, $[\text{CO}_3^{2-}]$, $[\text{HCO}_3^-]$ (Sierra, 2011).
- **Biomasa:** El término “biomasa” incluye toda la materia viva, o cuyo origen sea la materia viva, que existe en un instante de tiempo en la Tierra. La energía que se puede obtener de la biomasa proviene de la luz solar, la cual, gracias al proceso de fotosíntesis, se aprovecha por las plantas verdes y se transforma en energía que queda acumulada en el interior de sus células. Esta energía puede traspasarse por la cadena alimentaria al reino animal. La energía acumulada en la biomasa puede ser liberada sometiéndola a diversos procesos de aprovechamiento energético (Unión Fenosa, 2002).
- **Clorofila:** Pigmento fotosintético de color verde, formado por cuatro núcleos pirrolíticos unidos a un átomo de magnesio central, esterificados con un fitol. Absorbe luz violeta, azul y roja pero refleja la verde (Alonso, 2011).
- **Clorofila a:** Pigmento fundamental existente en todas las algas y vegetales superiores. Tiene color verde-azulado y absorbe luz de las regiones azul-violeta y roja del espectro luminoso (Alonso, 2011).
- **Contaminación antrópica:** Es la generada por las actividades del hombre y es más grave por la naturaleza y la gran variedad de contaminantes generados Dichas actividades son las industriales, mineras, agropecuarias, artesanales y domésticas (Arellano y Guzmán, 2011).

- **Disco de Secchi:** Consiste en un disco circular de aproximadamente 20 cm de diámetro dividido en cuatro cuadrantes pintados de forma alterna en blanco y negro. Una línea o cable graduado es fijado al centro del disco (Daga y Pierotto, 2011).
- **Educación ambiental:** Es un proceso de aprendizaje que tiene como propósito facilitar la comprensión de las realidades del ambiente, del proceso socio histórico que ha conducido a su actual deterioro; y su finalidad es la de generar una adecuada conciencia de dependencia y pertenencia del individuo con su entorno, que se sienta responsable de su uso y mantenimiento, y que sea capaz de tomar decisiones en este plano (Calderón et al., 2011).
- **Eutrofización:** Enriquecimiento de las aguas en sustancias nutritivas que conduce, generalmente, a modificaciones sintomáticas tales como aumento de la producción de algas y otras plantas acuáticas, degradación de la pesca y deterioro de la calidad del agua, así como de todos sus usos en general (OCDE, 1982).
- **Fitoplancton:** El término fitoplancton se refiere a un grupo diverso de algas que habitan en cuerpos de agua como lagos, lagunas y arroyos. Las algas son productores primarios fotótrofos, es decir, captan a través de sus pigmentos fotosintéticos (clorofilas, ficobilinas, xantofilas y carotenoides) la energía de la radiación solar, y obtienen del agua dióxido de carbono y nutrientes inorgánicos. De esta forma, sintetizan materia orgánica a través de un proceso denominado fotosíntesis. Existen además numerosas especies de algas que pueden consumir materia orgánica del medio para obtener energía, por lo que funcionan de manera heterótrofa (Burgos y García, 2007; Guamán y González, 2016).
- **Humedal:** 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, incluyendo las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros (Convención de Ramsar, 1971).

- **Índice de estado trófico de Carlson (TSI):** Propuesto por Carlson (1977), es uno de los más utilizados, varía entre 0 y 100 es decir, de Oligotrófico a Hipereutrófico. Se obtiene a través de la transparencia determinada con el Disco de Secchi (SD), por ejemplo, un valor de TSI = 0 corresponda a una profundidad del SD 64 m y cada incremento de 10 m en TSI representa una reducción del 50%. El mismo índice puede determinarse a partir de otros parámetros, como la concentración de clorofila "a" (Chl a) y fósforo total (PT), cuya relación con la transparencia se ha deducido previamente (Moreno et al., 2010).
- **Macrófita:** Desde el punto de vista botánico, el término ‘macrofita’ se aplica a cualquier vegetal que es visible a simple vista (herbáceas, arbustos, árboles). Por ello, los vegetales de talla visible que crecen en los humedales se denominan ‘macrofitas acuáticas’, término que desde un punto de vista amplio englobaría plantas acuáticas vasculares (angiospermas y helechos), musgos acuáticos y grandes algas.

En el área de investigación sobre humedales, ya sean naturales o artificiales, se utiliza la denominación ‘macrofita’ de manera no estrictamente coincidente con el concepto botánico. Así pues, el término ‘macrofita’ ha llegado ya a incluir el concepto de que se trata de planta acuática entre los miembros de la comunidad científica (Curt, s.f.).
- **Materia orgánica:** Se compone principalmente de proteínas carbohidratos y grasas. Si se descarga sin tratar al agua su estabilización puede agotar el O₂ y desarrollar condiciones sépticas (Sierra, 2011).
- **Nutriente:** Los nutrientes se pueden definir como aquellos elementos químicos esenciales para el crecimiento de los seres vivos. Entre los nutrientes se encuentran el

nitrógeno, fósforo, carbono, azufre, potasio, calcio, hierro, manganeso, boro y cobalto. Desde el punto de vista de la calidad del agua, los nutrientes pueden considerarse como contaminantes cuando sus concentraciones son tan elevadas que permiten un crecimiento excesivo de las plantas acuáticas, principalmente las algas (Contreras y Molero, 2011).

- **Sedimento:** Los sedimentos son mezclas de barro, cieno, arena, materia orgánica y diversos minerales, cuya composición puede variar desde ser casi por completo mineral a casi por completo orgánica. La mayoría de los sedimentos se producen como consecuencia del proceso natural de erosión, la remoción de arenas de las orillas de los cauces y los efluentes domésticos e industriales (Contreras y Molero, 2011).
- **Zooplankton:** Grupo de animales que divagan en la columna de agua y que no tienen la capacidad de natación suficiente para contrarrestar las corrientes. Aunque su movimiento está principalmente determinado por las corrientes, muchos de ellos tienen cilios, flagelos, pseudópodos u otras estructuras anatómicas que les brindan una pequeña capacidad de locomoción. Son organismos heterótrofos, es decir que no pueden sintetizar su propio alimento y por lo tanto deben ingerirlo (Infozoa, 2014).

III. MÉTODO

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

Diseño no experimental: Se planteó este tipo de diseño debido a que no se manipuló las variables, sino que se observó el fenómeno tal y como se desarrolló naturalmente (los resultados de los muestreos reflejaron a través de los índices, el estado de eutrofización del cuerpo de agua).

Tipo longitudinal: Se hicieron mediciones repetidas sobre las variables de estudio a través del tiempo, planeadas de antemano.

3.1.2. Nivel de investigación

Algunas veces una investigación puede caracterizarse como básicamente exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa, pero no situarse únicamente como tal. Esto es, aunque un estudio sea en esencia exploratorio, contendrá elementos descriptivos; o bien, un estudio correlacional incluirá componentes descriptivos, y lo mismo ocurre con los demás alcances (Hernández et al., 2010).

El presente trabajo presentó los siguientes niveles:

Descriptivo: Se describió y especificó las características del fenómeno de la eutrofización a través de la cuantificación de parámetros, teniendo una delimitación temporal y geográfica.

Correlacional: Este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular. (Hernández et al., 2010).

En la presente investigación se hizo un análisis estadístico bivariado (correlación de Pearson entre variables clorofila "a" - Disco Secchi - fósforo total - nitrógeno total -temperatura - pH - conductividad).

3.2. Ámbito temporal y espacial

La presente investigación se desarrolló desde Agosto de 2017 a Junio de 2018 en la laguna La Pampa que forma parte de los Humedales de Villa, ubicado en el distrito de Chorrillos, como referencia, entre las avenidas Defensores del Morro (Ex-Huaylas) y Av. 12 de Octubre, departamento de Lima.

3.3. Variables

Tabla 11

Variables e indicadores

TIPO	VARIABLE	INDICADOR	UNIDAD
Independiente	Índices numéricos de estado trófico	Temperatura	mg/m ³
		pH	-
		Conductividad	mS/cm
		Profundidad de Disco Secchi	m
		Clorofila "a"	mg/m ³
		Fósforo total	mg/m ³
		Nitrógeno total	mg/l
		Rango 0 - 100	-
		Grado del estado trófico de la OCDE	-
		Grado del estado trófico del CEPIS	-
		Medidas preventivas	-
		Medidas de manejo	-
		Dependiente	Estado trófico
Oligotrófico	-		
Mesotrófico	-		
Eutrófico	-		
Hipereutrófico	-		

Nota. Elaboración propia.

Tabla 11.1

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicador	Unidad
INDEPENDIENTE Índices numéricos de estado trófico	El Índice numérico de estado trófico es un sistema de clasificación diseñado para clasificar lagos, estanques y embalses en función de la cantidad de productividad biológica que se produce en el agua (University of Southern Florida Water Institute, s.f), el valor de estos índices depende de la facilidad con que puedan ser usados (Salas y Martino, 1996b)	Para determinar los índices numéricos de estado trófico, se efectuará el monitoreo de parámetros fisicoquímicos en la laguna La Pampa ubicada en los Humedales de Villa, el monitoreo se llevará a cabo desde Agosto de 2017 a Junio de 2018, en cuatro (04) puntos representativos, con frecuencia bimestral. Se obtendrán resultados de concentraciones de parámetros en el agua, los cuales serán utilizados en las expresiones matemáticas propuestas por Carlson (1977) y Toledo et al. (1984); asimismo, estas concentraciones se compararán con valores fijos propuestos por OCDE (1982) y CEPIS según indican estas metodologías.	Parámetros de campo	Temperatura	°C
				pH	-
				Conductividad	mS/cm
			Parámetros de laboratorio	Profundidad de Disco Secchi	m
				Clorofila "a"	mg/m ³
				Fósforo total	mg/m ³
			Nutriente limitante	Nitrógeno total	mg/l
				Fósforo total	mg/m ³
			Índice de Carlson (1977)	Rango 0 - 100	-
			Índice de Toledo et al. (1984)	Rango 0 - 100	-
Índice de OCDE (1982)	Grado del estado trófico de la	-			

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicador	Unidad		
DEPENDIENTE Estado trófico	El estado trófico de los lagos es un concepto fundamental en la ordenación de los mismos. Significa la relación entre el estado de nutrientes en un lago y el crecimiento de la materia orgánica en el mismo. Eutrofización es el proceso de cambio de un estado trófico a otro de nivel superior por adición de nutrientes (Ongley, 1997).	Se utilizará los resultados de los índices numéricos de estado trófico obtenidos al final de la investigación, los cuales serán clasificados para finalmente determinar el estado trófico de la laguna La Pampa ubicada en los Humedales de Villa.	OCDE	Índice de CEPIS	Grado del estado trófico del CEPIS	-	
					Control de la eutrofización	Medidas preventivas	-
						Medidas de manejo	-
					Clasificación del estado trófico	Ultraoligotrófico	-
						Oligotrófico	-
						Mesotrófico	-
						Eutrófico	-
						Hipereutrófico	-

Nota. Elaboración propia.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

Arias (2006) menciona que la población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio.

Para la presente investigación, la población estuvo comprendida por el cuerpo de agua la laguna La Pampa ubicada en los Humedales de Villa.

3.4.2. Muestra

La muestra es el subgrupo de la población del cual se recolectan los datos y debe ser representativo de ésta (Hernández et al., 2010).

La muestra para la presente investigación, estuvo constituida por 500 ml para fósforo total y de 1L para nitrógeno total y clorofila "a", respectivamente.

3.5. Instrumentos y equipos

Instrumentos

- 1 Libreta de campo de 50 hojas.
- 1 Tablilla portapapeles.
- 1 Bote de fibra de vidrio y madera: dimensiones (300 cm largo x 130 cm ancho), capacidad para 3 adultos.
- 1 Disco Secchi: se elaboró este instrumento, tuvo un diámetro de 20 cm y de material plástico, con plomada y atado a una cuerda.

- 1 wincha, cinta masking tape, marcador indeleble y tijera.
- 1 Balde de 4L de capacidad, utilizado sólo para la toma de muestra y medición de parámetros de campo.
- 1 recipiente térmico (cooler) de 8L y gel pack para la conservación y transporte de muestras.
- Equipo de protección personal: 2 chalecos salvavidas de capacidad 100 kg.
- Botas de jebe, guantes, gorro quirúrgico, tapaboca.

Equipos

Se utilizó en el trabajo de campo:

- Cámara digital: Panasonic Lumix DMC-S1, con resolución de 12.1 MP, video HD 720p, lente angular de 28 mm y zoom óptico 4X.
- GPS: Marca Garmin, modelo eTrex10: Este equipo fue utilizado para ubicar los puntos de muestreo y levantar información en campo sobre las principales actividades humanas alrededor de la laguna.
- Medidor multiparámetro digital marca ATC TRIMETER, modelo 983: Empleado para poder registrar los parámetros de campo (Temperatura, pH y Conductividad).

Se utilizó en el procesamiento de la información en el gabinete:

- Computadora: Procesador AMD Phenom(tm) IIx4840 3.20 GHz, memoria RAM 8.00 GB, sistema operativo de 64 bits.
- Impresora: HP Deskjet Ink Advantage 5525 e-All-in-One.

Software

- ArcGIS 10.1: Permitted to elaborate the different maps present in the annexes.
- Google Earth: Por medio de este sistema de información se elaboró un mapa de ubicación de puntos de monitoreo.
- Microsoft Excel 2010: Se utilizó para calcular los índices de estado trófico.
- IBM SPSS Statistics 22.0: Tomando en cuenta que las muestras en cada grupo fueron menores a cincuenta ($n < 50$), se comprobó la distribución normal de las muestras utilizando este software para aplicar la prueba no paramétrica de Shapiro – Wilk.
- Minitab 17: Utilizado para elaborar la matriz de correlación.

3.6. Metodología

3.6.1. Muestreo

Muestreo no probabilístico: Los puntos de muestreo se ubicaron en el canal de agua de la laguna y cuerpos de agua respectivamente, la elección de puntos fue no probabilística; al respecto, Stoppiello (2009) indica para este tipo de muestreos que, “la elección de elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien arma la muestra. Acá no hay probabilidad, sino que la elección depende del proceso de toma de decisiones de una persona o grupo de personas. En consecuencia, las muestras elegidas obedecen a otros criterios de investigación”.

Los monitoreos se realizaron entre las 08:00 – 13:00 horas en el periodo de Agosto de 2017 a Junio de 2018, con una frecuencia bimestral. Los puntos de monitoreo se describen en la Tabla 12:

Tabla 12

Puntos de monitoreo

Puntos	Coordenadas UTM WGS-84, Zona 18S		Descripción	Fecha
	Este (X)	Norte (Y)		
LP-1	283389.00	8650065.00	Canal de agua Av. 12 de Octubre	25 de Agosto-2017
LP-2	282819.00	8650568.00	Cuerpo de agua 1	27 de Octubre-2017 27 de Diciembre-2017
LP-3	282912.00	8650495.00	Cuerpo de agua 2	23 de Febrero-2018 27 de Abril-2018
LP-4	282934.00	8650396.00	Cuerpo de agua 2 – orilla frente a Av. Defensores del Morro	27 de Junio-2018

Nota. Elaboración propia.

- **Diseño del muestreo:**

a) **Periodo y frecuencia de muestreo:** Se estableció un periodo anual comprendido entre los meses de Agosto de 2017 a Junio de 2018 con frecuencia bimestral, con el objetivo de registrar las fluctuaciones de los índices por parámetro durante el periodo de estudio.

b) **Puntos de monitoreo y toma de muestra:**

Se utilizó como guías:

b.1) Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (R.J. N° 010-2016-ANA):

Tipo de muestra:

Debido a la naturaleza del cuerpo de agua, se puede decir que su composición se mantiene relativamente constante a lo largo de un tiempo prolongado y área sustancial, razón por la cual se eligió el tipo de muestra puntual, que representan adecuadamente las condiciones y características de la composición original del cuerpo de agua.

Red de puntos de monitoreo:

Para el establecimiento de la red de puntos de monitoreo, debido a que la laguna presenta segmentaciones naturales y otras originadas por la presencia de comunidades vegetales como el Totoral y Gramadal (Figura 6), se dividió el cuerpo de agua en sectores como se muestra en la Figura 7, estableciéndose puntos representativos y considerando abarcar centros, orilla y canal.

Figura 6

Vista de segmentaciones naturales



Nota. Elaboración propia.

Figura 7

Ubicación de puntos de monitoreo



Nota. Adaptado de Google Earth.

Toma de muestras: Utilizando un GPS marca Garmin, modelo eTrex10, se georreferenció cada punto de muestreo y se procedió a la toma de muestra para clorofila "a" (1L) en botella de vidrio color ámbar, nitrógeno total (1L) y fósforo total (500 ml) en botellas plásticas a una profundidad aproximada de 20-30 cm desde la superficie, para el parámetro fósforo total se adicionó 20 gotas de H_2SO_4 como preservante.

Figura 8

Toma de muestras



Nota. Elaboración propia Sup. Izquierda: Toma de muestra de clorofila "a" en el punto LP-1 (Octubre de 2017). Sup. Derecha: Toma de muestra de nitrógeno total en el punto LP-2 (Octubre de 2017).

Inf. Izquierda: Toma de muestra de clorofila "a" en el punto LP-3 (Diciembre de 2017). Inf. Derecha: Toma de muestra de fósforo total y adición de preservante en el punto LP-4 (Junio de 2018).

Parámetros de campo: Utilizando un balde transparente de 4L de capacidad, se recolectó la muestra para la medición de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH y Conductividad eléctrica (mS/cm), utilizando un equipo multiparámetro digital marca ATC TRIMETER - modelo 983, con certificado de calibración N $^{\circ}$ LMQ-0152-2017 (Ver Anexo B).

Figura 9

Medición de parámetros de campo en el punto LP-2 (Octubre de 2017)



Nota. Elaboración propia.

b.2) Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú:

Clorofila "a"

Siguiendo la metodología para la colecta de muestras cuantitativas de fitoplancton que incluye el muestreo con requerimientos específicos para conocer el estado trófico del ecosistema, se muestreo clorofila "a" directamente con una botella de vidrio de color ámbar de capacidad 1L a una profundidad aproximada de 20-30 cm desde la superficie.

La metodología incluye el uso de botella hidrográfica tipo Van Dorn, sin embargo, en aguas poco profundas, de dos a tres metros, una muestra subsuperficial puede ser suficiente (Ramírez, 2000), razón por la cual la botella de Van Dorn no se utilizó, ya que en el trabajo de pre campo, se encontró que las profundidades de la laguna oscilaban entre 0.80 m a 1.15 m en invierno.

Si bien el índice de estado trófico se pudo determinar con cualquiera de los parámetros del presente estudio, cabe resaltar que la biomasa de algas expresada como clorofila "a" que es la base del índice (Carlson, 1977), proporciona datos más confiables, considerando ello y debido a los recursos disponibles, para el punto LP-1, correspondiente al canal, sólo se muestreó clorofila "a" del total de parámetros químicos.

Figura 10

Medición de profundidades de la laguna La Pampa (Agosto de 2017)



Nota. Elaboración propia.

Disco Secchi o transparencia de la columna de agua

La transparencia de la columna de agua se midió mediante la profundidad del Disco Secchi. Consiste en un disco de 20 cm de diámetro de material plástico, contrapeso de plomo y tornillo de acero inoxidable.

Se sumergió el Disco Secchi en posición horizontal desde el lado sombreado del bote hasta que dejó de ser visible y se marcó con una pinza a la altura de la superficie del agua, se descendió otros 10 cm más y se subió el disco hasta que se visualizó nuevamente, volviéndose a marcar con una pinza a dicha altura, finalmente se calculó el promedio aritmético de las distancias.

Figura 11

Medición de la transparencia del agua utilizando Disco Secchi en el punto LP-2 (Octubre de 2017)



Nota. Elaboración propia.

c) Almacenamiento, conservación y transporte de muestras

Los frascos fueron almacenados de forma vertical en un recipiente cooler con gel pack refrigerante, las botellas de vidrio fueron embaladas con bolsas poliburbujas para evitar roturas o derrames asegurando así la integridad de las muestras y al finalizar el monitoreo fueron transportadas inmediatamente al laboratorio.

d) Métodos de ensayo del laboratorio

Se detalla en la Tabla 13 los diferentes tipos de métodos de ensayo empleados

Tabla 13

Métodos de ensayo del laboratorio

Parámetro	Método	Límite de cuantificación	Unidades
Clorofila A	SM 10200 H. Plankton. Chlorophyll.	0.001 ^a	mg/L
Fósforo total o fósforo (P)	SM 4500-P E. Phosphorus. Ascorbic Acid Method.	0.013	P mg/L
Nitrógeno total	SM 4500-N C. Nitrogen. Persulfate Method.	0.15	NO ₃ ⁻ - N mg/L

Nota. (a) expresado como límite de detección del método.

Fuente: informes de ensayo de laboratorio.

3.6.2. Primera etapa: Gabinete I

- Recopilación de información del área de estudio e inicio de construcción del marco teórico.
- Solicitud de cotizaciones y evaluación de costos de servicio de análisis de agua de diferentes laboratorios de ensayo acreditados por el INACAL.
- Trámite de permisos respectivos ante la autoridad del Área Natural Protegida para poder ingresar con fines de investigación a la laguna La Pampa.

3.6.3. Segunda etapa: Pre-trabajo de campo

- Reconocimiento de campo:
 - ✓ Reconocimiento del perímetro de la laguna.
 - ✓ Ingreso a la laguna La Pampa para medición de profundidades, reconocimiento y confirmación de puntos de monitoreo.
 - ✓ Identificación del canal de agua de la laguna.
 - ✓ Reconocimiento del área circundante y de actividades desarrolladas en zonas adyacentes al humedal.
 - ✓ Registro fotográfico.
- Confirmación de puntos de monitoreo:
 - ✓ Se considerará accesibilidad, representatividad, seguridad y viabilidad económica.
- Compra de materiales y equipo para la toma de muestras.

3.6.4. Tercera etapa: Trabajo de campo

- Preparación y verificación (check list) de materiales y equipos de protección personal.
- Ingreso a la laguna La Pampa.
- Georreferenciación del punto de muestreo con GPS y toma de muestras.
- Identificación de la muestra (rotulado).
- Almacenamiento de muestras en cooler.
- Registro fotográfico.
- Llenado de cadena de custodia.
- Transporte de muestras al laboratorio.
- Entrega de muestras al laboratorio.

3.6.5. Cuarta etapa: Gabinete II

Como criterio para poder determinar el estado trófico de la laguna La Pampa y con los resultados de los parámetros muestreados, se utilizaron las metodologías y ecuaciones propuestas por Carlson (1977), Kratzer y Brezonik (1981), Toledo et al. (1984), OCDE (1982) y CEPIS, descritas en el Capítulo II.

IV. RESULTADOS

4.1. Variación de parámetros durante el periodo de estudio

4.1.1. Parámetros de campo

En la Tabla 14 se presenta los parámetros físicos y químico, medidos en campo para las seis campañas de muestreo en los cuatro puntos de monitoreo para el ciclo anual Agosto 2017-Junio 2018.

4.1.1.1 Temperatura (T), Potencial de hidrógeno (pH) y Conductividad (CE)

Tabla 14

Resultados de las mediciones de Temperatura, pH y conductividad

Punto	Parámetros	MESES DE MUESTREO					
		Agosto 2017	Octubre 2017	Diciembre 2017	Febrero 2018	Abril 2018	Junio 2018
LP-1	T (C°)	21.90	22.30	25.80	24.20	23.40	21.30
	pH	7.24	7.15	7.19	6.90	6.79	7.15
	CE (mS/cm)	8.23	6.04	7.34	5.25	6.45	5.85
LP-2	T (C°)	18.40	22.30	23.20	27.00	25.40	18.60
	pH	8.19	7.90	7.80	7.73	8.43	7.89
	CE (mS/cm)	10.28	10.64	8.01	11.20	12.04	11.06
LP-3	T (C°)	18.80	22.30	25.00	27.50	25.60	18.60
	pH	7.98	7.82	7.70	7.40	7.79	7.70
	CE (mS/cm)	12.57	10.82	9.77	11.12	11.75	10.87
LP-4	T (C°)	19.40	22.10	26.90	26.60	26.30	18.30
	pH	7.99	7.77	7.87	7.43	7.38	7.57
	CE (mS/cm)	13.00	11.15	10.20	12.00	14.10	11.90

Nota. Elaboración propia.

4.1.1.2. Disco Secchi o transparencia de la columna de agua

En la Tabla 15 se muestra los valores de transparencia de la columna de agua en los puntos de monitoreo para las seis campañas de muestreo en el ciclo anual 2017-2018, se omite la estación LP-1 debido a que la profundidad de su capa fótica es mayor que su propia profundidad; es decir, el Disco Secchi llega al fondo y aún se visualiza. Asimismo, se muestra los valores promedios alcanzados.

Posteriormente se utilizó estos promedios para la clasificación del estado trófico por OCDE.

Tabla 15

Resultados de las mediciones de Disco Secchi

Punto	Parámetro	MESES DE MUESTREO						\bar{X}_A
		Agosto 2017	Octubre 2017	Diciembre 2017	Febrero 2018	Abril 2018	Junio 2018	
LP-1		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
LP-2	Disco Secchi (m)	0.25	0.18	0.15	0.19	0.17	0.20	0.19
LP-3		0.24	0.24	0.18	0.19	0.19	0.23	0.21
LP-4		0.26	0.21	0.16	0.18	0.18	0.20	0.20

Nota. No aplica (NA), promedio aritmético (\bar{X}_A).

Elaboración propia.

4.1.2. Parámetros químicos

Se presenta los resultados de los parámetros químicos tomados en los puntos de monitoreo para el ciclo anual Agosto 2017-Junio 2018. Como se menciona en el capítulo III, ítem 3.6.1 apartado b.2; para el punto LP-1 correspondiente al canal, sólo se muestreó clorofila "a" del total de parámetros químicos. Asimismo, se calculó el promedio aritmético y geométrico de clorofila "a" y fósforo total para las seis campañas de muestreo en cada punto, posteriormente se utilizó estos promedios para la clasificación del estado trófico por OCDE y CEPIS.

4.1.2.1. Clorofila "a"

Tabla 16

Valores de concentración de clorofila "a"

Punto	Parámetro	MESES DE MUESTREO						\bar{X}_A	\bar{X}_G
		Agosto 2017	Octubre 2017	Diciembre 2017	Febrero 2018	Abril 2018	Junio 2018		
LP-1		2.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	<1.17	1.12
LP-2	Clorofila "a" (mg/m ³)	96	180	271	239	122	39	157.38	132.15
LP-3		95	131	214	204	260	164	178.00	168.84
LP-4		63	149	180	177	258	137	160.67	148.14

Nota. Promedio aritmético (\bar{X}_A), promedio geométrico (\bar{X}_G), coeficiente de variación (CV%), LP-1 (CV=34.99%), LP-2 (CV=56.04%), LP-3 (CV=33.70%), LP-4 (CV=39.71%). Elaboración propia en base a informes de ensayo (ver Anexo A).

4.1.2.2. Fósforo Total

Tabla 17

Valores de concentración de fósforo total

Punto	Parámetro	MESES DE MUESTREO						\bar{X}_A	\bar{X}_G
		Agosto 2017	Octubre 2017	Diciembre 2017	Febrero 2018	Abril 2018	Junio 2018		
LP-1		NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
LP-2	Fósforo total (mg/m ³)	185	376	124	275	185	62	201.17	173.43
LP-3		350	406	467	221	247	234	320.83	307.64
LP-4		124	448	118	198	243	200	221.83	199.52

Nota. No considerado (NC), promedio aritmético (\bar{X}_A), promedio geométrico (\bar{X}_G).

Elaboración propia en base a informes de ensayo (ver Anexo A).

4.1.2.3. Nitrógeno Total

Tabla 18

Valores de concentración de nitrógeno total

Punto	Parámetro	MESES DE MUESTREO						\bar{X}_A
		Agosto 2017	Octubre 2017	Diciembre 2017	Febrero 2018	Abril 2018	Junio 2018	
LP-1		NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
LP-2	Nitrógeno total (mg/l)	0.95	5.82	4.6	4.9	3.3	0.96	3.42
LP-3		0.58	8.96	6.81	3.2	2.91	0.85	3.89
LP-4		0.51	8.67	3.29	2.6	4.72	0.89	3.45

Nota. No considerado (NC), promedio aritmético (\bar{X}_A).

Elaboración propia en base a informes de ensayo (ver Anexo A).

4.2. Nutriente limitante

En la Tabla 19 se muestra los resultados del cálculo del nutriente limitante en cada punto de monitoreo para las seis campañas de muestreo, se utilizó la relación (NT) a fósforo total (PT) 9:1 propuesta por Vollenweider (1983; citado por Salas y Martino, 1990), en la cual lagos con relaciones NT/PT superiores a un valor de 9 son considerados potencialmente limitados por fósforo, mientras que, valores inferiores a 9 son limitados por nitrógeno.

Tabla 19

Valores de relaciones NT/PT

Punto	MESES DE MUESTREO					
	Agosto 2017	Octubre 2017	Diciembre 2017	Febrero 2018	Abril 2018	Junio 2018
LP-2	5.14	15.48	37.10	17.82	17.84	15.48
LP-3	1.66	22.07	14.58	14.48	11.78	3.63
LP-4	4.11	19.35	27.88	13.13	19.42	4.45

Nota. Nitrógeno total (NT) mg/l, fósforo total (PT) mg/l.

Elaboración propia

4.3. Matriz de correlación

En la siguiente matriz se presenta los valores de correlación de Pearson analizados con el software Minitab 17, cada celda contiene información del cruce entre dos variables que brinda el valor del coeficiente de correlación de Pearson y el valor p que permite evaluar la significancia de la correlación.

Tabla 20

Matriz de correlación

	pH	T	CE	Chl "a"	DS	PT
T	-0.229					
<i>p</i>	0.282					
CE	0.670	-0.030				
<i>p</i>	0.000	0.890				
Chl "a"	0.438	0.400	0.602			
<i>p</i>	0.032	0.053	0.002			
SD	0.241	-0.688	0.314	-0.651		
<i>p</i>	0.336	0.002	0.205	0.003		
PT	-0.123	0.082	-0.024	0.191	0.139	
<i>p</i>	0.627	0.745	0.925	0.447	0.583	
NT	-0.156	0.433	-0.279	0.408	-0.273	0.700
<i>p</i>	0.538	0.073	0.262	0.093	0.272	0.001

Nota. Todas las correlaciones con $p < 5\%$ son significativas. Potencial de hidrógeno (pH), temperatura (T), conductividad (CE), Clorofila "a" (Chl "a"), Disco Secchi (SD), fósforo total (PT), nitrógeno total (TN). Elaboración propia.

4.4. Variación de índices de estado trófico y clasificación

Utilizando los valores de los parámetros obtenidos se aplicaron las ecuaciones (2.6 – 2.12) determinándose los índices de estado trófico para Disco Secchi, clorofila "a", fósforo total y nitrógeno total; para el análisis se utilizó el promedio aritmético (\bar{X}_A) y el coeficiente de variación (CV%), los resultados se observan en las siguientes tablas.

4.4.1. Índice de estado trófico según Carlson (1977)

Tabla 21

Índice de estado trófico de Carlson (1977) para Disco Secchi

Punto	MESES DE MUESTREO						\bar{X}_A	DE	CV%
	Agosto 2017	Octubre 2017	Diciembre 2017	Febrero 2018	Abril 2018	Junio 2018			
LP-1	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
LP-2	80.0	84.74	87.37	83.96	85.56	83.22	84.14	2.48	2.95
LP-3	80.59	80.59	84.74	83.96	83.96	81.20	82.51	1.91	2.32
LP-4	79.43	82.52	86.44	84.74	84.74	83.22	83.51	2.42	2.90
\bar{X}_A	80.01	82.61	86.18	84.22	84.75	82.55			
DE	0.58	2.08	1.33	0.45	0.80	1.16			
CV%	0.72	2.51	1.55	0.53	0.95	1.41			

Nota. No considerado (NC), promedio aritmético (\bar{X}_A), desviación estándar (DE), coeficiente de variación (CV%).

Elaboración propia.

Tabla 22

Índice de estado trófico de Carlson (1977) para clorofila "a"

Punto	MESES DE MUESTREO						\bar{X}_A	DE	CV%
	Agosto 2017	Octubre 2017	Diciembre 2017	Febrero 2018	Abril 2018	Junio 2018			
LP-1	37.37	30.57	30.57	30.57	30.57	30.57	31.70	2.78	8.76
LP-2	75.35	81.51	85.53	84.29	77.70	66.51	78.48	7.02	8.94
LP-3	75.24	78.40	83.21	82.74	85.12	80.60	80.89	3.60	4.45
LP-4	71.21	79.66	81.51	81.35	85.05	78.84	79.60	4.63	5.82
\bar{X}_A	64.79	67.53	70.21	69.74	69.91	64.13			
DE	18.38	24.68	26.48	26.14	26.26	23.23			
CV%	28.37	36.54	37.71	37.48	37.72	36.23			

Nota. No considerado (NC), promedio aritmético (\bar{X}_A), desviación estándar (DE), coeficiente de variación (CV%). Elaboración propia.

Tabla 23

Índice de estado trófico de Carlson (1977) para fósforo total

Punto	MESES DE MUESTREO						\bar{X}_A	DE	CV%
	Agosto 2017	Octubre 2017	Diciembre 2017	Febrero 2018	Abril 2018	Junio 2018			
LP-1	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
LP-2	79.46	89.70	73.69	85.18	79.46	63.69	78.53	9.10	11.59
LP-3	88.66	90.80	92.82	82.03	83.63	82.85	86.80	4.56	5.26
LP-4	73.69	92.22	72.98	80.44	83.40	80.59	80.55	7.05	8.76
\bar{X}_A	80.61	90.91	79.83	82.55	82.17	75.71			
DE	7.55	1.27	11.26	2.41	2.34	10.47			
CV%	9.37	1.39	14.10	2.92	2.85	13.83			

Nota. No considerado (NC), promedio aritmético (\bar{X}_A), desviación estándar (DE), coeficiente de variación (CV%). Elaboración propia.

Tabla 24

Índice de estado trófico de Carlson propuesta por Kratzer y Brezonik (1981) para nitrógeno total

Punto	MESES DE MUESTREO						\bar{X}_A	DE	CV%
	Agosto 2017	Octubre 2017	Diciembre 2017	Febrero 2018	Abril 2018	Junio 2018			
LP-1	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
LP-2	53.70	79.85	76.46	77.37	71.67	53.85	68.82	11.95	17.36
LP-3	46.58	86.08	82.12	71.22	69.85	52.10	67.99	15.82	23.27
LP-4	44.73	85.60	71.62	68.23	76.83	52.76	66.63	15.25	22.90
\bar{X}_A	48.34	83.84	76.73	72.27	72.78	52.90			
DE	4.74	3.47	5.25	4.66	3.62	0.89			
CV%	9.80	4.13	6.85	6.45	4.97	1.68			

Nota. No considerado (NC), promedio aritmético (\bar{X}_A), desviación estándar (DE), coeficiente de variación (CV%). Elaboración propia.

4.4.2. Índice de estado trófico según Toledo et al. (1984)

Tabla 25

Índice de estado trófico de Toledo et al. (1984) para Disco Secchi

Punto	MESES DE MUESTREO						\bar{X}_A	DE	CV%
	Agosto 2017	Octubre 2017	Diciembre 2017	Febrero 2018	Abril 2018	Junio 2018			
LP-1	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
LP-2	70.77	75.51	78.14	74.73	76.33	73.99	74.91	2.48	3.32
LP-3	71.36	71.36	75.51	74.73	74.73	71.97	73.27	1.91	2.61
LP-4	70.20	73.28	77.21	75.51	75.51	73.99	74.28	2.42	3.26
\bar{X}_A	70.77	73.38	76.95	74.99	75.52	73.31			
DE	0.58	2.08	1.33	0.45	0.80	1.16			
CV%	0.82	2.83	1.73	0.60	1.06	1.59			

Nota. No considerado (NC), promedio aritmético (\bar{X}_A), desviación estándar (DE), coeficiente de variación (CV%). Elaboración propia.

Tabla 26

Índice de estado trófico de Toledo et al. (1984) para clorofila "a"

Punto	MESES DE MUESTREO						\bar{X}_A	DE	CV%
	Agosto 2017	Octubre 2017	Diciembre 2017	Febrero 2018	Abril 2018	Junio 2018			
LP-1	37.52	30.57	30.57	30.57	30.57	30.57	31.73	2.84	8.94
LP-2	76.33	82.64	86.74	85.48	78.74	67.30	79.54	7.17	9.02
LP-3	76.23	79.45	84.37	83.89	86.32	81.70	82.00	3.68	4.49
LP-4	72.11	80.74	82.64	82.47	86.25	79.90	80.68	4.73	5.87
\bar{X}_A	65.55	68.35	71.08	70.60	70.47	64.87			
DE	18.79	25.22	27.06	26.72	26.84	23.75			
CV%	28.67	36.90	38.07	37.84	38.08	36.61			

Nota. No considerado (NC), promedio aritmético (\bar{X}_A), desviación estándar (DE), coeficiente de variación (CV%). Elaboración propia.

Tabla 27

Índice de estado trófico de Toledo et al. (1984) para fósforo total

Punto	MESES DE MUESTREO						\bar{X}_A	DE	CV%
	Agosto 2017	Octubre 2017	Diciembre 2017	Febrero 2018	Abril 2018	Junio 2018			
LP-1	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
LP-2	72.04	82.27	66.27	77.76	72.04	56.27	71.10	9.10	12.80
LP-3	81.24	83.38	85.40	74.60	76.21	75.43	79.37	4.56	5.75
LP-4	66.27	84.80	65.55	73.02	75.97	73.16	73.13	7.05	9.65
\bar{X}_A	73.18	83.48	72.40	75.12	74.74	68.28			
DE	7.55	1.27	11.26	2.41	2.34	10.47			
CV%	10.32	1.52	15.55	3.21	3.13	15.33			

Nota. No considerado (NC), promedio aritmético (\bar{X}_A), desviación estándar (DE), coeficiente de variación (CV%). Elaboración propia.

4.4.3. Clasificación de estado trófico

Los índices de estado trófico permitieron clasificar de manera cualitativa el estado trófico de la laguna La Pampa, presentándose categorías tróficas según los criterios de Carlson (Tabla 2), Toledo et al. (Tabla 4), OCDE (Tabla 5) y CEPIS (Tabla 6) para clorofila "a" (Chl "a"), Disco Secchi (SD), fósforo total (PT), nitrógeno total (NT) y por cada punto de muestreo, los resultados se observan en las siguientes tablas.

4.4.3.1. Clasificación de estado trófico según Carlson (1977)

Tabla 28

Estado trófico según Carlson (1977)

Punto	Parámetro	MESES DE MUESTREO					
		Agosto 2017	Octubre 2017	Diciembre 2017	Febrero 2018	Abril 2018	Junio 2018
LP-1	Chl“a”	Oligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico
	SD	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico
LP-2	Chl“a”	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico
	PT	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico
	NT	Eutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Eutrófico
LP-3	SD	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico
	Chl“a”	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico
	PT	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico
	NT	Mesotrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Eutrófico
LP-4	SD	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico
	Chl“a”	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico
	PT	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico
	NT	Mesotrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Eutrófico

Nota. Elaboración propia.

4.4.3.2. Clasificación de estado trófico según Toledo et al. (1984)

Tabla 29

Estado trófico según Toledo et al. (1984)

Punto	Parámetro	MESES DE MUESTREO					
		Agosto 2017	Octubre 2017	Diciembre 2017	Febrero 2018	Abril 2018	Junio 2018
LP-1	Chl“a”	Oligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico
	SD	Eutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Eutrófico
LP-2	Chl“a”	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Eutrófico
	PT	Eutrófico	Hipereutrófico	Eutrófico	Hipereutrófico	Eutrófico	Eutrófico
LP-3	SD	Eutrófico	Eutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Eutrófico
	Chl“a”	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico
	PT	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico
LP-4	SD	Eutrófico	Eutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Eutrófico
	Chl“a”	Eutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico
	PT	Eutrófico	Hipereutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Hipereutrófico	Eutrófico

Nota. Elaboración propia.

4.4.3.3. Clasificación de estado trófico según OCDE (1982)

Se presenta la clasificación del estado trófico por cada campaña de muestreo según OCDE, la clasificación final se determinó como indica el criterio según el promedio anual de los valores de clorofila "a" (Chl "a") mg/m³, Disco Secchi (SD) m y fósforo total (PT) mg/m³, para cada punto de muestreo durante el periodo de estudio.

Tabla 30

Estado trófico según OCDE

Punto	Parámetro	MESES DE MUESTREO						\bar{X}_A	Clasificación
		Agosto 2017	Octubre 2017	Diciembre 2017	Febrero 2018	Abril 2018	Junio 2018		
LP-1	Chl"a"	Oligo.	Ultra.	Ultra.	Ultra.	Ultra.	Ultra.	<1.17	Ultraoligotrófico
	SD	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	0.19	Hipereutrófico
LP-2	Chl"a"	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	157.83	Hipereutrófico
	PT	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	201.17	Hipereutrófico
LP-3	SD	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	0.21	Hipereutrófico
	Chl"a"	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	178.00	Hipereutrófico
LP-4	PT	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	320.83	Hipereutrófico
	SD	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	0.20	Hipereutrófico
LP-4	Chl"a"	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	160.67	Hipereutrófico
	PT	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	Hiper.	221.83	Hipereutrófico

Nota. Promedio aritmético (\bar{X}_A), Ultraoligotrófico (Ultra), Oligotrófico (Oligo), Hipereutrófico (Hiper).

Elaboración propia.

4.4.3.4. Clasificación de estado trófico según CEPIS

Se presenta la clasificación del estado trófico por cada punto de muestreo según CEPIS, la clasificación final se determinó como indica el criterio, según el promedio geométrico anual para los valores de clorofila "a" y fósforo total, para la presente investigación de las 6 campañas de muestreo.

Tabla 31

Estado trófico según CEPIS

Punto	Parámetro	\bar{X}_G	Clasificación
LP-1	Chl"a"	<1.12	Oligotrófico
LP-2	Chl"a"	132.15	Eutrófico
	PT	173.43	Eutrófico
LP-3	Chl"a"	168.84	Eutrófico
	PT	307.64	Eutrófico
LP-4	Chl"a"	148.14	Eutrófico
	PT	199.52	Eutrófico

Nota. Promedio geométrico (\bar{X}_G), clorofila "a" (Chl "a"), fósforo total (PT)

Elaboración propia.

4.5. Plantear medidas preventivas y de manejo ante la eutrofización de la laguna la pampa

Son evidentes los problemas que afronta el área, sobre todo los originados por la expansión urbana, que conforme al transcurso de los últimos 35 años ha ido ganando terreno al humedal, en algunos casos hasta perderse los límites visuales entre la parte urbana y la natural, derivando todo esto en problemas de contaminación antrópica en el cuerpo de agua.

Conforme a lo mencionado anteriormente y con los resultados de la presente investigación, que clasifica a la laguna La Pampa mayormente en un nivel Hipereutrófico, se plantea opciones de medidas preventivas y de manejo.

4.5.1. Medidas preventivas

Están enfocadas a controlar la entrada de nutrientes a la laguna, principalmente de fuentes externas como la proveniente de origen humano, a su vez estas medidas buscan educar y concientizar a la población sobre el valor que tiene el humedal, las medidas preventivas son las más seguras y económicas a largo plazo.

4.5.1.1. Educación ambiental

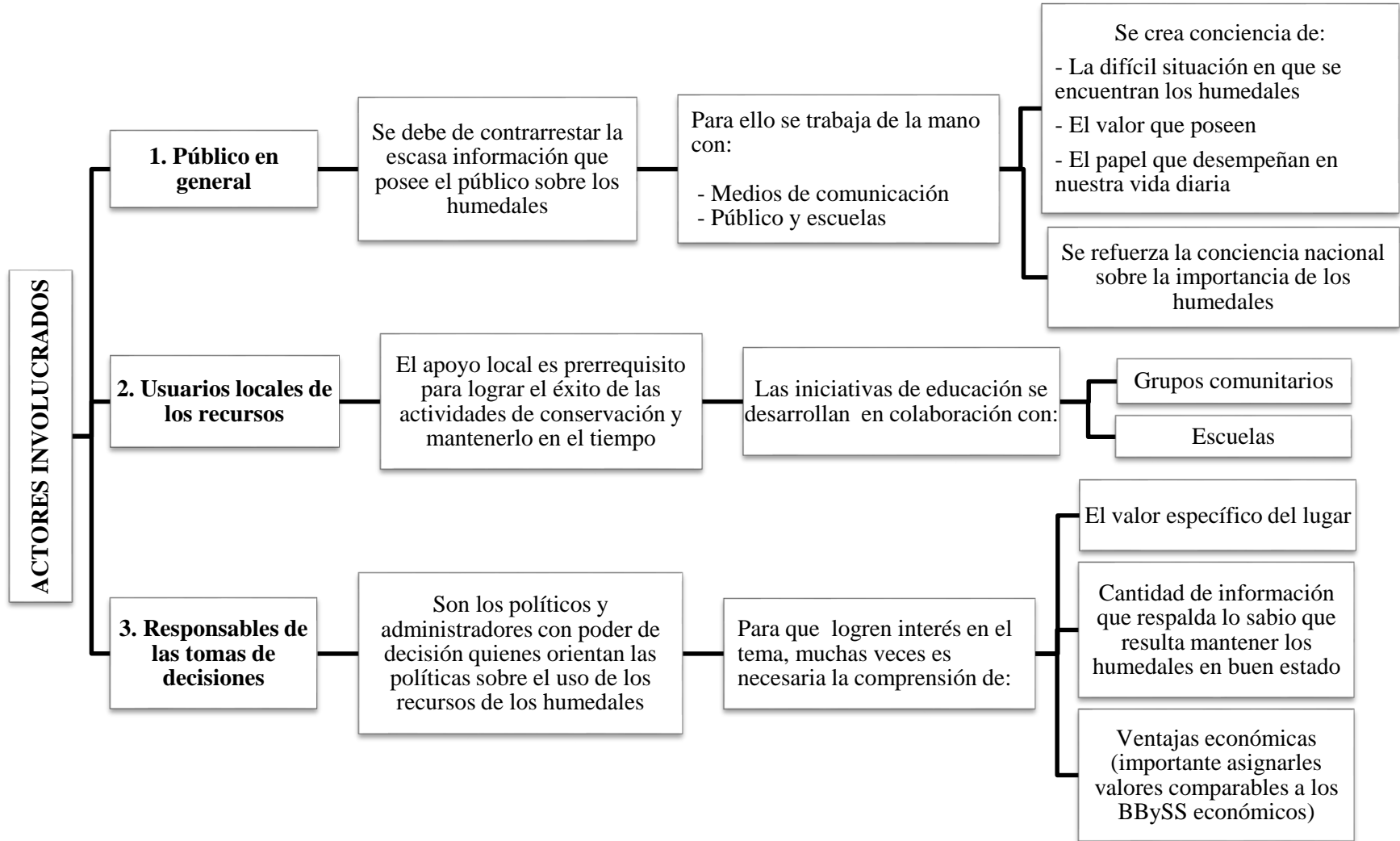
Realizar o continuar con las actividades de educación ambiental para cumplir con los objetivos de su Plan Maestro. Se puede elaborar cartillas educativas con temas sobre residuos sólidos, valor del humedal y realizar charlas tanto a los pobladores como en los colegios de la zona de amortiguamiento. Con ello se busca crear valores que le permitan al poblador desarrollar conciencia, una postura crítica y de participación sobre la conservación y correcta utilización de los recursos del humedal y su valor. Gattenlöhner et al. (2004) consideran que la educación ambiental en adultos puede considerarse positiva pero con niños y jóvenes puede ser espectacular si el proyecto cumple los principios básicos como:

- Atraer y mantener simultáneamente el interés de los niños
- Suministrar conocimientos
- Asegurar la participación activa de los niños
- Dar posibilidades para futuras actividades y publicitar la actividad realizada

Dugan (1992) indica que existen tres públicos que merecen atención en la concientización del valor de los humedales: público en general, comunidades locales y tomadores de decisiones (Figura 12); además enfatiza, que la gente debe de entender por qué se deben cuidar los humedales y las especies que lo habitan, así como conocer las acciones a seguir para cumplir este propósito. Aumentar la cantidad y calidad de la información y esto hacerse llegar a las audiencias críticas es importante; sin embargo, es por medio de una demostración práctica de los bienes y servicios que brindan los humedales que se puede lograr una comprensión plena de su uso apropiado.

Figura 12

Actores involucrados en la concientización del valor de los humedales



Nota. Elaborado en base a Dugan (1992) Conservación de Humedales.

4.5.1.2. Construcción de una barrera verde

Forestación con Totora que bordee el perímetro de la laguna o colocación de una malla plástica paralela a la Av. Huaylas, ambas opciones servirían como una barrera para evitar que residuos sólidos lleguen al espejo de agua (Figura 13) ya que esta parte está más expuesta a la avenida de alta tránsito vehicular. Es importante cuidar los bordes del humedal, ya que, si se percibe que está abandonado, la valoración de la gente es negativa y lo utilizan como botadero de residuos. En la Figura 14 se muestra de color rojo (primera opción) el perímetro que se plantea forestar y de color amarillo la malla en ese mismo perímetro (segunda opción).

Figura 13

Residuos sólidos en los bordes de la laguna La Pampa



Nota. Elaboración propia.

Figura 14*Perímetro de la barrera verde*

Nota. Adaptado de Google Earth.

a) Costos

En la Tabla 32 se presenta los costos para la construcción de la barrera verde de aproximadamente 955 metros. No se registra costo por el uso de Totora que es la primera opción ya que sería tomada del mismo humedal. Se recomienda la instalación de la malla como segunda opción, la cual estaría a una altura de 1.00 m, se tomó como referencia precio promedio de material en el mercado.

Tabla 32

Costos para construcción de barrera verde

MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	TOTAL (S/.)
Totora	-	0.00	0.00
Malla Raschel verde x 65%, dimensiones (4.20 x 100 m) x rollo	4	370.00	1480.00

Nota. Elaboración propia.

4.5.1.3. Limpieza y mantenimiento de canal

Continuar con el trabajo de limpieza y mantenimiento por medio de corte y extracción de vegetación cada tres meses, de manera que no invada los canales que bordean la laguna. Se recomienda también el mantenimiento de las tuberías de drenaje de la laguna para evitar el taponamiento.

Figura 15

Invasión de vegetación en canal de la laguna La Pampa paralelo a la Av. 12 de Octubre



Nota. Elaboración propia.

4.5.2. Medidas de manejo

Existen métodos para el manejo de reducción de contaminantes y floraciones algales en el agua, clasificados en: control de nutrientes, control mecánico, control químico y biológico. Todos ellos presentan sus ventajas y desventajas así como sus condiciones de aplicación; no obstante, dada la naturaleza de la laguna La Pampa y su protección legal, es recomendable utilizar métodos que no sean nocivos para el ecosistema acuático.

Estas medidas están enfocadas en reducir la carga de nitrógeno y fósforo pero mayormente este último pues resultó ser el nutriente limitante según los resultados del presente estudio y es un factor importante que controla el crecimiento algal.

4.5.2.1. Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* o *Lemna Sp*

La fitorremediación es un conjunto de tecnologías que reducen in situ o ex situ la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas. La fitorremediación utiliza las plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes (Kelley et al., 2000; Miretzky et al., 2004; Cherian y Oliveira, 2005; Eapen et al., 2007; Cho et al., 2008; citado en Delgadillo et al., 2011).

Se plantea la fitorremediación con macrófitas flotantes en la laguna La Pampa, teniendo como opciones a *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) o *Lemna Sp.* (Lenteja de agua). Este tipo de remediación es la alternativa dentro de las tecnologías de biorremediación de menor alteración al ecosistema; además, Gattenlöhner et al. (2004) afirman que una de las ventajas al utilizar macrófitas es la de tener una inversión relativamente pequeña y permite una depuración de aproximadamente 40 al 60% de la carga de nutrientes.

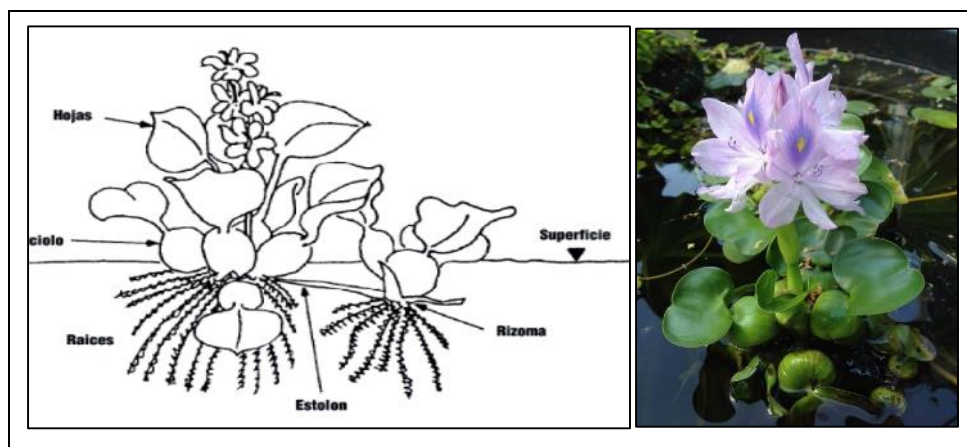
a) *Eichhornia crassipes*

Eichhornia crassipes (Jacinto de agua) es una planta acuática flotante, de tallo vegetativo sumamente corto, hojas de color verde brillante y espigas de flores de lavanda. Los peciolo de la planta son elongados y abultados de consistencia esponjosa que contribuye a la flotabilidad de la planta, puede reproducirse por propagación vegetativa (estolones) o por semillas que puede constituir una fuente de reinfestación cuando se erradica a la población (Figura 16) (Martelo y Lara, 2012; Curt, s.f.).

El sistema de raíces representa entre un 20 y 50% de la biomasa de la planta, consta de raíces principales, cubierta por raíces laterales que funcionan como anclaje y además de preservar la estabilidad del rosetón. Las raíces son el órgano de mayor importancia porque a través de ellas, la planta absorbe los compuestos con algún valor nutritivo necesario para su metabolismo (Martelo y Lara, 2012; Lagos, 2005).

Figura 16

Morfología de *Eichhornia crassipes*



Nota. Izq. (Martelo y Lara, 2012), Dcha. (<https://www.pondexperts.ca/>).

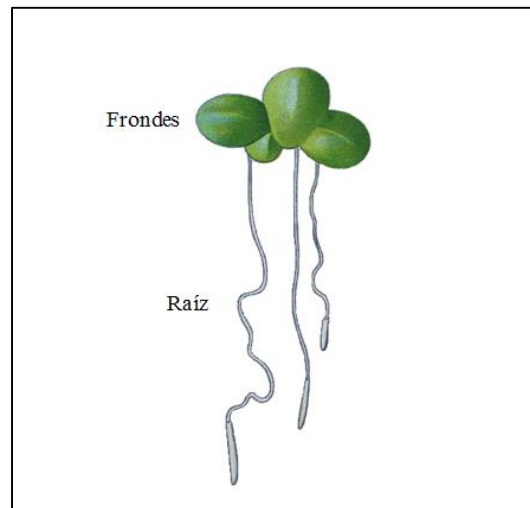
b) *Lemna Sp.*

El nombre común de lenteja de agua se aplica a especies del género *Lemna* y otros géneros (*Spirodela*, *Wolffia*, *Wolffiella*) de la familia de las *Lemnaceae*. Son plantas flotantes no enraizadas de tamaño muy pequeño, de 0.1 a 1.5 cm, son más o menos redondeados y se denominan “frondes” porque no hay distinción entre hoja y tallo, en la parte inferior del fronde puede existir una raíz (*Lemna*), varias raíces (*Spirodela*), o ninguna (*Wolffia* y *Wolffiella*), se propaga desarrollando nuevos frondes “hijo” en la base del fronde madre.

Las *Lemnaceae* crecen bien en medios acuáticos con contaminación orgánica o medios eutrofizados (Curt s.f.), el rango óptimo de temperaturas para diferentes especies es de 25 a 31°C, sin embargo, puede soportar hasta 0 °C por cortos periodos y crecer dentro de los límites que fluctúan entre 8 a 16 °C y 16 a 20 °C (Docaur, 1983; citado en Jaramillo y Flores, 2012)

Figura 17

Morfología de Lemna minor



Nota. Modificado de <https://www.alamy.es/>

c) Remoción de contaminantes con *Eichhornia crassipes* o *Lemna Sp.*

Eichhornia crassipes y *Lemna Sp* se desarrollan sin ningún problema en medios eutróficos y son capaces de remover gran cantidad de fósforo y nitrógeno.

Según Curt (s.f), el cuerpo vegetativo de las *Lemnaceae* y por ende de *Lemna minor* tiene un alto contenido en nitrógeno total, por lo que si se obtiene una alta productividad y se retira del medio acuático periódicamente, puede remover del agua cantidades significativas de nitrógeno y fósforo.

Eichhornia crassipes posee un contenido medio en nitrógeno y fósforo que se puede estimar en 4% y 0.4%, respectivamente, por lo que potencialmente se podrían eliminar del agua, 2000-6000 kg/ha/año de nitrógeno y 300-600 kg/ha/año de fósforo, respectivamente, su eficacia dependerá del grado de cobertura alcanzado, es decir, de su rendimiento en biomasa.

Coronel (2016) trató aguas residuales, obteniendo una remoción de nitratos de 87.82% con *Lemna minor* y 86.54% con *Eichhornia crassipes*; asimismo, obtuvo una remoción de 93.70% de fosfatos con *Eichhornia crassipes* y 87.40% con *Lemna minor*, mientras que, García (2012) determinó una remoción de nitrógeno amoniacal de 100% y 50% de fósforo total con *Lemna minor* así como 86% para nitrógeno amoniacal y 52% para fósforo total con *Eichhornia crassipes*.

d) Elección de la especie para la fitorremediación

Sí bien se ha demostrado que *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* son de gran utilidad para la remoción de nitrógeno y fósforo, se recomienda utilizar *Eichhornia crassipes* que a pesar de producir una mayor biomasa que *Lemna minor*, no presenta el inconveniente de esta última

que puede dispersarse por medio de aves (en sus patas), basta con un solo fronde que salga fuera del cuadrante para que colonice toda la laguna.

e) Instalación del sistema

Se toma como referencia la experiencia de tratamiento de aguas de la laguna artificial “La Mansión” realizado por Cruz et al. (2016) en la cual se utilizó 35 sistemas flotantes construidos con tubos de desagüe de 4”, siendo el área flotante de 1.5 m² (3 m de largo por 0.50 m de ancho) como se observa en la Figura 18; para el caso de la laguna La Pampa, como proyecto piloto se puede abarcar sólo el espejo de agua que se muestra en la Figura 19.

Figura 18

Sistemas flotantes



Nota. Cruz et al. (2016).

Figura 19

Espejo de agua para la fitorremediación



Nota. Adaptado de Google Earth.

f) Preparación de la planta

Se recomienda seguir la metodología de Avila et al. (2000), como se indica a continuación:

- 1) Selección de la zona de abastecimiento: Se elige la zona que esté más alejada del área urbana para evitar contaminación de la planta.

2) Selección de la Cepa: Se escogen las plantas más pequeñas y que estén floreciendo para ayudar a los procesos reproductivos

3) Transporte: Se cosecha a mano unas 10 plantas y se recoge en gavetas plásticas de tamaño estándar cubiertas con mallas de 0.3, se observa y se elimina algún tipo de planta u organismo no deseable, se transporta las plantas en camioneta.

4) Desinfección: Se deposita a la planta en tinas de depuración de 10 m³ de capacidad, se hace circular agua por el fondo para la eliminación de sedimentos, posteriormente se recupera el nivel de agua para aplicar cloro con una concentración de 50 ppm para eliminar hongos, bacterias y otros.

5) Siembra: Se siembra transportándolos en las gavetas y se deposita en sus cercos respectivos teniendo mucho cuidado, se desechan plantas estropeadas o quebradas.

g) Disposición de cosechas

En climas cálidos, se debe de realizar la cosecha parcial de las plantas cada 3 a 4 semanas (Curt s.f.); dado que, en condiciones normales *Eichhornia crassipes* recubre la superficie de agua con una densidad de 10 Kg/m² (peso húmedo) y puede llegar hasta 80 Kg/m² (Jaramillo y Flores, 2012); en consecuencia, la biomasa aérea representa una oportunidad para disponerse como materia prima para diferentes fines (Avila et al. 2000; Martelo y Lara, 2012; ADEL, 2014):

- Se puede someter a digestión anaerobia para producir metano (biogas)
- Alimento de consumo directo para ganado bovino y porcino (cuando no contiene metales pesados y productos tóxicos)
- Harina para la alimentación animal

- Producción de humus (abono) para la agricultura y mejorar los suelos
- Se puede producir papel vegetal
- Tableros aglomerados en fibra y cemento
- Utilizarlo en mueblería, cordelería y textil
- Puede disponerse en un relleno sanitario o incinerarse

h) Costos

En la Tabla 33 se presenta los costos para la construcción de cinco sistemas flotantes como el presentado en la Figura 20, se tomó como referencia precios promedio de materiales en el mercado

Tabla 33

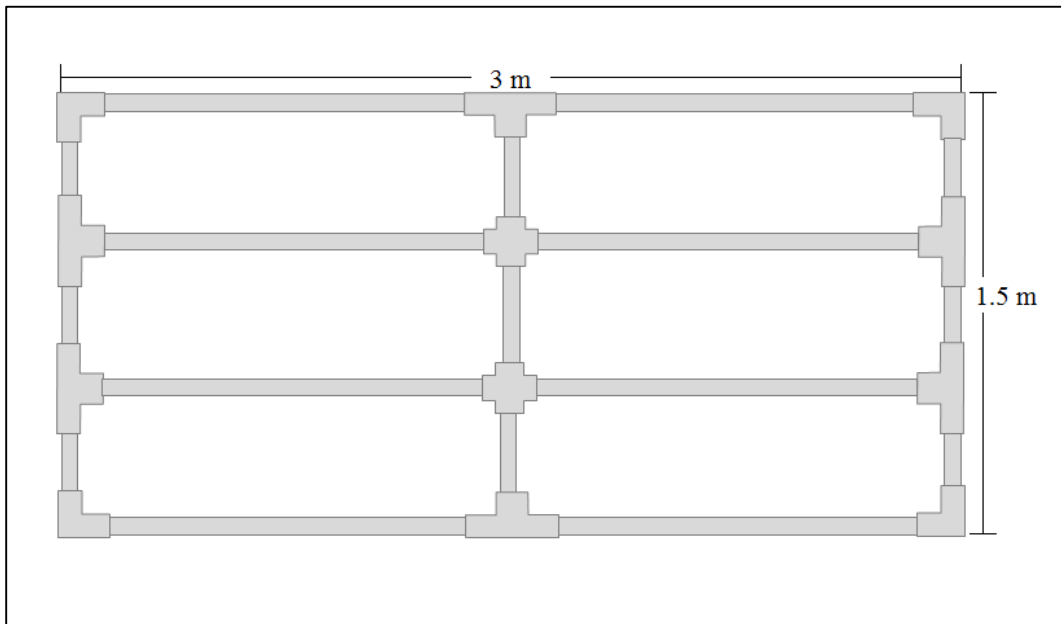
Costos para construcción de sistema flotante

MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
Tubo de desagüe PVC 4” x 3.00 m	15	10.00	150.00
Tubo codo 4”	20	3.50	70.00
Tubo T 4”	30	4.00	120.00
Tubo cruceta 4”	10	10.00	100.00
Pegamento	1	10.00	10.00
TOTAL (S/.)			450.00

Nota. Elaboración propia.

Figura 20

Diseño de sistema flotante para laguna La Pampa



Nota. Elaboración propia.

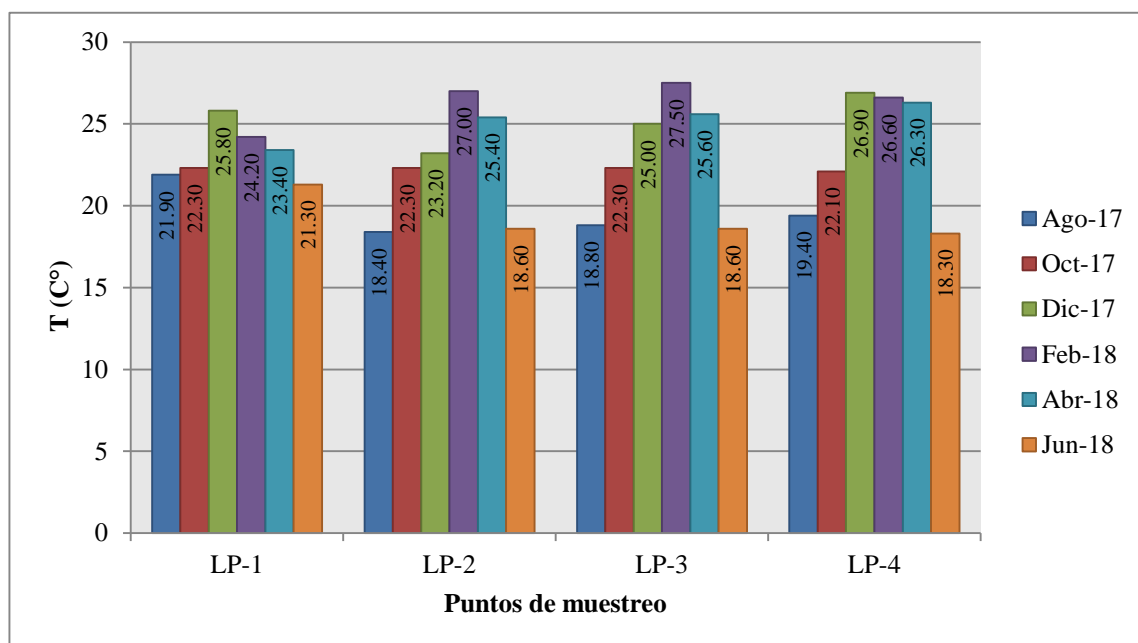
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Temperatura

La temperatura de un cuerpo de agua es un parámetro que varía por factores como su ubicación geográfica, la estación del año y la profundidad de la columna de agua, posee importancia sobre la actividad biológica como la proliferación de algas y sobre los procesos fisicoquímicos.

Figura 21

Variación temporal de la Temperatura en los puntos de muestreo, periodo Agosto 2017- Junio 2018



Nota. Elaboración propia.

El rango de valores de temperatura de los puntos LP-1 a LP-4 osciló entre 18.30 °C a 27.50 °C (Figura 21), similar rango de valores obtuvo Alvarez (2016) en diferentes cuerpos de agua en los Humedales de Villa, encontrando 19.23 °C a 24.51 °C, así como Benites et al. (2013) en la laguna La Encantada (Santa María-Lima) encontró valores que oscilaron entre 16.5 °C a 28 °C. Diferente sucede al comparar los resultados con Granizo (2011) en la laguna de Limoncocha

en Ecuador, que registró resultados mayores (25.1 °C a 33.7 °C), esta diferencia se debe, sin duda, a la ubicación latitudinal. En la Tabla 20 estadísticamente se puede observar que la Temperatura se correlaciona con el Disco Secchi ($r = -0.688$), lo que indica que existe una relación negativa moderada entre las variables, teniendo una significancia de $p = 0.002$; es importante mencionar que, la medición con el Disco Secchi puede ser susceptible a interferencias con el material particulado en suspensión y a la variación de tiempos meteorológicos en cada campaña de muestreo, por ello esta correlación podría no ser causal.

En el punto LP-1 los valores fluctuaron desde 21.30 °C hasta 25.80 °C, cabe aclarar que por dificultades técnicas, el muestreo de Agosto 2017 para LP-1, se realizó cinco días después de los muestreados en los demás puntos, en condiciones meteorológicas distintas.

En el punto LP-2 los valores fueron de 18.40 °C a 27.00 °C, en LP-3 de 18.60 °C a 27.50 °C y en LP-4 de 18.30 °C a 26.90 °C. Los máximos valores para LP-1 y LP-4 se presentaron en Diciembre de 2017 y para LP-2 y LP-3 en Febrero de 2018, los máximos y mínimos valores en todos los puntos; como era de esperarse, se presentaron en verano e invierno respectivamente.

5.2. Potencial de hidrógeno (pH)

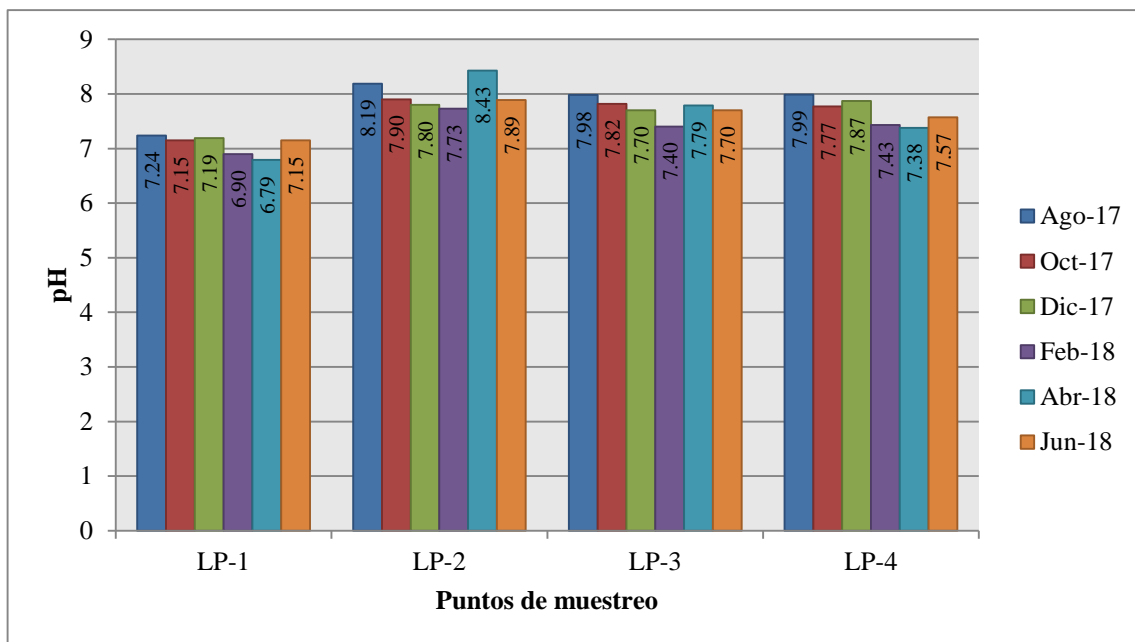
El pH es una medida del grado de acidez o alcalinidad de una solución, se encuentra en una escala de 0 – 14, de acuerdo con Smith y Smith (2007), “en estado neutro ($\text{pH}=7$), la mayor parte del CO_2 se presenta como HCO_3^- . En estado de pH alto, se encuentra más CO_3^{2-} que en un pH bajo, donde se produce más CO_2 en estado libre. La adición o la sustracción de CO_2 modifica el pH, y un cambio en el pH modifica al CO_2 ”.

Un incremento del pH en las aguas se puede dar debido a la actividad fotosintética, tal como explica Zaror (2002) “el CO_2 es rápidamente consumido pero durante la noche la reacción

inversa ocurre consumiendo oxígeno y generando CO_2 con lo cual el pH tiende a bajar”, además una disminución también puede darse por las sustancias húmicas presentes.

Figura 22

Variación temporal de pH en los puntos de muestreo, periodo Agosto 2017- Junio 2018



Nota. Elaboración propia.

En la Figura 22 se presentan los valores de pH de los puntos LP-1 a LP-4, se encuentran en un rango de 6.79 a 8.43 unidades, indicando aguas ligeramente neutras a alcalinas; resultados similares han sido obtenidos por Alvarez (2016) en diferentes cuerpos de agua en los Humedales de Villa, registrando 7.06 a 8.90 unidades de pH, siendo consistente con la característica que indica aguas neutras a alcalinas en los Humedales de Villa, por otra parte, Benites et al. (2013) encontró en la laguna La Encantada (Santa María-Lima) valores que oscilaron entre 7.5 a 8.5 unidades de pH (neutro a alcalino). En contraste con los resultados anteriores, de acuerdo al boletín del Gobierno Regional de Lima (2017) para el periodo 2013-2016, se registró en el Humedal de Santa Rosa (El Cascajo) valores que oscilaron de 8.41 a 9.29 unidades de pH, y en

los Humedales de Puerto Viejo valores desde 8.73 a 9.96 unidades de pH, en ese mismo sentido, aunque en otra ubicación latitudinal, Granizo (2011) en la laguna de Limoncocha en Ecuador, obtuvo un rango de variación más amplio con tendencia a la alcalinidad (6.3 a 9.4 unidades de pH), esta diferencia puede explicarse por las características del cuerpo de agua y los ríos tributarios de esta laguna que cruzan zonas intervenidas que ejercen presión antrópica. En la Tabla 20 se puede observar que el pH se correlaciona con la Conductividad ($r = 0.670$), lo que indica que existe una relación positiva moderada entre las variables, teniendo una significancia de $p = 0.000$; sin embargo, esta asociación de parámetros no es usual y puede tratarse de una relación espuria; es decir, que la causalidad entre ambas se deba a otra variable no considerada en el estudio, por lo que este resultado debe de ser interpretado con cautela. Los valores de pH en todas las campañas de muestreo para LP-1 situado en el canal frente a la Av. 12 de Octubre, fueron las más bajas en comparación a los demás puntos de muestreo, fluctuando de 6.79 a 7.24 unidades de pH.

Los muestreos de la presente investigación en LP-1 indican aguas ligeramente alcalinas a excepción de los muestreos de Febrero y Abril de 2018 que presentaron una ligera variación con valores de 6.90 y 6.79 unidades de pH respectivamente, cabe agregar que en dicho punto de muestreo LP-1 se puede evidenciar una transparencia mayor en la columna de agua a diferencia de los demás puntos, su poca profundidad y la presencia de peces; sin embargo, posee un fondo fangoso con materia orgánica en descomposición.

En el punto LP-2 los valores oscilaron desde 7.73 hasta 8.43 unidades de pH, en el punto LP-3 fueron de 7.40 a 7.98 unidades de pH y en LP-4 de 7.38 a 7.99 unidades de pH. Se esperaba que los valores de pH disminuyeran por efecto de dilución en invierno que es la estación de lloviznas en la que el nivel del agua en la laguna alcanza su máximo (para el periodo

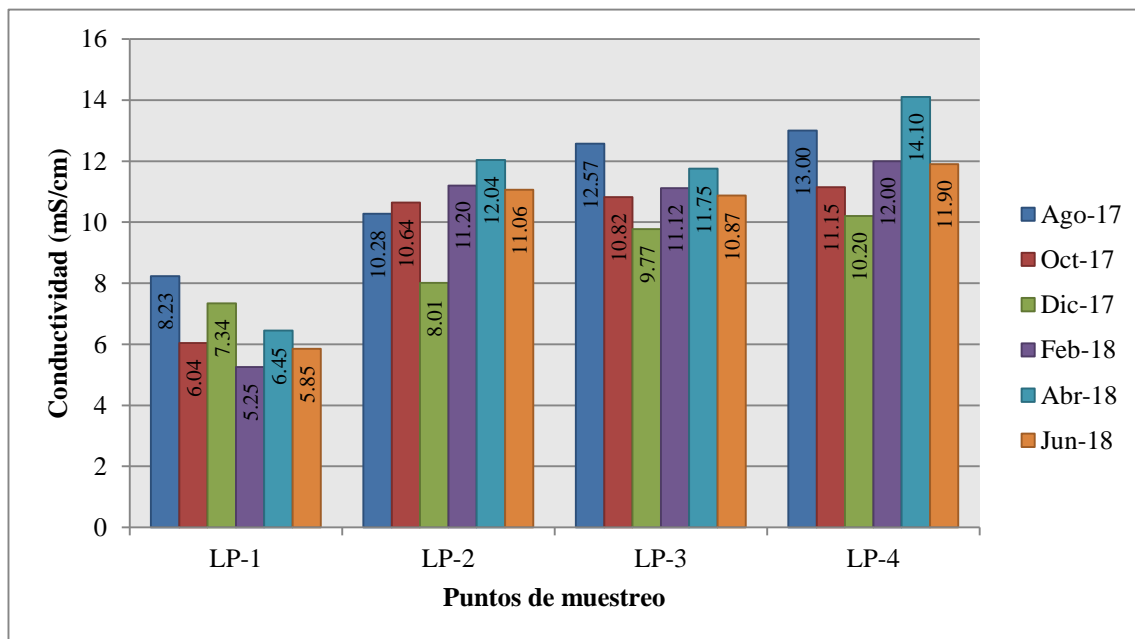
de estudio se observó este evento en Agosto de 2017), asimismo que el pH aumentara producto de una mayor actividad fotosintética en los meses de verano, en el cual el nivel del agua empieza a descender hasta el mínimo registrado en Junio de 2018; en cambio, esto no ocurrió y todos los puntos de muestreo, a pesar de su ligera variación a lo largo del periodo de estudio, presentaron sus máximos valores en Agosto de 2017, a excepción de LP-2 cuyo máximo valor fue en Abril de 2018.

5.3. Conductividad

La conductividad es un indicativo de las sales disueltas en el agua y mide la cantidad de iones especialmente de Ca, Mg, Na, P, bicarbonatos, cloruros y sulfatos; es también una medida indirecta de los sólidos disueltos, las aguas que contienen altas concentraciones de conductividad son corrosivas (Sierra, 2011).

Figura 23

Variación temporal de Conductividad en los puntos de muestreo, periodo Agosto 2017- Junio 2018



Nota. Elaboración propia.

Los valores de conductividad de los puntos LP-1 a LP-4, fluctuaron dentro del rango de 5.25 mS/cm a 14.10 mS/cm (Figura 23), resultados similares encontró Alvarez (2016) en diferentes cuerpos de agua en los Humedales de Villa, registrando 2.40 mS/cm a 14.84 mS/cm. La conductividad en todas las campañas de muestreo en La Pampa para LP-1 como era de esperarse, fue la más baja en comparación de los demás puntos de muestreo por tratarse de un canal con aguas que evidencian transparencia, fluctuando entre 8.23 mS/cm en Agosto de 2017 y 5.25 mS/cm en Febrero de 2018, el máximo valor de Agosto puede estar relacionado a que en dicho mes se realizaban trabajos con maquinaria para el asfaltado de la Av. 12 de Octubre, produciendo levantamiento de material particulado en la zona, además, al tomar la lectura se encontró un montículo de residuos de material quemado adyacente al canal, cuyas cenizas posiblemente tomaron contacto con sus aguas.

Se observa que los valores tienden a aumentar a nivel espacial en cada una de las campañas de muestreo desde LP-1 a LP-4, esto se debe a que el punto LP-1 posee aguas menos expuestas a la contaminación, a comparación de LP-4 que se ubicó en la orilla de la laguna, adyacente a la Av. Defensores del Morro, por la cual circulan todo tipo de vehículos y también peatones, arrojando a su paso residuos como restos de comida, bolsas, botellas, llantas etc. En el punto LP-2 los valores fluctuaron desde 8.01 hasta 12.04, en el punto LP-3 fueron de 9.77 a 12.57 y en LP-4 de 10.20 a 14.10.

Se esperaba que a nivel temporal, los valores más altos se registraran en alguno de los meses de verano debido a la mayor temperatura que disminuye la viscosidad del agua favoreciendo la movilidad de iones más rápidamente; sin embargo, los máximos valores para LP-1 y LP-3 se presentaron en Agosto de 2017 y para LP-2 y LP-4 en Abril de 2018, es necesario

considerar que los desechos arrojados y la materia orgánica constantemente presente aporta iones continuamente durante su degradación.

5.4. Clorofila "a"

En la Figura 24 se presentan los valores de clorofila "a" de los puntos LP-1 a LP-4, se encuentran en un rango de valores $<1 \text{ mg/m}^3$ hasta 271 mg/m^3 . Comparativamente estos resultados están por encima de los valores registrados en otros humedales costeros para el periodo 2013-2014 y 2016; los cuales según datos del boletín del Gobierno Regional de Lima (2017) son, Humedal de Santa Rosa (El Cascajo) con valores que oscilan de 7 mg/m^3 a 53 mg/m^3 y Humedales de Puerto Viejo con valores de 1 mg/m^3 a 35 mg/m^3 .

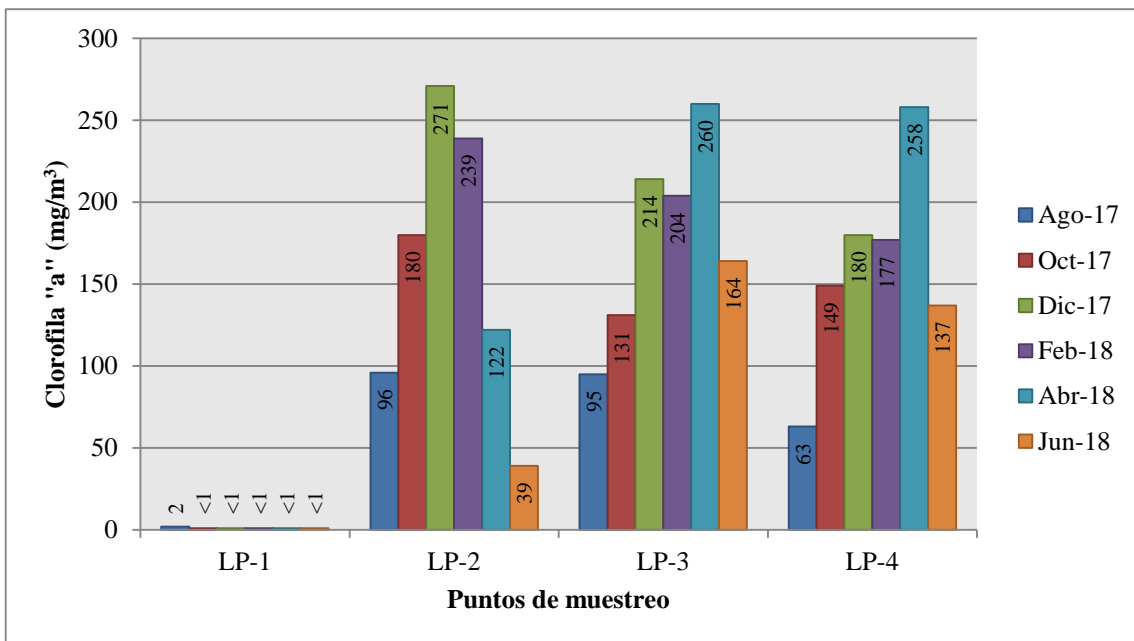
Asimismo, también se resalta los resultados de Diaz y Sotomayor (2012), que encontraron en la laguna Conococha (Ancash-Perú), valores que oscilaron de 39.3 mg/m^3 a 51.7 mg/m^3 , por otra parte, los resultados de Granizo (2011) en la laguna de Limoncocha en Ecuador, indicaron un rango de valores de 2.0 mg/m^3 a 131.0 mg/m^3 . Todos estos resultados presentan similitud, desde el punto de vista en que el nivel máximo se encuentra dentro del rango encontrado en la Laguna La Pampa, eso responde principalmente a factores de extensión del cuerpo de agua, latitud y altitud. En la Tabla 20 estadísticamente se puede observar que la clorofila "a" se correlaciona con el pH ($r = 0.438$, $p = 0.032$) lo que indica una relación positiva baja pero significativa y con la Conductividad ($r = 0.602$, $p = 0.002$) indicando que existe una relación positiva moderada entre las variables; es de esperarse estas correlaciones dado que existe una relación directa entre la actividad fotosintética y el incremento de pH, así como con la Conductividad, debido a la densidad del fitoplancton.

En el punto LP-1 los valores oscilaron desde $<1 \text{ mg/m}^3$ a 2 mg/m^3 , a nivel temporal y espacial los valores fueron siempre menores a diferencia de los demás puntos de muestreo en

concordancia con las características de sus aguas como ya se mencionó en este capítulo, indicando según los resultados una escasa actividad fitoplanctónica.

Figura 24

Variación temporal de clorofila "a" en los puntos de muestreo, periodo Agosto 2017- Junio 2018



Nota. Elaboración propia.

En el punto LP-2 los valores fluctuaron de 39 mg/m³ a 271 mg/m³, en LP-3 de 95 mg/m³ a 260 mg/m³ y en LP-4 de 63 mg/m³ a 258 mg/m³, los valores de estos tres puntos según los promedios mensuales, muestran un notable incremento y posterior descenso a nivel temporal (Figura 27), partiendo de sus mínimos valores en Agosto de 2017, correspondiente al mes de mayor nivel de aguas en la laguna y sus máximos valores; como era de esperarse, fueron presentándose entre Diciembre, Febrero y Abril de 2018, periodo en el que se presenta una mayor intensidad luminosa, factor que estimula la productividad primaria, siendo Diciembre el de mayores valores, coincidentemente con el inicio del verano, para luego descender sus valores en Junio de 2018, según esto y considerando que la temporada seca en los Humedales de Villa es de Octubre a Mayo, se deduce que los valores son menores en temporada húmeda.

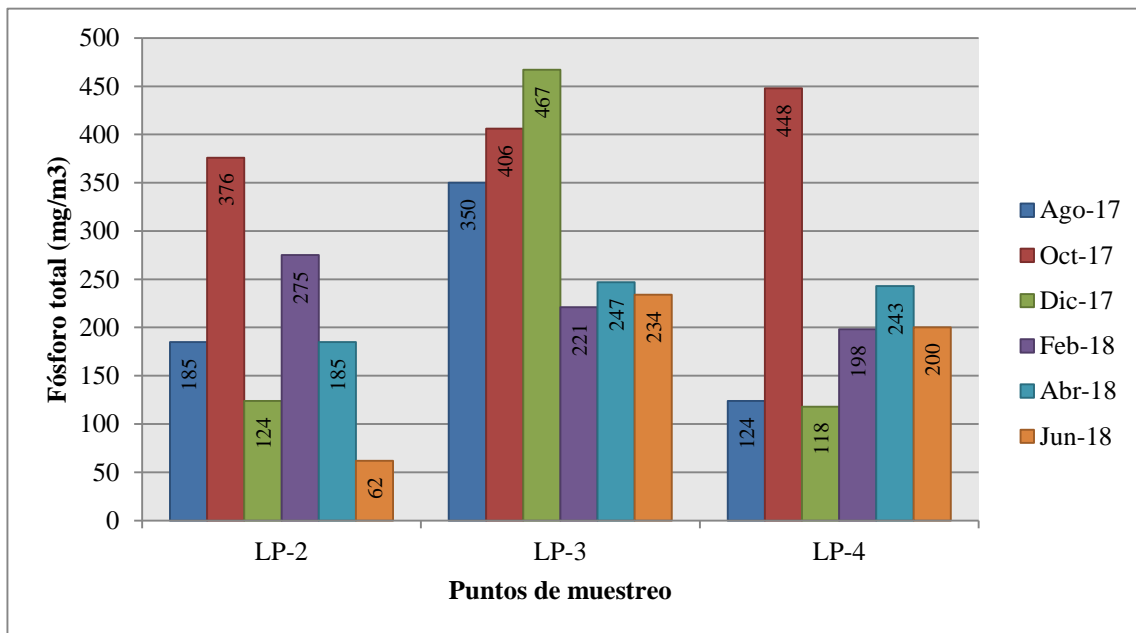
Es importante mencionar los cambios de las comunidades fitoplanctónicas registrados por Cepeda (2016) que aunque no fueron específicos para la laguna en estudio, se encontraron en todas las demás lagunas que conforman los Humedales de Villa en el año 2011, registrando para Julio-Agosto (Bacillariophyta 23%, Cyanobacterias 17%, Chlorophyta 60%), Noviembre-Diciembre (Bacillariophyta 24%, Cyanobacterias 41%, Chlorophyta 35%), Marzo-Abril (Bacillariophyta 29%, Cyanobacterias 15%, Chlorophyta 56%); según estos resultados, es probable que existan cambios sustanciales de las comunidades de Cyanobacterias y Chlorophyta asociados a los meses de mínima y máxima concentración de Clorofila "a".

5.5. Fósforo total

La Figura 25 presenta los valores de fósforo total de los puntos LP-2 a LP-4, se encuentran en un rango de 62 mg/m³ hasta 467 mg/m³, valores mayores encontró Alvarez (2016) en diferentes cuerpos de agua en los Humedales de Villa, registrando 287 mg/m³ a 32644 mg/m³, comparativamente estos resultados difieren a lo hallado por Granizo (2011) en la laguna de Limoncocha en Ecuador, cuyo rango de valores encontrados fue de 3.0 mg/m³ a 70.0 mg/m³, esta diferencia con laguna La Pampa y otras lagunas de los Humedales de Villa, se explica principalmente por factores de extensión y profundidad del cuerpo de agua, que en el caso de Limoncocha, favorece a una mayor capacidad de asimilación y dilución. En el punto LP-2 los valores oscilaron desde 62 mg/m³ a 376 mg/m³, en LP-3 de 221 mg/m³ a 467 mg/m³ y en LP-4 de 118 mg/m³ a 448 mg/m³. A nivel temporal, los máximos valores se presentaron en primavera y a inicios de verano; para LP-2 y LP-4 se presentaron en Octubre de 2017 y para LP-3 en Diciembre de 2017.

Figura 25

Variación temporal de fósforo total en los puntos de muestreo, periodo Agosto 2017 - Junio 2018



Nota. Elaboración propia.

En época de lluvia, debido a la acción mecánica de la misma, se arrastra sedimentos y múltiples sustancias que por medio de un flujo superficial o por lixiviación, podría traer como consecuencia un mayor aporte de fósforo en sistemas acuáticos lénticos (Ramírez y Machado, 1982; Batista et al., 2014); sin embargo, en el área de estudio al no haber un canal tributario que alimente a la laguna, el origen estaría en la contaminación directa proveniente de actividades humanas que aporta nutrientes, los cuales se van acumulando y liberando paulatinamente durante el año. El fósforo en el medio acuático está presente en forma orgánica e inorgánica, puede ser absorbido por los organismos vegetales y otra parte sedimentado tal como expresa Curt (s.f.) “la tendencia en la naturaleza, es a que el fósforo se acumule en sedimentos, cuando no es constituyente de organismos”, el fósforo forma fosfatos insolubles de calcio y de hierro dependiendo del pH del sistema, por lo general los lodos alcalinos o ácidos absorben más rápido el fósforo, que los ligeramente ácidos o neutros (Sanchez y Zamora, 2012).

Según los promedios mensuales (Figura 27), se tiene un valor máximo de 410 mg/m^3 en Octubre y mínimo 165.3 mg/m^3 en Junio, los demás oscilan de 219.7 mg/m^3 a 236.3 mg/m^3 , podría decirse que para estos últimos no existe una variación sustancial, sin embargo, estos promedios deben de ser interpretados con prudencia debido a la amplitud de los datos, por ello también podría ser que las concentraciones no siempre sean menores en temporada húmeda como sugieren los promedios mensuales.

La persistencia de estas concentraciones durante el año puede deberse a que la laguna cuyo perímetro es de fácil acceso a la población, es afectada por diferentes actividades antrópicas como la ganadería (vacuno y porcino) en zonas aledañas, el arrojado de residuos domésticos directamente a la laguna como productos de limpieza, botellas plásticas, envases de tecnopor con restos de alimentos, bolsas con desechos orgánicos (restos de comida, cáscaras, vegetales, entre otros) y la existencia de un punto crítico de acumulación de basura, todo ello aporta nutrientes constantemente, entre ellos el fósforo.

5.6. Nitrógeno total

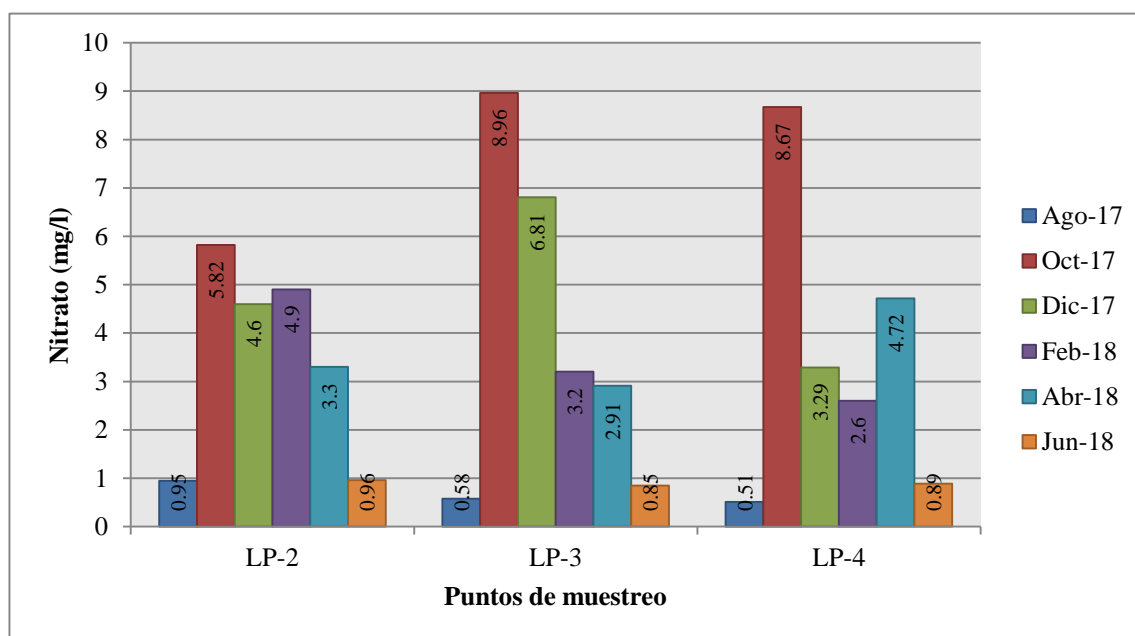
El nitrógeno en las aguas se encuentra en forma disuelta o particulada, puede constituir parte de compuestos orgánicos o inorgánicos. Las formas solubles orgánicas son muy variadas y las formas solubles inorgánicas (amonio, nitrito y nitrato) son la principal fuente de nitrógeno para los productores primarios, siendo amonio y nitrato los más importantes por su accesibilidad a las algas. Su presencia puede ser debida a la precipitación atmosférica, aportes por lavado del suelo, vertidos urbanos o agrícolas y a la fijación del nitrógeno atmosférico por bacterias y cianobacterias, también puede encontrarse en forma de nitrato en aguas subterráneas ya que es más estable originándose de la descomposición natural por microorganismos de materiales

nitrogenados orgánicos como las proteínas de las plantas, animales y excretas de humanos y de animales (Pacheco et al., 2002; Gobierno Vasco, 2002).

Concentraciones superiores a 0.9 mg/l tienden a estimular el crecimiento de las algas (Chapman, 1996) y por encima de los 5 mg/l de NO_3 usualmente indican contaminación, en lagos y embalses concentraciones de nitratos por encima de 0,2 mg/l ya empiezan a general problemas de eutroficación en el agua. En las aguas subterráneas se puede llegar a concentraciones de nitratos hasta de 500 mg/l, especialmente en zonas agrícolas debido a la utilización de fertilizantes (Sierra, 2011).

Figura 26

Variación temporal de Nitrato en los puntos de muestreo, periodo Agosto 2017- Junio 2018



Nota. Elaboración propia.

En la Figura 26 se presentan los valores de nitrógeno total como $N - \text{NO}_3^-$ de los puntos LP-2 a LP-4, este se encuentran en un rango de valores 0.51 mg/l hasta 8.96 mg/l. En la Tabla 20 estadísticamente se puede observar que el nitrógeno total se correlaciona con el fósforo total ($r =$

0.700, $p = 0.001$), lo que indica que existe una relación positiva moderada entre las variables; se esperaba encontrar menores concentraciones ya que los nitratos son absorbidos por las algas y la vegetación acuática para la síntesis de proteínas; a pesar de ello, se evidenció un aumento a inicios de la época de estiaje o seca, en Octubre de 2017, lo cual indica que probablemente ese periodo favorece la descomposición de la materia orgánica. También cabe mencionar que en un cuerpo de agua somero como lo es la laguna La Pampa, podría haber una importante recirculación de nutrientes debido a una mayor interacción entre el sedimento y la columna de agua, quedando de este modo compuestos orgánicos disponibles para el aprovechamiento del fitoplancton.

En el punto LP-2 los valores oscilaron desde 0.95 mg/l a 5.82 mg/l, en LP-3 de 0.58 mg/l a 8.96 mg/l y en LP-4 de 0.51 mg/l a 8.67 mg/l, valores mayores encontró Alvarez (2016) en diferentes cuerpos de agua en los Humedales de Villa, registrando 2.20 mg/l a 57.70 mg/l, en contraste con estos resultados, de acuerdo al boletín del Gobierno Regional de Lima (2017) para el periodo 2013-2016, se registró en el Humedal de Santa Rosa (El Cascajo) valores que oscilaron de 0.0267 mg/l a 0.7873 mg/l y en los Humedales de Puerto Viejo valores desde <0.00003 mg/l a <0.52 mg/l.

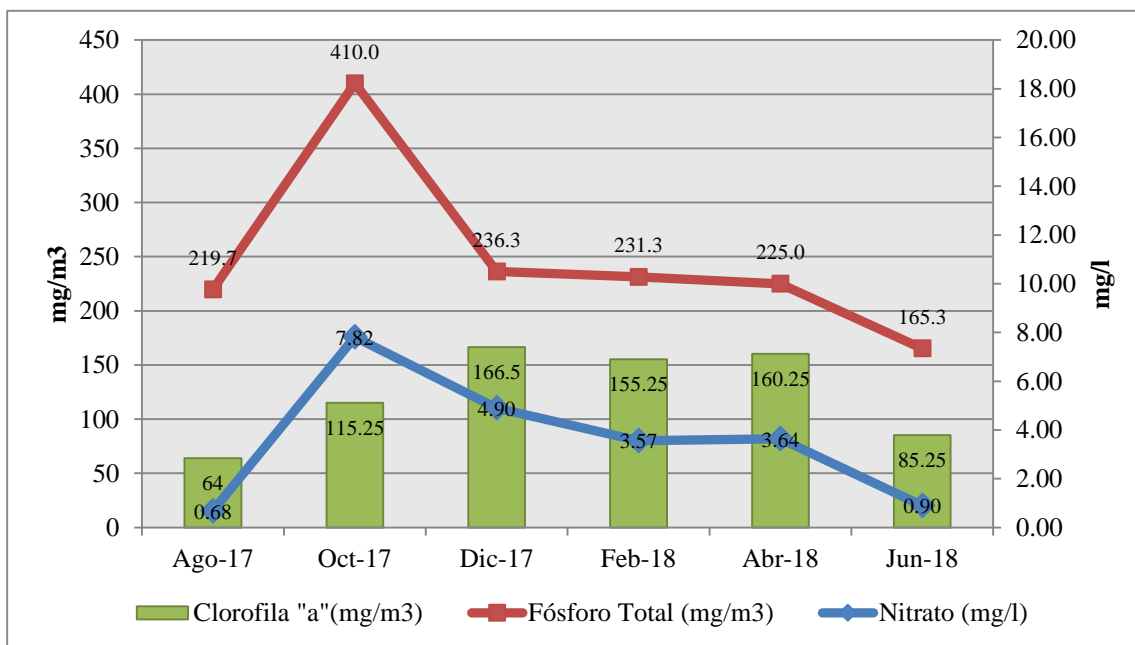
A nivel temporal, los valores mínimos se presentaron en invierno de Agosto de 2017, mes en que el nivel de aguas sube al máximo en la laguna y podría diluir las concentraciones, los valores máximos se presentaron en Octubre de 2017; según los promedios mensuales, se observa un notable aumento entre esos dos meses que fueron de 0.68 mg/l a 7.82 mg/l respectivamente (Figura 27), a partir de Octubre de 2017 se muestra una tendencia a disminuir hasta Junio de 2018 con un valor promedio de 0.90 mg/l, evidenciándose que los menores valores se presentan en temporada húmeda, el valor máximo en Octubre de 2017 puede deberse a que en dicho mes

ya se observaba la disminución del nivel de agua que pudo haber concentrado los nutrientes; sin embargo, en los posteriores muestreos no se mantienen estos valores de nitrato sino que empiezan a descender.

En investigaciones futuras podría ser posible un estudio a una escala temporal más amplia para confirmar si estos valores máximos fueron producto de un evento único, debido a un mayor ingreso de nutrientes provenientes de actividades humanas en los alrededores; es importante considerar también que la zona de Las Delicias de Villa no contaba con servicio de agua y desagüe hasta el año 2014, disponiendo de sus excretas en silos. Algunos efectos del contaminante en el agua subterránea en relación con el humedal, pueden desarrollarse después de un tiempo relativamente largo, a medida que los frentes se desplazan por ciertas capas.

Figura 27

Promedios mensuales de clorofila "a", fósforo total y nitrato, periodo Agosto 2017- Junio 2018



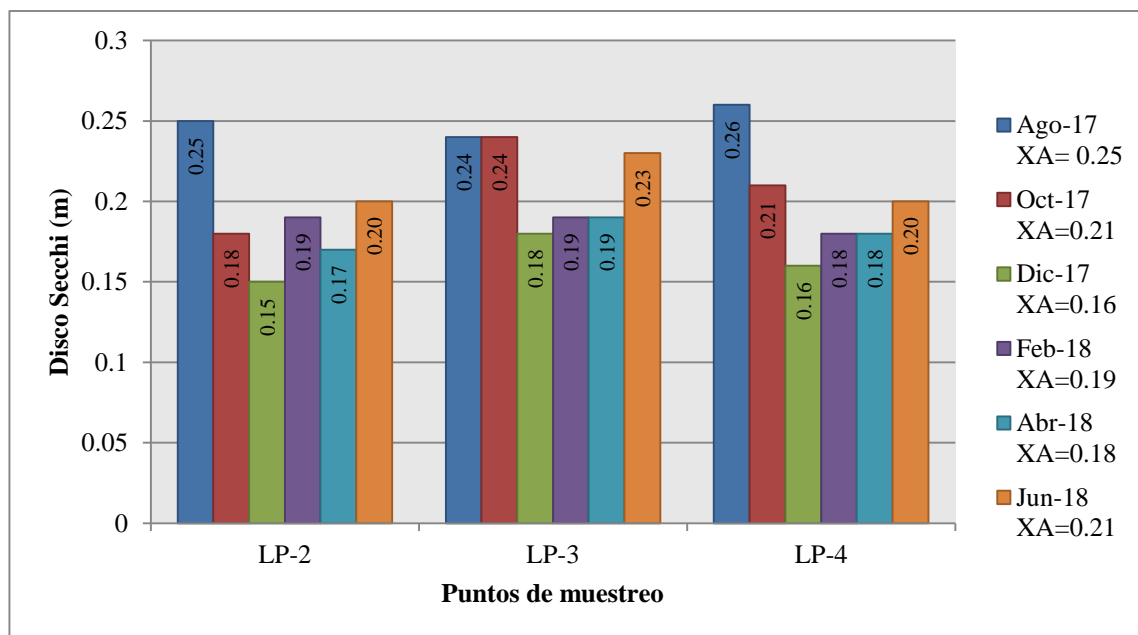
Nota. Elaboración propia.

5.7. Disco Secchi

En la Figura 28 se presenta los valores de Profundidad de Disco Secchi de los puntos LP-2 a LP-4, se encuentran en un rango de valores 0.15 m hasta 0.26 m y en la Tabla 20 se puede observar que el Disco Secchi se correlaciona con la clorofila "a" ($r = -0.651$, $p = 0.003$) lo que indica que existe una relación negativa moderada entre las variables, ello puede explicarse porque una variación en las concentraciones de clorofila "a" que mide indirectamente el fitoplancton presente, este mismo disminuye o aumenta el paso de la luz y modifica la transparencia de la columna de agua; no obstante, la presencia de materiales disueltos y sólidos en suspensión también tienen influencia.

Figura 28

Variación temporal de Disco Secchi en los puntos de muestreo, periodo Agosto 2017- Junio 2018



Nota. XA (promedio aritmético).

Elaboración propia.

En el punto LP-2 los valores oscilaron desde 0.15 m a 0.25 m, en LP-3 de 0.18 m a 0.24 m y en LP-4 de 0.16 m a 0.26 m, estos resultados son menores a los encontrados por Chinchayán

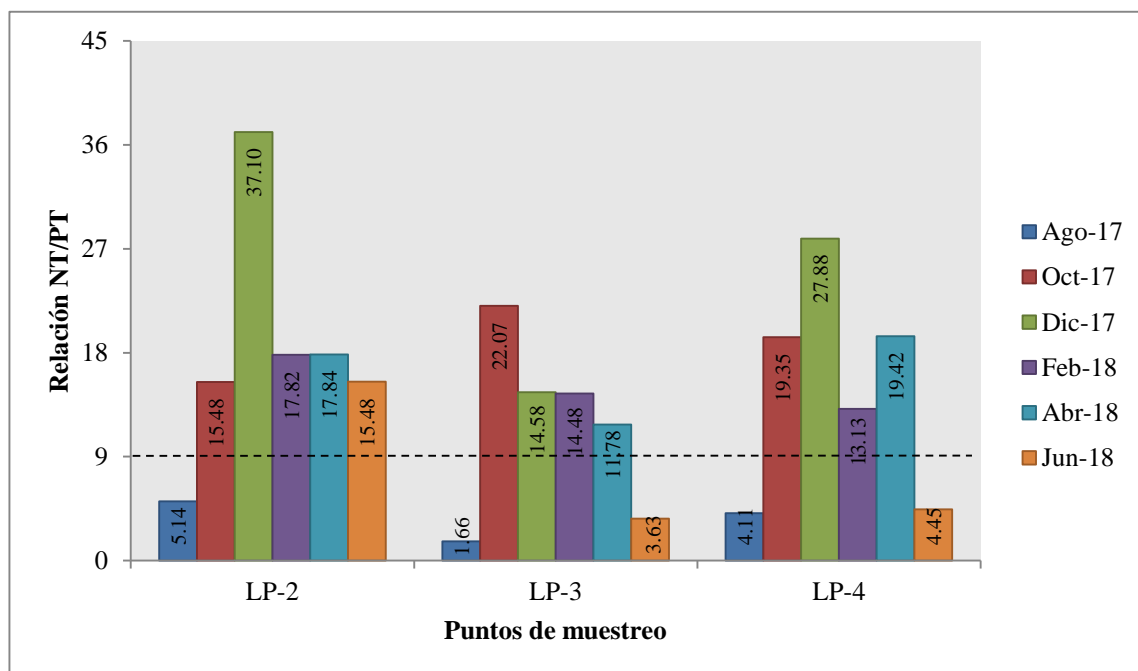
et al. (2008) en la laguna Marvilla de los Humedales de Villa con valores que flucturaron de 0.30 m a 0.78 m. Similares resultados a La Pampa fueron encontrados por Tello et al. (2014) en la laguna El Paraíso (Huacho-Lima), con valores que fueron de 0.185 m a 0.195 m, asimismo, Loayza et al. (2017) en el humedal El Cascajo (Chancay-Lima), tuvieron valores que oscilaron de 0.15 m a 0.21 m. Según los promedios mensuales en La Pampa, se tiene un valor máximo de 0.25 m en Agosto y mínimo 0.16 m en Diciembre, de acuerdo a esto se presentaron máximos valores en temporada húmeda.

5.8. Nutriente limitante

Según los resultados que se visualizan en la Tabla 19 para los puntos LP-2 a LP-4, las relaciones NT/PT se encuentran en un rango de 1.66 a 37.10. En el punto LP-2 los valores oscilaron desde 5.14 a 37.10, en LP-3 de 1.66 a 22.07 y en LP-4 de 4.11 a 27.88.

Figura 29

Relaciones nitrógeno/fósforo (NT/PT)



Nota. Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 29, la mayoría de valores son mayores a 9, a excepción de los registrados en Agosto de 2017 y Junio de 2018 (LP-3 y LP-4), lo que significa que la laguna La Pampa está potencialmente limitada por fósforo; es decir, este es el nutriente que primero se consume y controlará la máxima cantidad de biomasa vegetal.

Similar situación encontró Alvarez (2016) en sus muestreos para Diciembre de 2013 y Julio de 2014 de los cuales aplicando la relación NT/PT se infiere que las lagunas ANAP, Génesis y el canal hacia la laguna Principal de los Humedales de Villa, estuvieron limitados por fósforo en ambos meses.

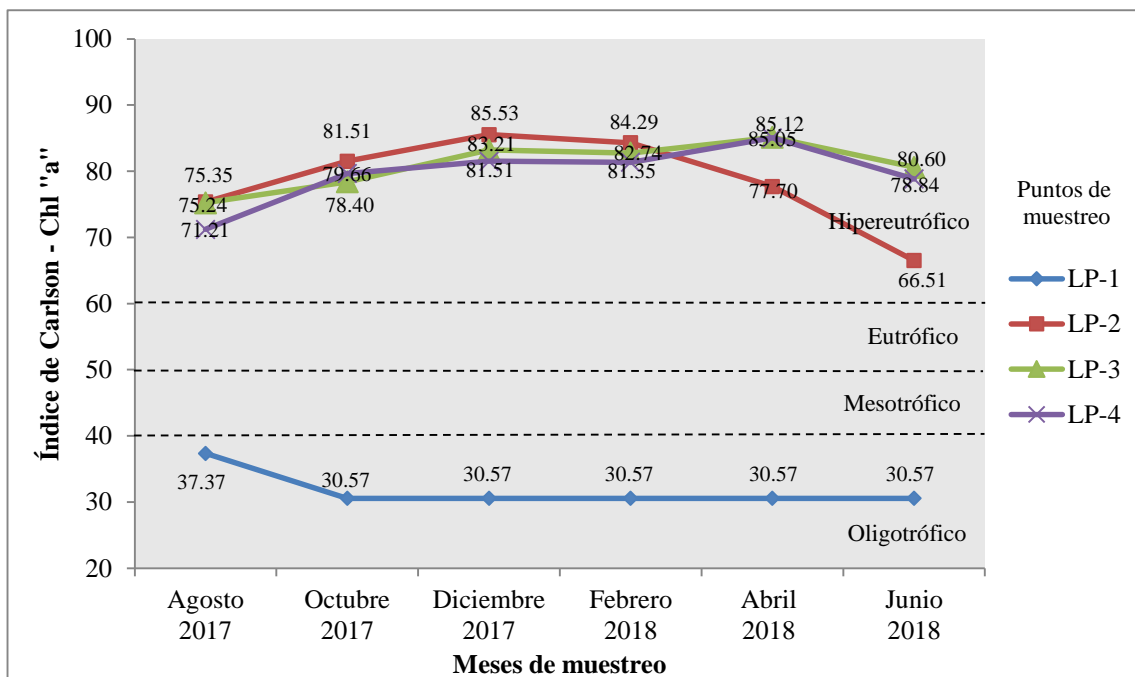
5.9. Índice de Estado Trófico de Carlson (1977)

5.9.1. Índice de Carlson (1977) – Clorofila "a"

El Índice de Estado Trófico (TSI) aplicado para la clorofila "a" (Tabla 22 y Figura 30) permite clasificar a la laguna La Pampa en un nivel Hipereutrófico (Tabla 28), a excepción del punto LP-1 en el cual se clasificó como Oligotrófico en todos los meses.

Figura 30

Variación temporal del índice de Carlson-clorofila "a" (Chl "a") en los puntos de muestreo



Nota. Elaboración propia.

El valor de TSI promedio más alto en La Pampa fue 80.89 en el punto LP-3 y por mes de muestreo se presentó en Diciembre con 70.21. La dispersión con respecto a la media o coeficiente de variación (CV) para cada punto de muestreo arrojó valores que fluctuaron entre 4.45% en LP-3 y 8.94% en LP-2; sin embargo, para cada campaña de muestreo los valores fluctuaron entre 28.37% en Agosto de 2017 y 37.72% en Abril de 2018, esto se explica porque el punto LP-1 presenta valores bajos de clorofila "a" que influyeron significativamente en el TSI.

Estos resultados contrastan con lo encontrado por Diaz y Sotomayor (2012) en la laguna Conococha (Ancash-Perú) con promedios de TSI = 68.4 y TSI = 67.9 en temporada de lluvia y estiaje respectivamente, clasificándose como Eutrófico; en Chile, los valores del conjunto de lagos y lagunas monitoreadas en el año 2009, oscilan entre TSI = 15 a TSI = 63 aproximadamente (Ministerio del Medio Ambiente de Chile, 2013), por otra parte Moreno y

Ramírez (2010) reportaron en el lago del Parque Norte (Medellín-Colombia), resultados que varían entre TSI = 41 a TSI = 65, cabe resaltar que estos lagos y lagunas se localizan a altitudes que difieren con La Pampa, presentando otras características y condiciones; sin embargo, se tomó como comparación debido a que son escasos los estudios encontrados a nivel nacional para humedales costeros en los que se aplique el TSI.

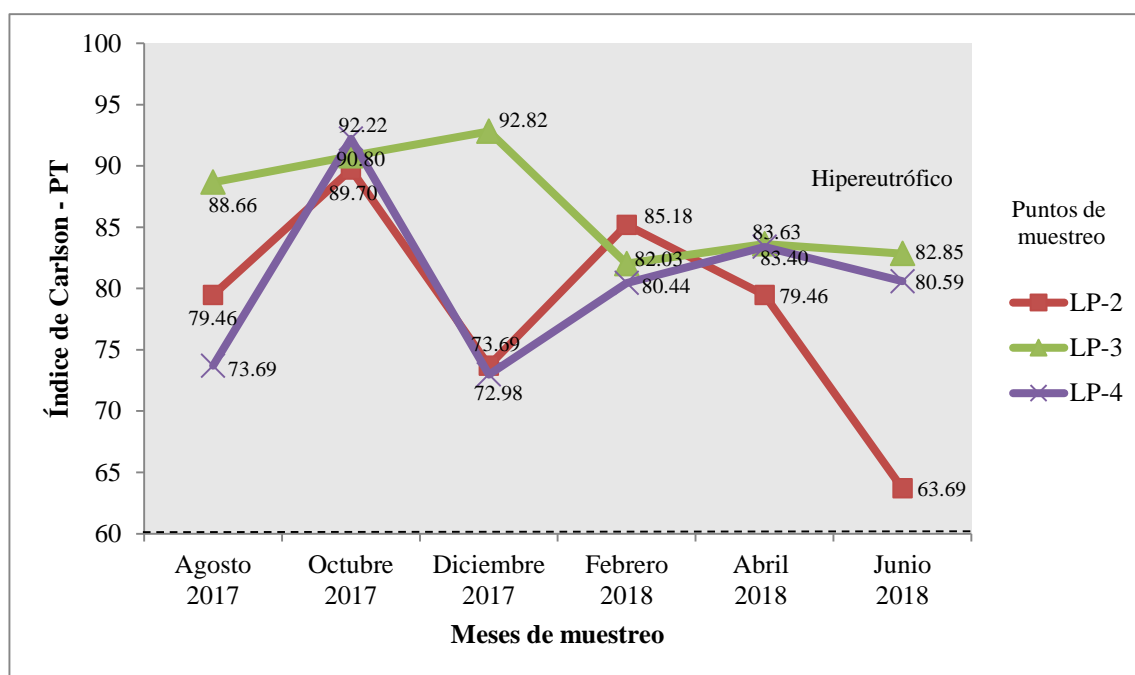
5.9.2. Índice de Carlson (1977) – Fósforo total

El TSI aplicado para fósforo total (Tabla 23 y Figura 31) permite clasificar a la laguna La Pampa en un nivel Hipereutrófico (Tabla 28).

El valor de TSI promedio más alto en La Pampa fue 86.80 en el punto LP-3 y por mes de muestro se presentó en Octubre con 90.91. El CV para cada punto de muestreo arrojó valores que fluctuaron entre 5.26% en LP-3 y 11.59% en LP-2 y para cada campaña de muestreo fueron de 1.39% en Octubre de 2017 y 14.10% en Diciembre de 2017.

Figura 31

Variación temporal del Índice de Carlson-fósforo total (PT) en los puntos de muestreo



Nota. Elaboración propia.

Resultados más bajos, pero con igual clasificación, encontraron Diaz y Sotomayor (2012) en la laguna Conococha (Ancash-Perú) con promedios de TSI = 73.8 y TSI = 74.2 en temporada de lluvia y estiaje respectivamente clasificándose como Hipereutrófico, por otro lado el Ministerio del Medio Ambiente de Chile (2013) en lagos y lagunas de Chile monitoreadas en

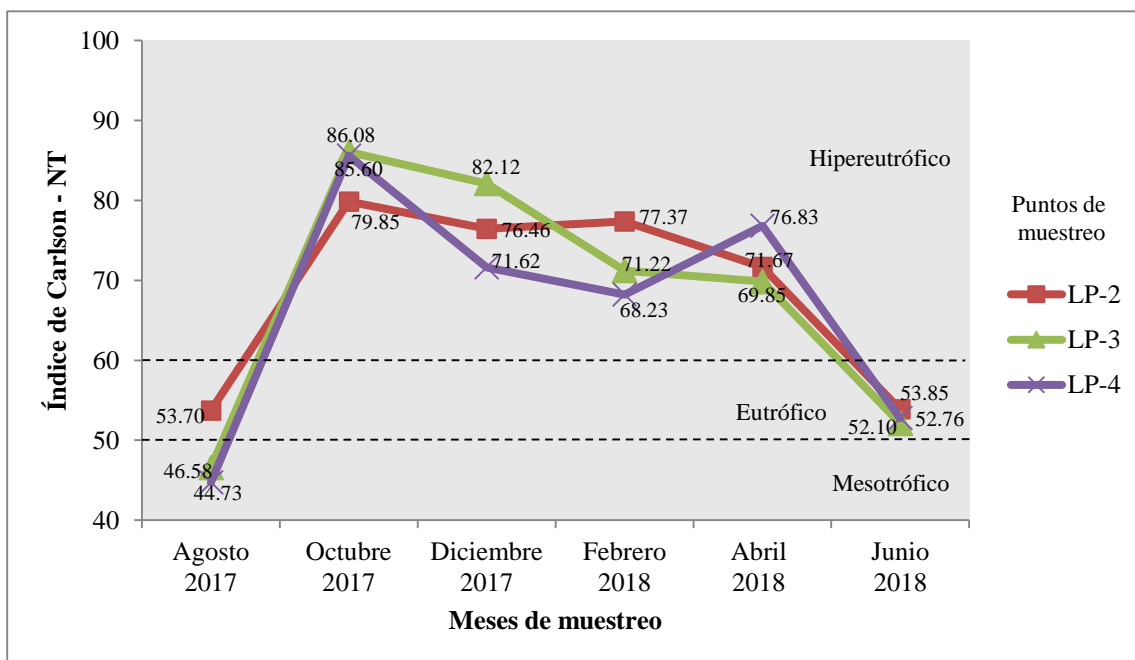
el año 2009, informó valores que oscilan aproximadamente entre TSI = 32 a TSI= 65, Campos (2015) registró valores diferentes en la laguna de Ñahuinpuquio (Junín, Perú) con promedios para la temporada de lluvia de TSI = 7.25 y en estiaje TSI = 7.20 clasificándose como Ultraoligotrófico.

5.9.3. Índice de Carlson (1977) – Nitrógeno total

El TSI aplicado para nitrógeno total (Tabla 24 y Figura 32) permite clasificar a la laguna La Pampa mayormente en un nivel Hipereutrófico, a excepción de LP-2 en el que se clasificó como Eutrófico en Agosto de 2017 y Junio de 2018; asimismo, LP-3 y LP-4 se clasificaron como Mesotrófico y Eutrófico respectivamente en los mismos meses (Tabla 28).

Figura 32

Variación temporal del Índice de Carlson-nitrógeno total (NT) en los puntos de muestreo



Nota. Elaboración propia.

El valor de TSI promedio más alto en La Pampa fue 68.82 en el punto LP-2 y por mes de muestreo se presentó en Octubre con 83.84. El CV para cada punto de muestreo arrojó valores que

fluctuaron entre 17.36% en LP-2 y 23.27% en LP-3 y para cada campaña de muestreo fue de 1.68% en Junio de 2018 a 9.80% en Agosto de 2017, esto se explica porque se presentaron valores bajos de nitrato en Agosto y Junio que influyeron significativamente en el TSI.

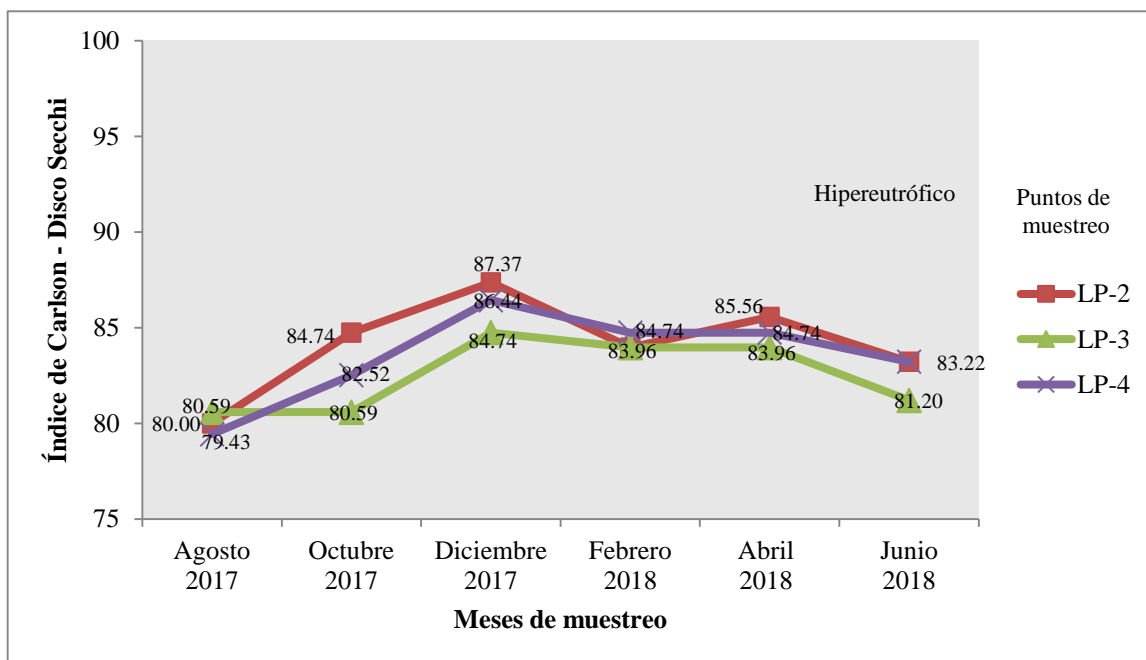
Resultados un poco más elevados hallaron Diaz y Sotomayor (2012) en la laguna Conococha (Ancash-Perú) con promedios de TSI = 130.8 y TSI = 131.5 en temporada de lluvia y estiaje respectivamente clasificándose como Hipereutrífico.

5.9.4. Índice de Carlson (1977) – Disco Secchi

El TSI aplicado para Disco Secchi (Tabla 21 y Figura 33) permite clasificar a la laguna La Pampa en un nivel Hipereutrífico (Tabla 28).

Figura 33

Variación temporal del Índice de Carlson-Disco Secchi en los puntos de muestreo



Nota. Elaboración propia.

El valor de TSI promedio más alto en La Pampa fue 84.14 en el punto LP-2 y por mes de muestro se presentó en Diciembre con 86.18. El CV para cada punto de muestreo arrojó valores que fluctuaron entre 2.32% en LP-3 y 2.95% en LP-2 y para cada campaña de muestreo fueron de 0.53% en Febrero de 2018 y 2.51% en Octubre de 2017, indicando un comportamiento homogéneo.

Díaz y Sotomayor (2012) reportaron menores valores en la laguna Conococha (Ancash-Perú) con promedios de $TSI = 66.1$ y $TSI = 67.1$ en temporada de lluvia y estiaje respectivamente, así como Moreno y Ramírez (2010) registraron en el lago del Parque Norte (Medellín-Colombia) un promedio de $TSI = 69.1$ clasificado como Hipereutrófico.

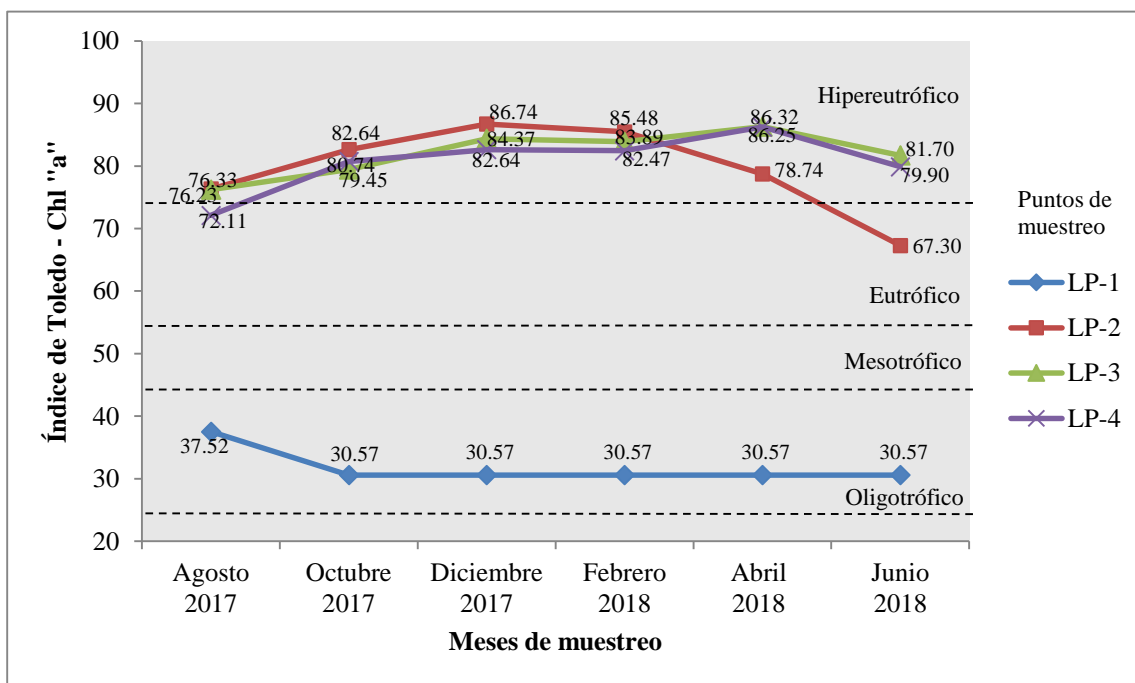
5.10. Índice de Estado Trófico de Toledo et al. (1984)

5.10.1. Índice de Toledo et al. (1984) – Clorofila "a"

El Índice de Estado Trófico Modificado de Toledo (IET_M) aplicado para clorofila "a" (Tabla 26 y Figura 34) permite clasificar a la laguna La Pampa mayormente en un nivel Hipereutrófico, a excepción de LP-1 en el cual se clasificó como Oligotrófico en todos los meses y Eutrófico para los puntos LP-2 y LP-4 en Junio de 2018 y Agosto de 2017, respectivamente (Tabla 29).

Figura 34

Variación temporal del Índice de Toledo-clorofila "a" (Chl "a") en los puntos de muestreo



Nota. Elaboración propia.

El valor del IET_M promedio más alto en La Pampa fue 82.00 en el punto LP-3 y por mes de muestro se presentó en Diciembre con 71.08. El CV para cada punto de muestreo arrojó valores que fluctuaron entre 4.49% en LP-3 y 9.02% en LP-2; sin embargo, para cada campaña de muestro los valores fluctuaron entre 28.67% en Agosto de 2017 y 38.08% en Abril de 2018,

esto se explica porque el punto LP-1 presenta valores bajos de clorofila "a" que influyeron significativamente en el IET_M.

Granizo (2011) encontró en la laguna de Limoncocha en Ecuador, valores que fluctuaron entre IET_M = 38 (Oligotrófico) a IET_M = 59 (Eutrófico), Moreno y Ramírez (2010) reportaron en el lago del Parque Norte (Medellín-Colombia), resultados que varían entre IET_M = 41 a IET_M = 66 clasificándose desde Oligotrófico hasta Eutrófico, todos estos valores son más bajos comparados con los de La Pampa a excepción del punto LP-1.

5.10.2. Índice de Toledo et al. (1984) – Fósforo total

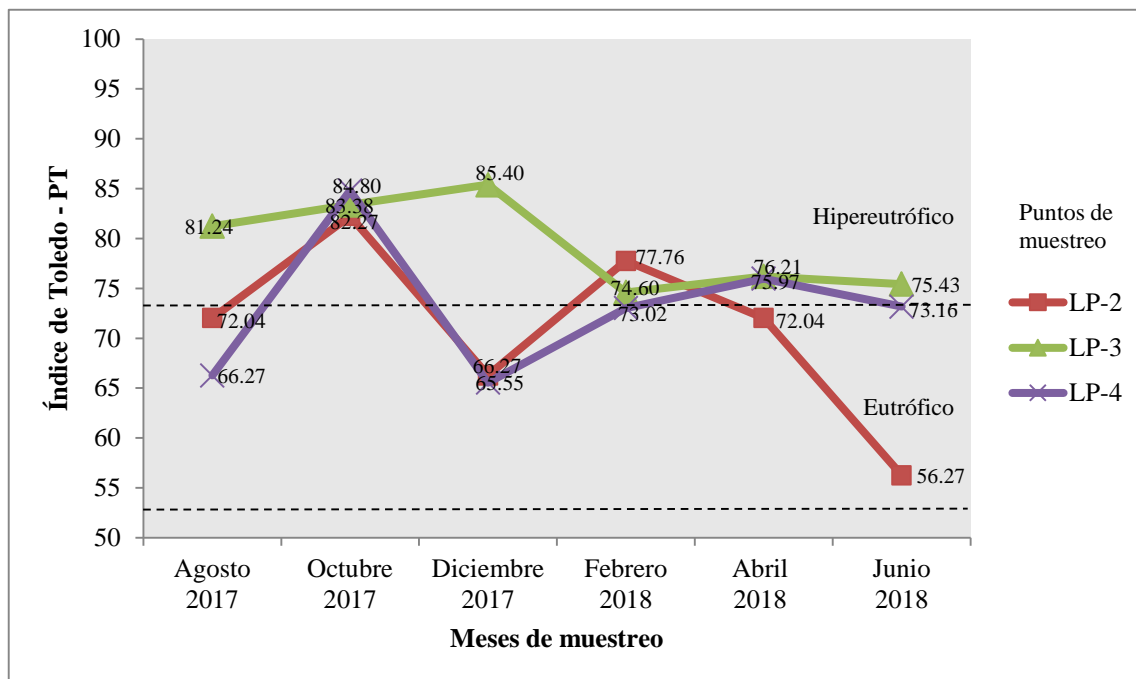
El IET_M aplicado para fósforo total (Tabla 27 y Figura 35) permite clasificar a la laguna La Pampa en un nivel Hipereutrófico y Eutrófico (Tabla 29).

El valor del IET_M promedio más alto fue 79.37 en el punto LP-3 y por mes de muestro se presentó en Octubre con 83.48. El CV para cada punto de muestreo arrojó valores que fluctuaron entre 5.75% en LP-3 a 12.80% en LP-2 y para cada campaña de muestreo fueron de 1.52% en Octubre de 2017 y 15.55% en Diciembre de 2017.

Granizo (2011) encontró en la laguna de Limoncocha en Ecuador, resultados que fluctuaron entre IET_M = 13 (Ultraoligotrófico) a IET_M = 58 (Eutrófico), Moreno y Ramírez (2010) reportaron en el lago del Parque Norte (Medellín-Colombia), resultados que varían entre IET_M = 43 (muy cercano a Mesotrófico) a IET_M = 63 (Eutrófico), todos estos valores son más bajos comparados con los de La Pampa.

Figura 35

Variación temporal del Índice de Toledo-fósforo total (PT) en los puntos de muestreo



Nota. Elaboración propia.

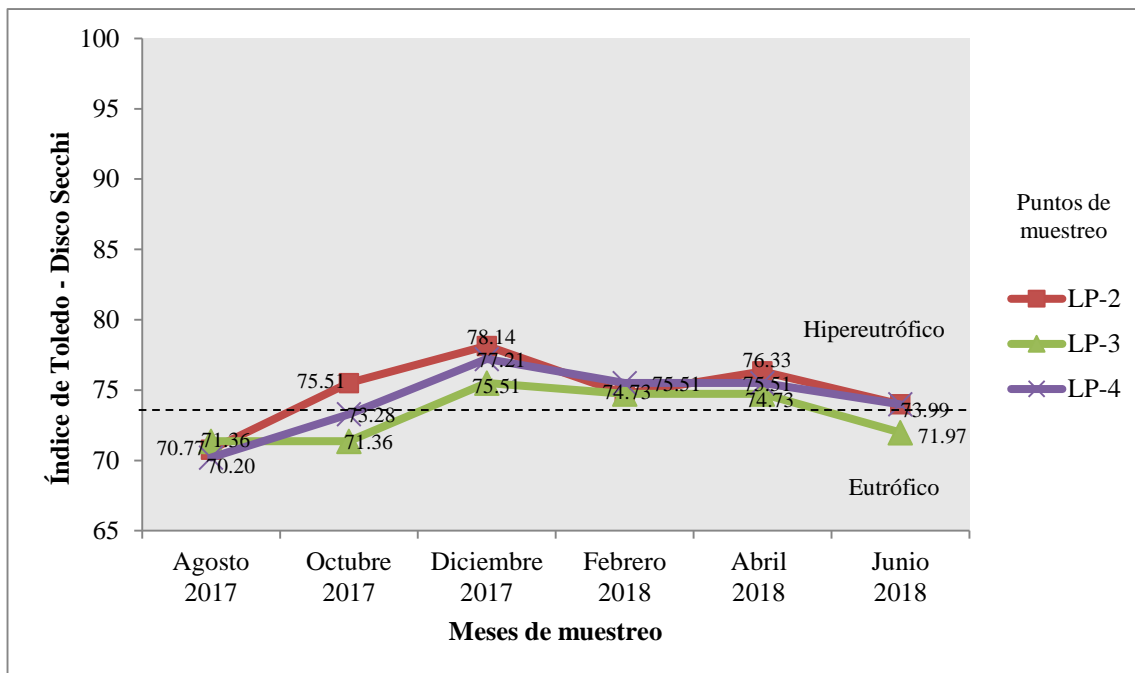
5.10.3. Índice de Toledo et al. (1984) – Disco Secchi

El IET_M aplicado para Disco Secchi (Tabla 25 y Figura 36) permite clasificar a la laguna La Pampa en un nivel Hipereutrófico y Eutrófico (Tabla 29).

El valor del IET_M promedio más alto fue 74.91 en el punto LP-2 y por mes de muestreo se presentó en Diciembre con 76.95. El CV para cada punto de muestreo arrojó valores que fluctuaron entre 2.61% en LP-3 y 3.32% en LP-2 y para cada campaña de muestreo fueron de 0.60% en Febrero de 2018 y 2.83% en Octubre de 2017, indicando un comportamiento homogéneo.

Figura 36

Variación temporal del Índice de Toledo-Disco Secchi en los puntos de muestreo



Nota. Elaboración propia.

Granizo (2011) encontró en la laguna de Limoncocha en Ecuador, valores que fluctuaron entre $IET_M = 56$ a $IET_M = 72$, Moreno y Ramírez (2010) reportaron en el lago del Parque Norte (Medellín-Colombia), resultados que varían entre $IET_M = 56$ a $IET_M = 66$, ambos estudios clasifican a las lagunas en un nivel Eutrófico, todos estos valores son más bajos comparados con los de La Pampa.

5.11. Índice de OCDE (1982)

Los valores de los parámetros clorofila "a", fósforo total y Disco Secchi, permitieron determinar el estado trófico por medio del índice de OCDE el cual clasifica a la laguna La Pampa en un nivel Hipereutrófico (Tabla 30); a excepción del punto LP-1 en el cual se clasifica como Ultraoligotrófico en todos los meses para la concentración de clorofila "a", esta diferencia se debe a que los valores de clorofila "a" en este punto, fueron menores al límite de detección en casi todos los meses de monitoreo.

Los promedios aritméticos anuales de clorofila "a"; arrojaron valores que variaron entre $<1.17 \text{ mg/m}^3$ en LP-1 y 178.00 mg/m^3 en LP-3 (Tabla 16), los promedios de fósforo total de 201.17 mg/m^3 en LP-2 a 320.83 mg/m^3 en LP-3 (Tabla 17) y de Disco Secchi fluctuaron entre 0.19 m en LP-2 y 0.20 m en LP-4 (Tabla 15).

Díaz y Sotomayor (2012) encontraron en la laguna Conococha (Ancash-Perú) un promedio anual de 46 mg/m^3 para clorofila "a", para fósforo total promedios de 128.9 mg/m^3 y 132 mg/m^3 y para Disco Secchi promedios de 0.69 m y 0.62 m en temporada de lluvia y estiaje respectivamente, clasificándose según OCDE en un nivel Hipereutrófico. Asimismo Avelino (2011) encontró en la laguna de Patarcocha (Cerro de Pasco-Perú) un mínimo de 20.4 mg/m^3 y máximo de 57.8 mg/m^3 de clorofila "a", el fósforo total presentó un mínimo de 45.9 mg/m^3 y máximo de 209.7 mg/m^3 oscilando la clasificación para ambos parámetros de Eutrófico a Hipereutrófico, además el Disco Secchi mostró un mínimo de 1.10 m y un máximo de 4.40 m variando de Mesotrófico e Hipereutrófico, comparativamente estos valores son ligeramente distintos a lo encontrado en La Pampa pero similares en su nivel de eutrofización.

5.12. Índice de CEPIS

Los valores de los parámetros clorofila "a" y fósforo total permitieron determinar el estado trófico por medio del índice de CEPIS, el cual clasifica a la laguna La Pampa en un nivel Eutrófico (Tabla 31), a excepción del punto LP-1 en el cual se clasifica como Oligotrófico para la concentración de clorofila "a".

Los promedios geométricos anuales de clorofila "a" arrojaron valores que fueron entre $<1.12 \text{ mg/m}^3$ en LP-1 y 168.84 mg/m^3 en LP-3 (Tabla 16), los promedios de fósforo total fluctuaron entre 173.43 mg/m^3 en LP-2 a 307.64 mg/m^3 en LP-3 (Tabla 17).

Los datos recopilados por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) en el estudio internacional sobre la eutrofización de los lagos de aguas cálidas tropicales (Salas y Martino, 1990), mostraron valores de clorofila "a" en lagos de México que fluctuaron entre 1.67 mg/m^3 y 31.8 mg/m^3 de fósforo total, variando desde 23 mg/m^3 a 680 mg/m^3 ; comparativamente con La Pampa, son picos mucho menores para clorofila "a" y mayores para fósforo total; los embalses de Brasil, presentaron valores de clorofila "a" que fluctuaron entre 1.50 mg/m^3 y 32.10 mg/m^3 y para fósforo total, variando desde 16 mg/m^3 a 115 mg/m^3 , ambos parámetros presentan picos menores a La Pampa.

VI. CONCLUSIONES

- El estado trófico de la laguna La Pampa es mayormente Eutrófico a Hipereutrófico, según los índices de Carlson, Toledo, OCDE y CEPIS.

En cuanto al índice de Carlson, un 84.6% de los datos indican un nivel Hipereutrófico, el índice de Toledo muestra un 60% de datos que lo clasifican como Hipereutrófico y 30% como Eutrófico, el índice de la OCDE presenta un 90% de datos que indican un nivel Hipereutrófico y el índice de CEPIS señala un 85.7% de los datos que lo clasifican como Eutrófico, siendo ese el máximo nivel según su metodología.

- La Temperatura durante el periodo de estudio varió de un mínimo de 18.30 °C a un máximo de 27.50 °C, el pH de un mínimo de 6.79 a un máximo de 8.43, la Conductividad de un mínimo de 5.25 mS/cm a un máximo de 14.10 mS/cm.

La clorofila "a" varió de <1 mg/m³ hasta 271 mg/m³, sus menores valores se presentaron en Agosto de 2017 y Junio de 2018, lo que permite confirmar la hipótesis de que los valores son menores en temporada húmeda.

El fósforo total varió de 62 mg/m³ hasta 467 mg/m³, el punto LP-2 presentó su menor valor en época húmeda; por otra parte, LP-3 y LP-4 lo presentaron en época seca, por lo que se descarta la hipótesis para este parámetro.

El nitrógeno total varió de 0.51 mg/l hasta 8.96 mg/l, sus menores valores se presentaron en Agosto de 2017 y Junio 2018, en consecuencia, se confirma la hipótesis de que los valores son menores en temporada húmeda.

Los valores de profundidad de Disco Secchi varían de 0.15 m a 0.26 m, los mínimos valores se presenta en Diciembre correspondiente a época seca, por lo cual se rechaza la hipótesis para este parámetro.

- El 72.2% de los resultados nitrógeno/fósforo (NT/PT) mostraron valores mayores a 9, confirmándose de esta forma la hipótesis de que la laguna La Pampa está potencialmente limitada por fósforo.
- La Temperatura y el Disco Secchi muestran una correlación moderada ($r = -0.688$, $p = 0.002$), el pH y la Conductividad presentan una correlación moderada ($r = 0.670$, $p = 0.000$), la clorofila "a" y el pH poseen una correlación baja pero significativa ($r = 0.438$, $p = 0.002$) así como con la conductividad indica una correlación moderada ($r = 0.602$, $p = 0.002$), el nitrógeno total y fósforo total señalan un correlación moderada ($r = 0.700$, $p = 0.001$), el Disco Secchi y la clorofila "a" manifiestan una correlación moderada ($r = -0.651$, $p = 0.003$). Todas las correlaciones significativas fueron moderadas, descartándose la hipótesis que indica que las correlaciones son altamente significativas.
- Los índices de Carlson durante el periodo de estudio, señalan para Disco Secchi coeficientes de variación (CV%) de 2.32% a 2.95%, para clorofila "a" muestran un CV% de 4.45% a 8.94%, para fósforo total un CV% de 5.26% a 11.59%, para nitrógeno total un CV% de 17.36% a 23.27%, de donde se infiere que el fósforo total, tuvo mayor rango de variación. Los índices mantuvieron mayormente una clasificación de Hipereutrófico en todos los meses.

Con respecto al índice de Toledo para Disco Secchi, señalan coeficientes de variación (CV%) de 2.61% a 3.32%, para clorofila "a" muestran un CV% de 4.49% a 9.02%, para fósforo total un CV% de 5.75% a 12.80%, de donde se deduce que el fósforo total tuvo mayor rango de variación. Los índices mantuvieron mayormente una clasificación de Hipereutrófico en todos los meses, a excepción de Agosto de 2017 y Junio de 2018 en los cuales predominó la clasificación Eutrófico.

- Como medidas preventivas ante la eutrofización, se plantean dos alternativas, la primera es la construcción de una barrera verde que consiste en la forestación, y la segunda es la colocación de una malla, ambas opciones se aplicarían en 955 m de una parte del perímetro de la laguna (Figura 14), el costo será de 1480.00 soles si se trata de la primera alternativa. Además, se plantea realizar o continuar con las actividades de educación ambiental, como también con la limpieza y mantenimiento de canales y drenes, estas labores se encuentran contempladas dentro del Plan Maestro del área por lo que no se indican costos en la presente investigación.

Como medida de manejo se propone la fitorremediación, teniendo como opciones a *Eichhornia crassipes* o *Lemna minor*, eligiéndose a *E. crassipes* por presentar un mejor manejo y menor riesgo de propagación descontrolada en la laguna, a su vez se plantea la construcción de cinco sistemas flotantes como proyecto piloto para la fitorremediación de un espejo de agua (Figura 19), teniendo un costo de 450.00 soles.

VII. RECOMENDACIONES

- Las clasificaciones: ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipereutrófico. Son la forma de presentar los resultados para ser entendibles por el público en general; sin embargo, para un control interno, al evaluar el estado trófico, tener en cuenta que la escala es numérica antes que nomenclatural.

Entender que la eutrofización como tal, es un proceso a largo plazo y el nivel trófico representa un estado; si bien los índices fueron creados en otras partes del mundo, en el cual las aguas de los humedales quizá no están expuestas a las mismas presiones antrópicas que los humedales costeros de Perú, tener el resultado de un índice es un punto de partida para poder tomar decisiones de gestión.
- Realizar mediciones de los parámetros fisicoquímicos del presente estudio a una escala temporal más amplia, para conocer la dinámica de los nutrientes en la laguna La Pampa, diferenciando temporada húmeda y seca.
- Incluir la metodología de los índices a los programas de monitoreo y determinar la eutrofización para las demás lagunas de los Humedales de Villa, midiendo sólo la clorofila "a" si se dispone de limitado presupuesto, considerando centros, bordes y canales; el uso del disco Secchi no se recomienda para la laguna La Pampa pues sus aguas pueden causar interferencia en las mediciones debido al material particulado no algal presente.

- Los sistemas flotantes pueden incrementarse a un número de diez, conforme se compruebe que los niveles de nutrientes y clorofila disminuyan. Se puede llegar a cubrir un máximo de 30% del espejo para que no presente inconvenientes con la oxigenación del agua. La siembra debe de cubrir la mitad de cada sistema flotante para dar espacio al crecimiento, y la cosecha debe de ser periódica, evitando la presencia de plantas podridas ya que puede presentar olores y contaminación por bacterias.

VIII. REFERENCIAS

- Abarca, F. J. (2007). Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos. En: Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez, R., y Zambrano, L. (Eds). Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Instituto Nacional de Ecología, 113-144.
- Abate, J. (1993). Biología Aplicada. Editorial universidad estatal a distancia San José, Costa Rica.
- Agencia para el Desarrollo Económico y Local (ADEL), Fondo de la Iniciativa para las Américas de El Salvador (FIAES) (2014). Investigación de la caracterización del Jacinto de agua *Eichornia crassipes* del humedal Cerrón Grande, para determinar su aprovechamiento como materia prima para la elaboración de productos agroindustriales, industriales o artesanales. Chalatenango, El Salvador, Centroamérica.
- Aizaki, M., Otsuki, A., Fukushima, T., M. Hosomi, M. y Muraoka, K. (1981). Application of Carlson's trophic state index to Japanese lakes and relationships between the index and other parameters. *Verh. Internat. Verein Limnol.* 21:675-681.
- Alonso, J. R. (2011). Manual de Histología Vegetal. España: Mundi-Prensa
- Alvarez, C. C. (2016). Determinación analítica de detergentes en las aguas de los Pantanos de Villa (Tesis de grado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Álvarez, P. P., y Santiago, C. A. (2006). Ausencia de biotoxina ácido domoico en los Pantanos de Villa. *Ecolog. apl.*, 5 (1-2), 167-170.
- Amaya, P., Muñoz, C., y Cueva, R. (1998). Informe final proyecto: Cálculo de los beneficios económicos para mejorar la calidad del agua del humedal "Los Pantanos de Villa". Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú.

- Arana, C. (1998). Relaciones fitogeográficas de la flora vascular de los Pantanos de Villa. En: A. Cano y K. Young (Eds.) Los Pantanos de Villa: Biología y Conservación. Serie de Divulgación, Museo de Historia Natural-UNMSM, 11, 163-179.
- Arellano, J. A., y Guzmán, J. E. (2011). Ingeniería Ambiental. 1a ed. México: Alfaomega Grupo Editor S.A.
- Arias, F. G. (2006). El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica. 5a. ed. Caracas - Venezuela: Episteme.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (R.J. N° 010-2016-ANA). Lima- Perú. 86 pp.
- Avelino, C. G. (2011). Monitoreo y diagnóstico de la eutroficación de la laguna de Patarcocha por actividades antropogénicas, en Cerro De Pasco. Universidad Nacional Del Callao, Lima, Perú.
- Avila, J. D., Castillo, D. A., y Zárate, W. s. (2000). Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), alternativa para el tratamiento de agua dulce en producción acuícola (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Barbier, E., Constanza, R., y Twilley, R. (1994). Lineamientos para la evaluación de humedales tropicales. 1st ed. Turrialba, Costa Rica: CATIE, Proyecto Conservación para el Desarrollo Sostenible en América Central.
- Batista, A. A.; Meireles, A. C. M.; Andrade E. M. de; Izidio N. S. de C.; Lopes, F. B. (2014). Sazonalidade e variação espacial do índice de estado trófico do açude Orós, Ceará, Brasil. Revista Agroambiente, v. 8, n. 1, pp. 39-48.

- Benites, E., Calderón, H., Cotos, D., y Salvador, M. (2013). Factores abióticos y su influencia en la eutrofización estacional en las aguas de la laguna La Encantada, año 2013. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho.
- Berlanga-Robles, C., Ruiz-Luna, A., y de la Lanza-Espino G (2008). Esquema de clasificación de los humedales de México. Investigaciones geográficas, Boletín del instituto de geografía, 66, 25-46.
- Berlanga-Robles, C., y Ruiz-Luna, A. (2004). Análisis comparativo de los sistemas clasificatorios de humedales. Instituto Nacional de Ecología/Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. México. Archivo interno.
- Bieberach, H. J. (2013). Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado Delicias de Villa y Anexos - distrito de Chorrillos (Tesis de grado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Blanco, D. (2000). Los Humedales como Hábitat de aves acuáticas. Boletín UNESCO, Uruguay: 208-217.
- Burgos, C. (1983). Ciclos biogeoquímicos importantes. Curso de Investigación y Desarrollo de tecnología para sistemas de producción de cultivos, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- Burgos, M.D., y García, E. (2007). Atlas de Microorganismos presentes en los humedales Andaluces. Consejo del Medio Ambiente, Junta de Andalucía, España.
- Calderón, R., Sumarán, R., Chumpitaz, J., y Campos, J. (2011). Sistematización del I congreso regional de educación ambiental - Huánuco 2010.

- Camargo, J. A., y Alonso, Á. (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: a global assessment. *Environment international*, 32(6), 831-849.
- Campos, E. M. (2015). Estudio de los efectos de las actividades ribereñas de la población en el comportamiento de la laguna de Ñahuinpuquio - Chupaca (Tesis de Maestría). Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Cano, A., La Torre, M. I., León, B., Young, K., Roque, J., y Arakaki, M. (1998). Estudio comparativo de la Flora vascular de los Principales Humedales de las Zona Costera del Departamento de Lima, Perú. En: A. Cano y K. Young (Eds.) *Los Pantanos de Villa: Biología y Conservación. Serie de Divulgación, Museo de Historia Natural-UNMSM*, 11, 181-190.
- Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*. 22(2), 361-369.
- Castro, E., Huamán, O., y Ortega, H. (1998). Ictiofauna de los Pantanos de Villa: composición, abundancia y aspectos ecológicos. En: A. Cano y K. Young (Eds.) *Los Pantanos de Villa: Biología y Conservación. Serie de Divulgación, Museo de Historia Natural-UNMSM*, 11, 75-83
- Castro, M. L. (1995). Procedimientos simplificados de análisis químicos de aguas residuales, Programa de control de Calidad y Desarrollo de Laboratorios. Lima, Perú: Organización Mundial de la Salud.
- Cepeda, C. J. (2016). Conexión trófica entre las comunidades planctónicas y la avifauna silvestre en Pantanos de Villa, Lima, Perú (Tesis de grado). Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú.

- Chapman, D. (1996). Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. E& FN Spon, Londres, Inglaterra. 626 p.
- Chinchayán, V.; Pulido, G.; Oblitas, L. y Peña, F. (2008). Análisis y determinación de macrozoobentos en la Laguna Marvilla de los Humedales de Villa, Chorrillos– Perú. Universidad Ricardo Palma.
- Cirujano, S. (2003). Conservación y gestión de la flora y la vegetación acuáticas. En: Paracuellos, M. (Ed.) Ecología, manejo y conservación de los humedales, Instituto de Estudios Almerienses, 35-46.
- Contreras, A., y Molero, M. (2011). Ciencia y tecnología del medioambiente. Editorial UNED, Madrid.
- Convención sobre Zonas Húmedas de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de las Aves Acuáticas (2 de febrero de 1971). Ramsar, Irán.
- Coronel, C. (2016). Eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y lenteja de agua (*Lemna minor*) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas - Chachapoyas 2015 (Tesis de grado). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú.
- Cowardin, L.M., V. Carter, F. C. Golet y E. T. LaRoe. (1979). Classification of Wetlands and deepwater habitats of the United States. U.S. Fish and Wildlife Service, FWS/OBS 79/31.
- Cruz, M., Carbo, N., Gonzales, J. L., Tito, G. M., Depaz, K., Torres, S., Núñez, R., y Quispe, W. (2016). Tratamiento De Las Aguas De La Laguna “Mansión” Mediante La Especie *Eichhorniacrassipes*, Para El Riego De Áreas Verdes En La Universidad Peruana Unión. IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science, 9(8), 53-65.

- Cruz, Z. A. (2002). Evaluación del Estado de Conservación de las Lagunas El Paraíso, provincia de Huaura, Departamento de Lima, Perú (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Curt, M. (s.f). Fitodepuración en humedales - Conceptos generales. En: Manual de fitodepuración - filtros de macrófitas en flotación. Madrid: Profesora titular de Producción Vegetal. Universidad Politécnica de Madrid.
- Daga, C. y Pierotto, M. (2011). Guía de identificación de algas. Instituto de enseñanza Superior Simón Bolívar, Córdoba, Argentina.
- Delgadillo, A. E., González, C. A., Prieto, F., Villagómez, J. R., y Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612.
- Des Abbayes, H., Feldmann, J., De Ferré, Y., Gausсен, H., Grassé, P., Cahdefaud, M., y Prévot, A. R. (1989). Botánica vegetales inferiores. Editorial Reverté. Barcelona.
- Diaz, A. C., y Sotomayor, L. F. (2012). Evaluación de la eutrofización de la laguna Conococha – Ancash a agosto de 2012 (Tesis de grado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Ancash, Perú.
- Dirección General de Salud Ambiental. (2005). Pantanos de Villa: Vigilancia de la calidad de los Recursos Hídricos – Registro de datos. Ministerio de Salud. Lima- Perú.
- Drovandi, A., Zuluaga, J., Filippini, M., Bermejillo, A., Peralta, P., Bustamante, M., ... Nacif, N. (2005). Diagnóstico preliminar del estado trófico de las aguas del embalse el carrizal, provincia de Mendoza., In: XX Congreso Nacional del Agua y III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur 9 al 14 de Mayo 2005, Mendoza, Argentina.

- Duárez, J. (1998). Composición y riqueza de arañas (Arachnida: Araneae) en los Pantanos de Villa. En: A. Cano y K. Young (Eds.) Los Pantanos de Villa: Biología y Conservación. Serie de Divulgación, Museo de Historia Natural-UNMSM, 11, 105-113
- Duárez, J. (1998). Composición y riqueza de arañas (Arácnida: Araneae) en los Pantanos de Villa. En: A. Cano y K. Young (Eds.) Los Pantanos de Villa: Biología y Conservación. Serie de Divulgación, Museo de Historia Natural-UNMSM, 11, 105-113.
- Dugan, P. J. (1992). Conservación de Humedales: un análisis de temas de actualidad y acciones necesarias. UICN, Gland, Suiza. 100 pp.
- Elmore, T. (1904). Régimen de las aguas filtrantes del Rimac. Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Lima, 13, 9-128.
- García, Z. A. (2012). Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas (Tesis de grado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Gattenlöhner, U., Hammerl-Resch, M., Jantschke, S., Eds. (2004). Restauración de Humedales - Manejo Sostenible de Humedales y Lagos Someros.
- Gobierno Vasco (2002). Caracterización de las Masas de Agua Superficiales de la CAPV. Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, Gobierno Vasco
- Gobierno Regional de Lima (2017). Conservar los Humedales Costeros de la región Lima: Una Acción Contra el Cambio climático.
- Gonzales, A. G. (2000). Evaluación del impacto ambiental sobre los ecosistemas de humedales utilizando modelos matemáticos: Pantanos de Villa (Tesis de grado). Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú.

- Gopal, B. (2003). Perspectives on wetland science, application and policy. *Hydrobiologia* 490, 1–10.
- Granizo, F. A. (2011). El estado trófico de la Laguna de Limoncocha en el período (febrero 2010 – enero 2011) (Tesis de grado). Universidad Internacional SEK, Ecuador.
- Guadalupe, L. (2002). Estimación de la contaminación por nitrógeno derivada de la actividad humana en las aguas superficiales y subterráneas del valle del Yaqui, Sonora (Tesis de Maestría). Instituto tecnológico de Sonora, México.
- Guamán, M. C., y González, R.N. (2016). Catálogo de microalgas y cianobacterias de agua dulce del Ecuador, Corporación para la Investigación Energética, Laboratorio de Biotecnología Energética, Quito, Ecuador.
- Guerra, A., y Pascual, S. (2008). La descomposición de la ecología. Netbiblo.
- Guillén, G. K. (2002). Diversidad Protozoológica de los Pantanos de Villa, Chorrillos. Lima-Perú” (Tesis de grado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Escuela de Ciencias Biológicas, Lima.
- Henry, J. G., y Heinke, G. W. (1999). Ingeniería Ambiental. 2a ed. México: Pearson Educación.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2010). Metodología de la investigación. 5ª ed. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.. Hutchinson, G. E. (1957). A treatise on limnology, v.1. Wiley.
- Iannacone, J., Atasi, M., Bocanegra, T., Camacho, M., Montes, A., Santos, S., ... y Alayo, M. (2010). Diversidad de aves en el humedal Pantanos de Villa, Lima, Perú: periodo 2004-2007. *Biota Neotropica*, 10(2), 295-304.
- Infozoa. (2014). Boletín de zooplancton: Editorial Unimagdalena. Universidad del Magdalena, Colombia.

- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018). Perú: Crecimiento y distribución de la población, 2017.
- J.J.R. DURAND S.A.C. (2012). Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Instalación de Redes Secundarias de Agua Potable y Alcantarillado del Esquema Huertos de Villa y Anexos en el Distrito de Chorrillos.
- Jaramillo, M. D., y Flores E. D. (2012). Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua), y *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera (Tesis de grado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- Kratzer, C. R., y Brezonik, P. L. (1981). A Carlson type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. *Water Resources bulletin America Water Resources Association*, 17(4), 713-715.
- Lagos, C. A. (2005). Utilización del Jacinto acuático *Eichhornia crassipes* ((Mart) Solms 1883) como sistema de tratamiento para la eliminación de materia orgánica y color en efluente de celulosa kraft (Tesis de grado). Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile.
- Lakewatch, F. (2004). *Trophic State: A Waterbody's Ability To Support Plants, Fish, and Wildlife*.
- Lemna minor* (s.f.). Alamy.es. Recuperado el 23 Abr. 2019 de: <https://www.alamy.es/mejora-digital-de-alta-calidad-en-la-reproduccion-lemna-minor-la-lenteja-de-agua-comun-o-menor-acuatica-lemna-es-una-planta-de-agua-dulce-del-genero-lemna-image223995084.html>

- León, B., Young, K. R., y Cano, A. (1998). Uso Actual de la Flora y Vegetación en los Humedales de la Costa Central del Perú. En: A. Cano y K. Young (Eds.) Los Pantanos de Villa: Biología y Conservación. Serie de Divulgación, Museo de Historia Natural-UNMSM, 11, 191-204.
- León, B.; Cano, A. y Young, R. (1995). La flora vascular de los Pantanos de Villa, Lima, Perú: Adiciones y guía para las especies comunes. Publicaciones del Museo de Historia Natural-UNMSM. (B) 38:1-39.
- Liviac, H. R. (2002). Evolución histórica hídrica superficial de los Pantanos de Villa (Tesis de grado). Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú.
- Loayza, K., Castillejos, K., Mestas, R., Quiliche, J. (2017). Estudio de la teledetección y caracterización fisicoquímica del humedal “El Cascajo”, Santa Rosa, Chancay- Lima, Perú. *Infinitum...*, 7(1), 52-28.
- López, M. L., y Madroñero, S. M. (2015). Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: caso laguna de La Cocha. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25 (2), 21-42.
- López, L. A. (2008). Estudio limnológico del lago de Guija, determinación de su estado de eutrofización (Tesis de Maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Margalef, R., Planas, M. D., Armengol, J., Vidal, A., Prat, N., Guiset, A., Toja, J. y Estrada, M. (1976). *Limnología de los embalses españoles*. Dirección General de Obras Hidráulicas Ministerio de Obras Públicas. Madrid. 452 pp.
- Martelo, J., y Lara, J. A. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y ciencia*, 8(15), 221-243.
- Martino, P. (1989). Curso básico sobre eutrofización. In *Curso básico sobre eutrofización*. CEPIS.

- Mazzeo, N., Clemente, J., García-Rodríguez, F., Gorga, J., Kruk, C., Larrea, D., ... y Scasso, F. (2002). Eutrofización: causas, consecuencias y manejo. Grupo de Ecología y Rehabilitación de Sistemas Acuáticos Someros. Sección Limnología, Departamento de Ecología. Facultad de Ciencias. Iguá, 4225, 39-55.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2013). Primer Reporte del Estado del medio Ambiente. Ministerio del Medio Ambiente de Chile. Recuperado de: www.mma.gob.cl.
- Mitsch, W.J y Gosselink, J. G. (1986). Wetlands. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Montoya, M. (2012). La flama de la ciencia: Agua dulce al borde del mar [Mensaje en un blog]. Modesto Montoya. Recuperado de: http://modestomontoya.blogspot.pe/2012/11/la-flama-de-la-ciencia-agua-dulce-al_9.html
- Moreno, D. P., y Ramírez, J. J. (2010). Variación temporal de la condición trófica del lago del Parque Norte, Medellín (Antioquia), Colombia. *Actualidades Biológicas*, 32(92), 75-87.
- Moreno, D. P., Quintero, J., y López, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *ContactoS*, 78, 25-33.
- Morón, O. (2000). Características del ambiente marino frente a la costa peruana. *Boletín del Instituto del Mar del Perú* 19, 179–204.
- Moschella, P. (2012). Variación y protección de humedales costeros frente a procesos de urbanización: caso Ventanilla y Puerto Viejo. (Tesis doctoral). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Mugruza, H. J. (2013). Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado Delicias de Villa y Anexos-Distrito Chorrillos (Tesis de grado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

- Mulhauser, H. A. (1991). Generalidades sobre el uso del índice de cambios ecológicos en ecosistemas acuáticos templados. II Taller Internacional Sobre Ecología y Manejo de Peces en Lagos y Embalses (II: 1991: Santiago de Chile). Santiago de Chile: COPESCAL, FAO, 101-111.
- Odum, E.P. y Warrett, G.W. (2006). Fundamentos de ecología. 5 ed. Santa Fe México.
- Ongley, E. D. (1997). Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Estudio FAO: Riego y drenaje 55. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (1982). La Eutrofización de las aguas. Métodos de seguimiento, evaluación y control. París.
- Ortega, G. F. (2015). Relación entre la carga de nutrientes y el estado trófico de la bahía interior del lago Titicaca Puno-2015 (Tesis de grado). Universidad Privada San Carlos, Puno, Perú.
- Pacheco Ávila, J., y Pat Canul, R., y Cabrera Sansores, A. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Ingeniería*, 6 (3), 73-81.
- Pacheco, V., Zevallos, A., Cervantes, K., Pacheco, J., y Salvador, J. (2015). Mamíferos del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa, Lima-Perú. *Científica*, 12(1), 26-41.
- Paredes, W. (2010). Diversidad y variación espacio-temporal de las comunidades de arañas en la Zona Reservada de Pantanos de Villa, Lima, Perú (Tesis de grado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Escuela de Ciencias Biológicas, Lima.

- Pautrat, L., y Riveros, J. (1998). Evaluación de la avifauna de los Pantanos de Villa. En: A. Cano y K. Young (Eds.) Los Pantanos de Villa: Biología y Conservación. Serie de Divulgación, Museo de Historia Natural-UNMSM, 11, 85-103.
- Pelczar, M. J., Reid, R. D., y Chan, ECS. (1993). Microbiología. 4a ed. México: Editorial McGraw-Hill.
- ProNaturaleza (2010). Humedales de la Costa Peruana: documento base para la elaboración de una estrategia de conservación. 1ed. Lima. 89 pp.
- Pulido, V. y R. Gutiérrez. (1989). Establecimiento de la Zona Reservada de los Pantanos de Villa. Dirección General Forestal y de Fauna. Lima (mimeo), 13 pp.
- Ramírez, D. W., y Cano, A. (2010). Estado de la diversidad de la flora vascular de los Pantanos de Villa (Lima-Perú): State of vascular flora diversity from Pantanos de Villa (Lima-Peru). *Revista Peruana de Biología*, 17(1), 111-114.
- Ramírez, J. J. (2000). Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios. Universidad de Antioquia, Colombia. 207 pp.
- Ramírez, J. J., González, R., y Gutiérrez, F. L. (2012). Establecimiento del nutriente limitante con base en los cambios de la estructura del ensamblaje fitoplanctónico en un embalse tropical colombiano. *Caldasia*, 34(2), 421-441.
- Ramírez, J.J. y T. Machado. (1982). Influencia de la Precipitación y ortofosfatos sobre el fitoplancton de la represa La Fe. *Actual. Biol.* 11(39):3-21.
- Randolph, J.C., y Wilhm, J. (1984). Seasonal variation in the phytoplankton and the trophic state of a southern great plains reservoir. *Proc. Okla. Acad Sci*, 64, 57-62.

- Rodríguez, L., S. (2012). Determinación del estado trófico de tres ecosistemas lénticos de la Sabana de Bogotá con base al fitoplancton, en dos periodos climáticos contrastantes (Tesis de pregrado). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá.
- Rodríguez, M. N., y Toro, L. C. (2006). Estandarización del tiempo de incubación y concentración de CaCO_3 , SO_4 $(\text{NH}_4)_2$ y KNO_3 para la prueba del NMP con bacterias nitrificantes y denitrificantes usando como matriz compost (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Roldán, G., y Ramírez, J. J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. 2a ed. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.
- S. I. H. Jafri, M.A. Mahar, W. A. Baloch y N. T. Narejo. (2006). Trophic State Index, morphoedaphic index and fish yield prediction in a sub-tropical lake, Manchar (Sindh), Pakistan. *Bangladesh Journal of Fisheries Research*, 10(2), 131-137.
- Salas, H., y Martino, P. (1990). Metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales. Programa Regional CEPIS/HPE/OPS.
- Salas, H., y Martino, P. (1996a). Curso de eutroficación en lagos cálidos tropicales, marco conceptual de eutroficación (Santo Domingo, República Dominicana, 2-6 de septiembre de 1996). Lima, Perú: Organización Mundial de la Salud.
- Salas, H., y Martino, P. (1996b). Curso de eutroficación en lagos cálidos tropicales, enfoque del problema de eutroficación (Santo Domingo, República Dominicana, 2-6 de septiembre de 1996). Lima, Perú: Organización Mundial de la Salud.
- Samanez, I., Rimarachin, V., Palma, C., Arana, C., Ortega, H., Correa, V., y Hidalgo, M. (2014). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton,

- perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. Departamento de ictiología-Lima: Ministerio del Ambiente. 75p.
- Sánchez, G., Blas, L., y Chau, G. (2010). Informe nacional sobre el estado del ambiente marino del Perú. Convenio Imarpe-Cpps. Programa Conpacse III. Lima-Perú.
- Sanchez, J. M., y Zamora, S. D. (2012). Producción y calidad del agua del bordo Huitchila, Morelos, México (Tesis de grado). Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- Sarmiento, L., y Morales, E. (1998). Protozoarios, turbelarios y nemátodos de los Pantanos de Villa, Lima, Perú: su importancia en el ecosistema. En: A. Cano y K. Young (Eds.) Los Pantanos de Villa: Biología y Conservación. Serie de Divulgación, Museo de Historia Natural-UNMSM, 11, 41-54.
- Schmid, A. G. (2008). Diferenciación espacial en la metodología de Análisis del Ciclo de Vida: desarrollo de factores regionales para eutrofización acuática y terrestre. Univ Santiago de Compostela.
- Secretaría de la Convención de Ramsar (2013). Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971), 6a. edición. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).
- Seeliger, E. y Kjerfve, B. (Eds). (2001). Coastal marine ecosystems of Latin America. Ecological Studies 144, 360 pp.
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (1998). Plan Maestro del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa. Lima - Perú.
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (2016). Plan Maestro del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa. Lima - Perú.

- Sierra, C. A. (2011). Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico. 1a ed. Sello Editorial de la Universidad de Medellín.
- Smith, R. L. y Smith, T. M. (2007). Ecología. 6a ed. Madrid: Pearson Educación - Addison Wesley.
- Stoppiello, L. A. (2009). Estudio de caso único: vicisitudes en la selección de la muestra de una investigación doctoral. *Subjetividad y procesos cognitivos*, 13(2), 224-246.
- Tello, E., Sifuentes, P., Resurrección, J., Cabello, J., Sifuentes, A., Salvador, J., ...Bustamante, A. (2014). Caracterización de sedimentos de la laguna El Paraíso, Huacho, región Lima. *Infinitem...*, 4(1).
- The pond experts (s.f.). Pondexperts.ca. Recuperado el 23 Abr. 2019 de: <https://www.pondexperts.ca/fish-koi-medications/broad-spectrum-koi-medications/Water-Hyacinth-Compact-Variety-12-Plants-p3896644>
- Toledo, A. P., Agudo, E. G., Tolarico, M., y Chinez, S. J. (1984). A Aplicação de Modelos Simplificados para a Avaliação do Processo da Eutrofização em Lagos e Reservatórios Tropicais. In: XIX Congresso Interamericano de Engenharia, Santiago do Chile, Novembro. 56 p.
- Torres, F. J. (2014). Observaciones sobre el estado trófico de un conjunto de lagunas costeras del arco atlántico-mediterráneo español. *Encuentros en la Biología*, 7(147), 21-24.
- Tucto, R. A. (2014). Limnología y nivel Trófico de la Laguna de Urcos – Cusco (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Ciencias Biológicas, Perú.
- Unión Fenosa (2002). Biomasa el recorrido de la energía. Dirección General de Industria, Energía y Minas, Madrid.

- Vásquez, G., Herrera, L., Cantera, J., Galvis, A., Cardona, D., y Hurtado, I. (2012). Metodología para determinar niveles de Eutrofización en ecosistemas acuáticos. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 1(24),112-128.
- Vidal-Abarca, R., Suárez, L., Gómez, R., y Ramírez-Díaz, L. (1994). *Ecología de aguas continentales: prácticas de limnología* (Vol. 1). Universidad de Murcia.
- Villalva, K. M., y Lima, M. J. (2016). Estado trófico de la laguna de Piuray – Chinchero – Cusco (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Ciencias Biológicas, Perú.
- Villaseñor, C. J. (1998). *Eliminación biológica de fósforo en aguas residuales urbanas* (Vol. 122). Universidad de Castilla-La Mancha.
- Vincent, W. F., Wurtsbaugh, W. A., Vincent, C. L., y Richerson, P. J. (1984). Seasonal dynamics of nutrient limitation in a tropical high-altitude lake (Lake Titicaca, Peru-Bolivia): application of physiological bioassays. *Limnol. Oceanogr.*,29, 540-552.
- Vivar, G. R., Ramírez, M. R., Huamán, M. P. (1998). Moluscos de los Pantanos de Villa y su aporte a la Conservación. En: A. Cano y K. Young (Eds.) *Los Pantanos de Villa: Biología y Conservación*. Serie de Divulgación, Museo de Historia Natural-UNMSM, 11, 55-73.
- Von Sperling, M. (2005). *Introdução à Qualidade da Águas e ao Tratamento de Esgotos*. 3 ed. Editora UFMG, Belo Horizonte.
- Warner, B. G., y Rubec C.D.A. (1997) *The Canadian Wetland Classification System*, 2a edition. National Wetlands Working Group, Wetlands Research Centre, University of Waterloo, Waterloo, Ontario.

- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology. Lake and River Ecosystems*, Third Edition Academic Press, USA, 1006 p.
- Young, K. R. (1998). El Ecosistema. En: A. Cano y K. Young (Eds.) *Los Pantanos de Villa: Biología y Conservación. Serie de Divulgación, Museo de Historia Natural-UNMSM*, 11, 3-20.
- Zaror, C. (2002). *Introducción a la ingeniería ambiental para la industria de procesos*. Editorial Universidad de Concepción.
- Zouiten, H. (2012). *Análisis Mediante Modelado Avanzado de Procesos de Eutrofización en Lagunas Litorales: Aplicación a Masas de Agua Atlánticas y Mediterráneas* (Tesis doctoral). Universidad de Cantabria, Santander, España.

IX. ANEXOS

ANEXO A
Informes de ensayo

INFORME DE ENSAYO N° 114797-2017 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL	: COSME FUSTAMANTE ALBERTO PEDRO
DOMICILIO LEGAL	: RESERVADO POR EL CLIENTE
SOLICITADO POR	: COSME FUSTAMANTE ALBERTO PEDRO
REFERENCIA	: TESISTA
PROCEDENCIA	: LAGUNA LA PAMPA - HUMEDALES DE VILLA
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2017-08-25
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS	: 2017-08-25
MUESTREADO POR	: EL CLIENTE

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Clorofila A	SM 10200 H. Plankton. Chlorophyll.	0.001 ^(a)	mg/L
Fósforo Total o fósforo (P)	SM 4500-P E. Phosphorus. Ascorbic Acid Method.	0.013	P mg/L
Nitrógeno total	SM 4500-N C. Nitrogen. Persulfate Method.	0.15	NO ₃ ⁻ - N mg/L

L.C.: límite de cuantificación.

(a) Expresado como límite de detección del método.

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua natural (laguna - humedal)	Agua natural (laguna - humedal)	Agua natural (laguna - humedal)	
Matriz analizada	Agua natural	Agua natural	Agua natural	
Fecha de muestreo	2017-08-25	2017-08-25	2017-08-25	
Hora de inicio de muestreo (h)	08:40	10:10	10:50	
Condiciones de la muestra	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	
Código del Cliente	LP - 2	LP - 3	LP - 4	
Código del Laboratorio	17081897	17081898	17081899	
Ensayos	Unidades	Resultados		
Clorofila A	mg/L	0.096	0.095	0.063
Fósforo Total o fósforo (P)	P mg/L	0.185	0.350	0.124
Nitrógeno total	NO ₃ ⁻ - N mg/L	0.95	0.58	0.51

Lima, 08 de Septiembre del 2017


Quím. Belbeth V. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

* El método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (SMEWW)-APHA-AWWA-WEF. 22nd. Edition 2012. EPA: U.S. Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana
OBSERVACIONES: Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. Sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.
Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.

NOTA: Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 1 de 1

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

INFORME DE ENSAYO N° 114891-2017 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : COSME FUSTAMANTE ALBERTO PEDRO
DOMICILIO LEGAL : RESERVADO POR EL CLIENTE
SOLICITADO POR : COSME FUSTAMANTE ALBERTO PEDRO
REFERENCIA : TESISTA
PROCEDENCIA : LAGUNA LA PAMPA - HUMEDALES DE VILLA
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017-08-30
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS : 2017-08-30
MUESTREADO POR : EL CLIENTE

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Clorofila A	SM 10200 H. Plankton. Chlorophyll.	0.001 ^(a)	mg/L

L.C.: límite de cuantificación.

(a) Expresado como límite de detección del método.

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua natural (laguna - humedal)		
Matriz analizada	Agua natural		
Fecha de muestreo	2017-08-30		
Hora de inicio de muestreo (h)	09:10		
Condiciones de la muestra	Refrigerada		
Código del Cliente	LP - 1		
Código del Laboratorio	17082320		
Ensayos	Unidades	Resultados	
Clorofila A	mg/L	0.002	

Lima, 08 de Septiembre del 2017


 Quím. Belbeth Y. Fajardo León
 C.Q.P. N° 648
 Asesor Técnico Químico

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

* El método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (SMEWW)-APHA-AWWA-WEF, 22nd. Edition 2012. EPA: U.S. Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana
OBSERVACIONES: Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. Sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.
 Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.

NOTA: Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 1 de 1

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 - Urb. Chacra Ríos Norte - Lima 01 - Perú. Central Telefónica (511) 425-7227 - 425-6885 - 425-5564 - 425 - 6047 | MÓVIL 994 976 442
 Website www.sagperu.com Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com | laboratorio@sagperu.com

INFORME DE ENSAYO N° 116365-2017 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : COSME FUSTAMANTE ALBERTO PEDRO
DOMICILIO LEGAL : RESERVADO POR EL CLIENTE
SOLICITADO POR : COSME FUSTAMANTE ALBERTO PEDRO
REFERENCIA : TESISTA
PROCEDENCIA : LAGUNA LA PAMPA - HUMEDALES DE VILLA
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017-10-27
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS : 2017-10-27
MUESTREO POR : EL CLIENTE

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Clorofila A	SM 10200 H. Plankton. Chlorophyll.	0.001 ^(a)	mg/L
Fósforo Total o fósforo (P)	SM 4500-P E. Phosphorus. Ascorbic Acid Method.	0.013	P mg/L
Nitrógeno total	SM 4500-N C. Nitrogen. Persulfate Method.	0.15	NO ₃ ⁻ - N mg/L

L.C.: límite de cuantificación.

(a) Expresado como límite de detección del método.

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua natural (laguna - humedal)	Agua natural (laguna - humedal)	Agua natural (laguna - humedal)	Agua natural (laguna - humedal)	
Matriz analizada	Agua natural	Agua natural	Agua natural	Agua natural	
Fecha de muestreo	2017-10-27	2017-10-27	2017-10-27	2017-10-27	
Hora de inicio de muestreo (h)	08:10	09:00	09:30	10:30	
Condiciones de la muestra	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	
Código del Cliente	LP - 1	LP - 2	LP - 3	LP - 4	
Código del Laboratorio	17102766	17102767	17102768	17102769	
Ensayos	Unidades	Resultados			
Clorofila A	mg/L	<0.001	0.180	0.131	0.149
Fósforo Total o fósforo (P)	P mg/L	////	0.376	0.406	0.448
Nitrógeno total	NO ₃ ⁻ - N mg/L	////	5.82	8.96	8.67

////: Ensayo no realizado.

Lima, 13 de Noviembre del 2017


Quim. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

**EXPERTS
WORKING
FOR YOU**

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

SM: SMEWW - APHA - AWWA - WEF. 22nd. Edition 2012. EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com.

INFORME DE ENSAYO N° 117853-2017 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : COSME FUSTAMANTE ALBERTO PEDRO
DOMICILIO LEGAL : RESERVADO POR EL CLIENTE
SOLICITADO POR : COSME FUSTAMANTE ALBERTO PEDRO
REFERENCIA : TESISTA
PROCEDENCIA : LAGUNA LA PAMPA- HUMEDALES DE VILLA
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA : 2017-12-27
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS : 2017-12-27
MUESTREO POR : EL CLIENTE

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.D.M.	Unidades
Clorofila A	SM 10200 H. Plankton. Chlorophyll.	0.001 ^(b)	mg/L
Fósforo Total	SM 4500-P E. Phosphorus. Ascorbic Acid Method.	0.013	P mg/L
Nitrógeno total	SM 4500-N C. Nitrogen. Persulfate Method.	0.15	NO ₃ ⁻ - N mg/L

L.D.M.: Límite de detección del método

(b) Expresado como límite de detección del método.

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua natural (laguna-humedal)	Agua natural (laguna-humedal)	Agua natural (laguna-humedal)	Agua natural (laguna-humedal)	
Matriz analizada	Agua natural	Agua natural	Agua natural	Agua natural	
Fecha de muestreo	2017-12-27	2017-12-27	2017-12-27	2017-12-27	
Hora de inicio de muestreo (h)	13:00	08:50	10:50	12:15	
Condiciones de la muestra	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	
Código del Cliente	LP-1	LP-2	LP-3	LP-4	
Código del Laboratorio	17122984	17122985	17122986	17122987	
Ensayo	Unidades	Resultados			
Clorofila A	mg/L	<0.001	0.271	0.214	0.182
Fósforo Total	P mg/L	////	0.124	0.467	0.118
Nitrógeno total	NO ₃ ⁻ - N mg/L	////	4.60	6.81	3.29

////: Ensayo No Realizado.

Lima, 15 de Enero del 2018.

Quim. César Antonio Poma Pando
GERENTE GENERAL
C.Q.P. N° 719
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

SM: SMEWW - APHA - AWWA - WEF. 22nd. Edition 2012. EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perechibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com.

Página 1 de 1

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima

• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

INFORME DE ENSAYO N° 12919-2018 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : COSME FUSTAMANTE ALBERTO PEDRO
DOMICILIO LEGAL : RESERVADO POR EL CLIENTE
SOLICITADO POR : COSME FUSTAMANTE ALBERTO PEDRO
REFERENCIA : TESISTA
PROCEDENCIA : LAGUNA LA PAMPA- HUMEDALES DE VILLA
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA : 2018-02-23
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS : 2018-02-23
MUESTREO POR : EI CLIENTE

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.D.M.	Unidades
Clorofila A	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10200 H, 23rd Ed. 2017. Plankton. Chlorophyll.	0.001 ^(b)	mg/L
Fósforo Total o fósforo (P)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P E, 23rd Ed. 2017. Phosphorus. Ascorbic Acid Method.	0.013	P mg/L
Nitrógeno total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C, 23rd Ed. 2017. Nitrogen. Persulfate Method.	0.15	NO ₃ ⁻ - N mg/L

L.D.M.: Límite de detección del método


(b) Expresado como límite de detección del método.

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua natural (laguna-humedal)	Agua natural (laguna-humedal)	Agua natural (laguna-humedal)	Agua natural (laguna-humedal)	
Matriz analizada	Agua natural	Agua natural	Agua natural	Agua natural	
Fecha de muestreo	2018-02-23	2018-02-23	2018-02-23	2018-02-23	
Hora de inicio de muestreo (h)	08:15	09:10	10:20	11:20	
Condiciones de la muestra	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	
Código del Cliente	LP-1	LP-2	LP-3	LP-4	
Código del Laboratorio	18021396	18021397	18021398	18021399	
Ensayo	Unidades	Resultados			
Clorofila A	mg/L	<0.001	0.239	0.204	0.177
Fósforo Total	P mg/L	////	0.275	0.221	0.198
Nitrógeno total	NO ₃ ⁻ - N mg/L	////	4.9	3.2	2.6

////: Ensayo No Realizado.

Lima, 09 de Marzo del 2018.


Quim. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

SM: SMEWW - APHA - AWWA - WEF. 22nd. Edition 2012. EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas.

• Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYO N° 122192-2018 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : COSME FUSTAMANTE ALBERTO PEDRO
DOMICILIO LEGAL : RESERVADO POR EL CLIENTE
SOLICITADO POR : COSME FUSTAMANTE ALBERTO PEDRO
REFERENCIA : TESISISTA
PROCEDENCIA : LAGUNA LA PAMPA- HUMEDALES DE VILLA
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA : 2018-04-27
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS : 2018-04-27
MUESTREADO POR : EL CLIENTE

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.D.M.	Unidades
Clorofila A	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10200 H, 23rd Ed. 2017. Plankton. Chlorophyll.	0.001 ^(b)	mg/L
Fósforo Total (P)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P E, 23rd Ed. 2017. Phosphorus. Ascorbic Acid Method.	0.013	P mg/L
Nitrógeno total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C, 23rd Ed. 2017. Nitrogen. Persulfate Method.	0.15	NO ₃ ⁻ - N mg/L


L.D.M.: Límite de detección del método
 (b) Expresado como límite de detección del método.

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua natural (laguna-humedal)	Agua natural (laguna-humedal)	Agua natural (laguna-humedal)	Agua natural (laguna-humedal)	
Matriz analizada	Agua natural	Agua natural	Agua natural	Agua natural	
Fecha de muestreo	2018-04-27	2018-04-27	2018-04-27	2018-04-27	
Hora de inicio de muestreo (h)	08:20	09:13	09:55	10:20	
Condiciones de la muestra	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	
Código del Cliente	LP-1	LP-2	LP-3	LP-4	
Código del Laboratorio	18042071	18042072	18042073	18042074	
Ensayo	Unidades	Resultados			
Clorofila A	mg/L	<0.001	0.122	0.260	0.258
Fósforo Total	P mg/L	////	0.185	0.247	0.243
Nitrógeno total	NO ₃ ⁻ - N mg/L	////	3.30	2.91	4.72

////: Ensayo No Realizado.

Lima, 09 de Mayo del 2018.


Quim. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

**EXPERTS
WORKING
FOR YOU**

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYO N° 123632-2018 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : COSME FUSTAMANTE ALBERTO PEDRO
DOMICILIO LEGAL : RESERVADO POR EL CLIENTE
SOLICITADO POR : COSME FUSTAMANTE ALBERTO PEDRO
REFERENCIA : TESISTA
PROCEDENCIA : LAGUNA LA PAMPA- HUMEDALES DE VILLA
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA : 2018-06-27
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS : 2018-06-27
MUESTREO POR : EI CLIENTE

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.D.M.	Unidades
Clorofila A	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10200 H, 23rd Ed. 2017. Plankton. Chlorophyll.	0.001 ^(b)	mg/L
Fósforo Total (P)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P E, 23rd Ed. 2017. Phosphorus. Ascorbic Acid Method.	0.013	P mg/L
Nitrógeno total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C, 23rd Ed. 2017. Nitrogen. Persulfate Method.	0.15	NO ₃ ⁻ - N mg/L

L.D.M.: Límite de detección del método


(b) Expresado como límite de detección del método.

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua natural (laguna-humedal)	Agua natural (laguna-humedal)	Agua natural (laguna-humedal)	Agua natural (laguna-humedal)	
Matriz analizada	Agua natural	Agua natural	Agua natural	Agua natural	
Fecha de muestreo	2018-06-27	2018-06-27	2018-06-27	2018-06-27	
Hora de inicio de muestreo (h)	08:00	09:00	09:40	10:10	
Condiciones de la muestra	Refrigerada/ preservada	Refrigerada/ preservada	Refrigerada/ preservada	Refrigerada/ preservada	
Código del Cliente	LP-1	LP-2	LP-3	LP-4	
Código del Laboratorio	18062327	18062328	18062329	18062330	
Ensayo	Unidades	Resultados			
Clorofila A	mg/L	<0.001	0.039	0.164	0.137
Fósforo Total	P mg/L	////	0.062	0.234	0.200
Nitrógeno total	NO ₃ ⁻ - N mg/L	////	0.96	0.85	0.89

////: Ensayo No Realizado.

Lima, 11 de Julio del 2018.


 M. Belbeth Y. Fajardo León
 C.Q.P. N° 648
 Asesor Técnico Químico

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

SM: SMEWW - APHA - AWWA - WEF. 22nd. Edition 2012. EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas.

• Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 1 de 1

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima

• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

ANEXO B

Certificado de calibración de equipo



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

LMQ - 0152 - 2017

O.T. : 1573-2925

Fecha de emisión : 2017-08-18

Página : 1 de 2

SOLICITANTE : ALBERTO PEDRO COSME FUSTAMANTE

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : MULTIPARAMETRO

Marca : TRIMETER
Modelo : 983
N° de Serie : No indica
Intervalo de indicación : -50 °C a 70 °C
Resolución : 0,1 °C
Identificación del equipo : MQ-053
Fecha de Calibración : 2017-08-17

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Laboratorio de TEST & CONTROL S.A.C.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por comparación directa usando un patrón de temperatura calibrado.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso.

CONDICIONES AMBIENTALES

MAGNITUD	INICIAL	FINAL
TEMPERATURA	18,2 °C	18,2 °C
HUMEDAD RELATIVA	76,8 %	76,8 %

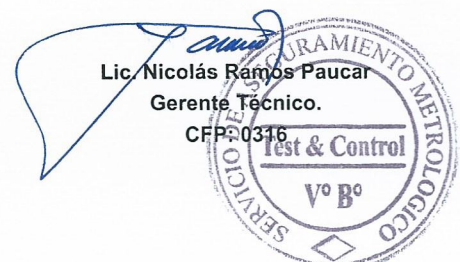
Los resultados en el presente documento no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.

Lic. Nicolás Ramos Paucar
Gerente Técnico.

CFP: 0316



TRAZABILIDAD

Patrón de Referencia	Patrón de Trabajo	Certificado de calibración
Dos termómetros digitales con Incertidumbre del orden desde 0,012 °C hasta 0,025 °C DM - INACAL	Termómetro de Indicación Digital con incertidumbre del orden desde 0,014 °C hasta 0,023 °C	LT-554-2016

RESULTADOS DE MEDICIÓN

INDICACIÓN DEL TERMÓMETRO (°C)	TEMPERATURA CONVENCIONALMENTE VERDADERA (°C)	CORRECCIÓN (°C)	INCERTIDUMBRE (°C)
5,1	5,0	-0,1	0,1
15,1	15,0	-0,1	0,1
29,9	30,0	0,1	0,1

Temperatura Convencionalmente Verdadera = Indicación del Termómetro + Corrección

OBSERVACIONES

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde.

INCERTIDUMBRE

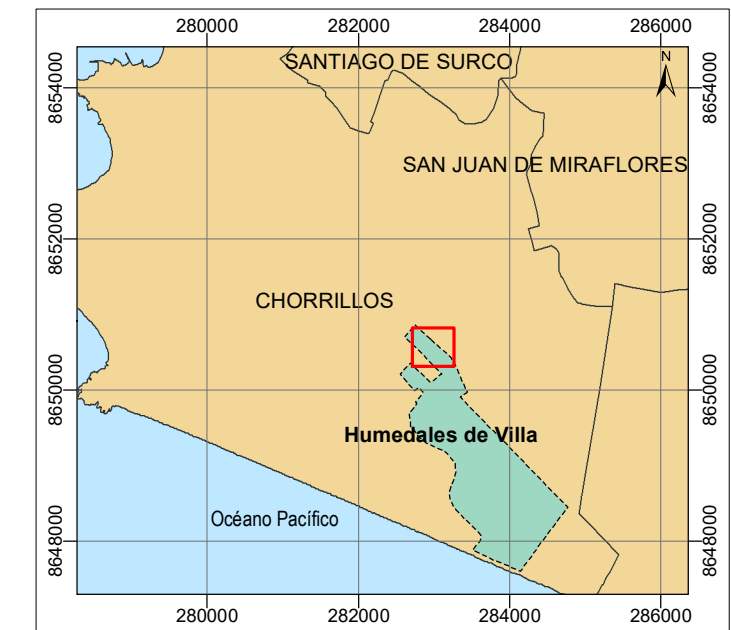
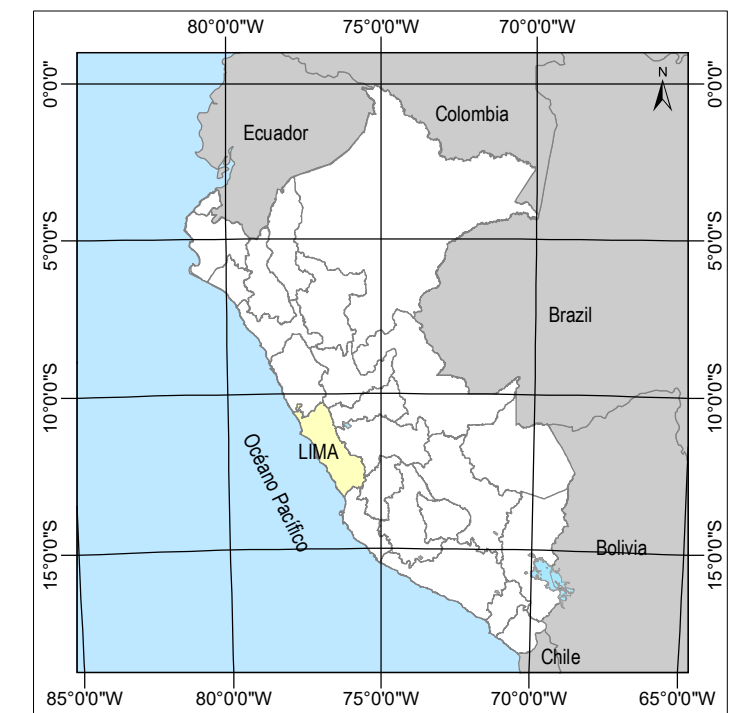
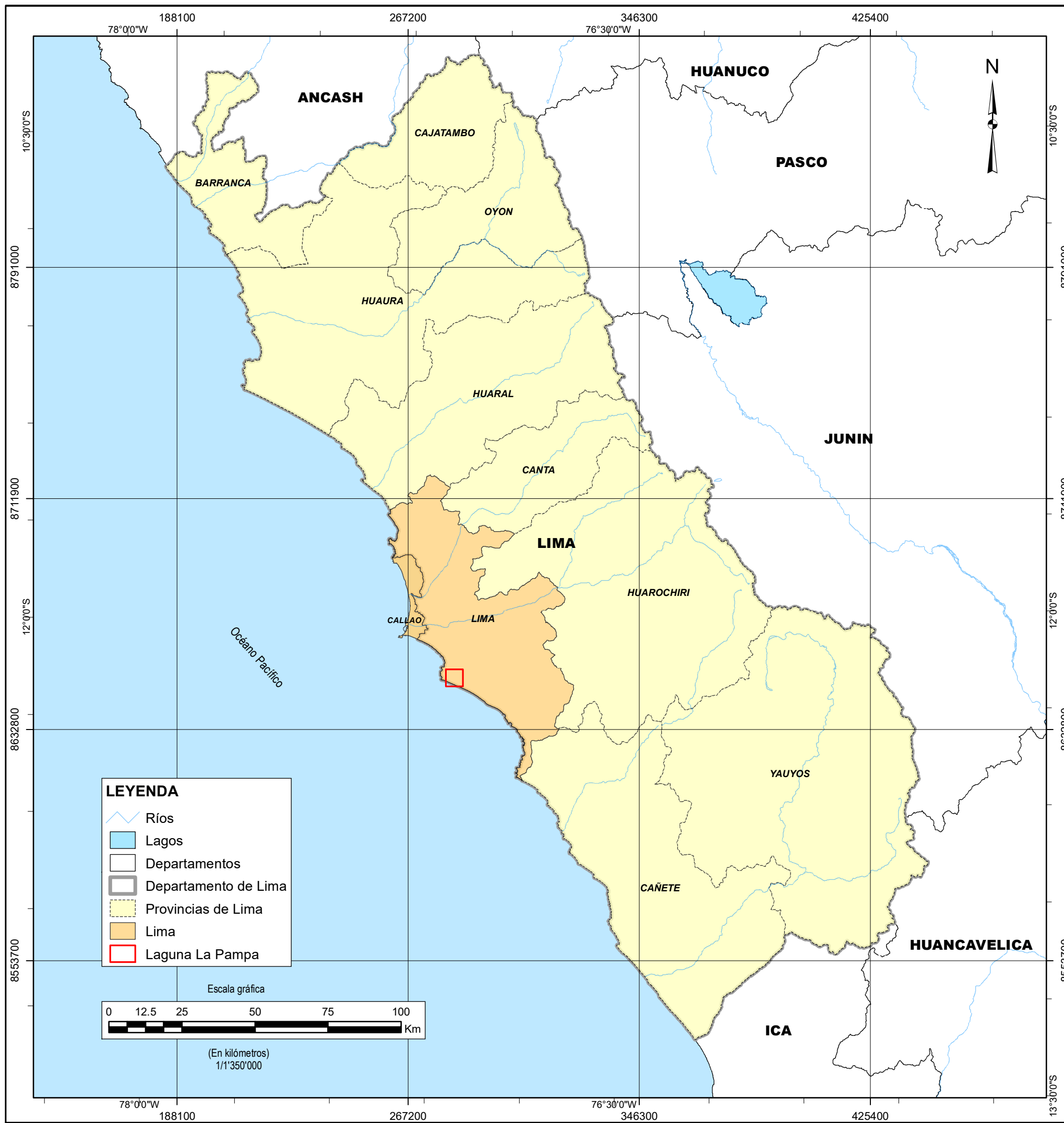
La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k=2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

FIN DEL DOCUMENTO

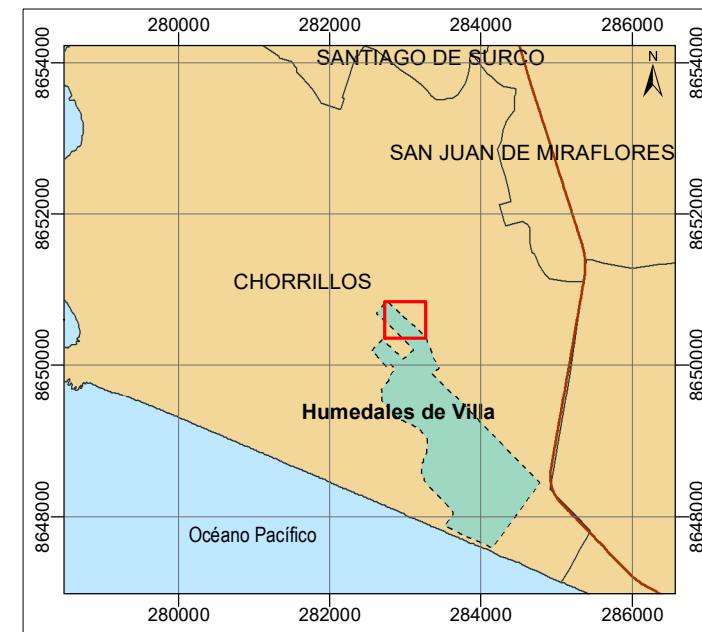
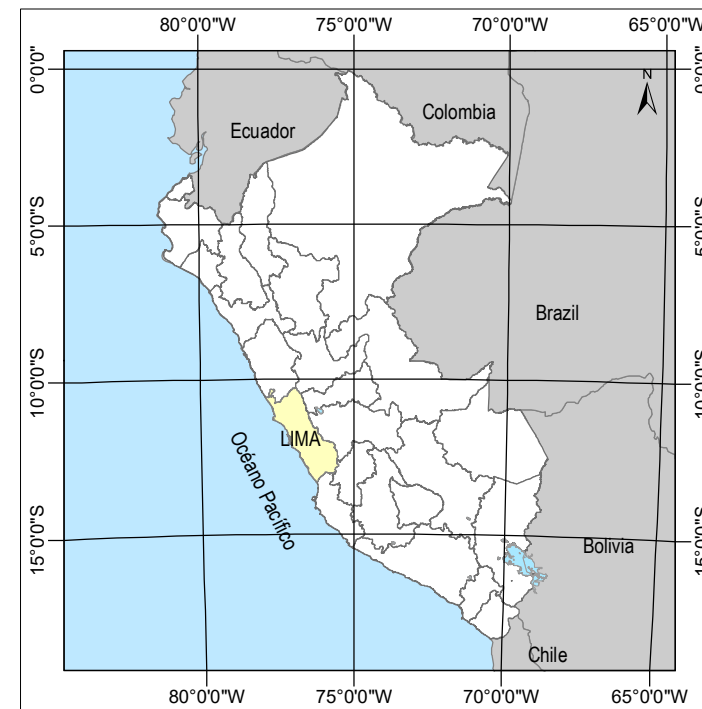


ANEXO C

Mapas



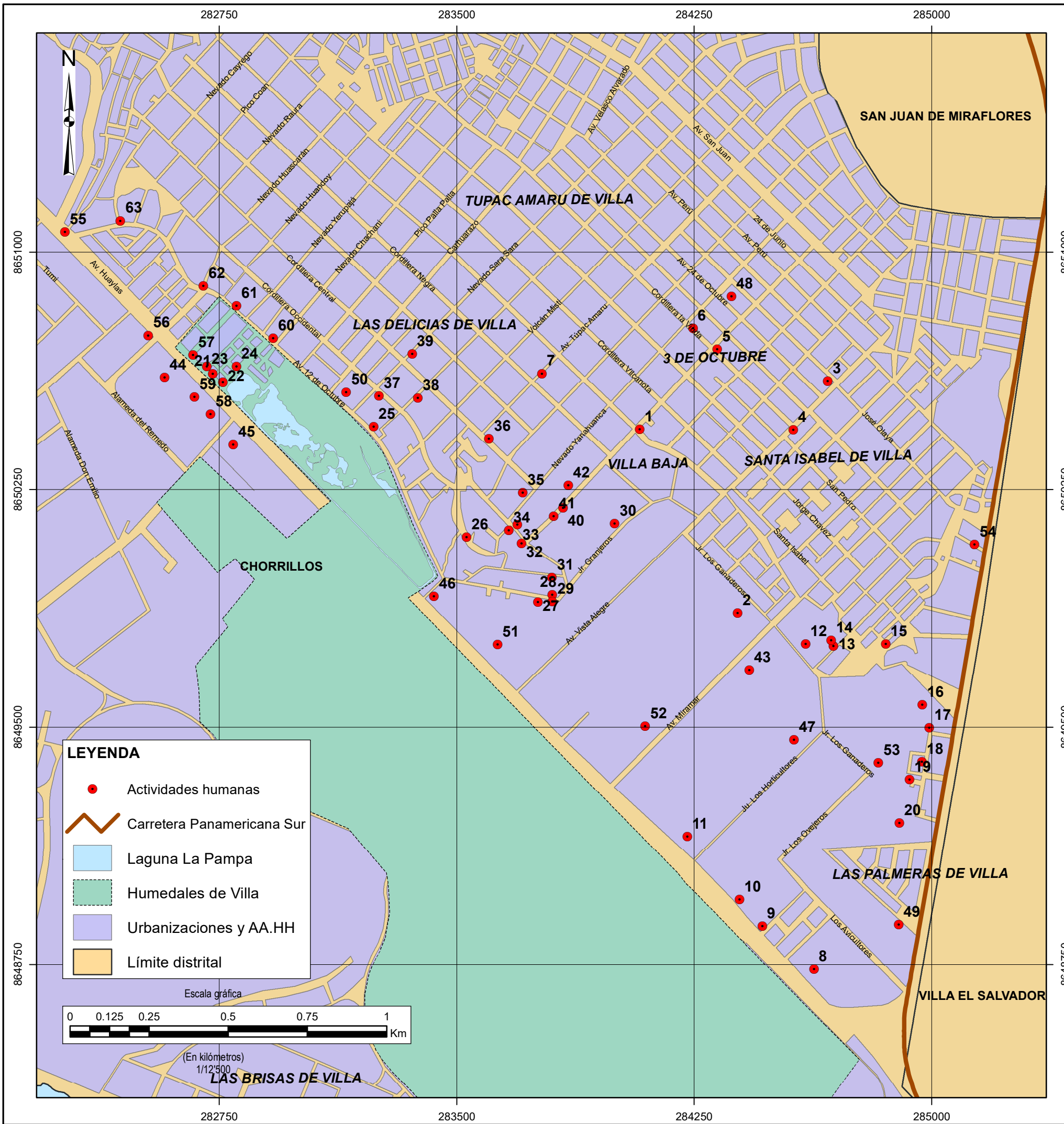
		UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO Escuela de Ingeniería Ambiental	
TESIS: DETERMINACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO UTILIZANDO ÍNDICES NUMÉRICOS EN LA LAGUNA LA PAMPA, HUMEDALES DE VILLA, LIMA-PERÚ			
MAPA: UBICACIÓN			
ELABORADO POR: Bach. ALBERTO PEDRO COSME FUSTAMANTE			LAMINA Nº:
APROBADO POR: Dr. NOÉ SABINO ZAMORA TALAVERANO			01
DEPARTAMENTO: LIMA	PROVINCIA: LIMA	DISTRITO: CHORRILLOS	
DATUM: WGS84-ZONA 18S	FECHA: FEBRERO DE 2019	ESCALA: 1:1 350 000	




UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
Escuela de Ingeniería Ambiental

TESIS: DETERMINACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO UTILIZANDO ÍNDICES NUMÉRICOS EN LA LAGUNA LA PAMPA, HUMEDALES DE VILLA, LIMA-PERÚ


MAPA:			ACCESIBILIDAD	
ELABORADO POR:		Bach. ALBERTO PEDRO COSME FUSTAMANTE		LAMINA Nº:
APROBADO POR:		Dr. NOÉ SABINO ZAMORA TALAVERANO		02
DEPARTAMENTO:	PROVINCIA:	DISTRITO:		
LIMA	LIMA	CHORRILLOS		
DATUM:	FECHA:	ESCALA:		
WGS84-ZONA 18S	FEBRERO DE 2019	1:1 350 000		



PUNTO	DESCRIPCIÓN
1	Taller automotriz
2	Establo
3	Lavado de autos/lubricentro
4	Taller automotriz
5	Lavado de autos (Carwash)
6	Lavado de autos (Carwash)
7	Almacén de reciclaje
8	Empresa DISAL
9	Taller automotriz de pintura
10	Almacén 3M
11	Camal Frisana
12	Almacén de reciclaje
13	Criadero de cerdos
14	Criadero de cerdos
15	Lavandería (aflojamiento de agua)
16	Almacén de reciclaje
17	Almacén de reciclaje
18	Almacén de reciclaje
19	Almacén de reciclaje
20	Esmeralda Corp
21	Taller automotriz de planchado y pintura
22	Lavado de autos (Carwash)
23	Almacén de reciclaje
24	Taller de estructuras metálicas
25	Taller automotriz
26	Almacén y corte de llantas
27	Almacén - tubos
28	Almacén de reciclaje
29	Almacén de reciclaje
30	Criadero de cerdos
31	Criadero de cerdos
32	Almacén/carga y descarga de comida para cerdos
33	Almacenaje de drywall (placas de yeso)
34	Criadero de cerdos
35	Almacén de reciclaje
36	Corporación LIFE S.A.C.
37	Envasado de snacks/chiffles
38	Grupo TESA S.A.C.
39	Almacén de reciclaje EMAUS
40	Criadero de cerdos
41	Criadero de cerdos
42	Criadero de cerdos
43	Centro de esparcimiento Action Park
44	Hielos y Agua Iglú S.A.C.
45	Paradero de buses - Fénix 2000 S.A.
46	Grifo
47	Hacienda Lomas de Villa
48	Centro comercial San Pedro
49	Grifo
50	I.E. Andrés Avelino Cáceres
51	Ex Lucchetti Perú S.A.
52	Almacenes SAVAR
53	Hacienda Loayza
54	Lubricentro
55	Lubricentro
56	Lavado de autos (Carwash)
57	Taller automotriz
58	Taller automotriz
59	Taller automotriz (arenado)
60	Lavado de autos (Carwash)
61	Lavado de autos (Carwash)
62	Lavado de autos (Carwash)
63	Lavado de autos (Carwash)



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
 Escuela de Ingeniería Ambiental



TESIS: DETERMINACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO UTILIZANDO ÍNDICES NUMÉRICOS EN LA LAGUNA LA PAMPA, HUMEDALES DE VILLA, LIMA-PERÚ

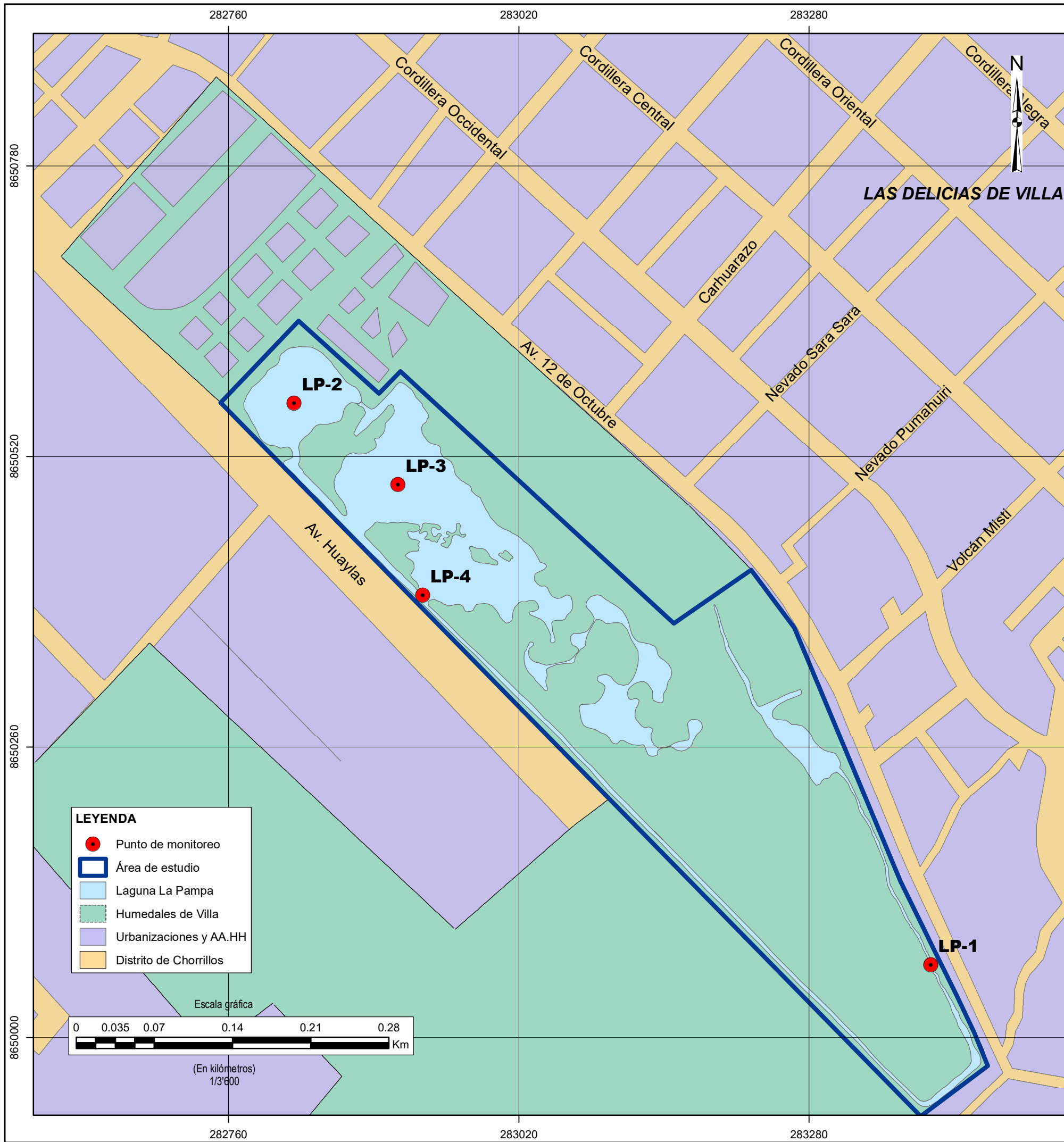
MAPA: **PRINCIPALES ACTIVIDADES HUMANAS**

ELABORADO POR: **Bach. ALBERTO PEDRO COSME FUSTAMANTE** LAMINA Nº:

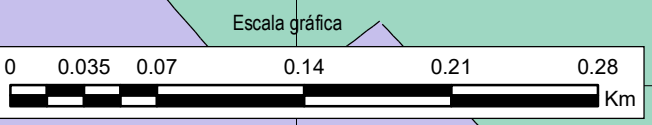
APROBADO POR: **Dr. NOÉ SABINO ZAMORA TALAVERANO**

DEPARTAMENTO: LIMA	PROVINCIA: LIMA	DISTRITO: CHORRILLOS
DATUM: WGS84-ZONA 18S	FECHA: FEBRERO DE 2019	ESCALA: 1:12 500

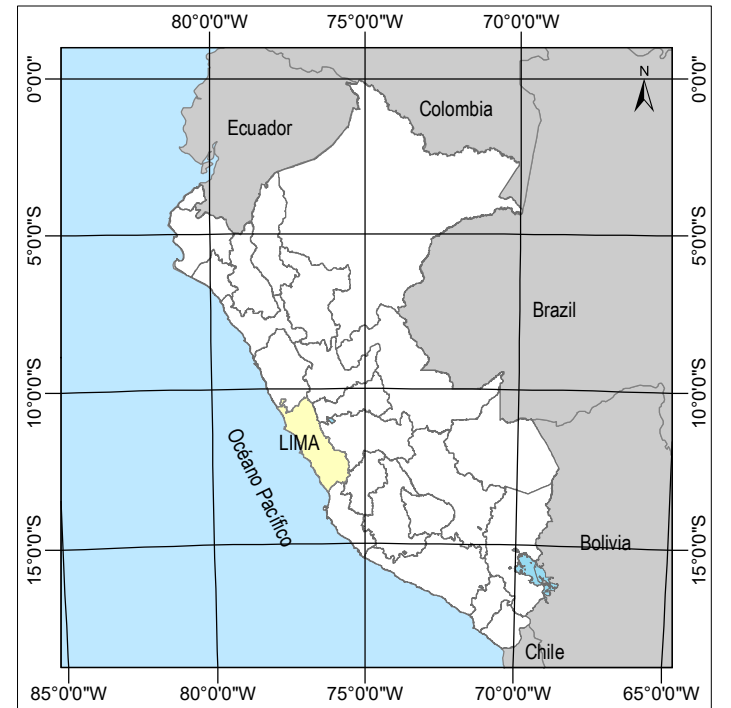
03



- LEYENDA**
- Punto de monitoreo
 - Área de estudio
 - Laguna La Pampa
 - Humedales de Villa
 - Urbanizaciones y AA.HH
 - Distrito de Chorrillos



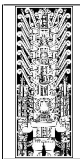
(En kilómetros)
1/3'600



Ubicación Nacional
Esc.: 1/27'000'000



Ubicación Distrital
Esc.: 1/200'000



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
 Escuela de Ingeniería Ambiental



TESIS: DETERMINACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO UTILIZANDO ÍNDICES NUMÉRICOS EN LA LAGUNA LA PAMPA, HUMEDALES DE VILLA, LIMA-PERÚ

PUNTOS DE MONITOREO			
ELABORADO POR: Bach. ALBERTO PEDRO COSME FUSTAMANTE		LAMINA Nº:	
APROBADO POR: Dr. NOÉ SABINO ZAMORA TALAVERANO		04	
DEPARTAMENTO: LIMA	PROVINCIA: LIMA		DISTRITO: CHORRILLOS
DATUM: WGS84-ZONA 18S	FECHA: FEBRERO DE 2019		ESCALA: 1:3 600