

**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL DE EUTROFIZACIÓN  
UTILIZANDO EL MODELO MATEMÁTICO DEL ÍNDICE DE  
ESTADO TRÓFICO (IET) Y EL GRADO DE EUTROFIA  
ESTABLECIDO POR LA ORGANIZACIÓN PARA LA  
COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO  
(OCDE), EN LA LAGUNA DE PACA DE LA PROVINCIA DE  
JAUJA 2017**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:  
CUELLAR ARANCIBIA, CRISTHIAN SANDRO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL  
HUANCAYO-PERÚ**

**2018**

**ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL DE EUTROFIZACIÓN  
UTILIZANDO EL MODELO MATEMÁTICO DEL ÍNDICE DE  
ESTADO TRÓFICO (IET) Y EL GRADO DE EUTROFIA  
ESTABLECIDO POR LA ORGANIZACIÓN PARA LA  
COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO  
(OCDE), EN LA LAGUNA DE PACA DE LA PROVINCIA DE  
JAUJA 2017**

**Asesor**

**Dr. Osorio López, Iván**

## **DEDICATORIA**

A Dios, a mis padres Iris Arancibia y Elber Juan Cuellar, a mi hermano Bryan y George, a Sheyla Porras, a mi tía Ana, a mi familia, a las personas que me apoyaron y me apoyan hasta el presente día, que son la fuente de mi vida y para ser cada día mejor y superarme día a día

## **AGRADECIMIENTO**

Se agradece a Dios por la vida y por las grandes oportunidades, a nuestros padres por apoyarnos y guiarnos por el buen camino sobre todos por siempre estar en los momentos buenos y malos, a los docentes por brindarnos sus enseñanzas y experiencias en la vida como profesional y como amigo, y todos los amigos y compañeros por las buenos momentos y alegrías que hemos pasado en estos últimos 5 años en la universidad y finalmente agradecer a la Universidad Alas Peruanas porque ahí conocimos a nuestros compañeros, docentes y aprendimos experiencias nuevas y conocimientos, gracias al gran esfuerzo de nuestros padres y a Dios por darnos a nuestros padres amados.

## INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
INDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....	x
INDICE DE TABLAS .....	xii
INDICE DE GRÁFICOS .....	xiv
INDICE DE FIGURAS .....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvi
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xvii
RESUMEN .....	xviii
ABSTRACT .....	xx
INTRODUCCIÓN .....	xxii
CAPÍTULO I .....	23
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	23
1.1 Caracterización del problema.....	23
1.2 Formulación del problema.....	26
1.2.1 Problema general.....	26
1.2.2 Problemas específicos.....	26
1.3 Objetivos .....	27
1.3.1 Objetivo general.....	27
1.3.2 Objetivos específicos .....	27
1.4 Justificación.....	28

1.5	Importancia .....	29
1.6	Limitaciones .....	30
CAPÍTULO II .....		31
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	31
2.1	Marco referencial .....	31
2.1.1	Antecedentes de la investigación.....	31
2.1.2	Referencias históricas.....	40
2.2	Marco legal.....	43
2.3	Marco conceptual.....	43
2.4	Marco teórico. ....	44
2.4.1	Eutrofización y el proceso:.....	44
2.4.2	Eutrofización según la OCDE .....	45
2.4.3	Eutrofización de lagos.....	46
2.4.4	Tipos de lagos.....	49
2.4.5	Características generales de la eutrofización .....	52
2.4.6	Síntomas y efectos de la eutrofización .....	55
2.4.7	Causas de la eutrofización.....	58
2.4.8	Nutrientes para la eutrofización .....	59
2.4.9	Enriquecimiento con nutrientes.....	60
2.4.10	Niveles de eutrofización .....	62
2.4.11	Los lagos y la contaminación .....	65
2.4.12	Zonificación de lagos .....	67
2.4.13	Clasificación de estados eutróficos.....	68
2.4.14	Índice de Estado trófico .....	69

2.4.15	Construcción del índice.....	74
2.4.16	Adición de otros parámetros .....	75
2.4.17	Criterios para la evaluación del estado trófico .....	78
2.4.18	Gestión del proceso de eutrofización .....	80
CAPÍTULO III .....		83
3	PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO .....	83
3.1	Metodología .....	83
3.1.1	Método.....	83
3.1.2	Tipo de la investigación .....	98
3.2	Diseño de la investigación.....	98
3.3	Hipótesis de la investigación .....	99
3.3.1	Hipótesis general .....	99
3.3.2	Hipótesis específicas .....	99
3.4	Variables .....	100
3.4.1	Variable independiente .....	100
3.4.2	Variable dependiente .....	100
3.5	Cobertura del Estudio. ....	100
3.5.1	Universo.....	100
3.5.2	Población.....	101
3.5.3	Muestra.....	101
3.5.4	Muestreo.....	101
3.6	Técnicas e instrumentos .....	102
3.6.1	Técnicas de la investigación.....	102
3.6.2	Instrumentos de la investigación.....	102

3.7	Procesamiento estadístico de la información.....	102
3.7.1	Estadísticos.....	102
3.7.2	Representación.....	102
3.7.3	Técnicas de comprobación de la hipótesis. ....	103
CAPITULO IV.....		104
4	ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	104
4.1	Resultados.....	104
4.1.1	Turbidez (Ds) .....	105
4.1.2	Fósforo Total (Pt).....	107
4.1.3	Clorofila-a (Clorf-a) .....	111
4.2	Discusión de resultados .....	114
4.2.1	Índice de estado trófico (ITS).....	114
4.2.2	Grado de eutrofia establecido por la OCDE:.....	123
4.3	Contrastación de Hipótesis .....	131
4.3.1	Turbidez (m).....	131
4.3.2	Fósforo Total (mg/m <sup>3</sup> ).....	133
4.3.3	Clorofila-a (mg/m <sup>3</sup> ).....	134
4.3.4	Hipótesis nula (Ho) .....	136
4.3.5	Hipótesis alterna (H1) .....	136
CONCLUSIONES.....		137
RECOMENDACIONES.....		140
BIBLIOGRAFÍA.....		141
ANEXOS.....		143

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS.

H <sub>2</sub> S	Acido sulfhidrico, 57	Acido nitrico, 90
°C	Grados Celsius, 49	<i>IET</i>
CH <sub>4</sub>	Metano, 57	<i>Indice de Estado trofico</i> , 1, 2, 26, 27, 28, 99, 100, 137
CO <sub>2</sub>	Dioxido de carbono, 57	Kg
<b>CE</b>	Conductividad electrica, 36	kilogramo, 60
Chl-a	Clorofila-a, 32, 33	km <sup>2</sup>
Clor-f-a	Clorofila-a, 42	Unidad de medida de del area, 28
DBO <sub>5</sub>	La demanda bioquímica de oxígeno en 5 dias, 36	mg/m <sup>3</sup>
DDT	Dicloro difenil tricloroetano, 66	Miligramos por metro cubico, 80
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 66	MO
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Materia organica, 47
	Acido sulfurico, 90	N -Tot
H <sub>2</sub> S	Sulfuro de hidrogeno, 50	Nitrógeno Total, 32
	HNO <sub>3</sub>	N-NH <sub>3</sub>
		nitrógeno Amoniacal, 32
		NO <sub>3</sub> -)
		Ion nitrato, 58
		N-Org
		Nitrógeno orgánico, 32
		NO <sub>x</sub>
		Oxido de nitrogeno, 58
		Nt
		Nitrogeno total, 42
		<i>OCDE</i>
		<i>Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo</i> , 1, 2, 26, 27, 28, 41, 45, 80, 99, 100, 137

OD  
Oxígeno disuelto, 63, 65, 68

pH  
Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa., 25, 36

PO4  
ortofosfato, 32

Pt  
Fósforo total, 42

P-Tot  
Fósforo Total, 32, 33  
 $R^2$   
Coeficiente de determinación, 33, 37

SO4-2  
Ion sulfato, 58

SOx  
Oxido de azufre, 58

SST  
Solidos Suspendidos Totales, 32

ST  
Solidos Totales, 32, 33

TSI  
Indice de Estado Trofico, 39, 40, 78, 80, 90, 92, 94

$\mu\text{g/l}$   
microgramos por litros, 39

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Características Generales de Lagos y Pantanos Oligotróficos y Eutróficos. ....	53
Tabla N° 2: Criterios Tróficos y sus Respuestas a una Eutrofización Creciente. ...	56
Tabla N° 3: Índice de estado trófico completado y sus parámetros asociados. ....	76
Tabla N° 4: Escala trófica de Carlson.....	79
Tabla N° 5: Fórmulas para estimar el estado trófico aplicado a los indicadores de eutrofia. ....	80
Tabla N° 6: Grados eutróficos establecida por la OCDE para la clasificación trófica de una laguna. ....	80
Tabla N° 7: Cronograma de Monitoreo en la Laguna de Paca.....	86
Tabla N° 8: Datos de Turbidez para el grado de eutrofia, OCDE y el IET.....	105
Tabla N° 9: Datos de Turbidez para el grado de eutrofia OCDE y el IET para el mes de Junio del 2017.....	105
Tabla N° 10: Datos de Turbidez para el grado de eutrofia OCDE y el IET para el mes de Julio del 2017. ....	106
Tabla N° 11: Datos de Turbidez para el grado de eutrofia OCDE y el IET para el mes de Agosto del 2017. ....	107
Tabla N° 12: Datos de Fósforo total para el grado de eutrofia OCDE y el IET....	107
Tabla N° 13: Datos de Fósforo total para el grado de eutrofia OCDE y el IET para el mes de Junio del 2017. ....	108
Tabla N° 14: Datos de Fósforo total para el grado de eutrofia OCDE y el IET para el mes de Julio del 2017. ....	109
Tabla N° 15: Datos de Fósforo total para el grado de eutrofia OCDE y el IET para el mes de Agosto del 2017. ....	109
Tabla N° 16: Datos de Clorofila-a para el grado de eutrofia OCDE y el IET. ....	111
Tabla N° 17: Datos de Clorofila-a para el grado de eutrofia OCDE y el IET para el mes de Junio del 2017. ....	112
Tabla N° 18: Datos de Clorofila-a para el grado de eutrofia OCDE y el IET para el mes de Julio del 2017. ....	113

Tabla N° 19: Datos de Clorofila-a para el grado de eutrofia OCDE y el IET para el mes de Agosto del 2017. ....	113
Tabla N° 20: Datos de turbidez con un nivel de estado Mesotrófico de 30 mg/m3. ....	132
Tabla N° 21: Datos de turbidez con un nivel de estado Mesotrófico de 60 mg/m3. ....	132
Tabla N° 22: Datos de fósforo total con un nivel de estado Mesotrófico de 30 mg/m3. ....	133
Tabla N° 23: Datos de fósforo total con un nivel de estado Mesotrófico de 60 mg/m3. ....	134
Tabla N° 24: Datos de clorofila-a con un nivel de estado Mesotrófico de 30 mg/m3. ....	135
Tabla N° 25: Datos de clorofila-a con un nivel de estado Mesotrófico de 60 mg/m3. ....	135

## INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1: Curva de Calibración.. .....	110
Gráfico N° 2: Comportamiento de la turbidez en la laguna de Paca con relación al tiempo de monitoreo, según el IET.. .....	114
Gráfico N° 3: Dispersión de datos de Turbidez en metros con el IET.. .....	115
Gráfico N° 4: Comportamiento del fósforo total en la laguna de Paca con relación al tiempo de monitoreo, según el IET.. .....	117
Gráfico N° 5: Dispersión de datos de Fósforo total en mg/ m <sup>3</sup> con el IET.. .....	118
Gráfico N° 6: Comportamiento de la clorofila- a en la laguna de Paca con relación al tiempo de monitoreo, según el IET.. .....	120
Gráfico N° 7: Dispersión de datos de Clorofila-a en mg/m <sup>3</sup> con el IET.....	121
Gráfico N° 8: Comportamiento de turbidez en la laguna de Paca con relación al tiempo de monitoreo, según la OCDE.....	123
Gráfico N° 9: Dispersión de datos de turbidez en metros con el grado de eutrofia según la OCDE.. .....	124
Gráfico N° 10: Comportamiento del fósforo total en la laguna de Paca con relación al tiempo de monitoreo, según la OCDE.....	126
Gráfico N° 11: Dispersión de datos de Fósforo total en ug/lit según la OCDE.....	127
Gráfico N° 12: Comportamiento de la clorofila-a en la laguna de Paca con relación al tiempo de monitoreo, según la OCDE.....	129
Gráfico N° 13: Dispersión de datos de Clorofila-a en ug/lit según la OCDE.. .....	130

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Proceso de Eutrofización. ....	45
Figura N° 2: Pirámide Trófica. ....	46
Figura N° 3: Vista comparativa de un mismo lago, con diferentes grados de eutrofia.. .....	49
Figura N° 4: Diferencia entre lago Eutrófico y Oligotrófico. ....	51
Figura N° 5: Nivel oligotrófico.....	63
Figura N° 6: Nivel Mesotrófico.....	64
Figura N° 7: Nivel Eutrófico.. ....	64
Figura N° 8: Nivel hipereutrófico.. ....	64
Figura N° 9: Continuidad trófica. ....	65
Figura N° 10: Zonificación de Lagos. ....	67
Figura N° 11: Esquema del proceso de eutrofización. ....	69
Figura N° 12: ubicación de la laguna de Paca. ....	84
Figura N° 13: ruta de viaje hacia la laguna de Paca. ....	87
Figura N° 14: Puntos de Monitoreo. ....	88
Figura N° 15: Esquema del procedimiento para la obtención de los datos tanto en campo como en laboratorio.....	97
Figura N° 16: Estructura del diseño de longitudes de tendencia.....	99

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: Crecimiento de las plantas acuáticas por la entrada de nutrientes.	143
Anexo N° 2: Eutrofización en lagos.	143
Anexo N° 3: Contaminación Antrópica.	144
Anexo N° 4: Contaminación del agua.	144
Anexo N° 5: Posible Punto 1 de monitoreo.	145
Anexo N° 6: Posible Punto 2 de monitoreo.	145
Anexo N° 7: Posible Punto 3 de monitoreo.	146
Anexo N° 8: Posible Punto 4 de monitoreo.	146
Anexo N° 9: Posible Punto 5 de monitoreo.	146
Anexo N° 10: Frascos de Fosforo Total.	147
Anexo N° 11: Disco de Secchi.	147
Anexo N° 12: Muestras listas para el transporte a laboratorio.	147
Anexo N° 13: Preparación de muestras de fósforo total.	148
Anexo N° 14: Muestras de Fosforo listas para la lectura en laboratorio.	148
Anexo N° 15: Muestras de Clorofila.	148
Anexo N° 16: Filtrando las muestras de Clorofila.	149
Anexo N° 17: Filtros de clorofila-a en tubos de muestreo para su conservación y transporte a laboratorio.	149
Anexo N° 18: Filtro con acetona pura para la extracción de los pigmentos de Clorofila-a.	150
Anexo N° 19: Uso de centrifuga para separar el material particulado con el extracto de clorofila-a.	150
Anexo N° 20: Lectura de las muestras de clorofila en el espectrofotómetro a diferentes longitudes de onda.	151

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación N° 1: Ecuación para la extinción vertical de la luz en el agua. ....	73
Ecuación N° 2: La ecuación 1 puede ser reescrita como. ....	73
Ecuación N° 3: La ecuación 2 en una forma lineal. ....	73
Ecuación N° 4: Índice de Estado Trófico de turbidez a base a 2. ....	74
Ecuación N° 5: Transformación logarítmica de los parámetros de Turbidez y Clorofila-a. ....	75
Ecuación N° 6: Ecuación de fósforo total contra el recíproco de la transparencia. ....	76
Ecuación N° 7: .....	77
Ecuación N° 8: .....	77
Ecuación N° 9: .....	77
Ecuación N° 10: .....	77

## RESUMEN

La eutrofización es un problema mundial según muchos estudios paso de ser un problema natural a un problema cultural, a través de los años a partir del siglo XX el problema de eutrofización ha ido creciendo en todas partes del mundo esto por la revolución verde que se dio en la década de los 60 esto consistía en toda producción de agroquímicos con alto contenido de fósforo y nitrógeno, el elemento de fósforo que es el nutriente limitante en la proliferación de algas y su crecimiento, por lo que también era muy usado para la producción de detergentes pues el contenido era de un 65 % de fósforo en su gran mayoría los residuos de detergentes o agroquímicos eran vertidos a aguas continentales o marinas generando así mayor nutrientes para las algas y acelerando el proceso de eutrofización dentro del cuerpo hídrico es por ello que se empezaron a inventar métodos para combatir este proceso acelerado desde la reducción de uso de fósforo en la fuente hasta modelos para identificar en estado eutrófico.

Se hizo un estudio descriptivo de eutrofización en la laguna de Paca utilizando un modelo matemático del Índice de Estado Eutrófico (IET) muy practicado por especialistas y científicos elaborado para determinar el estado eutrófico de una laguna junto a ellos se utilizó el grado de eutrofia establecido por la Organización de la Cooperación de Desarrollo Económico (OCDE) tanto el índice como el Grado de eutrofia utilizan los mismos parámetros para determinar el estado eutrófico los cuales son:

- Turbidez
- Fósforo Total
- Clorofila-a

La turbidez se midió en metros, fósforo total y clorofila-a en partes por millón estas unidades requiere el modelo y el grado de eutrofia, para poder obtener datos de cada parámetro se monitoreo tres meses en 5 puntos diferentes dentro de la laguna lo cual se siguió un procedimiento de monitoreo en campo y después en laboratorio una vez que se obtuvo los datos de cada parámetro, se llevó a gabinete para su respectiva operación con el IET y el grado de eutrofia establecida por la OCDE los

resultados fueron. Para el Índice de Estado trófico se obtuvieron promedios de los datos de los tres meses monitoreados de (Junio, Julio y Agosto) de turbidez fueron de 48.464, 48.346 y 48.307 en metros para fósforo total fueron de 47.132, 47.236 y 46.916 en  $\text{mg}/\text{m}^3$  para clorofila-a fueron de 48.397, 40.741 y 44.750 en  $\text{mg}/\text{m}^3$  respectivamente estos valores arrojaron que la laguna de Paca se encuentra en un estado Mesotrófico. Para el grado de eutrofia (OCDE) se obtuvieron promedios de los datos de los tres meses monitoreados de (Junio, Julio y Agosto) de turbidez fueron de 2.24, 2.26 y 2.26 en metros para fósforo total fueron de 19.704, 19.857 y 19.423 en  $\text{ug}/\text{lt}$  y para clorofila-a fueron de 6.868, 2.906 y 4.358 en  $\text{ug}/\text{lt}$  respectivamente al igual que el Índice de Estado Trófico (IET) el grado de eutrofia me indicó que la laguna de Paca se encuentra en un estado Mesotrófico una vez obtenido estos datos y saber en qué estado actual se encuentra se evaluó el comportamiento de eutrofización en la laguna de Paca comparando con los datos actuales con datos anteriores monitoreados por las instituciones públicas a cargo para lo cual los resultados fueron para el IET en turbidez 51.071 metros en fósforo total 48.273  $\text{mg}/\text{m}^3$  y para clorofila- a 49.709  $\text{mg}/\text{m}^3$  lo cual estos datos arrojaron que la laguna de Paca se encuentra en un estado Mesotrófico. Para el grado de eutrofia los resultados fueron en turbidez 1.86 metros para fósforo total 25.385  $\text{ug}/\text{lt}$  y para clorofila-a fue de 5.840  $\text{ug}/\text{lt}$  dando como resultado un estado Mesotrófico de la laguna de Paca.

## ABSTRACT

Eutrophication is a global problem, according to many studies, it went from being a natural problem to a cultural problem, over the years since the 20th century the problem of eutrophication has been growing in all parts of the world because of the green revolution that occurred in the 60's this consisted of all production of agrochemicals with high content of phosphorus and nitrogen, the element of phosphorus that is the nutrient limiting the proliferation of algae and their growth, so it was also widely used for the production of detergents because the content was 65% phosphorus, the vast majority of detergent or agrochemical residues were discharged into continental or marine waters, thus generating greater nutrients for the algae and accelerating the process of eutrophication within the water body. They began inventing methods to combat this accelerated process from reducing the use of phosphorus at source to models for identify in a eutrophic state.

A descriptive study of eutrophication was made in the Paca lagoon using a mathematical model of the Eutrophic State Index (EIT), very practiced by specialists and scientists, developed to determine the eutrophic state of a lagoon, along with the degree of eutrophy established by The Organization of Economic Development Cooperation (OECD) both the index and the Degree of eutrophy use the same parameters to determine the eutrophic state which are:

- Turbidity
- Total phosphorus
- Chlorophyll-a

The turbidity was measured in meters, total phosphorus and chlorophyll-a in parts per million. These units required the model and the degree of eutrophy, in order to obtain data for each parameter, three months were monitored at 5 different points within the lagoon, which followed a monitoring procedure in the field and then in the laboratory once the data for each parameter was obtained, it was taken to the cabinet for its respective operation with the EIT and the degree of eutrophy established by the OECD. For the trophic Status Index, averages were obtained for the data from the three monitored months of (June, July and August) of turbidity were

48,464, 48,346 and 48,307 in meters for total phosphorus were 47,132, 47,236 and 46,916 in  $\text{mg} / \text{m}^3$  for chlorophyll-a were 48,397, 40,741 and 44,750 in  $\text{mg} / \text{m}^3$  respectively, these values showed that the Paca lagoon is in a Mesotrophic state. For the degree of eutrophy (OECD) averages were obtained of the data of the three monitored months of (June, July and August) of turbidity were 2.24, 2.26 and 2.26 in meters for total phosphorus were 19,704, 19,857 and 19,423 in  $\text{ug} / \text{lt}$  and for chlorophyll-a were 6,868, 2,906 and 4,358 in  $\text{ug} / \text{lt}$  respectively, as well as the Trophic Status Index (IET) the degree of eutrophy indicated that the Paca lagoon is in a Mesotrophic state once obtained These data and know in what current state is the behavior of eutrophication in the Paca lagoon compared to the current data with previous data monitored by the public institutions in charge for which the results were for the EIT in turbidity 51,071 meters in total phosphorus 48.273  $\text{mg} / \text{m}^3$  and for chlorophyll- a 49.709  $\text{mg} / \text{m}^3$  which these data showed that the Paca lagoon is in a Mesotrophic state. For the degree of eutrophy the results were in turbidity 1.86 meters for total phosphorus 25,385  $\text{ug} / \text{l}$  and for chlorophyll-a it was 5,840  $\text{ug} / \text{lt}$  resulting in a Mesotrophic state of the Paca lagoon.

## INTRODUCCIÓN

Los lagos son depósitos naturales de agua utilizados para satisfacer las necesidades de la sociedad y medio ambiente. Entre las más destacadas figura la provisión de agua para consumo humano, animal y riego, la recarga de napas subterráneas, la provisión de hábitat para una gran cantidad de especies animales y vegetales.

Entre los problemas ambientales de lagos, la eutrofización es uno de los más frecuentes. Este fenómeno que se define como un proceso de deterioro de la calidad del recurso, se origina por el enriquecimiento de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, condicionando la utilización de los mismos y ejerciendo grandes impactos ecológicos, sanitarios y económicos (GIRÃO, 2007).

La laguna de Paca, se encuentra altamente influenciado por la agricultura, el manejo pecuario, la erosión del suelo, la descarga de un río como alimentación de la laguna. Como resultado, se puede presenciar carga de materia orgánica, lo que provoca una desorganización en el normal funcionamiento del ecosistema y genera la estimulación de una serie de cambios sintomáticos, tales como, pérdida de la calidad del agua, color, olor y sabor desagradable, trastornos en la salud animal, disminución de la biodiversidad, reducción de la penetración de la luz, mortandad de los seres bióticos habitables en la laguna, aumentos en las poblaciones de microorganismos patógenos y vectores de enfermedades, en algunas ocasiones importantes florecimientos o blooms de cianobacterias tóxicas para la salud humana y animal.

A lo largo del tiempo se han desarrollado una serie de métodos para determinar el estado eutrófico y prevenir daños de eutrofizaciones drásticas e irreversibles, algunos de estos métodos muy utilizados son el Índice de Estado Trófico y el Grado de Eutrofia establecida por la OCDE.

Tomando en cuenta la información presente el objetivo de la presente tesis fue determinar el estado trófico de la laguna de Paca utilizando estos dos métodos.

# CAPÍTULO I

## 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Caracterización del problema.

La eutrofización se consideraba en los años anteriores, un estudio científico por lo que parecía un tema nuevo y muy poco común ya que la contaminación siempre existió pero no era tan elevado las concentraciones como en la actualidad. Mayormente a la eutrofización, antes se le dominaba como estrés hídrico o laguna anaeróbica ya que se refería a una laguna sin oxígeno una laguna muerta sin biodiversidad acuática de aguas muy turbias pero esto fue cambiando a través de los años, la contaminación tanto en agua, suelo y aire se fue incrementado a medida que se empezaron a fabricar más tipos de fertilizantes, entre ellos se empezó a contaminar más el aire el suelo y el agua pues para el año de 1990 la eutrofización ya no era solo un estudio científico sino un problema mundial ya que la contaminación del agua, suelo y aire había incrementado en todas partes así mismo se empezó a hacer grandes estudios científicos en todo el planeta, de eutrofización de como remediar un lago eutrofizado hasta como poder comprobar en qué nivel de eutrofización se encuentra un lago o laguna. (Daniela Paola Moreno Franco, 2010)

Durante gran parte de su historia, Uruguay se caracterizó por la excelente calidad de sus aguas. Los casos más notorios de degradación de los recursos hídricos estuvieron vinculados al desarrollo urbano y en particular a la contaminación industrial, concentrados especialmente en Montevideo, Canelones y en la ciudad de Paysandú. Salvo por algunos casos puntuales de

erosión, el sector agrícola no fue un actor relevante en cuanto a sus impactos sobre el agua. Sin embargo, todo cambió a partir de la llamada “Revolución Verde” que se desarrolló a partir de la segunda mitad del siglo XX y que implicó grandes cambios en la agricultura en todo el mundo. En el marco de la misma se procedió al desarrollo de variedades de semillas de alto rendimiento (principalmente de cultivos de cereales como arroz, maíz y trigo), acompañadas de un paquete de agroquímicos (primero fertilizantes y plaguicidas y más adelante herbicidas) y de maquinaria agrícola. Desde entonces, el modelo se ha ido profundizando hasta llegar a la agricultura a gran escala de hoy, basada en extensos monocultivos, uso masivo de insumos químicos, manipulación genética y altos niveles de mecanización, en lo que se ha definido como una “agricultura sin agricultores”. Este tipo de producción y manejo fue inicialmente considerado muy positivo, pero más tarde se comenzaron a ver sus graves impactos sociales y ambientales entre los que se pueden destacar: La uniformización en la utilización de las semillas y los grandes monocultivos son sinónimo de reducción de la biodiversidad, lo que implica una disminución de su resistencia a plagas. Como resultado, el uso de plaguicidas, así como de fertilizantes se multiplicó de forma brusca, generando un impacto negativo sobre el medio ambiente, incluyendo agotamiento y salinización de los suelos, compactación del suelo por uso de maquinaria pesada y contaminación del agua. Además, el uso creciente de fertilizantes dio lugar a una alta concentración de nutrientes en los cursos y espejos de agua, comenzando a generarse problemas de eutrofización e hipereutrofización de los recursos hídricos. (RAPAL, 2010)

Perú no es ajeno al problema de eutrofización como es el ejemplo del lago Titicaca ubicada en de Puno existe grandes cantidades de lenteja de agua (*Lemna minor*) cercanas de las bahías interiores del Lago Titicaca, debido al proceso de eutrofización que sufre a causa del mal tratamiento de las aguas residuales y áreas de cultivo alrededor. Muchas de las estrategias planteadas hasta ahora no han dado resultados positivos en la reducción de la biomasa

de (*Lemna minor*), debido a que estos planes están direccionados a la exterminación de este organismo. El promedio de la biomasa de la lenteja de agua en la bahía interior es de 6.94 kg/m<sup>2</sup>, mientras que los promedios de pH y temperatura del agua fueron de 6.3 y 13.8°C, respectivamente. Esto prueba la eficacia de este organismo para crecer en condiciones difíciles (además hay altos niveles de Nt, Pt y metales pesados), por lo que su manejo puede ser una alternativa para disminuir el proceso de eutrofización del lago.

La eutrofización se da mayormente de aguas lenticas donde la concentración del fósforo, nitrógeno, parámetros físicos entre otros se almacenan o tengan una velocidad de agua menor a la de un río, produciendo un proceso de eutrofización de la laguna.

Por esta misma razón el problema de que toda laguna presenta un nivel de eutrofización por poseer aguas lenticas muchas veces las lagunas presentan a su alrededor poblaciones humanas, áreas agrícolas, otro ejemplo es la laguna de Paca ubicada en la provincia de Jauja en los últimos años se ha convertido en una zona muy concurrida lo cual promueve mucho el turismo claro está que el turismo es una fuente muy buena para mejorar la economía pero si no hay una buena gestión de residuos sólidos esto puede producirse en un serio problema otra actividad antrópica que podemos encontrar en Paca es la actividad agrícola el uso de fertilizantes, agroquímicos etc. Y todo lo que tenga que ver con el tema agrario, los agroquímicos también producen residuos no solo el empaque si no también el contenido que es filtrado al subsuelo y es arrastrado por medio de lluvias hacia un cuerpo hídrico cercano lo cual esto puede alterar el ecosistema acuático de la laguna de Paca produciendo eutrofización.

A los largo del tiempo la eutrofización se ha convertido en un problema global es por eso que la laguna de Paca no es la excepción a este problema, para poder identificar el problema de eutrofización se ha venido dando una serie de métodos los más conocidos y usados son el Índice de Estado Trófico IET y el Grado de Eutrofia establecido por la Organización de la cooperación para el

Desarrolla Económico OCDE estos métodos pueden identificar el grado de eutrofización de una laguna por medio de concentraciones y modelos matemáticos de esta manera se pretende identificar el grado de eutrofización de la laguna de Paca y evitar futuros daños más drásticos hacia la laguna.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

- ¿Cuál será la medida del estado actual de eutrofización utilizando el modelo matemático del IET y el grado de eutrofia establecido por la OCDE, en la laguna de Paca de la provincia de Jauja 2017?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cuál será el valor de Turbidez que presenta el estado actual de eutrofización utilizando el modelo matemático del IET y el grado de eutrofia establecido por la OCDE, en la laguna de Paca de la provincia de Jauja 2017?
- ¿Cuál será la concentración de Fósforo total que presenta el estado actual de eutrofización utilizando el modelo matemático del IET y el grado de eutrofia establecido por la OCDE, en la laguna de Paca de la provincia de Jauja 2017?
- ¿Cuál será la concentración de Clorofila-a que presenta el estado actual de eutrofización utilizando el modelo matemático del IET y el grado de eutrofia establecido por la OCDE, en la laguna de Paca de la provincia de Jauja 2017?
- ¿Cómo ha venido dándose el comportamiento de eutrofización según el parámetro de Turbidez en la laguna de Paca, mediante el modelo matemático del IET y el grado de eutrofia establecido por la OCDE, en la provincia de Jauja 2017?
- ¿Cómo ha venido dándose el comportamiento de eutrofización según el parámetro de Fósforo total en la laguna de Paca,

mediante el modelo matemático del IET y el grado de eutrofia establecido por la OCDE, en la provincia de Jauja 2017?

- ¿Cómo ha venido dándose el comportamiento de eutrofización según el parámetro de Clorofila-a en la laguna de Paca, mediante el modelo matemático del IET y el grado de eutrofia establecido por la OCDE, en la provincia de Jauja 2017?

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

- Determinar la medida del estado actual de eutrofización utilizando el modelo matemático del IET y el grado de eutrofia establecido por la OCDE, en la laguna de Paca de la provincia de Jauja 2017.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar el valor de Turbidez que presenta el estado actual de eutrofización utilizando el modelo matemático del IET y el grado de eutrofia establecido por la OCDE, en la laguna de Paca de la provincia de Jauja 2017.
- Determinar la concentración de Fósforo total que presenta el estado actual de eutrofización utilizando el modelo matemático del IET y el grado de eutrofia establecido por la OCDE, en la laguna de Paca de la provincia de Jauja 2017.
- Determinar la concentración de Clorofila-a que presenta el estado actual de eutrofización utilizando el modelo matemático del IET y el grado de eutrofia establecido por la OCDE, en la laguna de Paca de la provincia de Jauja 2017.
- Evaluar el comportamiento de eutrofización en la laguna de Paca según el parámetro de Turbidez, mediante el modelo matemático del IET y el grado de eutrofia establecido por la OCDE, en la provincia de Jauja 2017.

- Evaluar el comportamiento de eutrofización en la laguna de Paca según el parámetro de Fósforo total, mediante el modelo matemático del IET y el grado de eutrofia establecido por la OCDE, en la provincia de Jauja 2017.
- Evaluar el comportamiento de eutrofización en la laguna de Paca según el parámetro de Clorofila-a, mediante el modelo matemático del IET y el grado de eutrofia establecido por la OCDE, en la provincia de Jauja 2017.

#### **1.4 Justificación**

La eutrofización es un problema que aparece lentamente, mayormente se da en aguas lénticas como lagos y lagunas pues en el Perú hay muchos y grandes cuerpos de agua como son las lagunas originadas naturalmente, en el caso de la laguna de Paca que tiene una extensión de 21.40 km<sup>2</sup> que en la actualidad, se identifican actividades como lo es: el turismo, poblaciones y uso de fertilizantes en campos agrícolas en la actualidad no se ha mencionado ningún programa de protección o descontaminación de toda la contaminación que se genera cerca de la laguna o el caso de eutrofización.

Por tanto se desarrolla la presente investigación para poder poner el conocimiento de un problema global que se está generando en todos o la gran mayoría de lagos del Perú y en varios países por temas antrópicos y naturales una de ellas es la laguna de Paca que al pasar los años se ha vuelto muy concurrida, ya sea por visitas propias del país y por extranjeros teniendo una población cercana y convirtiéndose en zona turística así mismo encontrándose varias áreas agrícolas, por lo que el tema de eutrofización no es algo impalpable en la laguna, con esta investigación se puede saber si el lago esta eutrofizado o está en un proceso de eutrofización. Los posibles resultados que se encuentren serán de control preventivo hacia futuros episodios de eutrofización.

Así mismo la presente investigación también se realiza con el fin de poder conocer en qué estado de eutrofización que se encuentra la laguna de Paca mediante un proceso de monitoreo en cuerpos lenticos y dos métodos para la identificación del grado eutrófico, claro está que si existe contaminación y acelerando el proceso de eutrofización pero no se sabe en qué estado o nivel de eutrofización se encuentra y si su estado de eutrofización está aumentando, disminuyendo o se mantiene.

### **1.5 Importancia**

El eutrofización es un proceso desfavorable para un cuerpo hídrico en su gran mayoría este proceso se da en aguas donde no presentan mucho movimiento como son los lagos, lagunas y mares pues al no presentar mucho movimiento esta almacena residuos físico, químicos y biológicos el problema sucede cuando donde se empiezan a verter aguas residuales, filtraciones de vertederos o zonas agrícolas, etc. Lo cual estas contienen grandes cantidades de nutrientes como es el Nitrógeno y el Fósforo que son considerados con macronutrientes para las plantas que cumplan con la función de fotosíntesis las algas también son considerados como una especie de plantas al igual que el fitoplancton absorben energía lumínica y producen energía química como es el oxígeno pero si hay producción de oxígeno porque se produce eutrofización, claro está que la producción de oxígeno es muy favorable para la laguna pero si hay un exceso de nutrientes hay un exceso de producción de algas produciendo turbidez en la superficie de la laguna obstruyendo el paso de la luz solar hacia las algas de la superficie de la laguna y rompiendo el proceso de fotosíntesis en pocas palabras la eutrofización es buena pero si hay un exceso de nutrientes la proliferación de algas será mayor produciendo un grado de eutrofización muy alta y como consecuencia la muerte de muchas especies haciéndolo un lago hipereutrófico o una ciénega.

## **1.6 Limitaciones**

Las limitaciones principales de la investigación es la falta de información del lugar con respecto al tema referido de eutrofización y escasos de datos cuantitativos con respecto a los parámetros de clorofila-a, fósforo total y turbidez a años anteriores.

## CAPÍTULO II

### 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1 Marco referencial

##### 2.1.1 Antecedentes de la investigación

###### 2.1.1.1 Antecedentes internacionales

**Ruth Danesa Aragón López (2006), realizó investigación para obtener el título de Química: *Eutrofización en la laguna de MORONCARIT en relación con la Dinámica Hidrológico y los Nutrientes*; en el Instituto Tecnológico de Sonora, México.**

Dicen que la eutrofización en un sentido ecológico, es el enriquecimiento natural o artificial del agua en materias nutritivas. Además es el desarrollo excesivo de algas en el interior de una masa de agua como consecuencias del aporte en sustancias favorables para el desarrollo, principalmente macronutrientes.

Los niveles que influyen en la eutrofización son el ortofosfato y el nitrato. Estas sustancias que llamamos nutrientes son las que regulan el crecimiento de las algas. El limitante para el desarrollo de las algas es, severamente el fósforo ya que el nitrógeno y el carbono lo pueden obtener del aire como de la liberación por procesos de nitrificación o descomposición. Por el contrario el fósforo, que es imprescindible para su

desarrollo, solo lo pueden obtener del que haya disuelto en el agua, y que severamente proviene de los contaminantes vertidos de diverso origen. El problema es que si hay exceso de nutrientes crece en abundancia las plantas y otros organismos y más tarde, cuando mueren, al descomponerse generan malos olores, consumiendo el oxígeno del sistema, disminuyendo drásticamente su calidad ambiental.

El proceso de descomposición orgánica consume gran cantidad de oxígeno disuelto en el agua y esta agua dejan de ser aptas para la mayor parte de los seres vivos, el resultado final es un ecosistema casi destruidos.

Por la importancia de este tema el objetivo de este estudio fue estimar el grado de eutrofización en los humedales costeros en la laguna de Moroncarit. De la vía de YAVAROS en relación con la dinámica de nutrientes y las mareas para ello se realizaron muestreos en 4 puntos de la laguna de Moroncarit, entre la bahía y la laguna en un canal. Analizando los siguientes parámetros en campo: Oxígeno disuelto, temperatura, Salinidad, conductividad Eléctrica y transparencia. En el laboratorio los analizados fueron los siguientes: solidos Totales (ST), Solidos Suspendidos Totales (SST), Nitrógeno orgánico (N-Org), nitrógeno Amoniacal (N-NH<sub>3</sub>), Nitrógeno Total (N -Tot), Fósforo Total (P-Tot), Ortofosfato (PO<sub>4</sub>) y Clorofila-a (Chla-a). Los muestreos se realizaron durante el periodo del 3 al 5 de Septiembre del 2004 en marea viva.

En el punto Y-1 los promedios (media +/- SD) más altos que se obtuvieron corresponden a los parámetros de: SST (MP= 91.21 mg/L), N-Org (MP= 4.02 mg/L), N - Tot (MP= 5.44 mg/L), Chla-a (MP= 97.81 mg/L). En el punto Y-2 el promedio

(media +/- SD) más alto se representa para P-Tot (MP= 4 mg/L). En el punto Y-4 el promedio (media +/- SD) más alto corresponde de ST (MB = 51613.85 mg/L). En el punto Y-4 el resto de los parámetros resultaron en promedio más bajos. El grado de eutrofización se determinó en relación al contenido de nutrientes (fosforo y nitrógeno) para establecer las pautas de eutrofización en relación con la respuesta de los productores primarios al nutriente limitante y a otros parámetros relativos a la turbidez del sistema (sólido), solo el punto Y-3 mostro una relación significativa entre Chla-a ST ( $R^2 = 0.6381$ ). En el resto de los puntos la clorofila-a no presento una correlación estadísticamente significativa ( $P > 0.05$ ), la relación de Chla con los demás parámetros estudiados es mala por estar debajo del 0.5 o 50% de confianza.

Respecto a los nutrientes, el grado trófico se encuentra entre los rangos de eutrófico e hipertrófico para el fósforo total y el nitrógeno total. El nitrógeno total es el principal limitante de eutrofización en el área más cercana a la laguna ( $R^2 = 0.39$ ), aunque también existen relaciones significativas con el fosforo y el ortofosfato ( $R^2 = 0.35$  y  $0.20$ ). En las zonas de manglares, más lagunas y con mayor influencia del agua dulce, el patrón de eutrofización es más complejo y no aparecen relaciones significativas entre clorofila-a y nutrientes, solo débilmente con el orto fosfato.

Esta pauta demuestra la dificultad de proceso que coincide la eutrofización en el sistema con mayor turbidez procedente de los detritos orgánicos liberados por manglares y donde domina la vía detrítica (bacterias) en los procesos de transformación de los nutrientes.

Por los resultados obtenidos se puede concluir que la dinámica de nutrientes está relacionada con las condiciones físicas e hidrodinámicas del sistema, siendo mayor la concentración en los periodos de marea muerta, (menor flujo, más actividad microbiana) que en marea viva

**Daniela Paola Moreno Franco, Jacqueline Quintero Manzano y Armando López Cuevas (2010), realizaron una investigación científica: *Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia.***

Dicen que la “eutrofización” es el enriquecimiento de las aguas superficiales con nutrientes disponibles para las plantas. Si bien la eutrofización se produce en forma natural, Normalmente está asociada a fuentes antropogénicos de nutrientes. El “estado trófico” de los lagos es un concepto fundamental en la gestión de los mismos. En él se describe 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.

Aunque tanto el nitrógeno como el fosforo contribuyen a la eutrofización, la clasificación del estado trófico normalmente se basa en el nutriente que representa una limitación. En la mayoría de los casos, el factor de limitante es el fosforo. Si bien los efectos de la eutrofización, como los florecimientos de algas, son fácilmente visibles, el proceso de eutrofización es complejo y ofrece dificultades de cuantificación. Este documento pretende hacer una revisión detallada sobre los aspectos científicos de la eutrofización.

El propósito de este documento es describir las diferentes técnicas que permiten evaluar el grado de eutrofia de los

sistemas acuático. Dada la compleja interacción entre las numerosas variables que intervienen en la eutrofización, es imposible establecer una delimitación

**María I. Rodríguez<sup>1</sup>, Ana Cossavella, Claudia Oroná, Nancy Larrossa, Marcelo Avena, Andrés Rodríguez, Susana Del Olmo, César Bertucci, Adrián Muñoz, Edgar Castelló, Raquel Bazán y Marcela Martínez (2000), realizarón estudio para el XVIII CONGRESO NACIONAL DEL AGUA: ESTUDIOS PRELIMINARES DE LA CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS DEL EMBALSE SAN ROQUE RELACIONADOS AL PROCESO DE EUTROFICACIÓN; Centro de Investigaciones de la Región Semiárida, INA, Argentina.**

Dicen que el Embalse San Roque representa la principal fuente de agua potable para la ciudad de Córdoba. Su condición eutrófica se evidencia a través de su escasa transparencia, presencia de anoxia hipolimnética y frecuentes eventos de floración algal debido al alto aporte de nutrientes provenientes de la cuenca y márgenes del lago. El presente trabajo se enmarca en un proyecto interinstitucional e interdisciplinario uno de cuyos principales objetivos es el de lograr un estudio integral y sistemático de la calidad de agua y los sedimentos del embalse San Roque y generar una base de datos suficiente para la aplicación futura de modelos de eutrofización.

Con este fin se llevan a cabo una serie de campañas de la cual se presentan algunos resultados preliminares correspondientes a la de primavera. El estudio abarca parámetros de calidad de agua, nutrientes, algas,

bacteriología y sedimentos. Asimismo se presentan resultados de revisión de datos del embalse en estudio.

**Francisco Fontúrbel Rada (2005), realizó una investigación para la UNALM: *INDICADORES FISICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DEL PROCESO DE EUTROFIZACIÓN DEL LAGO TITIKAKA (BOLIVIA)*; Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.**

Afirma que se evaluó el grado de avance del proceso de eutrofización del lago Titicaca por medio de la evaluación de las micrófitos (pleuston y limnófitas), de la diversidad de fitoplancton, de parámetros fisicoquímicos (pH, turbidez, DBO5, nitrógeno total y fósforo soluble) y microbiológicos (coliformes fecales termo tolerantes) en cuatro localidades del lago. Los resultados mostraron un avance diferencial en el desarrollo del proceso de eutrofización en cada sitio: se clasificó un sitio como aguas de calidad mínima, un sitio como calidad baja y dos como calidad media. La conjunción de turbidez, DBO5, nitrógeno y fósforo se manifiesta como un buen indicador del grado de avance del proceso de eutrofización, mientras que la evaluación de micrófitos y fitoplancton proporcionan datos valiosos sobre la pérdida de biodiversidad.

**Claudia Ledesma, Matias Bonansea, Claudia María Rodríguez Ángel Ramón Sánchez Delgado (2013), realizó una investigación para la revista ciencia agronómica: *Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba*; Universidad de Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Argentina.**

Afirman que la eutrofización es una de las problemáticas ambientales más importantes de lagos y embalses. El

embalse Río Tercero (Argentina) se encuentra afectado por diversas actividades antrópicas que impactan negativamente sobre el recurso. A la hora de generar un programa de monitoreo de los sistemas acuáticos, una de las consideraciones más importante es poder definir las variables más significativas. El análisis multivariado se presenta como una herramienta alternativa. El objetivo de este trabajo fue determinar la calidad del agua y estado trófico del embalse Río Tercero, con el fin de generar bases para una adecuada gestión de los recursos hídricos. Se realizaron campañas de muestreos durante los años 2003 a 2006 donde se midieron parámetros de calidad del agua. Se determinó el estado trófico del reservorio. Se realizó un análisis multivariado, generando una matriz de correlación y un análisis de componentes principales (ACP). El embalse experimentó un deterioro en su calidad, pasando desde un estado de Mesotrófico a eutrófico. Se demostró que existe correlación positiva entre la clorofila- a y las variables fósforo total ( $R^2= 0.83$ ), oxígeno disuelto ( $R^2= 0.51$ ) y temperatura ( $R^2= 0.43$ ). El ACP explicó el 65,6% de la variabilidad total de los datos. El análisis multivariado estableció que las variables más significativas para explicar la variabilidad en el reservorio fueron clorofila-a, fósforo total y temperatura, lo que demuestra que los florecimientos de algas deberían ocurrir en las estaciones primavera-verano. Los resultados obtenidos permiten generar un programa preliminar de monitoreo y gestión extrapolable a otros recursos acuáticos.

### **2.1.1.2 Antecedentes nacionales**

**BACH. Ana Cecilia Díaz Medina y BACH. Lenin Fabio Sotomayor Maguiña (2013), realizó una investigación para optar el título de ingeniero ambiental: *Evaluación de Eutrofización de la laguna Conococha*; en la Universidad Santiago Antúnez de Mávalo, Ancash.**

Dicen que la laguna Conococha está ubicada en la cordillera de los Andes, al lado noroeste del Perú. Está emplazada sobre la meseta homónima en la Región Ancash en la provincia de Recuay, a una altitud de 4050 msnm con coordenadas: 10°07'40"S 77°17'02"O, con acceso a Huaraz-Conococha carretera asfaltada 90 Km de distancia; enmarcada actualmente entre actividades ganaderas y poblacionales, las cuales año tras año vienen alterando y acelerando su envejecimiento; esto debido a la presencia de animales que toman el agua del lugar, la ganadería que en época de lluvia arrastra las heces de los animales a la laguna Conococha, los residuos generados por la población depositadas a la laguna Conococha, el vertimiento directo de las aguas residuales, conllevando a una acelerada eutrofización.

El objetivo principal del trabajo fue determinar el nivel de eutrofización de la laguna Conococha - Ancash, a agosto de 2012; para ello se evaluó el nivel de eutrofización o nivel trófico actual de la laguna Conococha aplicando metodologías para la determinación por cada variable (Organization for Economic Cooperation and Development, 1982, American Public Health Association, 1981 y Carlson-1977), para lo cual se realizó una distribución de la laguna en seis puntos de monitoreo mediante el método de cuadrantes

y teniendo en cuenta aspectos como: ubicación de ingresos y salidas de efluentes, ubicación de fuentes contaminantes, vertimientos de aguas residuales y botaderos de residuos sólidos, ubicación áreas del cuerpo de agua donde se desarrollen actividades específicas y distribución en transectos definidos en torno a una actividad específica. De acuerdo a las características climatológicas de la zona de estudio, se realizaron dos muestreos, una en época de estiaje y la otra en época de lluvia, con la finalidad de realizar una evaluación del nivel trófico más objetivo.

Las variables fundamentales que se consideraron para la determinación del nivel trófico de la laguna Conococha fueron: el fósforo total, nitrógeno en forma de nitrato, la transparencia y la clorofila-a. Todas las variables se analizaron de manera individual, según la OECD (1982) se obtiene para el fósforo total un nivel trófico muy elevado (hipereutrofico) 128,9  $\mu\text{g/l}$  y 132,0  $\mu\text{g/l}$  tanto para la temporada de lluvia como para la de estiaje respectivamente, para el nitrato, la laguna Conococha se encuentra en un nivel trófico alto (eutrófico) 201,7  $\mu\text{g/l}$  y 230,0  $\mu\text{g/l}$  para las mismas temporadas respectivamente, para la clorofila "a", el nivel trófico de la laguna Conococha es muy alto (hipereutrofico) con 46  $\mu\text{g/l}$  promedio anual, y para el disco de Secchi (transparencia), la laguna Conococha se encuentra en un nivel trófico muy alto (hipereutrofico) con 0,69 m y 0,62 m en temporada de lluvia y estiaje respectivamente.

Teniendo en cuenta a Carlson el fósforo total que la laguna Conococha posee determina un nivel trófico muy elevado (hipereutrofico) con un índice de estado trófico (TSI) = 73,8 y TSI= 74,3 en temporada de lluvia y estiaje respectivamente,

para la clorofila “a”, el nivel trófico de la laguna Conococha es muy alto (eutrófico) con TSI = 68,4 y TSI= 67,9 en temporada de lluvia y estiaje respectivamente y para el disco de Secchi (transparencia), la laguna Conococha se encuentra en un nivel trófico muy alto (eutrófico) con TSI = 66,1 y TSI= 67,1 en temporada de lluvia y estiaje

Este trabajo permite concluir que el nivel de eutrofización de la laguna Conococha es de eutrófico a hipereutrofico, donde las principales causas de la eutrofización son básicamente: La actividad ganadera, vertimiento directo de las aguas residuales domésticas, la disposición de los residuos sólidos hacia la laguna.

Dentro de las recomendaciones es importante tener en cuenta la sectorización de las áreas de pastoreo con el objetivo de controlar la presión del ganado y áreas protegidas que hagan posible la recuperación de los pastos naturales en la zona, es necesario la puesta en marcha de un programa de saneamiento urbano que promueva buenas prácticas ambientales, pero sobre todo el compromiso formal de los organismos competentes para crear y aplicar políticas protectoras del ambiente natural, mediante la formulación de ordenanzas que comprometan la participación de la sociedad en general.

### **2.1.2 Referencias históricas.**

El término Eutrofia, se originó a partir del adjetivo alemán eutrophe, el cual refería a la riqueza de nutrientes en una cierta región; (Naumann, 1919), fue quien introdujo el concepto general de Oligotrofia y Eutrofia, tomando como referencia la poca o gran existencia de algas planctónicas en el lugar de estudio, donde el primer término refería a los lagos que contenían pocas algas planctónicas en una región

dominada por rocas primarias; un lago Eutrófico, era todo lo contrario, ya que el mismo contenía una gran riqueza en fitoplancton, en regiones bajas y fértiles, donde existía una gran actividad humana que a su vez proporcionaba e incrementaba la cantidad de nutrientes. Al poco tiempo (Thienemann 1925), adopto el concepto de Naumann y estudio a las especies de ambos tipos de lagos encontrando, caracterizándolos desde el punto de vista biológico, por ejemplo, en el agua hipolimnética de los lagos eutróficos, existían especies que requerían bajas concentraciones de oxígeno.

La caracterización de los lagos de ambos estudios, al pasar el tiempo se volvió muy complicada, ya que tomaban muchos aspectos para la clasificación de los mismos, que eran llevadas al extremo por su especialización, finalmente se volvió a la idea original, sobre la clasificación de los lagos entre oligotróficos y Eutróficos, bajo los conceptos básicos de Naumann, de abundancia de algas y deficiencia de oxígeno de Thienemann. (Naumann, 1919)

Otro de los conceptos de eutrofización, etimológicamente, del griego, se puede hacer referencia a que oligotrófico significa poco alimentado y eutrófico, bien alimentado.

Durante los últimos veinte años, la palabra eutrofización, ha sido utilizada, cada vez más para designar el aporte artificial e indeseable de nutrientes tales como el fósforo, el nitrógeno y el carbono. Sin embargo este concepto puede llevar a cierta confusión, ya que en algunos casos, el ingreso de nutrientes a un lago o pantano puede resultar muy favorable, dependiendo el fin y el uso de las aguas del sistema en cuestión.

La OCDE realizó en la década de 1970 con la participación de connotados científicos de 18 países y coordinados por Vollenweider. Establecieron una secuencia de categorías tróficas cimentado en las

concentraciones de Pt, Clorf-a, nitrógeno total (Nt) y transparencia medida con el Ds (OCDE, The OCDE Listo Social Indicators, 1982).

Ya en 1977 Carlson propuso este un índice de estado trófico, es uno de los más utilizados varía entre 0 y 100 es decir, de oligotrófico a hipereutrofico. Se obtiene a través de la transparencia determinada con el disco de Secchi (Ds) El mismo índice puede determinarse a partir de otros parámetros, como la concentración de clorofila a (Clorf a) y fosforo total (Pt) (Carlson R. , 1977).

Ya para 1981 Janus y Vollenweider llegaron a la conclusión de que es imposible establecer una limitación estricta entre las distintas categorías tróficas (Vollenweider & Janus, 1981)

Originalmente, la eutrofización se consideraba como un proceso natural, que se llevaba a cabo durante millones de años, en el cual un lago o pantano recibía los aportes de su cuenca de drenaje, los mismos que consistían en nutrientes, sedimentos y otros materiales alóctonos, con el tiempo sucedía que el sistema acuoso del lago se transformaba en una ciénaga, la cual al consolidarse se convertía en un sistema terrestre. Este proceso toma lugar en cientos de miles de años y es irreversible.

Actualmente es posible hablar de una “Eutrofización Cultural”, determinada por la intervención del hombre, el cual debido a su necesidad de extensión transforma su entorno. Las descargas de aguas servidas por ejemplo, son una de las más antiguas causas de la eutrofización cultural, ya que estas son ricas en nutrientes contribuyendo al cambio trófico cuerpo receptor; otro ejemplo son los excesos de fertilizantes, los cuales son ricos en fósforos, sean estos naturales o químicos. La deforestación también influye en la carga de nutrientes, ya que los escurrimientos al pasar por una tierra que no tiene protección, “lavan” la capa fértil y se llevan consigo los nutrientes de la misma (OCDE, The OCDE Listo Social Indicators, 1982).

## 2.2 Marco legal

De la constitución política de 1993, capítulo 1 del inciso 22: toda persona tiene derecho a la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

## 2.3 Marco conceptual

**Turbidez:** La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua.

**Disco de Secchi:** instrumento de medición de la penetración luminosa

**Fósforo total:** Es un elemento no metálico perteneciente al grupo 15 de la tabla periódica y se encuentra en la naturaleza combinado en fosfatos inorgánicos y en organismos vivos, pero nunca en estado nativo. Es una sustancia muy reactiva y se oxida espontáneamente en contacto con el oxígeno atmosférico emitiendo luz

**Clorofila:** son una familia de pigmentos de color verde que se encuentran en las cianobacterias y en todos aquellos organismos que contienen plastos en sus células, lo que incluye a las plantas y a las diversas algas eucarióticas. La clorofila es una biomolécula extremadamente importante, crítica en la fotosíntesis, proceso que permite a las plantas y algas absorber energía a partir de la luz solar. Y transformarla en energía química.

**Clorofila-a:** es un buen indicador de la biomasa de organismos fotosintéticos presentes en los medios acuáticos, además de indicar el estado trófico del medio que se pretende estudiar. También es el indicador más usado para determinar biomasa algal ya que integran a todos los organismos que componen el fitoplancton.

**Cianobacterias:** se les conoce como algas o micro algas, denominación que aparece incluso en estudios científicos, pero son en realidad bacterias

filamentosas, concretamente cianobacterias de la especie *Trichodesmium erythraeum*. También se les llama "serrín del mar" o "paja del mar". No son más que pequeños organismos fotosintéticos que flotan en las aguas marinas o aguas continentales lenticas

**Pigmentos:** también conocidos como pigmentos o biocromos son sustancias producidas por organismos que poseen un color resultante de la absorción selectiva de la luz. Los pigmentos biológicos incluyen pigmentos vegetales y animales.

**Procesos de oxidación:** este verbo se refiere a generar oxido a partir de una reacción química.

**Fotosíntesis:** Proceso químico que tiene lugar en las plantas con clorofila y que permite, gracias a la energía de la luz, transformar un sustrato inorgánico en materia orgánica rica en energía.

## 2.4 Marco teórico.

### 2.4.1 Eutrofización y el proceso:

En la ecología el término eutrofización designa el enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema. Causado por un proceso natural y/o antropogénico que consiste en el enriquecimiento de las aguas con nutrientes. El uso más extendido se refiere específicamente al aporte más o menos masivo de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático. En otras palabras la eutrofización es aquel ecosistema o ambiente caracterizado por una alta concentración de nutrientes provocado por un vertido de nutrientes, como desechos agrícolas o forestales, lo cual hace que favorezca el crecimiento excesivo de materia orgánica, provocando un crecimiento acelerado de algas y otras plantas verdes que cubren la superficie del agua y evita que la luz solar llegue a las capas inferiores. Como consecuencia de esto, el agua se enturbia, y al disminuir la cantidad de luz, la vegetación muere al no poder realizar la fotosíntesis, generando que otros microorganismos, como bacterias, se alimenten de la materia muerta,

consumiendo el oxígeno que necesitaban peces y moluscos, y a la vez generar algas tóxicas y microorganismos patógenos que podrían causar enfermedades. (Gómez, Batista, Roux, & Sanchez, 2016)

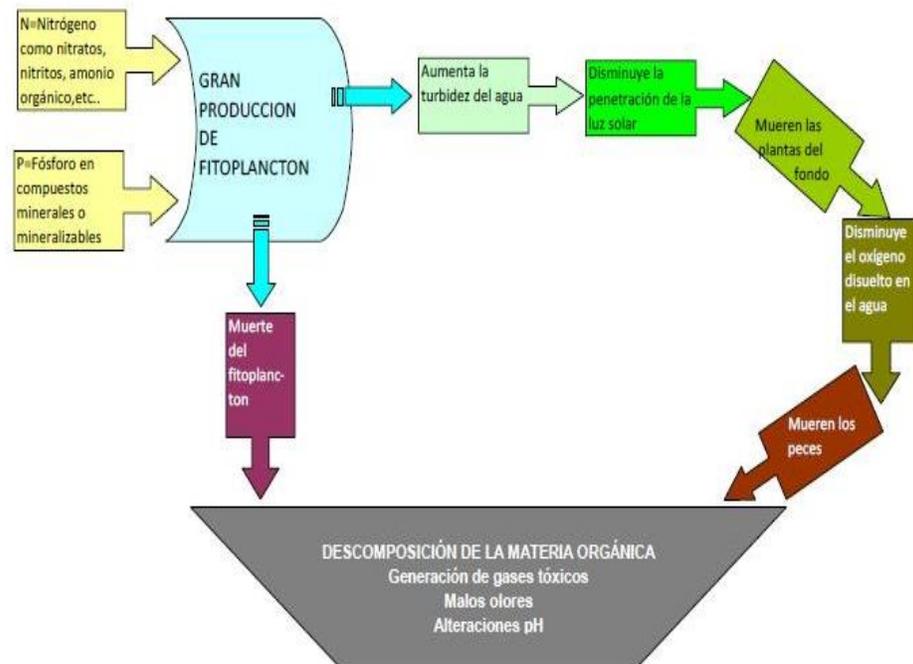


Figura N° 1: Proceso de Eutrofización.

#### 2.4.2 Eutrofización según la OCDE

Según la Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (OCDE, 1982), define a la eutrofización como “el enriquecimiento en nutrientes de las aguas”, que provoca la estimulación de una serie de cambios sistemáticos, entre los que el incremento en la producción de algas y macrófitas, el deterioro de la calidad de agua y otros cambios sistemáticos resultan indeseables e interfieren con la utilización del agua“. (OCDE, The OCDE Listo Social Indicators, 1982)



Figura N° 2: Pirámide Trófica. Fuente: [www.fao.org](http://www.fao.org)

La eutrofización tiene su aspecto positivo en la cría de peces, para producir proteínas para la alimentación, sin embargo el balance y la calidad de los mismos puede cambiar, si no se estudia la manera de optimizar esta producción. (Parra, 2016)

### 2.4.3 Eutrofización de lagos

Un lago sufre eutrofización cuando sus aguas se enriquecen en nutrientes. Podría parecer a primera vista que es bueno que las aguas estén repletas de nutrientes, porque así podrían vivir más cómodos los seres vivos que en el habitan. Pero la situación no es tan sencilla. El problema está en que si hay exceso de nutrientes crecen en abundancia las plantas y otros organismos. Más tarde, cuando mueren, se pudren y llenan el agua de malos olores y le dan un aspecto nauseabundo, disminuyendo drásticamente su calidad. “El proceso de putrefacción consume una gran cantidad del oxígeno disuelto y las aguas dejan de ser aptas para la mayor parte de los seres vivos. El resultado final es un ecosistema casi destruido.

“En suma, la eutrofización se refiere a toda esta serie de sucesos que comienzan con el enriquecimiento de nutrientes, el crecimiento y la

muerte del fitoplancton, la acumulación de detritos, el aumento de las bacterias y, por último, el agotamiento del oxígeno y la sofocación de los organismos superiores” (MORETA POZO, 2008), observar el anexo N°1. “Actualmente, (2008) la eutrofización golpea el 54 por ciento de los lagos asiáticos; el 53 por ciento de los lagos europeos; el 48 por ciento de los de América del Norte; el 41 por ciento de los sudamericanos y el 28 por ciento de los lagos africanos” (MORETA POZO, 2008).

Según (USEPA, 1997) redacta en una de sus investigaciones que la palabra eutrofización inicialmente se utilizó para diferenciar los lagos eutróficos de los oligotróficos y tenía sentido regional o geográfico. Eran oligotróficos, por ejemplo, muchos lagos suecos y eutróficos los de la llanura norte de Alemania. Y en cuanto a su estudio para conocer el transcurso del “envejecimiento” de los lagos inducido por procesos autóctonos que progresa a ‘un sin tener la ayuda del hombre eutrofización natural. La contaminación acelera el envejecimiento natural y acorta considerablemente la vida del receptor acuático. Sin embargo, este término se utilizó posteriormente para definir el fenómeno provocado por los vertidos de los desechos de actividades humanas, llamándolo Proceso de eutrofización cultural o simplemente eutrofización; inicialmente se definió como “el abastecimiento excesivo de los nutrientes nitrógeno y fósforo a los cuerpos de agua, con el frecuente crecimiento acelerado de micro algas, que puede producir la muerte de peces al despojarlos del oxígeno que necesitan para vivir”. La eutrofización como proceso de origen antrópico va deteriorando su calidad, añadiendo mayores cantidades de nutrientes que son elementos esenciales para el crecimiento de organismos, principalmente nitrógeno (N), fósforo (P) y materia orgánica (MO); lo cual enriquece en nutrientes a los sistemas acuáticos pero limita el oxígeno. Este proceso se produce naturalmente en todo lago cuya

afluencia de elementos nutritivos sea superior a la salida de los mismos.

El término eutrófico, se utiliza para distinguir aquellos lagos en los cuales el nivel nutritivo es particularmente alto y que se caracterizan por el estancamiento de sus aguas además de abundante vegetación litoral, siendo una situación irreversible por los nutrientes acumulados (Margalef, 1981). Lo denomina como “lago humanizado”. “Eutrofo” se llama a un ecosistema caracterizado por una abundancia anormalmente alta de nutrientes. Se dice que dicho ambiente se encuentra forzado, bajo tensión o sometido a stress (Chalar, 2007).

El beneficio de estudiar el flujo los nutrientes principalmente; — nitrógeno y fósforo— a los cuerpos de agua, fue motivado por la evidente degradación de los ecosistemas acuáticos, por la excesiva acumulación de estos. Asimismo, el estudio de la eutrofización como un proceso en ríos y lagos desde una perspectiva ecológica y geoquímica data de la década de los 60's. (Chalar, 2007)



Oligotrófico



Eutrófico

Figura N° 3: Vista comparativa de un mismo lago, con diferentes grados de eutrofia. Fuente: Anónimo.

#### **2.4.4 Tipos de lagos**

Además del origen, para la clasificación de los lagos hay una característica de gran importancia que sirve para diferenciarlos en cuatro tipos principales. Se trata de la estratificación y la mezcla de sus masas de agua.

Atendiendo a este factor se distingue: Lagos fríos, con una capa de agua profunda a 4°C y otra superior a menor temperatura; ambas solo se mezclan durante el verano. Lagos templados, con la capa superficial a más de 4°C en verano y que se mezclan con la inferior en primavera y otoño. Lagos templados subtropicales, con la temperatura de la capa superior no inferior nunca a los 4°C en invierno y que se mezclan con la inferior solo durante el invierno. Lagos tropicales, con una temperatura de la capa superior de unos 20°C durante todo el año y que solo de modo ocasional se mezcla con la inferior, haciéndolo además a intervalos irregulares.

En cuanto a la productividad biológica cabe distinguir dos clases principales: Según la abundancia de nutrientes (fosfatos y nitratos), los lagos se pueden clasificar como Eutróficos, cuando presentan una

gran cantidad de nutrientes y por tanto de plancton y otros organismos, y Oligotróficos en caso contrario (aquellos que son en nutrientes) Los términos EUTRÓFICO y OLIGOTRÓFICO, hacen referencia a la cantidad de materia orgánica que poseen cada uno de estos lagos. Sin embargo la intervención humana (vertidos) puede alterar esas condiciones y provocar un proceso de eutrofización, que en casos extremos conduce al consumo de todo el oxígeno disponible y la desaparición de las formas de vida superiores (MORETA POZO, 2008).

#### **2.4.4.1 Lagos Eutróficos**

Son masas de agua ricas en nutrientes que facilitan en gran manera la proliferación de las algas (plantas acuáticas). Cuando las algas mueren son descompuestas por las bacterias en procesos aeróbicos que consumen el oxígeno, por lo que la vida de los organismos aeróbicos no existe. Al terminarse el oxígeno muchos restos orgánicos quedan depositados en el fondo sufriendo procesos anaeróbicos que desprenden H<sub>2</sub>S (Sulfuro de Hidrógeno con mal olor) y otros gases, dando un aspecto nauseabundo a las aguas en los casos de eutrofización extrema (MORETA POZO, 2008), observar el anexo N° 2.

En estos lagos la luz penetra con dificultad en el agua y los seres vivos que se encuentran son los característicos de las aguas pobres en oxígeno (barbos, gusanos, etc.). Este tipo de lagos abundan en áreas bajas y cálidas.

#### **2.4.4.2 Lagos Oligotróficos**

Estos lagos son típicos de montaña y sus aguas son pobres en nutrientes y, por tanto, las algas no proliferan excesivamente, las aguas son claras y penetra la luz con

facilidad, hay oxígeno en abundancia, la flora (abundante flora béntica) y la fauna es típica de aguas bien oxigenadas

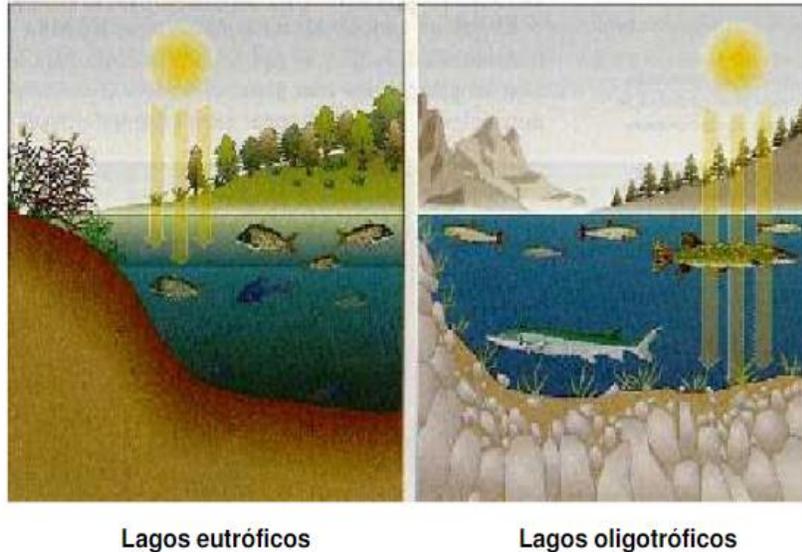


Figura Nº 4: Diferencia entre lago Eutrófico y Oligotrófico. (Truchas, larvas de libélulas, etc.). (Moreta, La eutrofización de los lagos y sus consecuencias, 2008)

Muchos lagos tienen en la actualidad importantes problemas de la eutrofización artificial. Les llegan muchos aportes de nutrientes procedentes de las actividades humanas, lo que origina un gran crecimiento de algas y de muchos organismos heterotróficos que hacen desaparecer el oxígeno, generándose procesos de anaerobiosis. La eutrofización ocurre cuando hay demasiada materia orgánica en el fondo del lago, de modo que los organismos anaerobios (más primitivos y menos eficientes) toman el relevo en la descomposición de la materia orgánica, extrayendo energía por medios menos eficientes y provocando desechos desagradables o incluso venenosos para los seres aerobios (como nosotros) (MORETA POZO, 2008).

#### **2.4.5 Características generales de la eutrofización**

Estudios históricos mostraron que muchos lagos pequeños de la zona templada (antiguamente glaciales), se define una sucesión desde los sedimentos más inorgánicos, que contienen fósiles indicadores de oligotrofia, a los sedimentos más orgánicos, que contienen fósiles indicadores de eutrofia. Parece ser que una vez establecida la sedimentación orgánica, después de una fase inicial oligotrófica, se llega a una especie de equilibrio trófico. Esto implica que la entrada de nutrientes desde la cuenca de drenaje es relativamente constante durante largos periodos de tiempo, experimentando sólo cambios mínimos con las oscilaciones climáticas y las entradas procedentes de la cobertura vegetal y la erosión.

Según sea el estado trófico del lago en estudio, es posible observar ciertas características generales que diferencian una situación oligotrófica, de un estado eutrófico (OLMOS GARCIA, 2000).

Tabla N° 1: Características Generales de Lagos y Pantanos Oligotróficos y Eutróficos.

PARAMETRO	TIPO DE MASA DE AGUA	
	OLIGOTRÓFICA	EUTRÓFICA
I.- BIOLÓGICO		
Producción de plantas y animales	Baja	Alta
Número de especies de plantas y animales	Numerosas	Muchas; pueden estar reducidas sustancialmente en aguas hipertrofiadas
Niveles generales de biomasa en la reserva de agua	Bajos	Altos
Aparición de Proliferación de algas	Rara	Frecuente
Cantidad relativa de algas verdes y verde-azuladas	Baja	Alta
Grado de distribución de algas	En el hipolimnion, en masas de agua estratificadas térmicamente	Por lo general sólo en las aguas

Crecimiento de plantas acuáticas en el área poco profunda	Puede ser escaso o abundante; si ocurre consiste por lo general en vegetación sumergida y en desarrollo	Con frecuencia abundante; generalmente aumento de algas filamentosas y disminución de macrófitas
Emigración diaria de algas	Grande	Limitada
Tipos característicos de peces	Peces que viven en las profundidades y agua fría ( salmón, trucha, cisco )	Peces que viven en la superficie y agua caliente (lucio, perca, róbalo, etc.)
<b>II.- QUÍMICO</b>		
Contenido en oxígeno de las aguas del fondo del hipolimnion	Alto todo el año	Puede ser bajo o estar ausente durante el periodo de estratificación térmica
Contenido total de sal (conductancia específica)	Generalmente bajo	A veces muy alto
PARAMETRO	TIPO DE MASA DE AGUA	
	OLIGOTRÓFICA	EUTRÓFICA
<b>III.- FÍSICO</b>		
Profundidad media de la masa de agua	Frecuentemente profunda	Frecuentemente poco profunda

Volumen del hipolimnion	Frecuentemente grande	Puede ser pequeño o grande
Temperatura de las aguas del hipolimnion	Generalmente fría	Generalmente el agua fría es mínima, excepto en las masas de agua eutróficas
IV.- QUÍMICO		
Calidad del agua para la mayoría de los usos domésticos e industriales	Buena	Frecuentemente pobre
Inadecuación de un uso múltiple	Normalmente poco deterioro	Frecuentemente deterioro considerable

Fuente: Adaptación de OLMOS GARCIA, 2000

#### 2.4.6 Síntomas y efectos de la eutrofización

Debido a la existencia de una gran variedad de formas de vida y a las interrelaciones que se dan dentro de un lago, se puede asemejar al mismo como a una forma viva, la cual, al cambiar sus condiciones internas o externas, presenta una acción de respuesta al mencionado estímulo; de esta manera entonces, es posible hablar sobre los síntomas que presenta una laguna, cuando sube su grado de eutrofización.

El cambio de un sistema oligotrófico a uno eutrófico, presenta ciertas respuestas del lago en estudio, las cuales pueden ser detectadas, si se realiza un monitoreo periódico en la cuenca de drenaje y en el mismo cuerpo de agua. En la tabla, se presenta un resumen de los

síntomas que un lago o pantano puede presentar en este proceso de cambio.

Tabla N° 2: Criterios Tróficos y sus Respuestas a una Eutrofización Creciente.

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

Fuente: Adaptación de OLMOS GARCIA, 2000

- a. (I) Significa que el valor del parámetro aumenta generalmente con el grado de eutrofización;
- (D) Significa que el valor disminuye generalmente con el grado de eutrofización

- b. El criterio biológico muestra importantes cambios cualitativos (por ejemplo en especies), así como cambios cuantitativos (por ejemplo en biomasa), al aumentar el grado de eutrofización.
- c. Las plantas acuáticas en áreas poco profundas y cercanas a orilla pueden disminuir por la presencia de una alta densidad de fitoplancton.
- d. Los peces pueden disminuir en número y especies en las aguas del fondo (hipolimnion) más allá de un cierto grado de eutrofización, como resultado de una reducción de oxígeno hipolimnética.
- e. La fauna del fondo puede disminuir en número y especies a altas concentraciones por la producción de estos gases  $H_2S$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$ , o a bajas concentraciones de  $O_2$  en aguas hipolimnética.

**2.4.6.1 Los síntomas y efectos de la eutrofización son los siguientes:**

- Aumento de la producción y biomasa de fitoplancton, algas asociadas y macrófitas.
- Modificación de las características del hábitat debida a la transformación del conjunto de plantas acuáticas.
- Producción de toxinas por determinadas algas.
- Aumento de los gastos de operación de los sistemas públicos de abastecimiento de agua, además de problemas de gusto y olor, especialmente durante los períodos de proliferación de algas.
- Desoxigenación del agua, especialmente al finalizar las situaciones de proliferación de algas, lo que normalmente da lugar a una mortandad de peces.
- Colmatación y obstrucción de los canales de riego por las malas hierbas acuáticas (el Jacinto acuático puede presentar problemas de introducción, no necesariamente de eutrofización).

- 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. (OLMOS GARCIA, 2000).

#### 2.4.7 Causas de la eutrofización

Las principales causas antropogénico de procesos de eutrofización se pueden agrupar de la siguiente manera:

- **Aguas servidas:** Una de las más antiguas causas es la descarga de aguas servidas, las cuales son ricas en nutrientes, contribuyendo al cambio trófico del cuerpo de agua receptor.
- **El uso excesivo de fertilizantes:** Genera una contaminación del agua fundamentalmente mediante el aporte de nitrógeno (en forma de sales de nitrato y amonio) y fósforo (como fosfato).
- **La deforestación y la erosión en suelos agrícolas:** Influyen en la carga de nutrientes, ya que los escurrimientos al pasar por una tierra que no tiene protección, “lavan” la capa fértil, llevándose consigo los nutrientes de la misma (RAPAL, 2010).
- **Gases:** La presencia de gases ambientales tales como óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ), al entrar en contacto con el agua atmosférica forman ion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e ion sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), que forman sales solubles al alcanzar el suelo con los cationes del mismo, generando un empobrecimiento de dichos iones. Dichas sales son volcadas fácilmente en los cuerpos de agua, dando lugar a un proceso de eutrofización (RAPAL, 2010).

## 2.4.8 Nutrientes para la eutrofización

Las plantas necesitan una serie de nutrientes que se encuentran en diferentes proporciones en los suelos. En principio, los nutrientes básicos de las plantas son el Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Magnesio, Calcio y Azufre, denominados macronutrientes. Y el Hierro, Manganeso, Zinc, Boro, Cobre, Molibdeno y Cloro, denominados micronutrientes. Los macronutrientes reciben este nombre precisamente porque las plantas los absorben en grandes cantidades, mientras que los micronutrientes lo hacen en menor proporción (Bayer Garden, 2017).

### 2.4.8.1 Fósforo total

El fósforo es un componente esencial para la vida, por lo cual es uno de los nutrientes fundamentales para el crecimiento vegetal y animal, formando parte del ADN, ATP, y las moléculas de fosfolípidos de las membranas celulares. Tiene su origen natural en la erosión de las rocas y la degradación de la materia orgánica (G. Wetzel, 2001) también el aumento de este elemento en el medio acuático está relacionado a diversas actividades humanas, principalmente con el uso de fertilizantes y detergentes (Arocena & Conde , 1999) por lo que la concentración de fósforo total mide la cantidad de fósforo disponible en forma orgánica e inorgánica, disuelta y particulado en los sistemas acuáticos (G. Wetzel, 2001).

- **Funciones del fósforo:** interviene en la fotosíntesis al ayudar transformar la energía solar en energía química que las plantas o todo organismo que realicen fotosíntesis almacenan el fósforo en forma de fosfatos para el crecimiento y reproducción de estas (Botanical-online, 2017).

#### **2.4.9 Enriquecimiento con nutrientes**

Si consideramos las necesidades del fitoplancton y de la vegetación acuática sumergida, se aprecia que el equilibrio entre ellos se altera cuando se modifica la concentración de nutrientes en el agua. Cuanto menos nutrientes tenga el agua, mayor será la reducción de las poblaciones de fitoplancton; sin esta presencia, el agua es clara y la luz penetra para sostener el crecimiento de la vegetación acuática sumergida. Cuando el contenido de nutrientes aumenta, el fitoplancton prolifera, enturbia el agua y afecta la vegetación acuática sumergida que es una fuente productora de oxígeno. (MORETA POZO, 2008)

Los nutrientes que más influyen en este proceso son el fósforo y los nitratos. En algunos ecosistemas el factor limitante es el fósforo, como sucede en la mayoría de los lagos de agua dulce, pero en muchos mares el factor limitante es el nitrógeno para la mayoría de las especies de plantas (Antimán, 2005).

“El fósforo, como el nitrógeno, es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización”.

En los últimos 20 o 30 años las concentraciones de nitrógeno y fósforo en muchos mares y lagos casi se han duplicado. La mayor parte les llega por los ríos. En el caso del Nitrógeno, una elevada proporción (alrededor del 30%) llega a través de la contaminación atmosférica. El nitrógeno es más móvil que el fósforo y puede ser lavado a través del suelo o saltar al aire por evaporación del amoníaco o por desnitrificación. El Fósforo es absorbido con más facilidad por las partículas del suelo y es arrastrado por la erosión o disuelto por las aguas de escorrentía superficiales. En condiciones naturales entra a un sistema acuático menos de 1Kg de fosfato por hectárea y año, con los vertidos humanos esta cantidad sube mucho. Durante muchos años los jabones y detergentes fueron los principales causantes de este problema. En las décadas de los 60 y 70 el 65% del peso de los

detergentes era un compuesto de fósforo; Estos detergentes tenían alrededor de un 16% en peso de fósforo. El resultado era que los vertidos domésticos y de lavanderías contenían una gran proporción de ion fosfato. A partir de 1973 Canadá primero y luego otros países, prohibieron el uso de detergentes que tuvieran más de un 2,2% de fósforo. Algunas legislaciones han llegado a prohibir los detergentes con más de 0,5% de fósforo. (MORETA POZO, 2008)

#### **2.4.9.1 Nutriente limitante**

El nutriente limitante se basa en la premisa que, dada una determinada estequiometría celular, el nutriente que controlará la máxima cantidad de biomasa es aquél que primero se consume o que alcanza un mínimo antes que los otros nutrientes relativos a tal estequiometría.

Aclaremos este concepto. Imagine que una cianobacteria está compuesta por una relación entre átomos de fósforo (P) y átomos de nitrógeno (N) de 1 a 15 (por cada átomo de fósforo que compone la célula, estarán presentes 15 de nitrógeno). Esta es su estequiometría celular. Si en el medio de donde este organismo autótrofo se nutre, está disponible un solo átomo de fósforo por cada 30 átomos de nitrógeno: (Goyenola, 2007)

#### **¿Cuál será el reactivo limitante para la cianobacteria?**

En una primera instancia, el organismo podrá tomar un átomo de fósforo y 15 de nitrógeno de acuerdo a su estequiometría. En el instante siguiente solamente tendrá disponible 15 átomos de nitrógeno, pero ninguno de fósforo. Limitada entonces por la carencia de fósforo (el reactivo limitante) su desarrollo quedará interrumpido. Para 30 átomos de N, debería tener disponibles 2 de P. ¿Cómo podemos darnos cuenta si nuestra suposición sobre cuál es

el nutriente limitante es correcta? Observando si se retoma el desarrollo celular al agregar únicamente el limitante. Si agregamos más N al medio con relación P: N de 1: 30: ¿la cianobacterias continuará su desarrollo? Si el cálculo era correcto, no. Ahora si el agregado es de P, seguramente la célula deje de estar limitada por nutrientes. Esta es exactamente la fundamentación del uso de fertilizantes para favorecer a los cultivos: agregar del nutriente limitante. (Goyenola, 2007)

El crecimiento no controlado de las poblaciones de fitoplancton (floración o bloom) es una de las consecuencias más comunes de la contaminación antrópica por nutrientes (eutrofización). Este tipo de contaminación se ha convertido en la problemática más seria y extendida de los sistemas acuáticos tanto a nivel nacional, como mundial.

La abundante biomasa producida por los organismos fotosintéticos puede descomponerse desoxigenando el agua, generando malos olores y causando la muerte masiva de peces. Este tipo de fenómenos afecta profundamente la calidad del agua, llegando a impedir la utilización del recurso para algunos fines (recreación, potabilización, etc.). Uno de los inconvenientes más serios asociados a la eutrofización es la toxicidad de ciertos metabolitos secundarios de las cianobacterias (cianotoxinas), que representan un creciente peligro tanto para la salud humana como la ambiental (Goyenola, 2007).

#### **2.4.10 Niveles de eutrofización**

Como se vio anteriormente en el proceso de eutrofización, el agua de una masa oligotrófica se enriquece de nutrientes, se inician muchos cambios. Primero, este enriquecimiento favorece el crecimiento y la

multiplicación del plancton, lo que aumenta la turbidez del agua. 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, esta 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.

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 como se observa en la Figura. 7 (Nebel B. &, 1999).

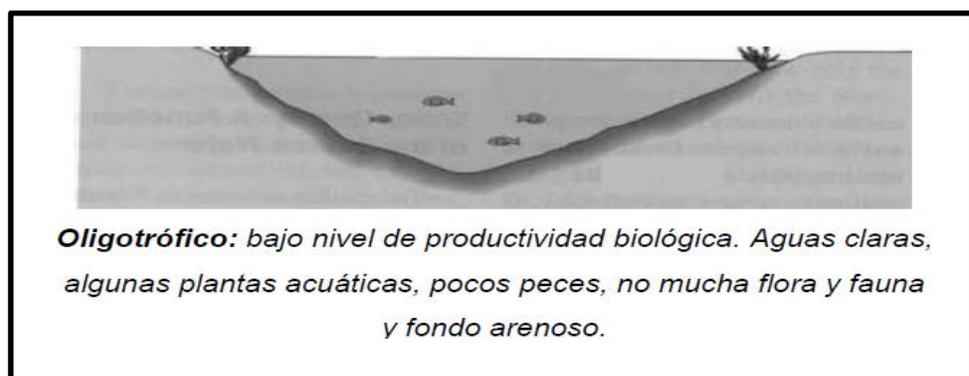


Figura N° 5: Nivel oligotrófico. Fuente: Modificado de Forsberg and Ryding.

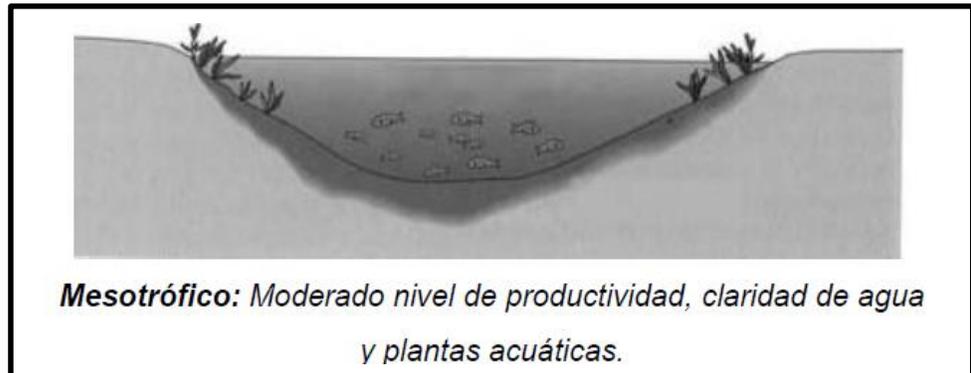


Figura N° 6: Nivel Mesotrófico. Fuente: Modificado de Forsberg and Ryding.



Figura N° 7: Nivel Eutrófico. Fuente: Modificado de Forsberg and Ryding.



Figura N° 8: Nivel hipereutrófico. Fuente: Modificado de Forsberg and Ryding.

A su vez, la profusión de detritos genera una abundancia de descomponedores, la mayoría de bacterias, cuyo crecimiento explosivo crea una demanda nueva de OD, que se consume en la respiración. El resultado es el agotamiento del recurso con la consiguiente sofocación de peces, crustáceos, etc. Sin embargo, las bacterias aerobias estrictas prosperan y aprovechan el oxígeno cada vez que está disponible, por lo que mantienen al agua sin OD, en tanto que haya detritos que las alimenten. Mientras que las bacterias anaerobias aparecen en el fondo produciendo gases como el amoníaco y el sulfuro de hidrógeno.

Además, hay alguna oxidación de materia orgánica y de otros compuestos, lo que demanda más OD.

Si el estado trófico es una descripción de la condición biológica del lago, eutrofización describe un lago que se está convirtiendo en más eutrófico (Nebel B. &, 1999).

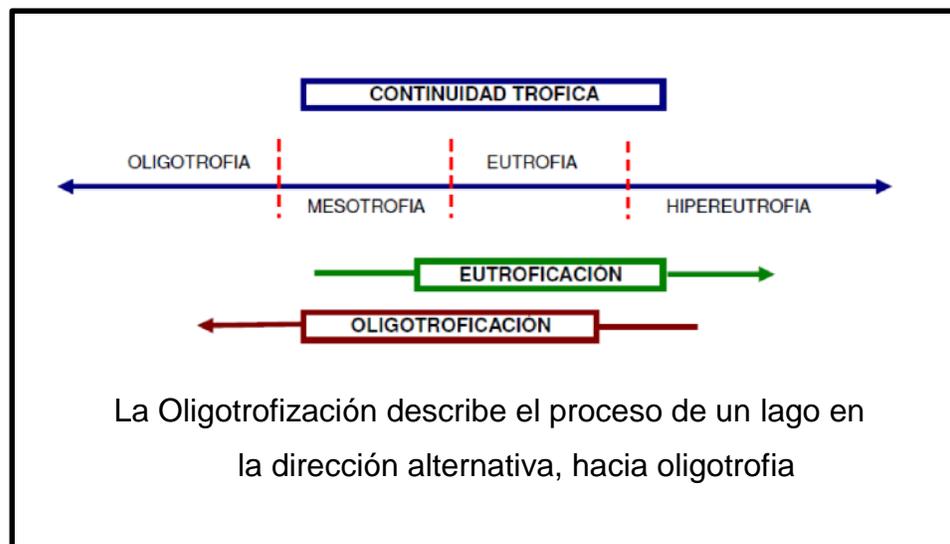


Figura N° 9: Continuidad trófica. Fuente: Google

#### 2.4.11 Los lagos y la contaminación

Las sociedades modernas arrojan gran cantidad de desechos a los lagos, y esto produce una serie de efectos denominados “contaminación” tales efectos se consideran indeseables. La palabra

“contaminación” nos trae a la mente una desagradable imagen de suciedad. Sin embargo, se sigue haciendo fluir a los lagos una serie de contaminantes que generalmente provienen de los asentamientos poblacionales que los rodean y de sus múltiples actividades (agrícolas, industriales, comerciales, textiles, turísticas, etc.), observar el anexo N° 3. Al añadir contaminantes (ricos en nutrientes) en cuerpos lenticos aumentan su fertilidad, así por ejemplo, las aguas fecales y la basura (MORETA POZO, 2008). Así también proviniendo de la contribución de los ríos como vía de ingreso de contaminantes al mar y a lagos donde en una Conferencia Técnica de la FAO sobre Contaminación Marina, lagos y sus Efectos en los Recursos Vivos se estableció que la mayor parte de la contaminación que llega al mar y otros cuerpos de agua lo hace a través de los ríos y por la escorrentía produciendo importantes efectos en los recursos vivos. (Ruivo, 1971)

“Los vertidos humanos aceleran el proceso hasta convertirlo, muchas veces, en un grave problema de contaminación.”

Desde el punto de vista ecológico, la contaminación común del agua se debe a la fertilización de los lagos con aguas fecales y desagües agrícolas. La solución reside simplemente en desviar el flujo contaminante, y los lagos se limpiarán por sí solos con lentitud por la propiedad de residencia. Pero existe otro tipo de contaminación del agua, la contaminación con productos químicos

Tóxicos que son más peligrosos que los simples nutrientes de las aguas fecales y basura: DDT (pesticida), mercurio, arsénico, los afluentes sulfurosos de las fábricas de papel y desperdicios ácidos de las minas; los compuestos de este tipo contaminan por envenenamiento. Pueden actuar aunque estén presentes en cantidades mínimas, ya sea de manera directa, como cuando el DDT extermina los insectos de un lago y en algunos casos hasta el fitoplancton, o bien por concentración de las cadenas alimenticias, ya

sea matando a los carnívoros superiores o haciendo que su carne sea perjudicial para el consumo humano (MORETA POZO, 2008), observar el anexo N° 4.

Un factor muy importante que controla la química en cualquier parte de los lagos es la magnitud de la descomposición de la materia orgánica. Puesto que la formación de la materia orgánica depende de los nutrientes, su suministro se considera como el parámetro que más influye sobre la química del agua de los lagos.

#### 2.4.12 Zonificación de lagos

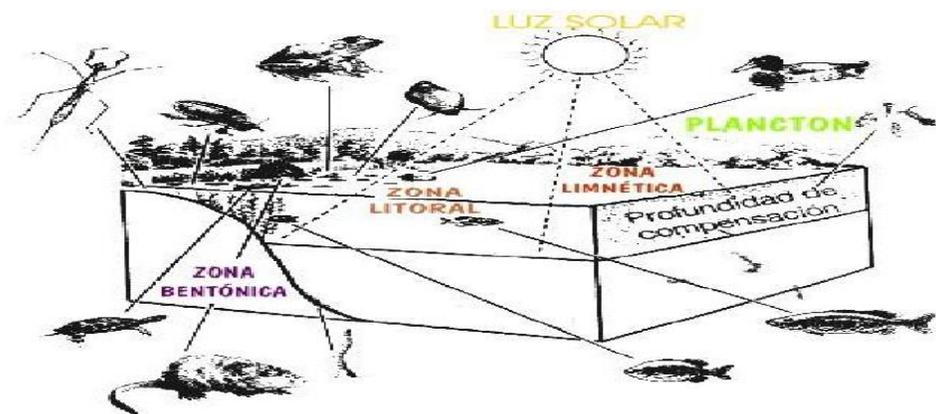


Figura N° 10: Zonificación de Lagos. Fuente: unidad económica zonificada.

Como en los océanos, los lagos tienen una zonificación, de acuerdo al relieve del fondo y la penetración de la luz.

- **La Zona litoral:** es la parte más externa, de aguas someras, con buena penetración de luz hasta el fondo.
- **La zona limnética o fática:** se extiende hasta donde penetra la luz, en ella vive el plancton y el necton.
- **La zona profunda:** se encuentra más allá del límite de penetración de la luz, que se inicia en la zona de compensación de la luz (en ese sitio la respiración equilibra a la fotosíntesis).
- **La zona bentónica:** es la más profunda y en ella ocurren los principales procesos de descomposición. Los lagos, charcas y

lagunas siempre están rodeados por ecosistemas terrestres, entre los cuales hay una estrecha vinculación. Los nutrientes fluyen entre los lagos y los ecosistemas circundantes, de una manera dinámica. Las redes y cadenas tróficas contemplan esa interacción (MORETA POZO, 2008).

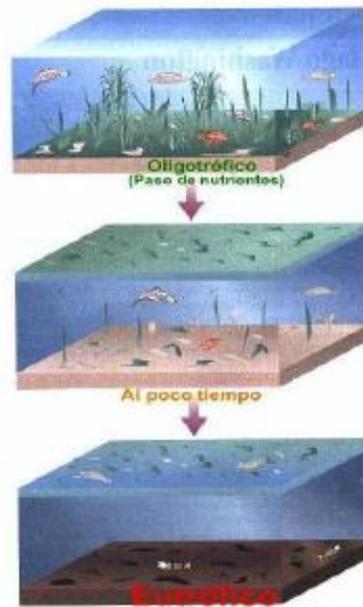
#### 2.4.13 Clasificación de estados eutróficos

Los lagos pueden clasificarse en Oligotrofia, Mesotrófico, Eutrófico o Hipereutrofico según (Carlson R. , 1977). Es según la concentración de nutrientes turbidez y clorofila-a encontrados en la laguna, obtenidas tanto en el estudio de monitoreo en campo como en laboratorio operando los datos resultantes mediante los modelos matemáticos que están ya definidos para cada parámetro.

El término eutrofización de cuerpos de agua se aplica a un fenómeno de evolución natural, que en términos simples puede resumirse de la siguiente forma. (Water on the web, 2011)

- **Oligotrofia:** se usa el termino oligotrofia donde el nivel de nutrientes es escaso no se presenta turbidez prácticamente es un lago donde la contaminación es escasa y presenta mucho oxígeno disuelto el nivel de profundidad biológica es muy bajo.
- **Mesotrófico:** el termino Mesotrófico se usa para representar un nivel balance donde la laguna presenta una cantidad de nutrientes pero también oxígeno es decir la laguna tiene un balance de OD y también nutrientes.
- **Eutrofia:** El término eutrófico, se utiliza para distinguir aquellos lagos en los cuales el nivel nutritivo es particularmente alto y que se caracterizan por el estancamiento de sus aguas además de abundante vegetación litoral, siendo una situación irreversible por los nutrientes acumulados.
- **Hipereutrofico:** el termino hipereutrofia se usa para representa un nivel muy escaso de OD en una laguna o lago por lo que este

cuerpo hídrico presenta una destrucción en su biodiversidad el nivel de profundidad biológica es muy alto.



- Agua clara
- La luz penetra
- Prospera la vegetación acuática sumergida.

- Agua turbia.
- La vegetación acuática sumergida queda en la oscuridad.

- Agotamiento del oxígeno
- Muerte de los vertebrados por sofoco

Figura N° 11: Esquema del proceso de eutrofización.

Fuente:(Bernard, Nebel, & Wright, 1999)

#### 2.4.14 Índice de Estado trófico

Se ha desarrollado un índice de estado trófico numérico para lagos que incorpora la mayoría de los lagos en una escala de 0 a 100. Cada división principal (10, 20, 30, etc.) representa una duplicación en la biomasa de algas. El número de índice puede calcularse a partir de cualquiera de varios parámetros, incluida la transparencia del disco Secchi, la clorofila y el fósforo total (E. Carlson, 1977).

Se presentó un nuevo enfoque para la clasificación trófica de los lagos. Este nuevo enfoque se desarrolló debido a la frustración de comunicar al público tanto la naturaleza actual o el estado de los lagos como su condición futura después de la restauración cuando se utiliza el sistema de clasificación trófica tradicional. El sistema presentado hrcr, denominado índice de estado trófico (TSI), implica nuevos

métodos tanto para definir el estado trófico como para determinar ese estado en los lagos. Toda clasificación trófica se basa en la división del continuo trófico, que, como se define, en una serie de clases denominadas estados tróficos. Los sistemas tradicionales dividen el continuo en tres clases: oligotrófica, Mesotrófico y eutrófica. A menudo no hay una delineación clara de estas divisiones. Las determinaciones del estado trófico se realizan a partir del examen de varios criterios diferentes, como la forma de la curva de oxígeno, la composición de especies de la fauna del fondo o del fitoplancton, las concentraciones de nutrientes y diversas medidas de biomasa o producción. Aunque cada uno cambia de oligotrofia a eutrofia, los cambios no ocurren en lugares bien definidos, ni todos ocurren en el mismo lugar o a la misma velocidad. Algunos lagos pueden considerarse oligotróficos por un criterio y eutrófico por otro; este problema es 1 una Contribución de 141 del Limnological Research Center, Universidad de Minnesota. Este trabajo fue apoyado en parte por la subvención de capacitación de la Agencia de Protección Ambiental U910028. 'Dirección actual: Departamento de Ciencias Biológicas, Kent State University, Kent, Ohio 44242.

A veces se elude clasificando los lagos que muestran las características tanto del Oligotrófico como de la Eutrofia como Mesotrófico. Dos o tres estados tróficos mal definidos no pueden satisfacer las demandas contemporáneas de un sistema de clasificación descriptivo e inequívoco. La adición de otros estados tróficos, como ultra-oligotróficos, meso-eutrófico, etc., podría aumentar la discriminación del índice, pero en la actualidad estas divisiones adicionales no están mejor definidas que las tres primeras y en realidad pueden agregar al Confusión al dar un falso sentido de precisión y sensibilidad. Reconozco el consejo y el aliento de J. Shapiro para desarrollar este índice y para preparar el manuscrito.

También agradezco a C. Iledman y R. Armstrong por el asesoramiento y a H. Wright por la ayuda en la preparación del manuscrito. Enfoques actuales la gran cantidad de criterios que se han utilizado para determinar el estado trófico ha contribuido al argumento de que el concepto trófico es multidimensional, involucrando aspectos de la carga de nutrientes, la concentración de nutrientes, la productividad, la cantidad y la calidad faunística y floral, e incluso el lago morfometría. Como tal, el estado trófico no pudo ser evaluado mediante el examen de uno o dos parámetros. Tal razonamiento puede haber fomentado acusaciones multiparamétricas (por ejemplo Brezonik y Shannon 1971, Michalski y Conroy 1972). Un índice multiparamétrico tiene una utilidad limitada debido a la cantidad de parámetros que se deben medir. Además, la relación lineal asumida entre los parámetros en algunos de estos índices no se sostiene como lo indica la evidencia presentada a continuación. Las alternativas al concepto trófico multidimensional se han basado en un único criterio, como la tasa de suministro de materia orgánica (Rodhe 1969) o de nutrientes (Beeton y Edmondson 1972) en un lago. Los índices basados en un único criterio podrían ser inequívocos y sensibles al cambio. Sin embargo, actualmente no hay consenso sobre cuál debería ser el único criterio del estado trófico, y es dudoso que un índice basado en un único parámetro sea ampliamente aceptado. Bases para un nuevo índice El índice de estado trófico ideal (ETI) debería incorporar lo mejor de ambos enfoques anteriores, conservando la expresión de los diversos aspectos del estado trófico encontrados en los índices de múltiples parámetros, pero manteniendo la simplicidad de un único índice de parámetro. Esto se puede hacer si los criterios tróficos comúnmente utilizados están interrelacionados. La evidencia es que tal es el caso. Vollenweider (1969, 1976)) Kirchner y Dillon (1975)) y Larsen y Mercier (sin publicar) han desarrollado ecuaciones empíricas para predecir la

concentración de fósforo en los lagos a partir del conocimiento de la carga de fósforo. Sakamoto (1966) y Dillon y Rigler (1974) han mostrado una relación entre la concentración de fósforo vernal y la biomasa de algas, medida como concentración de clorofila a. Lasenby (1975) utilizó la transparencia del disco Secchi para predecir el déficit de oxígeno hipolimnético regional. Si muchos de los criterios tróficos comúnmente utilizados pudieran relacionarse mediante una serie de ecuaciones predictivas, ya no sería necesario medir todos los parámetros tróficos posibles para determinar el estado trófico. Un único criterio trófico, p. La biomasa de algas, la concentración de nutrientes o la carga de nutrientes podrían ser la base de un índice a partir del cual otros criterios tróficos podrían estimarse o predecirse por medio de las relaciones establecidas. Alternativamente, las mediciones de cualquiera de los criterios tróficos podrían usarse para determinar el estado trófico (E. Carlson, 1977).

Elegí la biomasa de algas como el descriptor clave de dicho índice, en gran medida porque las floraciones de algas son de interés para el público. Un índice que sea particularmente sensible a tal preocupación facilitaría la comunicación entre el limnólogo y el público. Los valores para la biomasa de algas en sí son difíciles de usar en el índice porque la biomasa es un término mal definido, usualmente a su vez estimado por uno o más parámetros como peso seco o húmedo, volumen celular, partículas de carbono, clorofila o Secchi. La transparencia del disco. Construí el índice usando el rango de valores posibles para la transparencia del disco Secchi. Además de tener valores fácilmente transformables en una escala conveniente, la transparencia del disco Secchi es una de las mediciones limnológicas más sencillas y realizadas con más frecuencia. Sus valores se entienden y aprecian fácilmente. La relación entre la biomasa de algas y la transparencia

del disco Secchi se expresa mediante la ecuación para la extinción vertical de la luz en el agua.

Ecuación N° 1: Ecuación para la extinción vertical de la luz en el agua.

$$I_z = I_0 e^{-(K_w + K_b)Z}$$

Donde  $I_z$  = intensidad de la luz en la profundidad a la que desaparece el disco Secchi,  $I_0$  = intensidad de la luz que golpea la superficie del agua,  $k$  = coeficiente de atenuación de la luz por el agua y sustancias disueltas,  $K_b$  = coeficiente de atenuación de luz por material particulado,  $Z$  = profundidad a la que desaparece el disco Secchi. El término  $K_b$  se puede volver a escribir como  $\alpha C$ , donde  $\alpha$  tiene las dimensiones de  $m^2 mg^{-1}$  y  $C$  es la concentración de material particulado ( $mg m^{-3}$ ).

Ecuación N° 2: La ecuación 1 puede ser reescrita como.

$$Z = \left( \ln \frac{I_0}{I_z} \right) + \left( \frac{1}{K_w + \alpha C} \right)$$

Ecuación N° 3: La ecuación 2 en una forma lineal.

$$\left( \frac{1}{Z} \right) \left( \ln \frac{I_0}{I_z} \right) = K_w + \alpha C$$

$I_z$ , es aproximadamente 10% de  $I_0$  (Hutchinson 1957; Tyler 1968) y puede considerarse una constante. Alfa puede variar según el tamaño y la absorción de la luz y propiedades de dispersión de luz de las partículas, compre intuitivamente uno esperaría que el valor, que es el recíproco de la cantidad de material particulado por metro cuadrado en la columna de agua sobre el disco Secchi, no varíe en función de la concentración de algas, y para esta discusión se considera una constante. De acuerdo a la ecuación N° 3.

Transformador de disco Secchi es inversamente proporcional a la suma de la absorbancia de la luz por el agua y las sustancias disueltas ( $k$ ) y la concentración de material particulado ( $C$ ). En muchos lagos

estudiados,  $k$  es aparentemente pequeño en relación con  $C$ , y las curvas hiperbólicas se obtienen cuando se traza la transparencia del disco Secchi frente a parámetros relacionados con la biomasa de algas, como la clorofila  $a$  (E. Carlson, 1977)

#### **2.4.15 Construcción del índice**

Definí estados tróficos para el índice utilizando cada duplicación de biomasa de algas como el criterio para la división entre cada estado, es decir, cada vez que la concentración de biomasa de algas se duplica a partir de algún valor base, se reconocerá un nuevo estado trófico. Debido a la relación recíproca entre la concentración de biomasa y la transparencia del disco Secchi, cada duplicación de la biomasa resultaría en una reducción a la mitad. Al transformar los valores del disco Secchi al logaritmo a la base 2, cada duplicación de la biomasa estaría representada por un entero en los valores del disco Secchi de 1 m, 2 m, 4 m, 8 m, etc. Sentí que el punto cero en la escala debe ubicarse en un valor de disco Secchi (SD) mayor que cualquier otro informe. El mayor valor reportado por Hutchinson (1957) es 41.6 m en el Lago Masyuko, Japón. El siguiente entero más grande en la escala  $\log_2$  está a 64 m. Se obtiene un valor del índice de estado trófico (ETI) de 0 a 64 m al restar el registro, de 64 a partir de un número de indexación de 6, dando una ecuación TSI final de:

Ecuación N° 4: Índice de Estado Trófico de turbidez a base a 2.

$$TSI=10(6-\log_2 SD)$$

El valor se multiplica por 10 para dar a la escala un rango de 0 a 100 en lugar de 0 a 10. Dos dígitos significativos son todos los que se pueden esperar razonablemente. La escala completa comienza en 0 en  $SD = 64$  m, con 32 m siendo 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). La escala está intencionalmente diseñada para ser numérica en vez de nomenclatura. Debido al

pequeño número de categorías generalmente asignadas en los sistemas de nomenclatura, hay una pérdida de información cuando los lagos se juntan y una falta de sensibilidad a los cambios tróficos. Este problema se alivia a medida que se agregan más y más nombres de estados tróficos, pero el sistema pronto se vuelve tan complicado que pierde su atractivo. La escala presentada aquí, una clasificación numérica con más de 100 categorías tróficas, evita estos problemas. Al mismo tiempo, conserva el significado original del sistema trófico de nomenclatura mediante el uso de las principales divisiones (10, 20, 30, etc.) que corresponden aproximadamente a los conceptos existentes de agrupaciones tróficas (E. Carlson, 1977)

#### **2.4.16 Adición de otros parámetros**

La regresión del disco de Secchi contra la clorofila a y el fósforo total se calculó a partir de datos fácilmente disponibles. La cantidad de puntos de datos y la cantidad de parámetros utilizados se pueden expandir. Los datos utilizados provienen de Shapiro y Pfankuch (sin publicar), Schelske et al. (1972) Powers et al. (1972), Lawson (1972), Meardard (inédito) y Carlson (1975). La clorofila a (figura 1) no da un ajuste lineal al modelo predicho en la ecuación. 2. Un elemento no lineal en la relación requiere una transformación logarítmica de los datos. La ecuación resultante es:

Ecuación N° 5: Transformación logarítmica de los parámetros de Turbidez y Clorofila-a.

$$\ln SD = 2.04 - 0.68 \cdot \ln Chl$$

Donde la transparencia SD está en metros y la concentración de Chl en miligramos por metro cúbico se toma cerca de la superficie. Una posible explicación para esta relación exponencial puede ser que a medida que aumenta la densidad de algas, las algas se vuelven cada vez más limitadas a la luz. En respuesta a una luz más baja por celda unidad, se puede producir más clorofila (Steele 1962). Cuando se

incluyeron todos los datos disponibles, la regresión del fósforo total (TP en mg m<sup>-3</sup>) contra el recíproco de la transparencia del disco Secchi produjo:

Ecuación N° 6: Ecuación de fósforo total contra el recíproco de la transparencia.

$$SD=64.9/TP$$

El fósforo total debería correlacionarse mejor con la transparencia cuando el fósforo es el factor principal que limita el crecimiento. Las correlaciones pueden ser pobres durante la primavera y el otoño cuando la producción de algas tiende a estar limitada por la temperatura o la luz. El uso preliminar de los coeficientes de regresión anteriores en el índice sugirió que los puntos de la ecuación predicen la relación estacional promedio entre el fósforo total y la transparencia:

Tabla N° 3: Índice de estado trófico completado y sus parámetros asociados.

TSI	Secchi disk (m)	Surface phosphorus (mg/m <sup>3</sup> )	Surface chlorophyll (mg/m <sup>3</sup> )
0	64	0.75	0.04
10	32	1.5	0.12
20	16	3	0.34
30	8	6	0.94
40	4	12	2.6
50	2	24	6.4
60	1	48	20
70	0.5	96	56
80	0.25	192	154
90	0.12	384	427
100	0.062	768	1183

Fuente: Carlson, 1977

Pero sus predicciones de fósforo son demasiado altas en primavera y otoño y demasiado bajas durante el verano. Debido a que la ecuación debe usarse en un índice donde se enfatiza el acuerdo de los parámetros correlacionados, se decidió usar solo valores de verano en la regresión para proporcionar el mejor acuerdo de fósforo total con los

parámetros de algas durante la temporada cuando el muestreo sería normal. Esto no se pudo hacer. No hubo suficientes datos disponibles para el fósforo y la transparencia durante julio y agosto para producir una regresión significativa. En cambio, la clorofila se relacionó con el fósforo total y la ecuación resultante combinada con la ecuación 1 para producir una ecuación de transparencia de fósforo. El fósforo total de clorofila para los puntos de datos de julio y agosto arrojó:

Ecuación N° 7:

$$\ln \text{Chl} = 1.449 * \ln \text{TP} - 2.442$$

Su ecuación es similar a la derivada por Dillon y Rigler (1974) para la relación entre el fósforo total vernal y la clorofila del verano.

Ecuación N° 8:

$$\ln \text{Chl} = 1.449 * \ln \text{TP} - 2.616$$

Combinando 2 con 4 producido

Ecuación N° 9:

$$\ln \text{SD} = 3.876 - 0.98 * \ln \text{TP}$$

Ecuación N° 10:

$$\text{SD} = 48(1/\text{TP})$$

Esta ecuación se usó en el índice. El índice de estado trófico ahora se puede calcular a partir de la transparencia del disco Secchi, clorofila o fósforo total. Las formas tonales de las ecuaciones son:

$$\text{TSI (SD)} = 10 * \left( 6 - \frac{\ln \text{SD}}{\ln 2} \right)$$

$$\text{TSI (Chl)} = 10 * \left( 6 - \frac{2.04 - 0.68 * \ln \text{Chl}}{\ln 2} \right)$$

$$\text{TSI (TP)} = 10 * \left( 6 - \frac{\ln \frac{48}{\text{TP}}}{\ln 2} \right)$$

(E. Carlson, 1977)

## **2.4.17 Criterios para la evaluación del estado trófico**

### **2.4.17.1 Índice del Estado Eutrófico (TSI o IET)**

El índice de estado trófico (TSI), utiliza la biomasa de algas como la base para la clasificación del estado trófico. Tres parámetros, pigmentos de clorofila "a", profundidad de Secchi y fósforo total.

Cualquiera de los tres parámetros teóricamente puede ser utilizado para clasificar una masa de agua. Esto es particularmente útil en los programas de seguimiento de un lago, donde la profundidad de Secchi es a menudo la única variable que puede ser medido a bajo costo. Para los fines de clasificación, se da prioridad a la clorofila, ya que esta variable es el más exacto de los tres en la predicción de la biomasa de algas. El fósforo total puede ser mejor que la clorofila en la predicción del estado trófico de las muestras de verano y de invierno, y la transparencia sólo se debe utilizar si no hay mejores métodos disponibles. (Carlson R. , 1977)

Tabla N° 4: Escala trófica de Carlson.

<b>Estado de Eutrofia</b>	<b>TSI</b>	<b>Ds (m)</b>	<b>Pt (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Clorf-a (mg/m<sup>3</sup>)</b>
Oligotrófico (TSI < 30)	0	64	0.75	0.04
	10	32	1.5	0.12
	20	16	3	0.34
	30	8	6	0.94
Mesotrófico (30 < TSI < 60)	40	4	12	2.6
	50	2	24	6.4
	60	1	48	20
Eutrófico (60 < TSI < 90)	70	0.5	96	56
	80	0.25	192	154
	90	0.12	384	427
Hipereutrófico (90 < TSI < 100)	100	0.06	768	1183
Relación de los parámetros de eutrofización.		$\frac{TSI_{Ds}}{2}$	$2 * TSI_{Pt}$	$\sqrt{7.8 * TSI_{Clorf-a}}$

Fuente: Carlson, 1977

Tabla N° 5: Fórmulas para estimar el estado trófico aplicado a los indicadores de eutrofia.

<b>Parámetros de eutrofización</b>	<b>Carlson (TSI)</b>
Claridad del agua ( $D_s$ ) (m)	$TSI_{D_s} = 60 - 14,41 \ln(D_s)$
Fosforo total ( $P_{total}$ ) ( $mg/m^3$ );	$TSI_{P_{total}} = 14,42 \ln(P_{total}) + 4.15$
Clorofila "a" (Clorf-a) ( $mg/m^3$ );	$TSI_{CHL} = 9,81 \ln(Clorf-a) + 30,6$

Fuente: Carlson, 1977

#### 2.4.17.2 Clasificación del grado de eutrofia según OCDE.

Por sus siglas en ingles la Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), 1982 estableció una secuencia de categorías tróficas cimentado en las concentraciones de fósforo total, clorofila "a" y transparencia con el disco de Secchi.

Tabla N° 6: Grados eutróficos establecida por la OCDE para la clasificación trófica de una laguna.

<b>Categoría trófica</b>	<b>Pt (<math>\mu g/L</math>)</b>	<b>Clorf-a (<math>\mu g/L</math>)</b>	<b>Transparencia <math>D_s</math> (m)</b>
<b>Ultra oligotrófico</b>	< 4.0	<1	> 6.0
<b>Oligotrófico</b>	4-10	1-2.5	6-3
<b>Mesotrófico</b>	10-35	2.5-8	3-1.5
<b>Eutrófico</b>	35-100	8-25	1.5-0.7
<b>Hipereutrofico</b>	>100	>25	< 7

Modificado de: OCDE (1982)

#### 2.4.18 Gestión del proceso de eutrofización

A principios de los sesenta, un gran número de lagos y embalses, particularmente aquellos localizados en países industrializados, fueron rápidamente cambiando sus características e incrementando su

fertilidad, por la adición de nutrientes provenientes de las actividades humanas (OECD, 1982). Algunas de las medidas de gestión propuestas por la FAO, 1997 son las siguientes:

- **Establecimiento de planes de fertilización:** para evitar el uso excesivo de fertilizantes, la tasa de fertilizante nitrógeno por ejemplo, deberá calcularse en función del “balance de nitrógeno de los cultivos”. En él se tienen en cuenta las necesidades de las plantas y la cantidad de nitrógeno y fósforo en el suelo. Cuando un fertilizante es aplicado a un cultivo, solamente alcanza el organismo “blanco” aproximadamente el 1%, mientras que el 25 % es retenido en el follaje, el 30 % llega al suelo y el 44 % restante es exportado a la atmósfera y a los sistemas acuáticos por escorrentía y lixiviación (Brady & Weil, 1999). Entonces un lago sufre eutrofización cuando sus aguas se enriquecen en nutrientes. Podría parecer a primera vista que es bueno que las aguas estén repletas de nutrientes, porque así podrían vivir más cómodos los seres vivos que en ellas habitan. Pero la situación no es tan sencilla. El problema está en que si hay exceso de nutrientes crecen en abundancia las plantas y otros organismos. Más tarde, cuando mueren, se pudren y llenan el agua de malos olores y le dan un aspecto nauseabundo, disminuyendo drásticamente su calidad. “El proceso de putrefacción consume una gran cantidad del oxígeno disuelto y las aguas dejan de ser aptas para la mayor parte de los seres vivos. El resultado final es un ecosistema casi destruido.”
- **Mantener cubierta vegetal:** en la medida de lo posible, el suelo debe estar cubierto de vegetación. Con ello se impide la acumulación de nitrógeno mineralizado y se evita la lixiviación durante los periodos de lluvia.

- **Riego racional:** los sistemas de riego deficientes son una de las causas que más contribuyen al deterioro de la calidad del agua, mientras que el riego controlado es una de las prácticas menos contaminantes, además de reducir el costo neto del agua abastecida.
- **Planificación territorial en medios agrícolas:** deben adoptarse técnicas de control de la erosión (que estén en consonancia con las condiciones topográficas y edáficas).
- **Número máximo de animales por hectárea:** teniendo en cuenta el volumen de estiércol que se puede aplicar sin peligro por hectárea de tierra. La cantidad máxima de estiércol que se puede aplicar a la tierra se fija en función del contenido de nitrógeno y fósforo (Brady & Weil, 1999).

## **CAPÍTULO III**

### **3 PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Metodología**

##### **3.1.1 Método.**

###### **3.1.1.1 Ubicación geográfica**

La Laguna de Paca es un lago de montaña del Perú situado en la provincia de Jauja en el departamento de Junín, a unos 3.5 km al norte de la ciudad de Jauja. Se encuentra a 3.418 metros de altitud y las siguientes coordenadas UTM 444635 sur y 8703367 norte, presenta una extensión de 21.40 km<sup>2</sup> y tiene una capacidad de 85.50 mil m<sup>3</sup>. Colinda por el Norte con el Distrito de Paca, por el Este con el Distrito de San Pedro de Chunan, por el Sur con el Distrito de Pancan y Jauja y por el Oeste con el Distrito de Marco.



Figura N° 12: ubicación de la laguna de Paca. Fuente: Adaptación propia del autor.

### 3.1.1.2 Coordinación en gabinete para el monitoreo en campo

Para el muestreo en la laguna de Paca se realizaron un conjunto de procedimientos desde la etapa de elaboración en gabinete hasta realizarlos en campo donde lo primero que se hizo fue identificar los puntos de monitoreo en mapas utilizando el Google earth y Arcgis para la elaboración de tales temáticos, el procedimiento fue lo siguiente:

Se identificó los posibles puntos de monitoreo en la laguna para esto se hizo una primera visita a nuestro campo de estudio recorriendo toda la laguna caminando junto a un GPS y una cámara filmadora como se observa en los anexos 5, 6, 7, 8 y 9 identificando los puntos de monitoreo 1, 2, 3, 4 y 5.

Después se llevó a gabinete para la identificación de puntos con sus respectivas coordenadas donde se estudió y elaboró un mapa más específico para los puntos de monitoreo

teniendo en cuenta si estos puntos cumplían con los siguientes criterios para su modificación:

- **Accesibilidad.**- el punto de muestreo debe estar en un lugar fácilmente accesible con las vías de acceso vehicular y peatonal que sean necesarias, de tal manera que faciliten obtener las muestras y transportar la carga que implican los equipos y materiales de muestreo.
- **Representatividad.**- el punto de recolección de las muestras debe ser lo más representativo posible de las características totales del cuerpo de agua, esto significa que el cuerpo de agua debe estar mezclado totalmente en el lugar de muestreo, relacionado específicamente con la turbulencia, velocidad y apariencia física del mismo, adquiriendo que la muestra sea lo más homogénea posible.
- **Seguridad.**- el punto de muestreo, sus alrededores y las condiciones meteorológicas deben garantizar la seguridad de las personas responsables del muestreo, minimizando los riesgos de accidentes y de lesiones personales, es por esto que es recomendable tomar siempre todas las precauciones y utilizar los equipos de seguridad y de protección personal necesarios.

Una vez que se tuvo en cuenta los criterios en cada punto de monitoreo se estableció el tiempo de monitoreo y las fechas específicas:

Tabla N° 7: Cronograma de Monitoreo en la Laguna de Paca.

N°	Actividad	Responsable	Parámetros			Meses			
			Cl-a	Pt	Ds	Junio 1	Julio 5	Agosto 4	Sep1(opcional)
1	Muestro de los parámetros	Sandro Cuellar Arancibia	4	4	4	x			
2	Muestro de los parámetros	Sandro Cuellar Arancibia	4	4	4		x		
3	Muestro de los parámetros	Sandro Cuellar Arancibia	4	4	4			x	
4	Muestro de los parámetros	Sandro Cuellar Arancibia	4	4	4				x

El mes de septiembre indica opcional por si es que los datos procesados en laboratorio resultaran ser casi iguales o no tendrían mucha diferencia en ese caso se monitorearía un mes más en caso contrario solo sería tres meses de monitoreo por contar con una data histórica desde el 2013 de fuentes nacionales

Una vez fechada los días de monitoreo en campo se realizó con la preparación para la toma de muestras:

- Preparación de los envases para la toma de muestra
- Preparación de las hojas de cadena de custodia
- Coordinación para el transporte de las muestras
- Calibración y preparación de los equipos de campo para análisis "in situ" Preparación del equipo de muestreo (guantes, GPS, cámara fotográfica, coolers, etc.)
- Preparación de los equipos de seguridad.
- Organización de la logística para la campaña de muestreo.

Una vez ya establecido con todo los requisitos se empezó el muestro según el cronograma.

### 3.1.1.3 Monitoreo de parámetros en campo

Una vez cumplida con todos los requerimientos en gabinete se monitoreo en campo por lo que el recorrido desde el punto de salida hacia la laguna de paca tardo 2:00 horas de viaje:

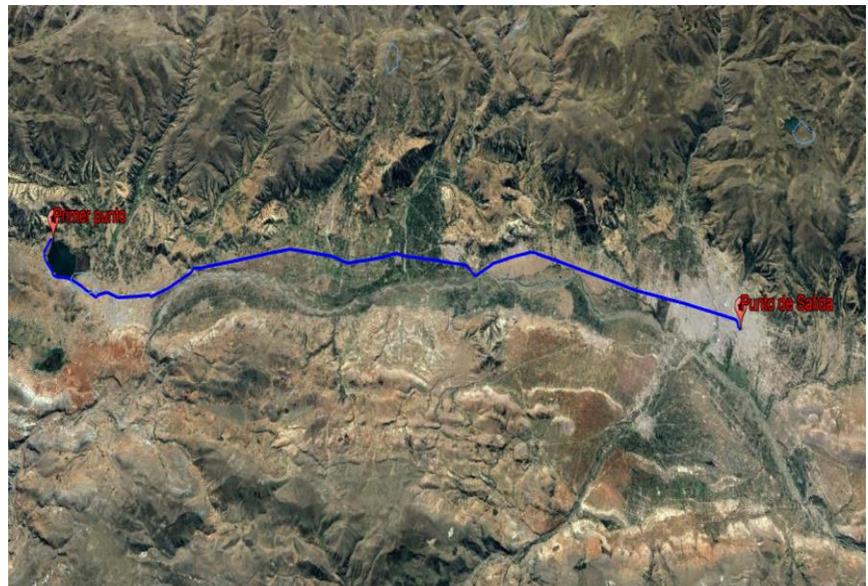


Figura N° 13: ruta de viaje hacia la laguna de Paca. Fuente: Adaptación propia del autor.

Se empezó por el punto más lejano, el punto 1 y luego con el punto 2, 3, 4 y 5 y así en ese orden también se tuvo en cuenta que se tenía que llegar al punto 5 antes del mediodía por la accesibilidad ya que después de la 1:00 pm era más posible de que la intensidad de los vientos aumentan y es muy difícil llegar al centro de la laguna.

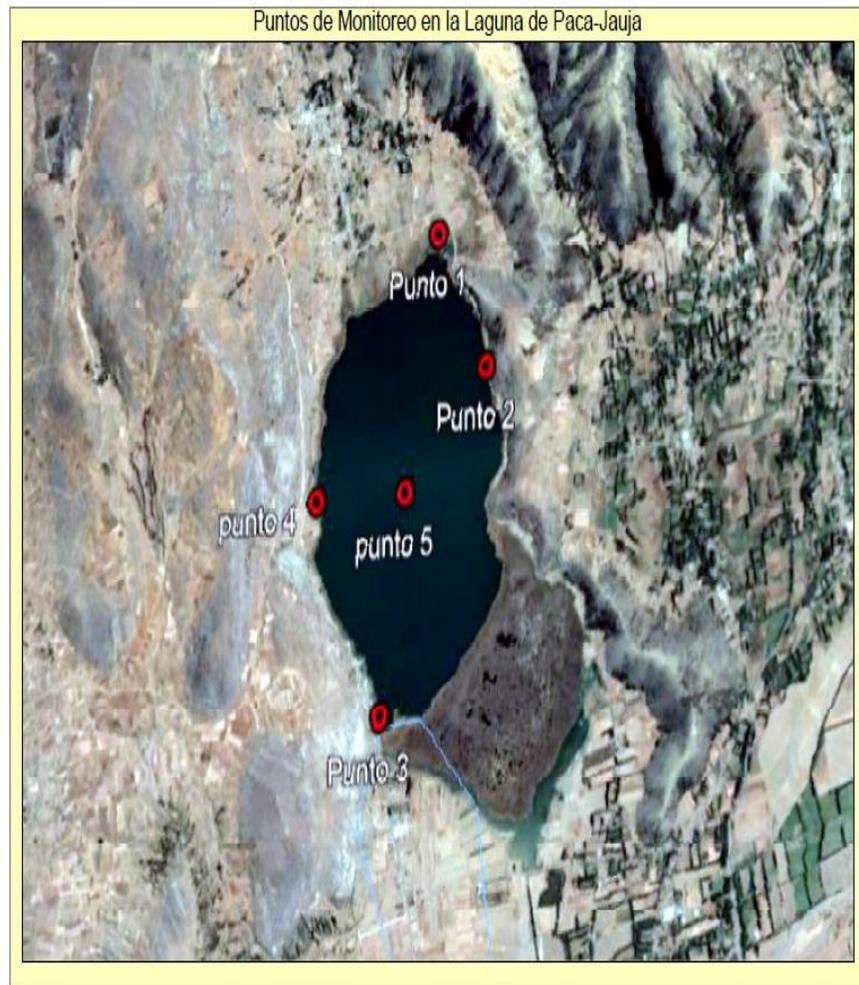


Figura N° 14: Puntos de Monitoreo. Fuente: Adaptación propia del autor

Una vez situado en el punto, se siguió los siguientes procedimientos para la toma de muestras:

**a) Parámetros para laboratorio (Fósforo total y Clorofila-a)**

- Se llenó los frascos para clorofila-a, frasco ámbar de medio litro y para Fósforo Total frasco de plástico blanco con boca ancha enjuagar tres veces con el agua de la laguna antes del llenado, observar el anexo 10.
- Se realizó el etiquetado correspondiente de la muestra de la muestra
- Se realizó la identificación correspondiente a cada punto de monitoreo con el código correspondiente como lo indica la resolución Jefatural N° 010-2016 ANA ejemplo: punto 1 (LP-01)
- Se realizó la localización de los puntos de muestreo real con GPS (esperando que la precisión sea la mayor posible)
- Se caracterizó el sitio con fotografías
- Se rellenó el registro de identificación del punto de monitoreo
- Y por último se realizó el relleno de la cadena de custodia.

**b) Parámetro en Campo (turbidez)**

Después de haber tomadas las muestras en la laguna de Paca, se miden los parámetros “in situ” establecidos en el plan de muestreo, siguiendo los siguientes pasos.

- Se sumergió el disco de Secchi en el cuerpo de agua a muestrear como se observa en el anexo N° 11.
- Las mediciones se hicieron según los procedimientos e instructivos de operación del

equipo y los resultados de los obtenidos en cada punto se anotan.

- Los resultados obtenidos de turbidez mediante el disco de Secchi se reemplazaron directamente en el modelo del Índice de estado Trófico:

Modelo N° 1: Índice de Estado Trófico, para el parámetro de Turbidez.

$$TSI Ds = 60 - 14,41 \ln (Ds)$$

Donde:

- ✓ Ds: valores obtenidos en campo

#### **c) Preservación de muestras**

- Para fósforo se preserva con  $H_2SO_4$  o  $HNO_3$  para 1 mes para clorofila-a se preserva a  $-80\text{ }^\circ\text{C}$  usar la preservación en caso de no poder llegar a laboratorio a tiempo para su extracción y preparación en caso contrario se abstuvo de usar los preservantés.
- Preservar las muestras en coolers a  $4^\circ\text{C}$
- Se tapó herméticamente y se rotulo cada muestra también tuvo en cuenta la fecha de muestreo, persona responsable, parámetros a analizar, laboratorio encargado, observar el anexo N° 12.

#### **d) Transporte de muestras**

Se verifico que el recipiente de almacenamiento de las muestras este bien asegurada con el fin de que esta no se habrá en el transcurso del recorrido al laboratorio.

#### **e) Entrega de muestras al laboratorio**

Se tuvo que mantener la cadena de custodia permanente de las muestras hasta que sean entregadas al laboratorio. Junto con los registros de cadena de custodia.

### 3.1.1.4 Procesamiento de muestras en laboratorio

#### 3.1.1.4.1 Fósforo Total

Una vez que se obtuvo los frascos de muestreo de la laguna de Paca se trabajó en laboratorio para el proceso de Fósforo total, se trabajó con el laboratorio de Ingeniería química de la Universidad del Centro del Perú el procedimiento para obtener las concentraciones de fósforo total fue:

- En un tubo de muestreo esterilizado agregar 1 ml de muestra más 6 ml de agua destilada más 2 ml de molibdeno de amoniaco.
- Mezclar bien y luego agregar 1 ml de cloruro de estaño diluido
- Esperar 10 minutos hasta que se forme un color azul y antes de 12 minutos hacer la lectura en el espectrofotómetro a 640 nm, observar el anexo N° 13 y N° 14.

Una vez que se obtuvieron los valores de fósforo total a la longitud de onda establecida de cada muestra de se empezó a reemplazar a la siguiente fórmula para obtener la concentración en las unidades de mg/lit:

Fórmula N° 1: Concentración de Fósforo total en mg/lit.

$$CC_M = \frac{Abs_M}{Abs_{st}} \cdot CC_{st}$$

Donde:

- ✓  $CC_M$ : Concentración de la muestra en mg/l
- ✓  $Abs_M$ : Valor medido en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 640 nm

- ✓  $Abs_{st}$ : Absorbancia estándar
- ✓  $CC_{st}$ : Concentración estándar (0.4 mg/l)

Para obtener los datos para la observancia estándar se elabora una curva de Calibración. Donde el coeficiente de correlación tiene que ser lo más cercano a 1 para su perfección, observar el gráfico N° 1.

Una vez que se calculó las concentraciones de cada muestra se comparó con el grado de eutrofia de la OCDE y se reemplazó al modelo del Índice de estado Eutrófico y así para la identificación del grado eutrófico presente en la laguna de Paca:

Modelo N° 2: Índice de Estado Trófico, para el parámetro de fósforo Total.

$$TSI P_{total} = 14,42 \ln (P_{total}) + 4.15$$

Donde:

- $P_{total}$ : Concentración de Fósforo total en  $mg/m^3$

#### **3.1.1.4.2 Clorofila-a**

Para obtener los datos resultantes de clorofila-a se siguió un procedimiento en laboratorio para la extracción de los pigmentos de del material particulado:

- Se extrajo los frascos ámbar del cooler con mucho cuidado, observar el anexo N° 14.
- Se desarrolló del papel aluminio que sirve para conservar las muestras y aislarlas del calor.
- Se filtró 200 ml de la muestra de agua de cada punto de monitoreo con membrana de

nitrocelulosa de 47 mm de diámetro y 0.45 micras de tamaño de Puro, observar el anexo N° 15.

- Una vez terminada la primera actividad de filtración, el filtro con mucho cuidado y sin tocar con los guantes se introdujo a los tubos de muestreo, observar el anexo N° 16.
- Una vez introducido el filtro al tubo de muestreo se le agrego 10 ml de acetona, observar el anexo N° 17.
- Y su respectivo etiquetado. Después se le cubrió con papel de aluminio para evitar la foto degradación además conserva la muestra por un día esto con el fin de que la acetona pueda extraer los pigmentos. Al día siguiente antes de llevar al espectrofotómetro se centrifugo las muestras a 2500 rpm durante 5 minutos esto con el fin de separar el material particulado con el extracto que contiene los pigmentos, observar el anexo N° 18.
- Prosiguiendo con el procedimiento, primero se realizó una medida al blanco de muestra o cero para obtener la concentraciones clorofila-a se medirán las muestras en una cubeta 1 cm de longitud a cuatro longitudes de onda por muestra: 630, 647, 664 y 750, observar el anexo N° 19.
- Una vez terminado de medir a las diferentes longitudes de onda se pasó a hallar la

concentración de clorofila-a en mg/m<sup>3</sup> con la siguiente ecuación:

Fórmula N° 2: Concentración de Clorofila-a en mg/m<sup>3</sup>

$$\text{Cla} = \text{Ve} * \frac{[(11.85 * (A_{664} - A_{750})) - (1.54 * (A_{647} - A_{750})) - (0.08 * (A_{630} - A_{750}))]}{(\text{Vf} * \text{L})}$$

Donde:

- ✓ Cla: Clorofila-a en mg/m<sup>3</sup>
  - ✓ Ve: Volumen del extracto de acetona en ml
  - ✓ A: Longitudes de onda
  - ✓ Vf: Volumen del agua Filtrada en Lt
  - ✓ L: Longitud de la cubeta en cm
- Una vez que se calculó las concentraciones de cada muestra se comparó con el grado de eutrofia de la OCDE y se reemplazó los datos al modelo del Índice de estado Eutrófico para la identificación del grado eutrófico presente en la laguna de Paca:

Modelo N° 3: Índice de Estado Trófico, para el parámetro de Clorofila-a.

$$\text{TSI CHL} = 9.81 \ln (\text{Clorf-a}) + 30.6$$

Donde:

- ✓ Clorf-a: Concentración de clorofila en mg/m<sup>3</sup>

Finalmente una vez que se realizó todo este proceso se comparó los resultados con la tabla N° 6: grados eutróficos establecida por la OCDE para la clasificación trófica de una laguna.

Las concertaciones obtenidas en el laboratorio de fósforo total y clorofila-a se midieron en las unidades de mg/lit y mg/m<sup>3</sup> respectivamente lo cual hubo la necesidad de transformar estas unidades a ug/lit para poder utilizar la tabla de grados eutróficos establecida por la OCDE, para el parámetro de turbidez las unidades son en metros.

<b>Categoría trófica</b>	<b>Pt (µg/L)</b>	<b>Clorf-a (µg/L)</b>	<b>Transparencia Ds (m)</b>
<b>Ultra oligotrófico</b>	< 4.0	<1	> 6.0
<b>Oligotrófico</b>	4-10	1-2.5	6-3
<b>Mesotrófico</b>	10-35	2.5-8	3-1.5
<b>Eutrófico</b>	35-100	8-25	1.5-0.7
<b>Hipereutrofico</b>	>100	>25	< 7

Para el IET las concertaciones de fósforo total y clorofila-a se midieron en las unidades de mg/lit y mg/ m<sup>3</sup> respectivamente pero diferencia de la OCDE las unidades que utiliza el IET son en mg/m<sup>3</sup> entonces solo hubo necesidad de transformar las unidades para el parámetro de fósforo total y el parámetro de clorofila-a las unidades de mg/m<sup>3</sup> una vez finalizada con el procedimiento solo quedo comparar con la tabla

N° 4: Escala de valores del Índice de Estado Trófico para la clasificación trófica de una laguna

Estado de Eutrofia	TSI	Ds (m)	Pt (mg/m <sup>3</sup> )	Clorf-a (mg/m <sup>3</sup> )
Oligotrófico (TSI < 30)	0	64	0.75	0.04
	10	32	1.5	0.12
	20	16	3	0.34
	30	8	6	0.94
Mesotrófico (30 < TSI < 60)	40	4	12	2.6
	50	2	24	6.4
	60	1	48	20
Eutrófico (60 < TSI < 90)	70	0.5	96	56
	80	0.25	192	154
	90	0.12	384	427
Hipereutrófico o (90 < TSI < 100)	100	0.06	768	1183
Relación de los parámetros de eutrofización.		$\frac{TSI_{Ds}}{2}$	$2 * TSI_{Pt}$	$\sqrt{7.8 * TSI_{Clorf-a}}$

Para finalizar ambos métodos dan como resultado el mismo estado eutrófico lo cual es el estado Mesotrófico.

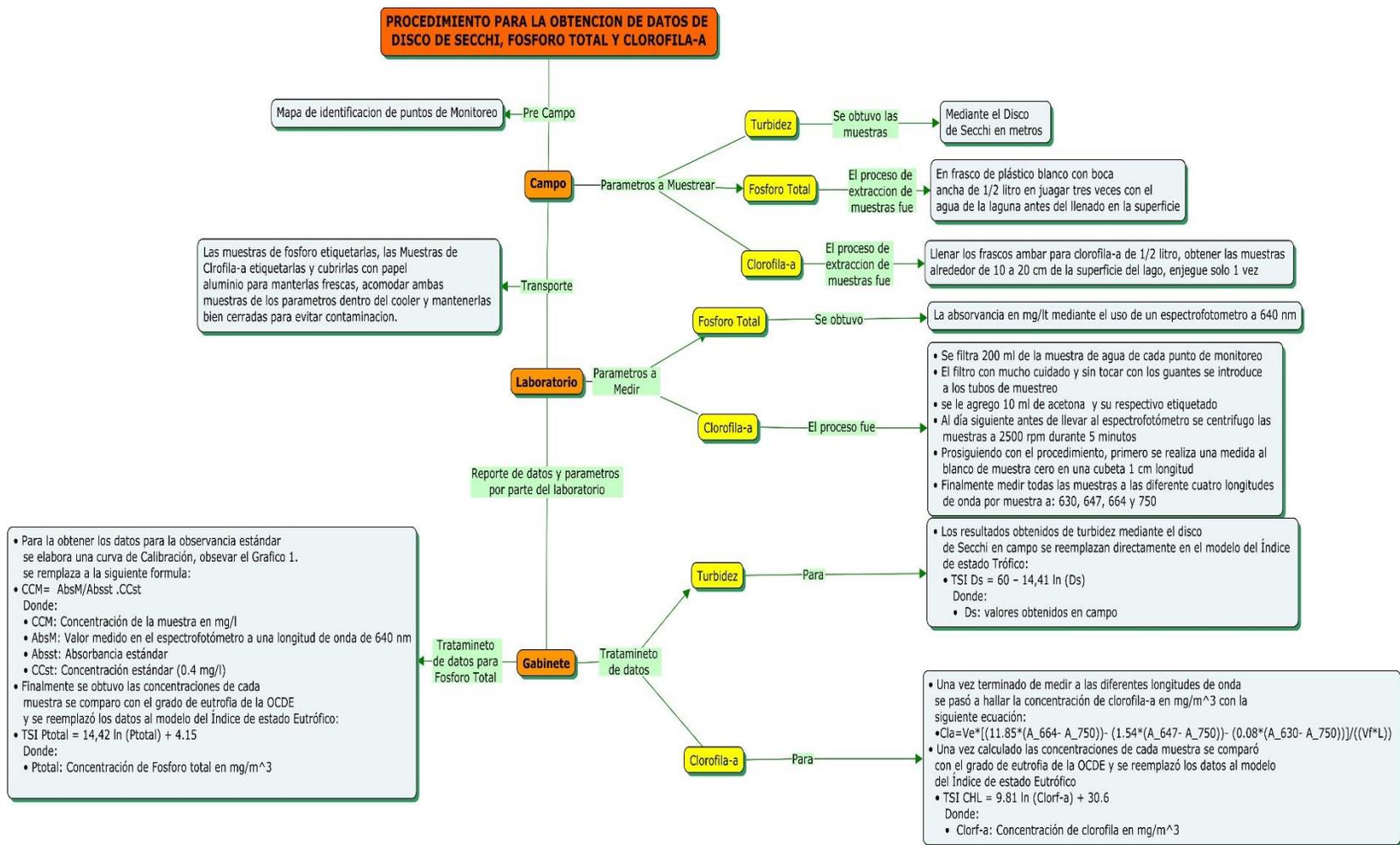


Figura N° 15: Esquema del procedimiento para la obtención de los datos tanto en campo como en laboratorio. Fuente: Adaptación propia del autor.

### **3.1.2 Tipo de la investigación**

- Investigación Aplicada o Tecnológica

La presente investigación se basa en estudios ya realizados en diferentes lugares del mundo, con modelos ya establecidos y estudiados a fondo, la tesis presente se realizó en campo y en laboratorio para la sustracción de feo pigmentos y la espectrofotometría de las muestras de agua Nivel de la investigación

- Nivel Descriptivo

La presente investigación es de un nivel descriptivo, presentar un método de observación, operación y descripción del nivel de estado trófico aplicando modelos matemáticos comparaciones con escalas ya establecidas de eutrofización y parámetros (turbidez, fósforo total y clorofila-a) medido en campo y en laboratorio para el uso de clasificación del grado eutrófico de la muestra estudiada.

### **3.2 Diseño de la investigación.**

Diseños longitudinales de tendencia; el presente diseño se basa en analizar los cambios a través del tiempo de las variables dentro de la muestra en general, la muestra puede variar en 3, 5 o 10 años, presentará una diferencia de su estado actual lo cual se examina su evolución a lo largo de este periodo el cambio puede ser por causas naturales o antrópicas entonces el diseño de longitudinales de tendencia aplica a este tipo de casos.

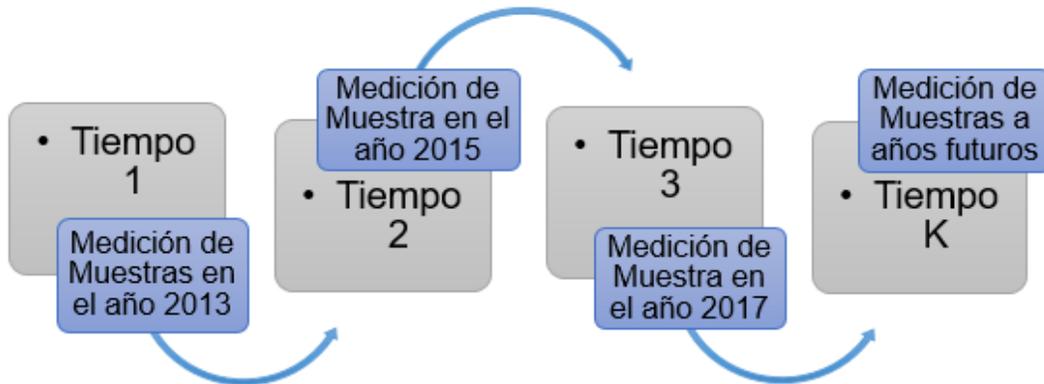


Figura N° 16: Estructura del diseño de longitudes de tendencia. Fuente: Adaptación propia del autor.

### 3.3 Hipótesis de la investigación

#### 3.3.1 Hipótesis general

- El estado actual de eutrofización se encuentra en un estado Mesotrófico en la laguna de Paca utilizando el modelo matemático del IET y el grado de eutrofia establecido por la OCDE.

#### 3.3.2 Hipótesis específicas

- El parámetro de Turbidez indica, que la laguna de Paca se encuentra en un estado Mesotrófico según el modelo matemático del IET y el grado de eutrofia establecido por la OCDE.
- El parámetro de Fósforo total indica, que la laguna de Paca se encuentra en un estado Mesotrófico según el modelo matemático del IET y el grado de eutrofia establecido por la OCDE.
- El parámetro de Clorofila-a indica, que la laguna de Paca se encuentra en un estado Mesotrófico según el modelo matemático del IET y el grado de eutrofia establecido por la OCDE.
- El comportamiento de eutrofización en la laguna de Paca según el parámetro de Turbidez nos indica un estado Mesotrófico, según el modelo matemático del IET y el grado de eutrofia establecido por la OCDE.

- El comportamiento de eutrofización en la laguna de Paca según el parámetro de Fósforo total nos indica un estado Mesotrófico, según el modelo matemático del IET y el grado de eutrofia establecido por la OCDE.
- El comportamiento de eutrofización en la laguna de Paca según el parámetro de Clorofila-a nos indica un estado Mesotrófico, según el modelo matemático del IET y el grado de eutrofia establecido por la OCDE.

### **3.4 Variables**

#### **3.4.1 Variable independiente**

- a) Índice de estado trófico (IET)

##### **Indicadores**

- Turbidez, Fósforo total, Clorofila-a

- b) El grado de eutrofia de la (OCDE)

##### **Indicadores**

- Turbidez, Fósforo total, Clorofila-a

#### **3.4.2 Variable dependiente**

- Eutrofización

### **3.5 Cobertura del Estudio.**

#### **3.5.1 Universo.**

La cobertura de estudio se basa a nivel mundial en la actualidad todo lago va a presentar el problema de eutrofización, algunos lagos en diferentes países así como en el Perú se hablaría de eutrofización en varios lagos y lagunas pero el estudio solo se aplicó en algunos lagos y lagunas que están ubicadas en diferentes departamentos del país.

La eutrofización es un problema a nivel mundial ya que este problema está ligado a cuerpos hídricos mayormente de aguas lenticas en su gran mayoría por causas de actividades antrópicas, los cuerpos hídricos poseen alrededor una población donde sus aguas residuales

viertan sobre ella o gran cantidad de área agrícolas donde los fertilizantes usados para la protección de cultivos serían arrastrados por filtraciones a causa de las lluvias hacia el cuerpo hídrico más cercano produciéndose este problema en el mundo, hay muchos casos del problema de eutrofización como es en muchos lagos que pasaron por este problema: lago San Roque, lago de Nahuel Huapi, lagos de Bariloche, lago de Río Hondo (Argentina); lago de Cana Brava, lago de Serra Da Mesa, lago de São Domingos (Brasil); lago Titicaca (Bolivia- Perú); lago Chungará (Chile); lago Sochagota de Paipa, Lago Timiza (Colombia); lago San Pablo o Imbakucha (Ecuador); lago de Atitlán, Lago de Amatitlán (Guatemala); lago Chapala, lago de Pátzcuaro (México); lago Xolotlán, lago Cocibolca (Nicaragua); lago de Yparacarái (Paraguay); lago de Junín (Perú); lago de Valencia o lago de Tacarigua, lago de Maracaibo (Venezuela).

### **3.5.2 Población.**

La laguna de Paca ubicada en el distrito de Paca de la provincia de Jauja cuenta con una extensión de 21,4 km<sup>2</sup> representa a la población para el presente estudio de eutrofización.

### **3.5.3 Muestra.**

Se tomaron 5 puntos de monitoreo dentro de la laguna de Paca en cada punto de muestreo se determinaron 1 muestra para cada parámetro que requiere el estudio de investigación durante tres meses.

### **3.5.4 Muestreo.**

Se utilizó el método de muestreo no probabilístico por cuotas, se sabe que en la laguna de Paca se desconoce la población pero si se tiene antecedentes de que factores pueden estar alterando el proceso eutrófico de la laguna de Paca por ellos se seleccionó 5 puntos de monitoreo, cada punto representa a un tipo de ambiente: natural, antrópico, agrícola, alimentación de un río y centro de la laguna.

### **3.6 Técnicas e instrumentos**

#### **3.6.1 Técnicas de la investigación.**

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron las diferentes técnicas:

- **Revisiones bibliográficas:** se revisaron estudios anteriores como son tesis ya realizadas, papers, revistas, informes, videos. Para la elaboración del marco teórico, el proceso de muestreo en campo y en laboratorio y la adecuada operación para los modelos matemáticos.
- **Observaciones en campo:** las observaciones en campo se hicieron mediante mapas temáticos y mapas generales.
- **Experimentos:** se realizaron para la extracción de clorofila-a y elaboración de Fósforo total en laboratorio de las muestras de agua obtenidas en campo.
- **Pruebas estadísticas:** esta técnica se utilizó para la verificación de la hipótesis planteada en la presente tesis.

#### **3.6.2 Instrumentos de la investigación.**

- Historias de vida
- Material experimental
- Fotografías y diapositivas

### **3.7 Procesamiento estadístico de la información.**

#### **3.7.1 Estadísticos.**

##### **Softwars**

- Microsoft Excel
- Minitab

#### **3.7.2 Representación.**

Las representaciones de datos medidos en laboratorio se dieron por medio de reportes aprobado y firmado por los responsables de laboratorio de Ingeniera Química de la UNCP y graficas elaboradas

por medio del software Microsoft Excel en gabinete. Los estado eutróficos establecidos por Carlson y la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE).

### **3.7.3 Técnicas de comprobación de la hipótesis.**

Para el presente estudio se utilizó la técnica de T de student para variables relacionadas para la comprobación de la hipótesis establecida del presente trabajo de investigación de la laguna de Paca.

## **CAPITULO IV**

### **4 ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **4.1 Resultados.**

Se realizó un procedimiento para obtener datos numéricos de los parámetros establecidos Turbidez, Fósforo total y Clorofila-a para la utilización del modelo del índice de estado trófico y el grado de eutrofia establecida por la OCDE, en 5 puntos diferentes de monitoreo ubicado en la laguna de Paca en tres meses diferentes del año 2017; Junto a ellos se agregó la datos de años anteriores otorgados por el Ministerio del Ambiente (MINAM) y la Autoridad Nacional del Agua (ANA) con el fin de obtener una mejor evaluación en los resultados y en el modelo utilizado junto a ello se obtuvo la curva de calibración para obtener los datos de fósforo total, a continuación se presenta los resultados:

#### 4.1.1 Turbidez (Ds)

Tabla N° 8: Datos de Turbidez para el grado de eutrofia, OCDE y el IET.

27/02/2017 (Turbidez)		
N°	Turbidez (OCDE) (m)	TSI (m)
Punto 1	2.00	50.012
Punto 2	1.82	51.371
Punto 3	1.90	50.751
Punto 4	1.78	51.691
Punto 5	1.80	51.530
Promedio	1.86	51.071

Fuente: Autoridad Nacional del Agua.

La tabla N° 8 se observa los valores resultante en cada punto de monitoreo, medidos con el disco de Secchi y operado con los métodos para obtener el grado de eutrofización, del grado eutrófico establecido por la OCDE y el Índice de Estado Trófico que se llevó a cabo el 27 de Febrero del 2017 monitoreado por la Autoridad Nacional del Agua estableciendo que el punto N° 4 presenta mayor turbidez y el punto N° 1 menor turbidez medidos en las unidades de metros.

Tabla N° 9: Datos de Turbidez para el grado de eutrofia OCDE y el IET para el mes de Junio del 2017.

01/06/2017 (Turbidez)		
N°	Turbidez (OCDE) (m)	TSI (m)
Punto 1	2.00	50.012
Punto 2	2.00	50.012
Punto 3	2.48	46.912
Punto 4	2.40	47.384
Punto 5	2.30	47.998
Promedio	2.24	48.464

Fuente: Adaptación propia del autor.

La tabla N° 9 presenta datos de los 5 puntos de monitoreo medidos con el disco de Secchi en campo, el 01 de Junio del 2017 al igual que los datos obtenidos por la Autoridad Nacional del Agua como se observados en la tabla N° 8 se usó los dos métodos de eutrofización obteniendo así en los puntos N° 1 y N° 2 mayor turbidez y en el punto 3 menor turbidez de la laguna de Paca

Tabla N° 10: Datos de Turbidez para el grado de eutrofia OCDE y el IET para el mes de Julio del 2017.

05/07/2017 (Turbidez)		
N °	Turbidez (OCDE) (m)	TSI (m)
Punto 1	2.00	50.012
Punto 2	2.00	50.012
Punto 3	2.50	46.796
Punto 4	2.48	46.912
Punto 5	2.30	47.998
Promedio	2.26	48.346

Fuente: Adaptación propia del autor.

La tabla N° 10 presenta datos de monitoreo de turbidez de la laguna de Paca del 05 de Julio del 2017 se utilizaron los mismos métodos de eutrofización de la tabla N° 8 y N° 9 donde los puntos N° 1 y N° 2 presentan mayor turbidez mientras que el punto 3 presenta menor turbidez.

Tabla N° 11: Datos de Turbidez para el grado de eutrofia OCDE y el IET para el mes de Agosto del 2017.

04/08/2017 (Turbidez)		
N°	Turbidez (OCDE) (m)	TSI (m)
Punto 1	2.00	50.012
Punto 2	2.00	50.012
Punto 3	2.48	46.912
Punto 4	2.48	46.912
Punto 5	2.35	47.688
Promedio	2.26	48.307

Fuente: Adaptación propia del autor.

La tabla N° 11 presenta datos de turbidez del 04 de Agosto del 2017 donde se utilizó los mismos métodos de eutrofización que las tablas N° 8, 9, y 10 los cuales son el Índice de estado trófico y el Grado de eutrofia establecida por la OCDE estos métodos dan como resultado que los puntos N° 1 y N° 2 presentan mayor turbidez y los puntos N° 3 y N° 4 contienen menor turbidez en la laguna de Paca

#### 4.1.2 Fósforo Total (Pt)

Tabla N° 12: Datos de Fósforo total para el grado de eutrofia OCDE y el IET.

14/06/2013 (Fósforo total)				
N°	Concentración (mg/lit)	Concentración (mg/m <sup>3</sup> )	TSI (mg/m <sup>3</sup> )	OCDE (ug/lit)
Punto 1	0.052	51.60	61.016	51.6
Punto 2	0.026	26.20	51.242	26.2
Punto 3	0.011	11.00	38.728	11
Punto 4	0.027	27.200	51.782	27.2
Punto 5	0.011	10.900	38.596	10.9
Promedio			48.273	25.380

Fuente: Ministerio del Ambiente.

En la tabla N° 12 se observa los datos resultantes obtenido en el informe técnico de monitoreo del Ministerio del Ambiente

monitoreados el 14 de Junio del 2013 en las unidades de mg/lit o partes por millón (ppm), la unidad de concentración de fósforo total se tuvo que convertir a las unidades de mg/m<sup>3</sup> ya que el IET requiere en esas unidades y el grado de eutrofia opera en unidades de ug/Lit lo cual la concentración más alta en mg/lit la presenta el punto N° 1 y los puntos N° 3 y N° 5 presentan las menores concentraciones de fósforo total.

Tabla N° 13: Datos de Fósforo total para el grado de eutrofia OCDE y el IET para el mes de Junio del 2017.

01/06/2017 (Fósforo total)						
N°	Absorbancia de la muestra a 640 nm	Absorbancia ST	Concentración (mg/lit)	Concentración (mg/m <sup>3</sup> )	TSI (mg/m <sup>3</sup> )	OCDE (ug/lit)
Punto 1	0.102	2.1	0.019	19	46.930	19.429
Punto 2	0.107	2.2	0.019	19	46.950	19.455
Punto 3	0.1	2	0.020	20	47.348	20.000
Punto 4	0.125	2.5	0.020	20	47.348	20.000
Punto 5	0.108	2.2	0.020	20	47.084	19.636
Promedio					47.132	19.704

Fuente: Adaptación propia del autor.

En la tabla N° 13 presenta datos del 01 de Junio del 2017 donde se observan datos obtenidos en laboratorio en mg/lit que representa la unidad de concentración del parámetro de fósforo total, estas concentraciones fueron obtenidas a través de la operación con la fórmula N° 1 y el gráfico N° 1 que sirvió para obtener absorbancia de la muestra y absorbancia estándar, una vez realizado este proceso se transformó a las unidades que requiere el IET y el grado de eutrofia establecido por la OCDE para obtener los datos y así poder hallar el estado de eutrofización.

Tabla N° 14: Datos de Fósforo total para el grado de eutrofia OCDE y el IET para el mes de Julio del 2017.

05/07/2017 (Fósforo total)						
N°	Absorbancia de la muestra a 640 nm	Absorbancia ST	Concentración (mg/lit)	Concentración (mg/m <sup>3</sup> )	TSI (mg/m <sup>3</sup> )	OCDE (ug/lit)
Punto 1	0.078	1.55	0.020	20.13	47.441	20.129
Punto 2	0.098	1.95	0.020	20.10	47.422	20.103
Punto 3	0.279	5.58	0.020	20.00	47.348	20.000
Punto 4	0.052	1.12	0.019	18.57	46.280	18.571
Punto 5	0.256	5	0.020	20.48	47.690	20.480
Promedio					47.236	19.857

Fuente: Adaptación propia del autor.

Para la tabla N° 14 se utilizó el mismo procedimiento de la tabla N° 13 para obtener las concentraciones en mg/lit con la diferencia que los datos obtenidos se midieron el 05 de Julio del 2017 un mes después, los 5 datos obtenidos en este cuadro son casi similares por lo que no presentan una variaciones significativa.

Tabla N° 15: Datos de Fósforo total para el grado de eutrofia OCDE y el IET para el mes de Agosto del 2017.

04/08/2017 (Fósforo total)						
N°	Absorbancia de la muestra a 640 nm	Absorbancia ST	Concentración (mg/lit)	Concentración (mg/m <sup>3</sup> )	TSI (mg/m <sup>3</sup> )	OCDE (ug/lit)
Punto 1	0.067	1.45	0.018	18.483	46.211	18.483
Punto 2	0.136	2.71	0.020	20.074	47.402	20.074
Punto 3	0.046	0.91	0.020	20.220	47.506	20.220
Punto 4	0.066	1.41	0.019	18.723	46.397	18.723
Punto 5	0.152	3.1	0.020	19.613	47.067	19.613
Promedio					46.916	19.423

Fuente: Adaptación propia del autor.

Para la tabla N° 15 los datos obtenidos de fósforo total se obtuvieron en el mes de Agosto al igual que la tabla N° 13 y N° 14 se utilizó el mismo procedimiento para hallar sus concentraciones en mg/lit, cada tabla presenta 5 puntos que representan

a la cantidad de muestras dentro de la laguna de Paca por lo general estas concentraciones no presentan una variación tan alejada de cualquier otro punto de monitoreo.

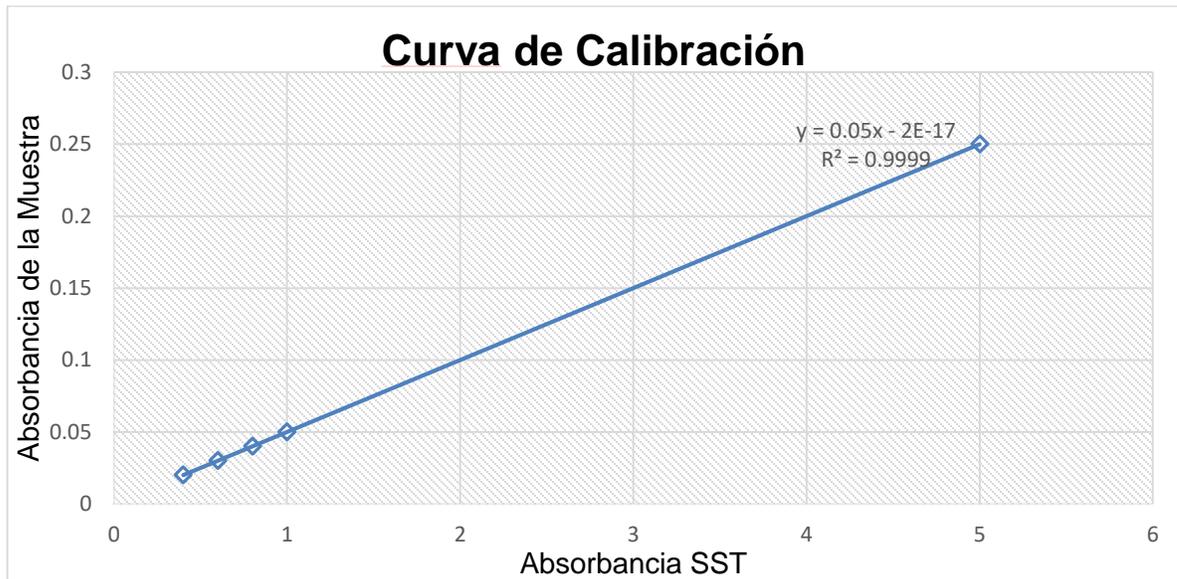


Gráfico N° 1: Curva de Calibración. Fuente: Adaptación propia del autor.

El gráfico N° 1 presenta la curva de calibración este método se basa en la relación proporcional entre la concentración y una determinada señal analítica conociendo esta relación fue posible determinar la concentración de fósforo total, para que la curva calibración pueda ser utilizada el coeficiente de correlación tenía que ser perfecta el valor más cercano a 1 en este caso el coeficiente de correlación  $R^2$  es igual a 0.9999 lo cual fue el valor más cercano que se pudo obtener, en la parte vertical se obtuvo los patrones para la absorbancia de la Muestra y en la parte horizontal los patrones de las concentraciones estándar mediante estos patrones numéricos y aplicando la fórmula N° 1 se halló las concentraciones de fósforo total para cada punto de monitoreado de la laguna de Paca.

#### 4.1.3 Clorofila-a (Clorf-a)

Tabla N° 16: Datos de Clorofila-a para el grado de eutrofia OCDE y el IET.

12/12/2015 (Clorofila-a)				
N°	Concentración en ug/Lt	Concentración (mg/Lt)	Concentración (ug/Lt) OCDE	TSI (mg/m <sup>3</sup> )
Punto 1	3.3	0.0033	3.300	42.312
Punto 2	7.8	0.0078	7.800	50.751
Punto 3	2.3	0.0023	2.300	38.771
Punto 4	7.4	0.0074	7.400	50.235
Punto 5	8.4	0.0084	8.400	51.478
Promedio			5.840	46.709

Fuente: Autoridad Nacional del Agua.

La tabla N° 16 presenta datos de clorofila-a al igual que la tabla N° 8, estos datos se obtuvieron del informe técnico de monitoreo de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) que la presente institución pública considero 6 puntos de monitoreo en la laguna de Paca las cuales 5 de ellos se encuentran muy cercanas a los puntos de monitoreo con la que se está trabajando en el presente proyecto de tesis, la unidad presente en tal informe es de ug/Lt las mismas unidades para la comparación con el grado de eutrofia establecida por la OCDE mientras que para el IET se optó por transformar las unidades a mg/m<sup>3</sup> para su operación con el modelo.

Tabla N° 17: Datos de Clorofila-a para el grado de eutrofia OCDE y el IET para el mes de Junio del 2017.

01/06/2017 (Clorofila-a)							
N°	Longitudes de onda				Concentración (mg/m <sup>3</sup> )	Concentración (ug/lit) OCDE	TSI (mg/m <sup>3</sup> )
	750	664	630	647			
Punto 1	0.016	0.055	0.049	0.055	11.984	11.984	54.963
Punto 2	0.026	0.036	0.023	0.019	3.886	3.886	43.915
Punto 3	0.014	0.042	0.054	0.063	7.594	7.594	50.489
Punto 4	0.075	0.083	0.071	0.05	4.009	4.009	44.221
Punto 5	0.04	0.02	0.02	0.025	-6.369	-6.369	V.N.I
Promedio						6.868	48.397

Fuente: Adaptación propia del autor.

La tabla N° 17 presenta datos del 01 de Junio del 2017 medidos en 5 puntos diferentes dentro de la laguna de Paca, las concentraciones obtenidas de estos puntos de monitoreo están en las unidades de mg/m<sup>3</sup> el procedimiento que se optó para obtener cada concentración de clorofila-a fue obtener resultados a 4 diferentes longitudes de onda 664, 750, 730 y 647 y reemplazar a la fórmula 2 una vez obtenido las concentraciones restantes transformarlas a las respectivas unidades que requiere el IET y el grado de eutrofia establecida por la OCDE y luego operar con el modelo N° 3 para el cálculo el IET, el punto N° 5 de la tabla N° 17 muestra una concentración negativa de -6.369 por lo que en el IET se considera como V.N.I (valor no identificado) debido a que la muestra pudo ser contaminada en la trayectoria del transporte hacia el laboratorio de química.

Tabla N° 18: Datos de Clorofila-a para el grado de eutrofia OCDE y el IET para el mes de Julio del 2017.

05/07/2017 (Clorofila-a)							
N°	Longitudes de onda				Concentración (mg/m <sup>3</sup> )	Concentración (ug/lit) OCDE	TSI (mg/m <sup>3</sup> )
	750	664	630	647			
Punto 1	0.004	0.01	0.002	0.005	2.092	2.092	37.839
Punto 2	0.017	0.024	0.013	0.009	2.868	2.868	40.935
Punto 3	0.011	0.016	0.004	0.003	2.164	2.164	38.172
Punto 4	0.022	0.03	0.017	0.013	3.272	3.272	42.228
Punto 5	0.042	0.057	0.059	0.067	4.137	4.137	44.529
Promedio						2.906	40.741

Fuente: Adaptación propia del autor.

La tabla N° 18 presenta datos del mes de Julio del 2017 de clorofila-a, a diferencia de la tabla N° 17 ningún dato presenta concentración negativa por lo que el punto N° 5 tiene casi la misma similar dad a los demás puntos por lo que es más confiable, el procedimiento a seguir fue la misma a la tabla N° 17 obteniendo buenos resultados.

Tabla N° 19: Datos de Clorofila-a para el grado de eutrofia OCDE y el IET para el mes de Agosto del 2017.

04/08/2017 (Clorofila-a)							
N°	Longitudes de onda				Concentración (mg/m <sup>3</sup> )	Concentración (ug/lit) OCDE	TSI (mg/m <sup>3</sup> )
	750	664	630	647			
Punto 1	0.001	0.017	0.015	0.013	5.100	5.100	46.583
Punto 2	0.015	0.031	0.026	0.019	5.477	5.477	47.282
Punto 3	0.017	0.026	0.033	0.027	2.699	2.699	40.341
Punto 4	0.006	0.02	0.011	0.013	4.642	4.642	45.659
Punto 5	0.009	0.019	0.011	0.002	3.874	3.874	43.885
Promedio						4.358	44.750

Fuente: Adaptación propia del autor.

Para la tabla N° 19 presenta datos del 04 de Agosto del 2017 el procedimiento para obtener las concentraciones en mg/m<sup>3</sup> fue la misma que se utilizó en las tablas N° 17 y N° 18.

## 4.2 Discusión de resultados

### 4.2.1 Índice de estado trófico (ITS)

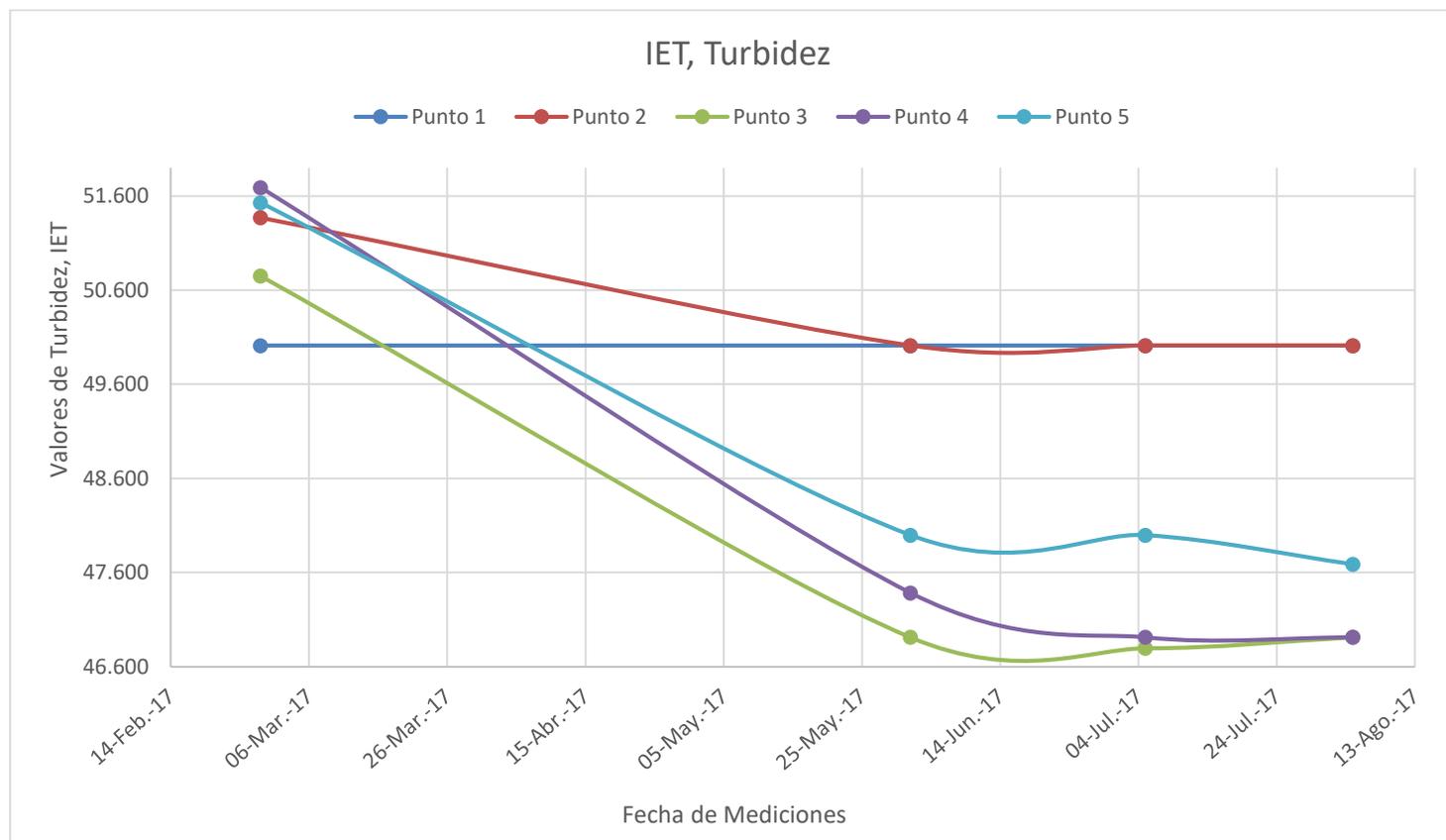


Gráfico N° 2: Comportamiento de la turbidez en la laguna de Paca con relación al tiempo de monitoreo, según el IET. Fuente: Adaptación propia del autor.

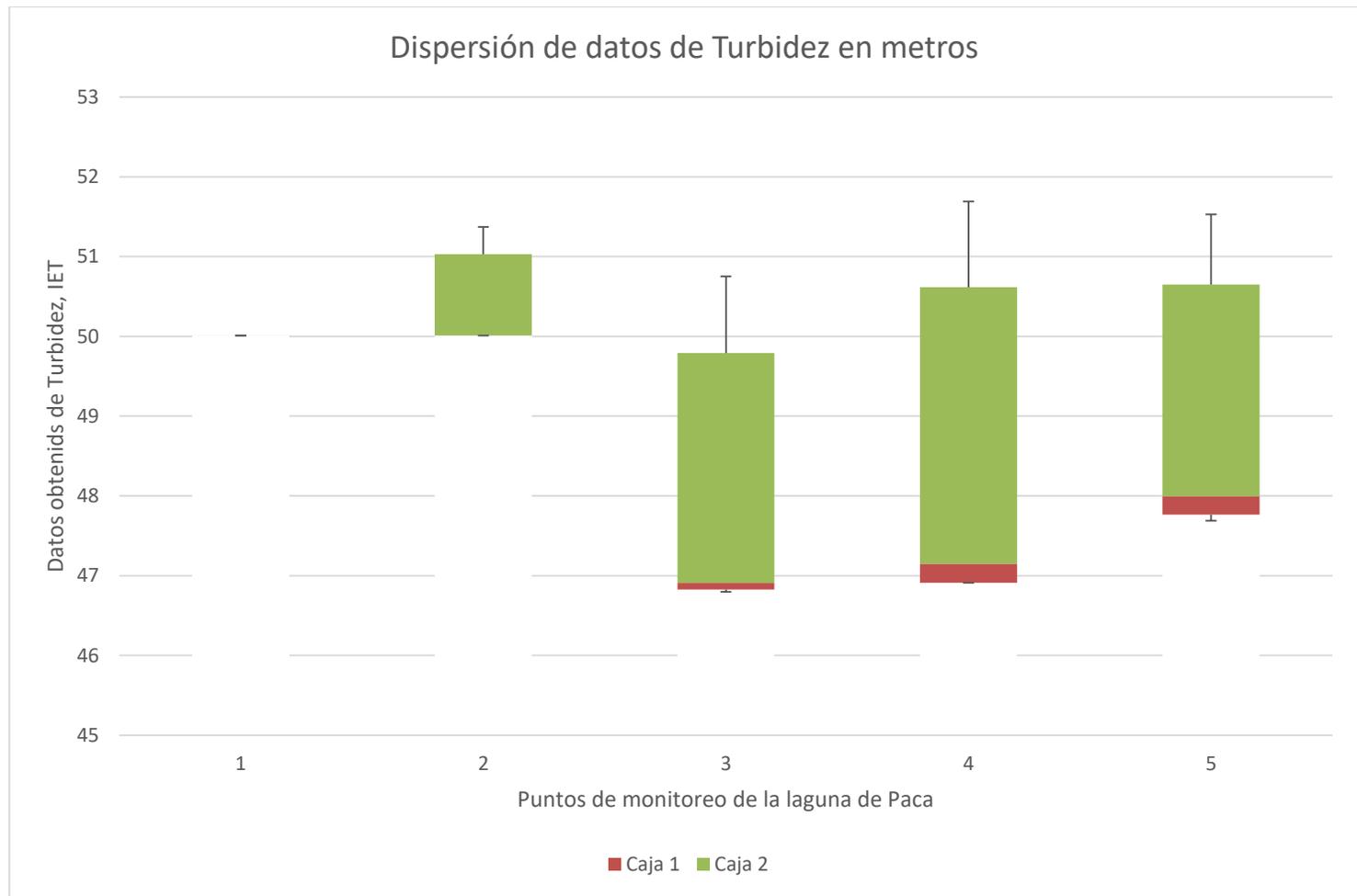


Gráfico N° 3: Dispersión de datos de Turbidez en metros con el IET. Fuente: Adaptación propia del autor.

El gráfico N° 2 Contiene los datos del parámetro de turbidez desde el mes de Febrero hasta el mes Agosto, como se observa en la gráfica la relación de los valores de turbidez en unidades de metros con relación al tiempo en la gran mayoría de puntos monitoreados se observa un comportamiento descendente a excepción del punto N° 1 donde al observar la figura N° 14 muestra una intersección con el río que alimenta la laguna de Paca por lo que la profundidad aquí es poco profunda en comparación a los demás puntos. Los otros 4 puntos presentan una mayor turbidez, al observar la gráfica N° 3 los datos obtenidos en los meses de febrero presentan mayor dispersión entre el 50 % y 75 % y menor dispersión entre el 25 % y 50 % con respecto a los datos obtenidos de los meses de Junio, Julio y Agosto así mismo presentando mayor variabilidad de turbidez en los puntos N° 4 y N° 5 a diferencia de los puntos N° 2 y N° 3 esto sucede debido a que en la provincia de Jauja donde está ubicada la laguna de Paca los meses de Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero hasta los inicios de marzo son épocas de lluvia y los demás meses son épocas de estiaje lo que la lluvia provoca levantamiento y movimiento de sedimentos es por eso que la gráfica N° 2 presenta este comportamiento descendente de turbidez disco de Secchi durante el tiempo así mismo se demostró también que los datos de turbidez son menores al 25 % que representa el coeficiente de variación dando a conocer que las muestras de la laguna de Paca son homogéneas

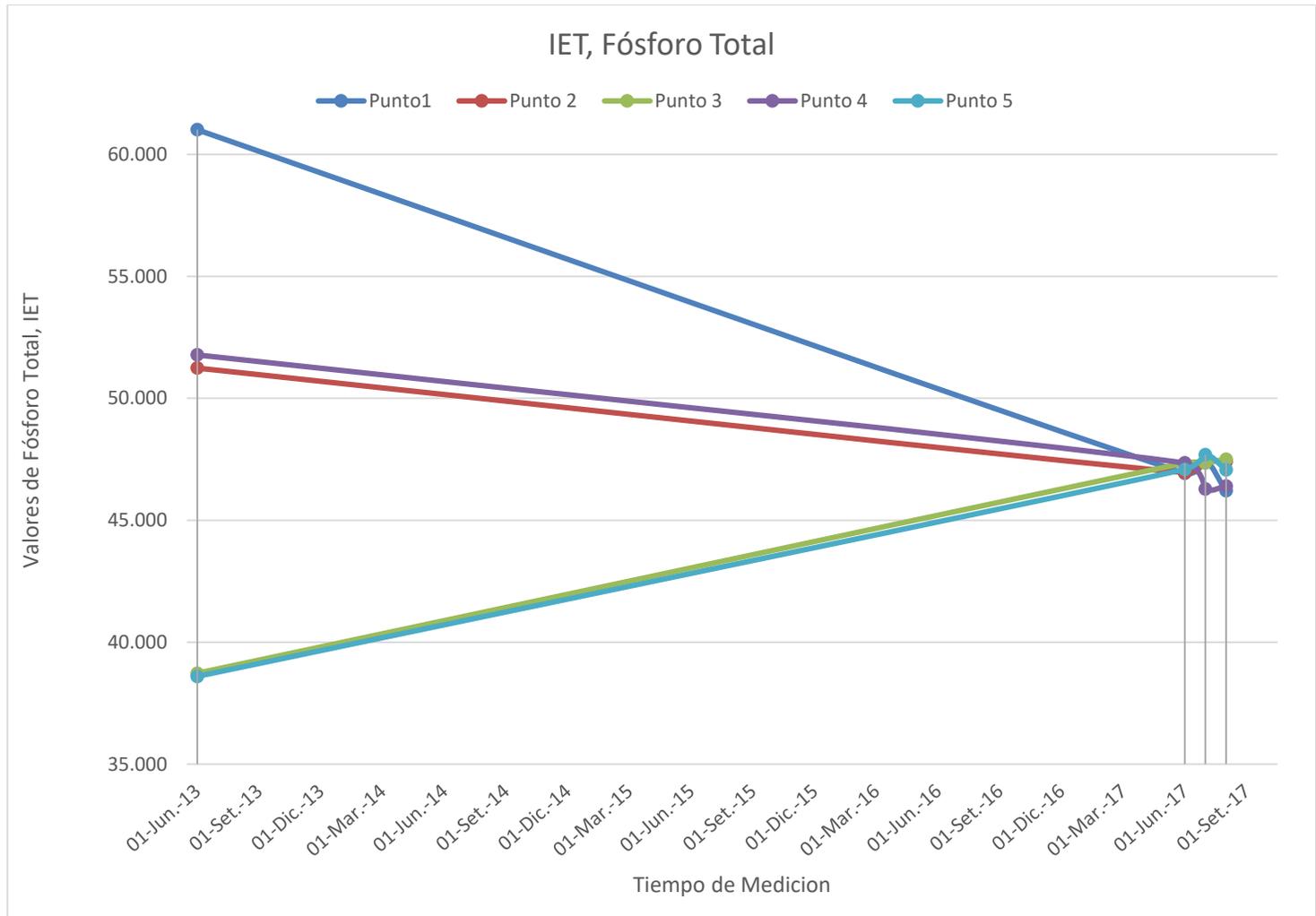


Gráfico N° 4: Comportamiento del fósforo total en la laguna de Paca con relación al tiempo de monitoreo, según el IET. Fuente: Adaptación propia del autor.

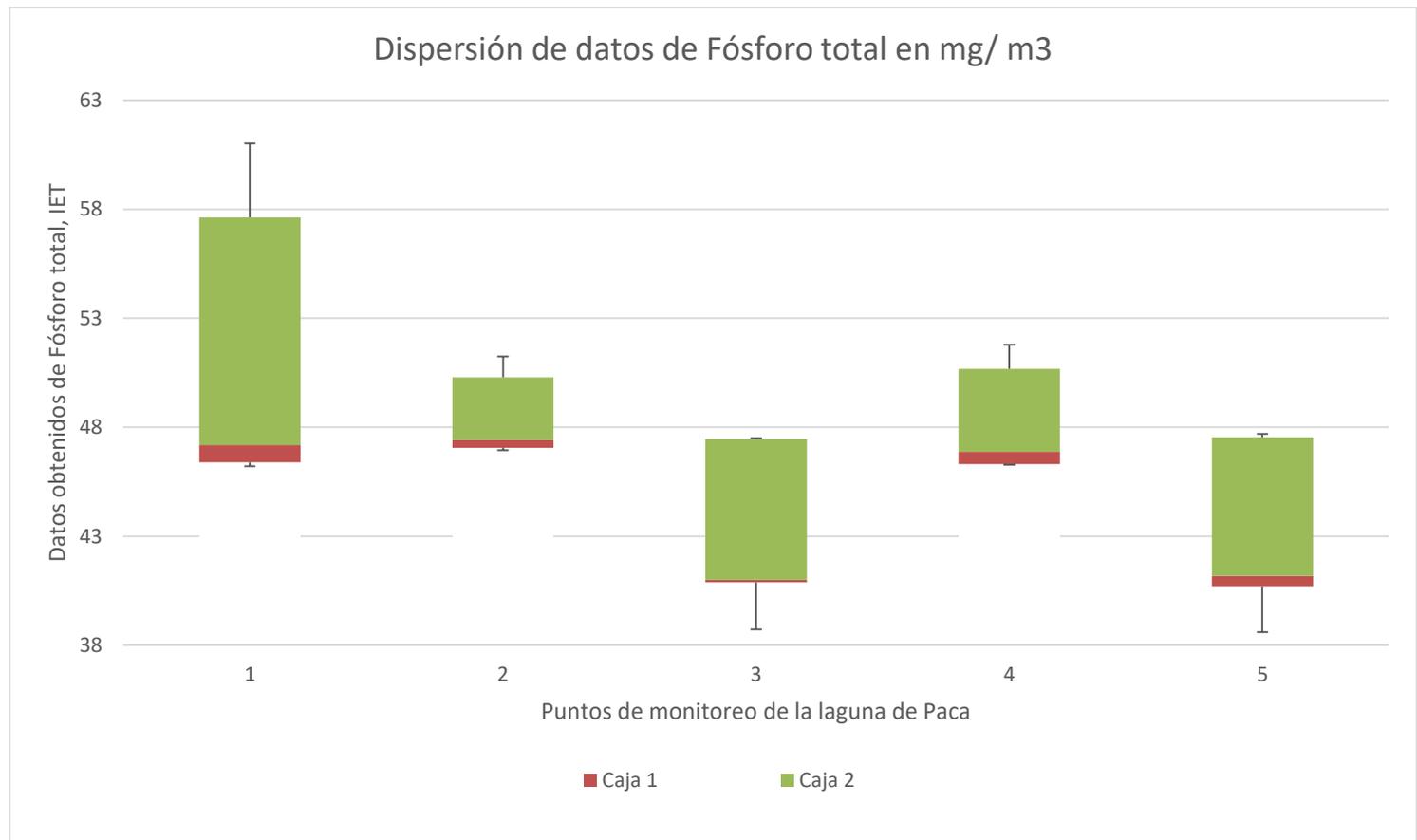


Gráfico N° 5: Dispersión de datos de Fósforo total en mg/ m3 con el IET. Fuente: Adaptación propia del autor.

Para el parámetro de Fósforo total los primeros datos se obtuvieron en el año 2013, en la gráfica N° 5 los puntos de monitoreo presentan concentraciones muy dispersas entre el 50% y 75 % para el años 2017 presentan menos dispersión entre el 25 % y 50 % si comparamos estos dos años. En el punto N° 1 es donde se va a presentar mayor variabilidad con respecto a los demás puntos monitoreados si observamos la gráfica N° 4 nos da a conocer que su concentración descende a este caso podemos decir un motivo muy importante es que en la intersección del rio Paca con la laguna hay mayor movimiento con respecto a los demás puntos de monitoreo por lo que los nutrientes de fósforo pueden haber sido transportados a otro lugar. Según (MORETA POZO, 2008) los lagos son contaminados por actividades antrópicas como se sabe la laguna de Paca cuenta con diferentes actividades antrópicas en sus alrededores puede ser que el vertido de una de estas actividades pudo haber alterado las concentraciones de fósforo justo el día en que se monitoreo por parte del MINAM, mientras que para el punto N° 3 y el punto N° 5 aumenta su concentración, debido a que el punto N° 3 como se observa en la figura N° 14 es el área donde se encuentra más recreos campestres mientras en el punto N° 5 es el centro de la laguna donde toda carga de nutrientes se va a concentrar mientras que los puntos N° 2 y N° 4 presenta casi el mismo comportamiento como se observa en la gráfica N° 4 así mismo observamos el gráfico N° 5 de estos cuatro puntos su variabilidad con respecto a los últimos meses monitoreados del 2017 es poca por lo que el coeficiente de variación es menor al 25 % lo cual los datos para fósforo total presentan homogeneidad en la laguna de Paca.

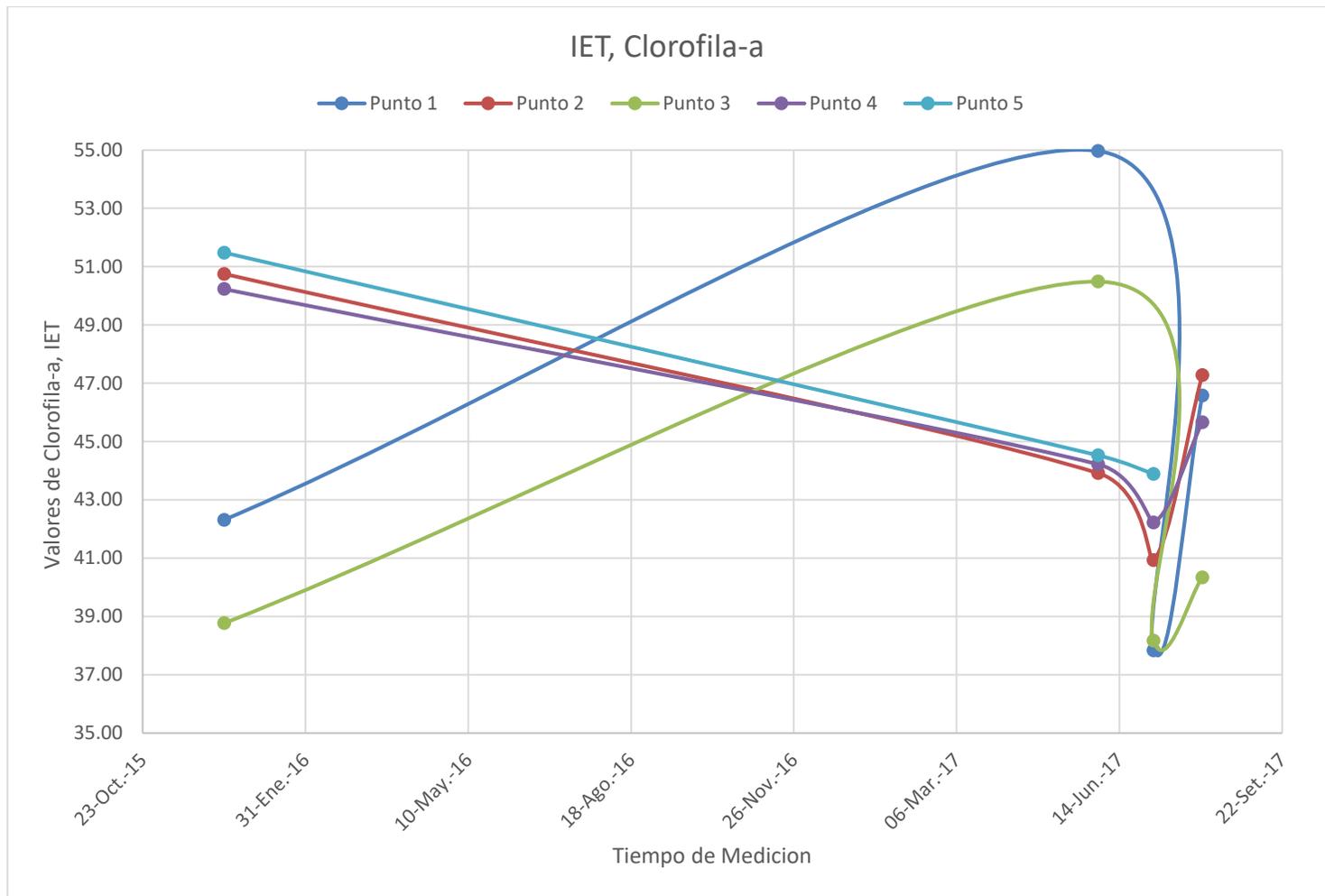


Gráfico N° 6: Comportamiento de la clorofila- a en la laguna de Paca con relación al tiempo de monitoreo, según el IET. Fuente: Adaptación propia del autor.

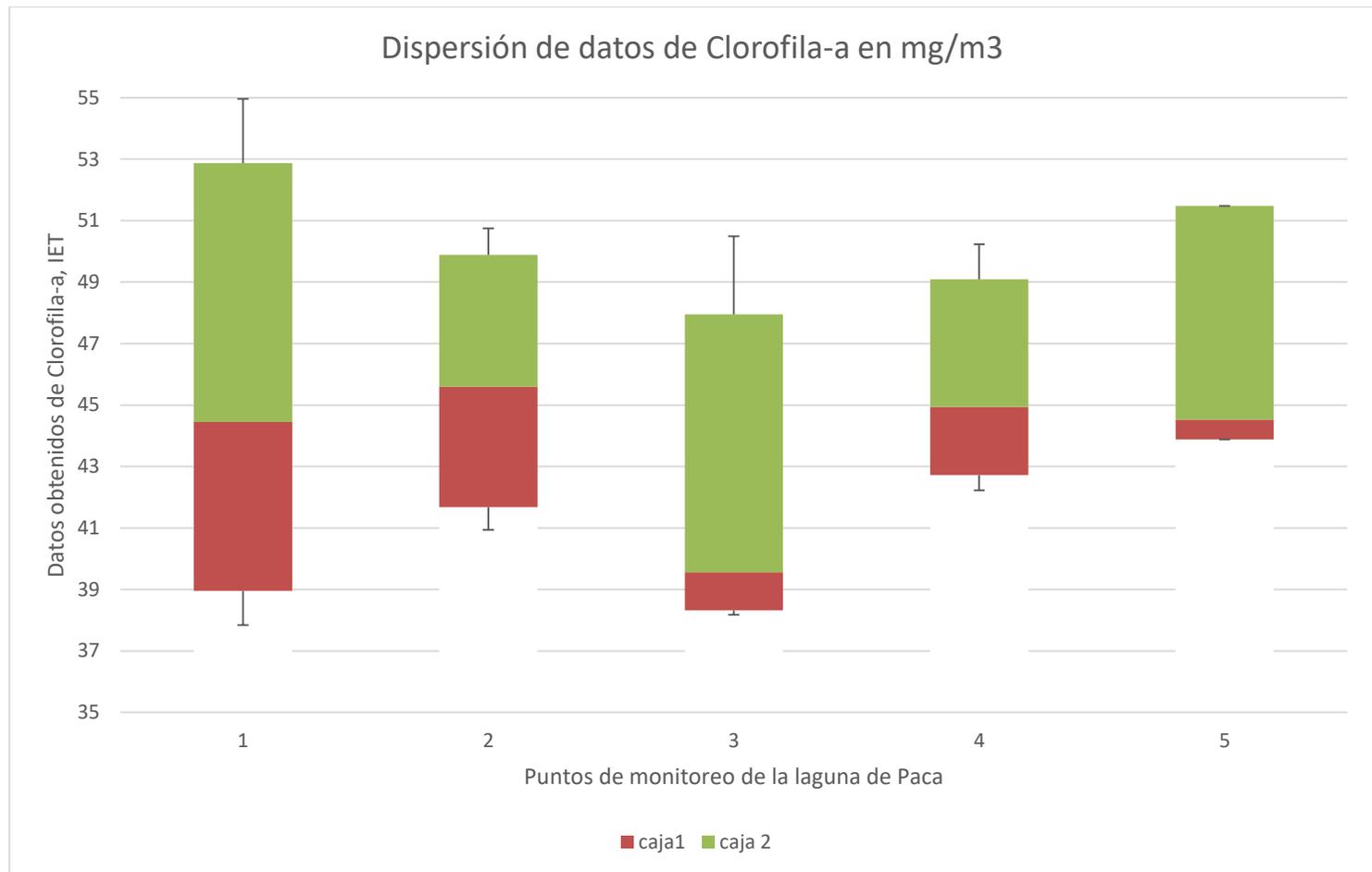


Gráfico N° 7: Dispersión de datos de Clorofila-a en mg/m3 con el IET. Fuente: Adaptación propia del autor.

La gráfica N° 6 muestra la relación de el parámetro de clorofila-a con relación al tiempo, muestra datos desde el año 2015 al 2017 donde el punto N° 1 y el punto N° 3 con respecto al IET aumentan sus concentraciones significativamente para el mes de Junio del 2017 y disminuyen significativamente para los meses de Julio y Agosto del 2017, en la gráfica N° 7 la dispersión de datos de estos puntos están menos concentradas entre el 50 % y el 75 % aunque el punto N° 1 presenta mayor variabilidad que el punto N° 3 y los puntos 2, 4 y 5, si bien sabemos que se tiene datos de los años del 2015 y 2017 por lo que en los demás años no se maneja información considerándose como una limitación para el parámetro de clorofila-a. según (Carlson R. , 1977) la clorofila-a se muestrea para verificar el aumento de biomasa del lago producida por un exceso de nutrientes, el nutriente que controla el crecimiento y la proliferación de algas es el fósforo llamándolo así nutriente limitante aun así no se puede descartar al nitrato como un nutriente impórtate para el crecimiento y proliferación de algas es así que en la gráfica N° 4 muestra que el punto N° 3 tiene gran acogimiento de fósforo durante los últimos años mientras que el punto N° 1 tiene un déficit de fósforo total pero aun así la concentración de fósforo por más baja que sea pero existente dentro de la laguna va intervenir en la producción de biomasa es por eso que en estos puntos presenta gran cantidad de clorofila-a debido a la concentración de fósforo total, así mismo se comprobó que los datos son menores al coeficiente de variación que es el 25 % por lo que el parámetro de clorofila-a es homogéneo en todos sus puntos de muestreo de la laguna de Paca

#### 4.2.2 Grado de eutrofia establecido por la OCDE:

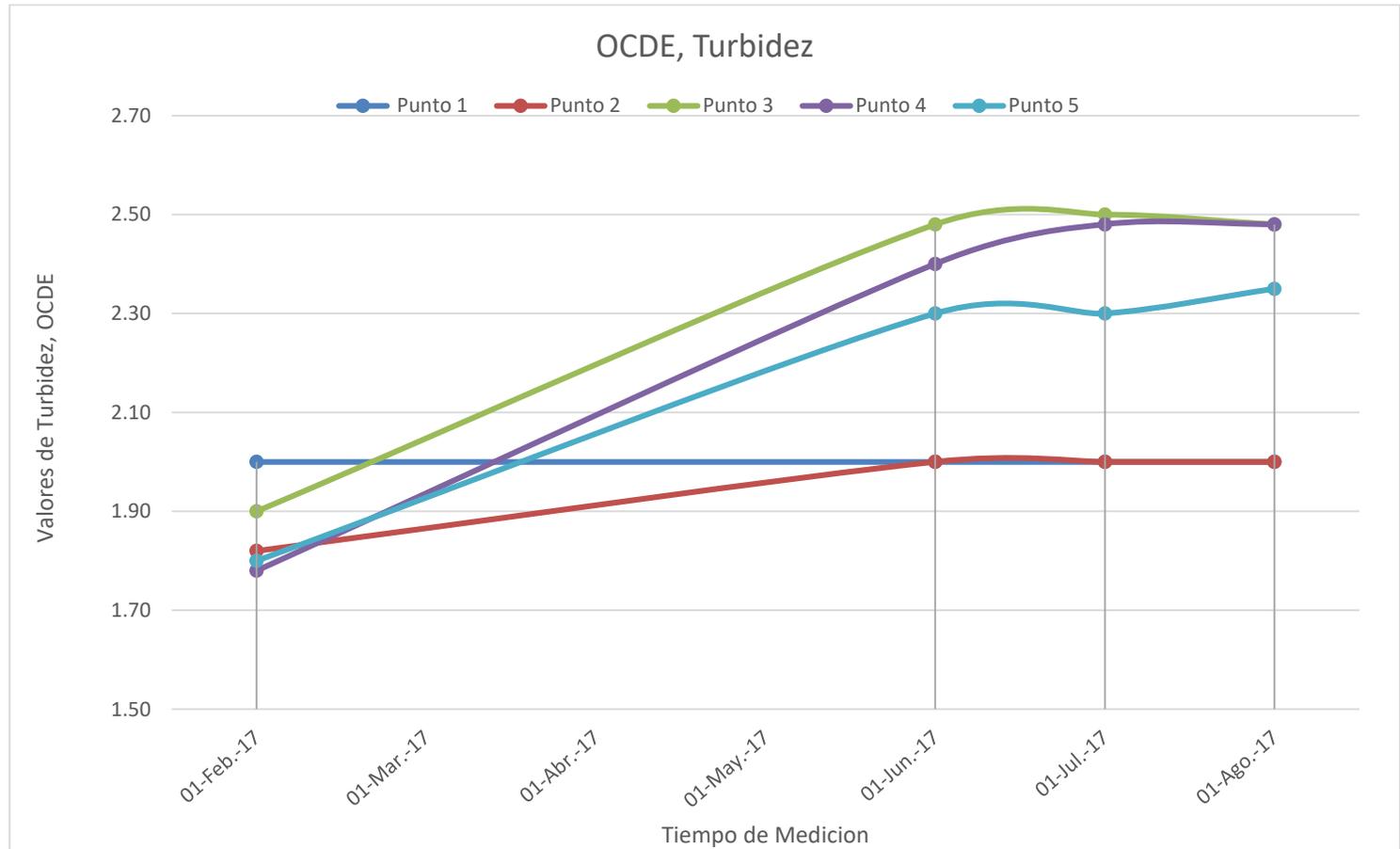


Gráfico N° 8: Comportamiento de turbidez en la laguna de Paca con relación al tiempo de monitoreo, según la OCDE. Fuente: Adaptación propia del autor.

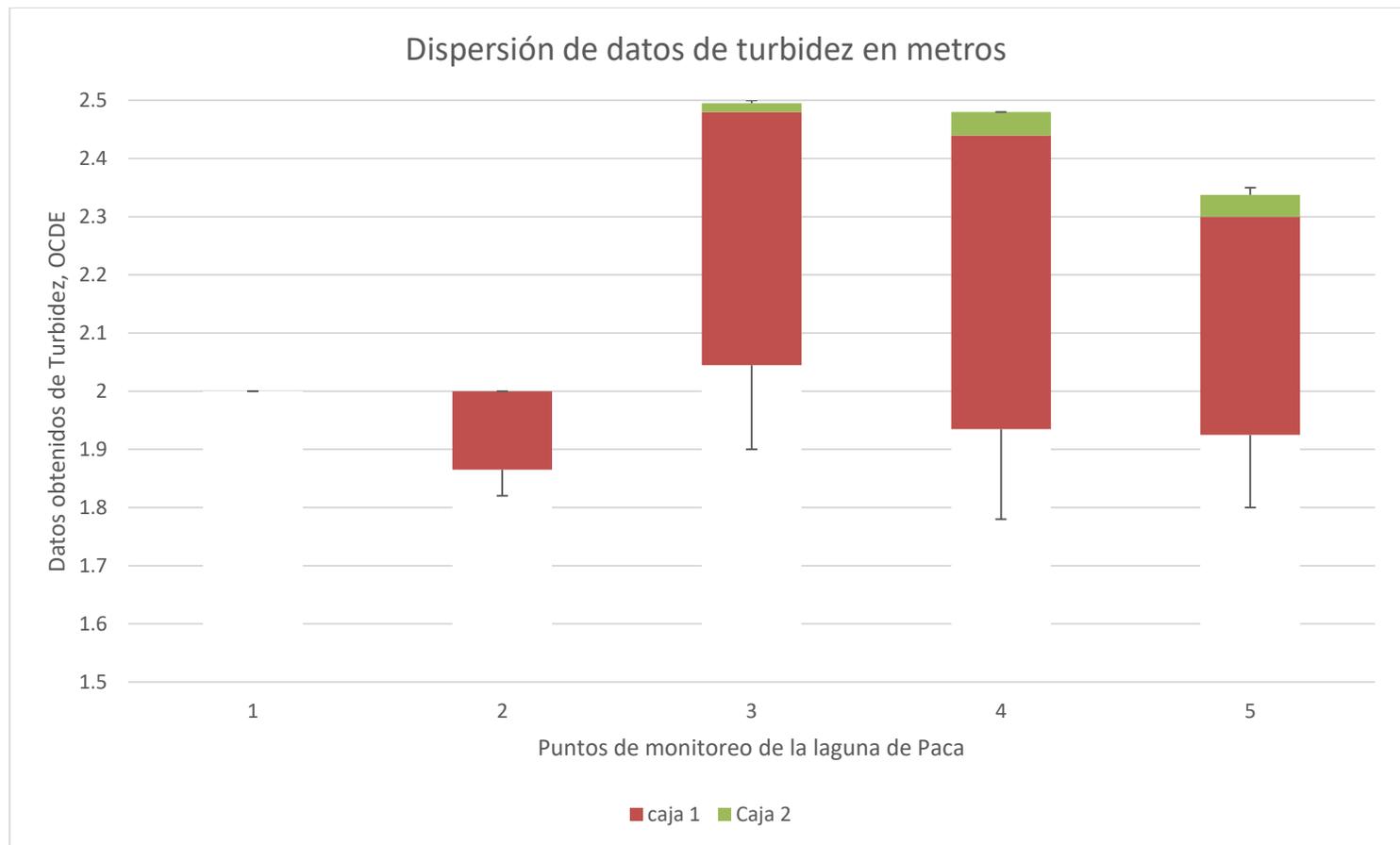


Gráfico N° 9: Dispersión de datos de turbidez en metros con el grado de eutrofia según la OCDE. Fuente: Adaptación propia del autor.

El gráfico N° 8 Presenta valores de el parámetro de turbidez evaluados con el grado de eutrofia establecido por la OCDE como se vino discutiendo anteriormente los meses de Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero hasta los inicios de marzo son épocas de lluvia mientras los demás meses son épocas de estiaje. La lluvia es uno de los causantes naturales en los cuerpos lenticos que presenta movimiento de sedimentos provocando una mayor turbidez en comparación con los meses donde no hay presencia de lluvias según (Carlson R. , 1977) establece que la turbidez disco de Secchi es inversamente proporcional en relación a la profundidad por ejemplo hablando de disco de Secchi es un instrumento para medir turbidez en metros, una laguna que presente un exceso de turbidez a simple vista los valores de disco de Secchi será menor pero en caso contrario si presentara una turbidez deficiente o un lago oligotrófico el valor de disco de Secchi presentaría mayor turbidez esto sucede porque al momento de sumergir el disco de Secchi en la laguna esta tiene que desaparecer completamente al momento que ya no es visible se obtiene los valores en metros. entonces el gráfico N° 8 presenta valores altos de turbidez en los meses de lluvia y valores bajos en meses de estiaje es por eso que en el gráfico N° 9 los datos de turbidez presentan mayor dispersión con respecto de un 25% a un 50 % mientras que del 50% a un 75% presenta menor dispersión de datos de disco de secchi al igual que en la gráfica N° 3 los puntos N° 4 y N° 5 presenta mayor variabilidad de turbidez con respecto a los demás puntos monitoreados por otro lado recordemos que el grado de eutrofia no utiliza ningún modelo matemático es por eso que las gráficas de turbidez del grado eutrófico con respecto al IET son diferentes pero indican el mismo comportamiento eutrófico así mismo se comprobó que el coeficiente de variación para todo los datos obtenido es menor a 25 % comprobando que los datos son homogéneos en la laguna de Paca.

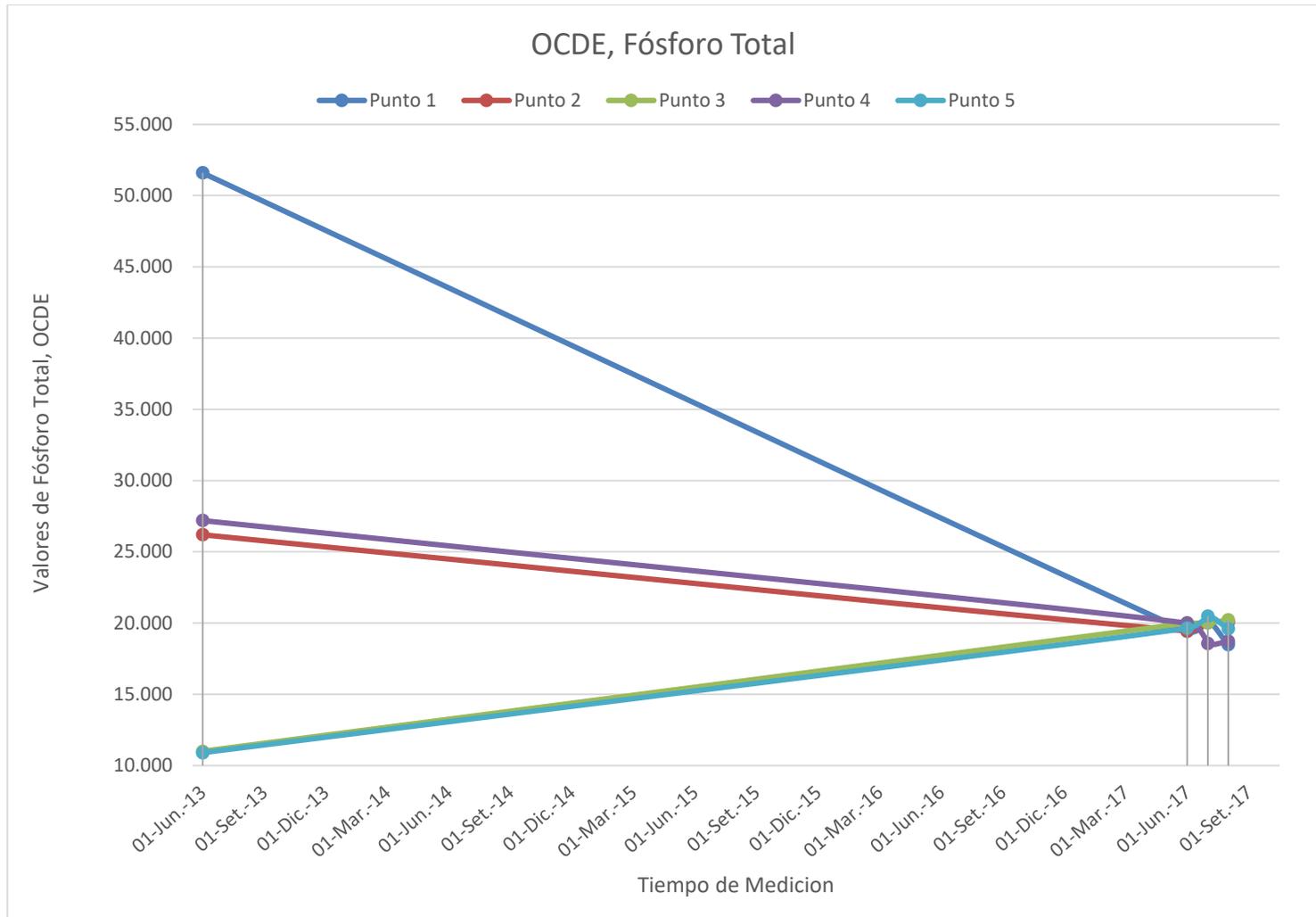


Gráfico N° 10: Comportamiento del fósforo total en la laguna de Paca con relación al tiempo de monitoreo, según la OCDE. Fuente: Adaptación propia del autor.

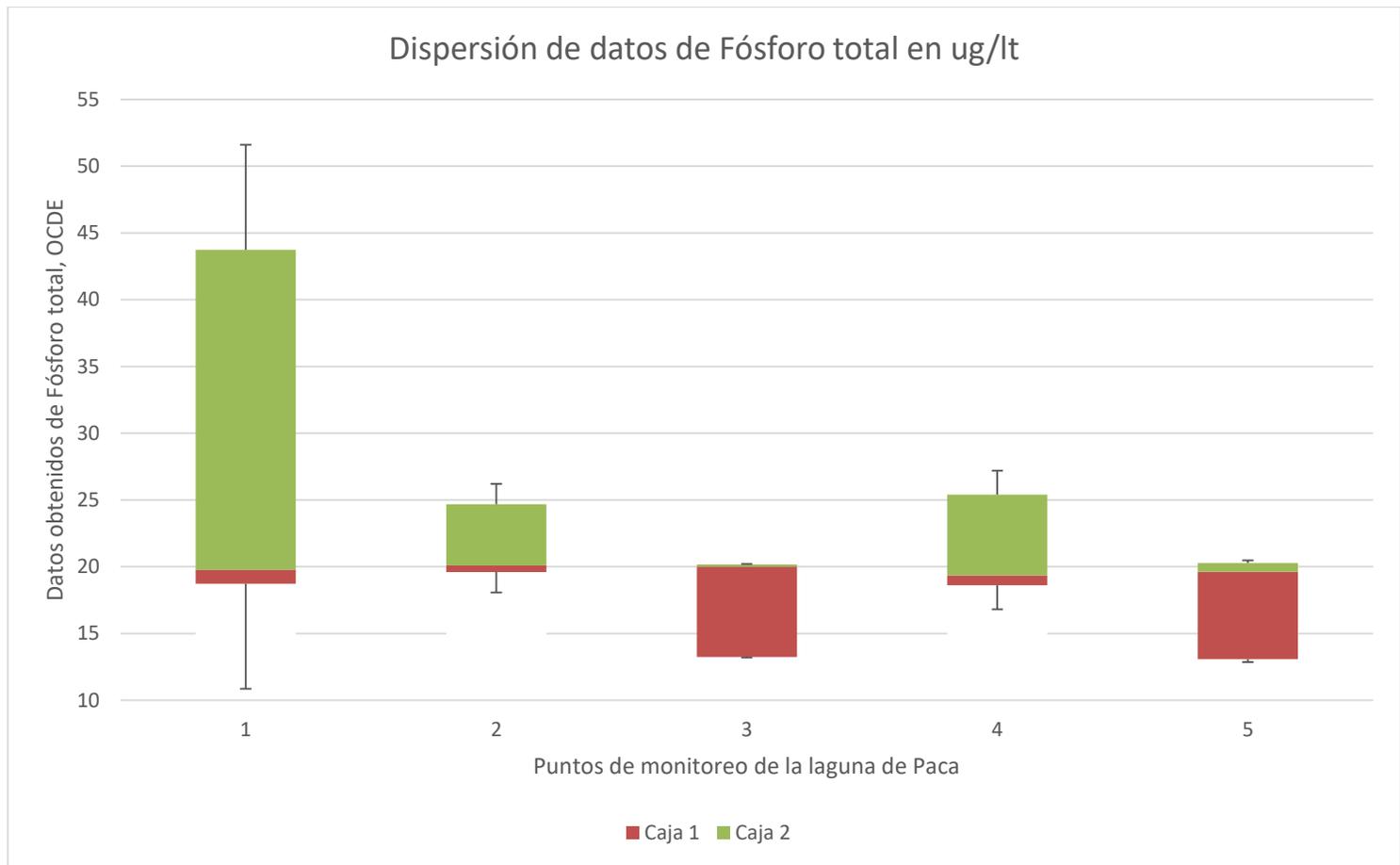


Gráfico N° 11: Dispersión de datos de Fósforo total en ug/lt según la OCDE. Fuente: Adaptación propia del autor.

En el gráfico N° 10 presenta los valores de fósforo total con relación al tiempo si bien es cierto tiene el mismo parecido a la gráfica N° 4, así mismo la gráfica N° 11 presenta mayor dispersión de los datos entre el 50% y el 75 % al igual que la gráfica N° 5 pero recordemos que el grado eutrófico establecido por la OCDE opera solo con las concentraciones sin necesidad de usar un modelo matemático lo cual para el gráfico N° 10 el comportamiento es el mismo en los puntos N° 3 y N° 5 son los que presentan un comportamiento ascendente para el año 2017 mientras que el punto N° 1 presenta un comportamiento descendente de modo que en la gráfica N° 11 es el que presenta mayor variabilidad de fósforo total con respecto a los demás puntos. Para los puntos N° 4 y N° 2 la variación es poca a diferencia de los demás puntos de monitoreo y el coeficiente de variación es menor al 25 % obteniendo así muestras homogéneos en la laguna de Paca.

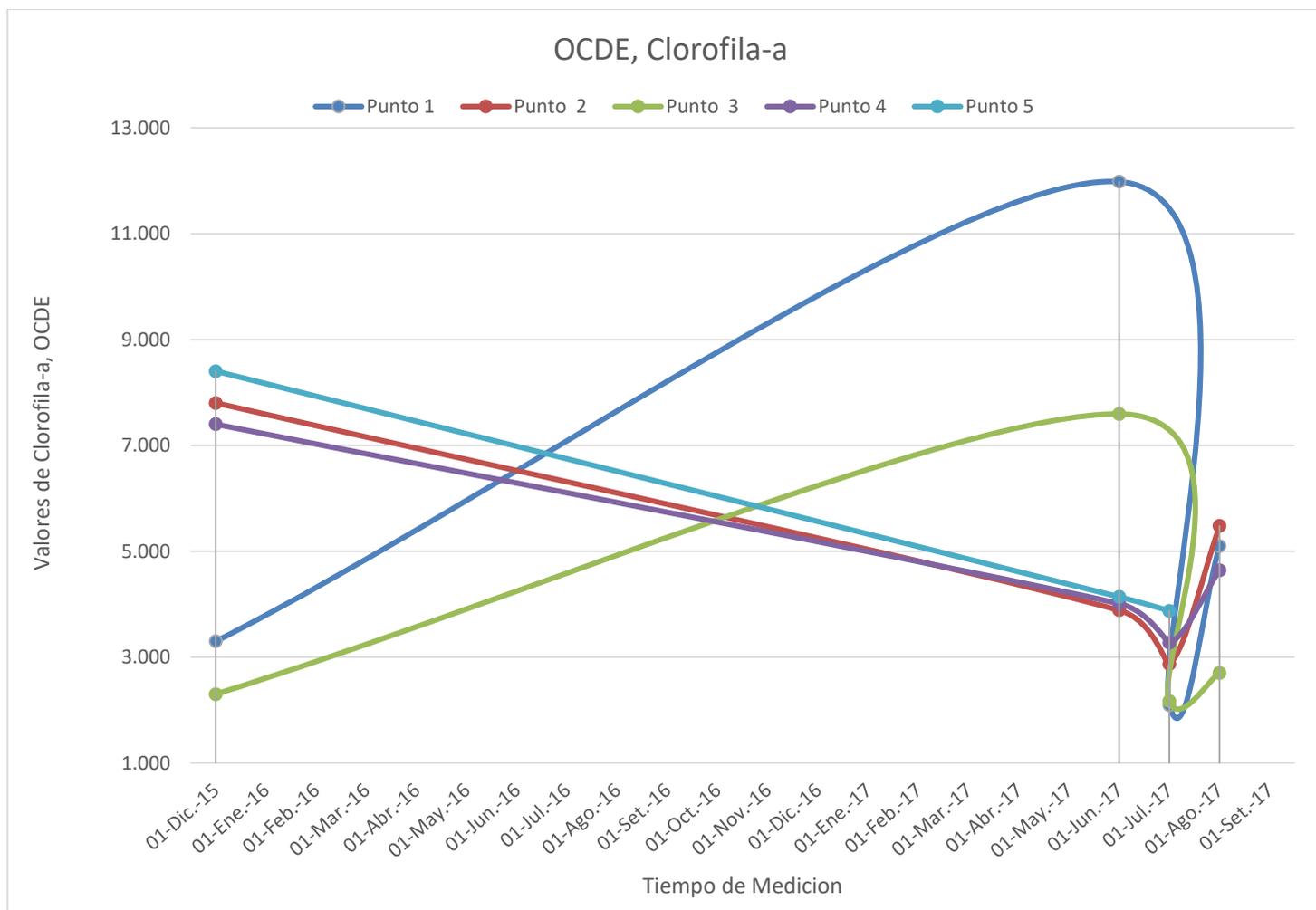


Gráfico N° 12: Comportamiento de la clorofila-a en la laguna de Paca con relación al tiempo de monitoreo, según la OCDE. Fuente: Adaptación propia del autor.

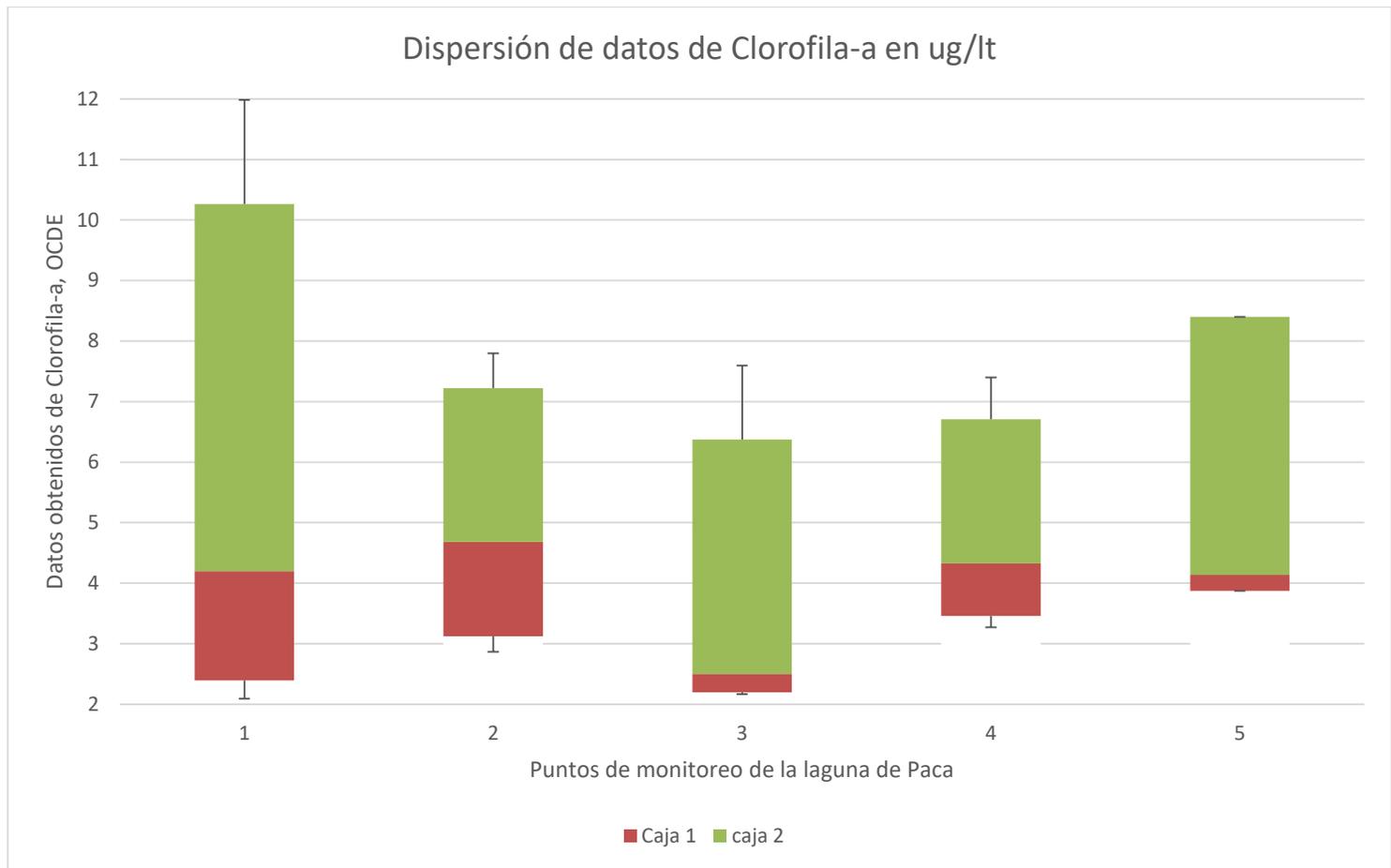


Gráfico N° 13: Dispersión de datos de Clorofila-a en ug/lit según la OCDE. Fuente: Adaptación propia del autor.

El gráfico N° 12 presenta el comportamiento del parámetro de clorofila-a mediante el grado de eutrofia establecido por la OCDE como se venía mencionando anteriormente el grado de eutrofia opera solo con las concentraciones obtenidas no utiliza ningún modelo matemático para establecer el grado eutrófico, en el gráfico N° 12 se observa el mismo comportamiento al igual que el gráfico N° 6 del IET lo cual tienen la misma similitud al evaluar el comportamiento de clorofila-a en la laguna de Paca por otro lado la presente gráfica N° 13 también comparte la misma similitud con la gráfica N° 7 donde los datos presentan mayor dispersión entre el 50 % y 75 % mientras el 25 % y 50 % presentan menos dispersión de los datos obteniendo y el punto N° 1 es donde presenta mayor variabilidad con respecto a los demás puntos monitoreados así mismo el coeficiente de variación menor al 25 % siendo homogéneas las muestras de la laguna de Paca.

### **4.3 Contratación de Hipótesis**

#### **4.3.1 Turbidez (m)**

Para la contratación de hipótesis en turbidez se trabajó con la prueba de t de student así mismo para su operación se identificó la desviación estándar (s) siendo igual a 1.5449 un promedio de 48.372, una muestra de 5, el estado Mesotrófico de 30 mg/m<sup>3</sup> y el grado de significancia de  $\alpha = 5\%$ , siendo  $T_{0.05} = 1.6973$ .

Tabla N° 20: Datos de turbidez con un nivel de estado Mesotrófico de 30 mg/m<sup>3</sup>.

TSI (turbidez)				
N °	01/06/2017	05/07/2017	04/08/2017	Promedio
Punto 1	50.012	50.012	50.012	50.012
Punto 2	50.012	50.012	50.012	50.012
Punto 3	46.912	46.796	46.912	46.873
Punto 4	47.384	46.912	46.912	47.069
Punto 5	47.998	47.998	47.688	47.894
Promedio				48.372

Fuente: Adaptación propia del autor

Ho: E.M ≤ 30

H1: E.M > 30

La prueba de t dio como resultado final, que el parámetro de turbidez para el estado Mesotrófico = 5.318 ubicándose fuera del área de aceptación y rechazando la hipótesis nula.

Tabla N° 21: Datos de turbidez con un nivel de estado Mesotrófico de 60 mg/m<sup>3</sup>.

TSI (turbidez)				
N °	01/06/2017	05/07/2017	04/08/2017	Promedio
Punto 1	50.012	50.012	50.012	50.012
Punto 2	50.012	50.012	50.012	50.012
Punto 3	46.912	46.796	46.912	46.873
Punto 4	47.384	46.912	46.912	47.069
Punto 5	47.998	47.998	47.688	47.894
Promedio				48.372

Fuente: Adaptación propia del autor

Para el cuadro n° 21 se trabajó con el estado Mesotrófico de 60 mg/m<sup>3</sup> la desviación estándar de 1.5449, el promedio de 48.372, con una muestra de 5 y el grado de significancia de α= 5%, siendo T<sub>0.05</sub> = 1.6706 siendo:

Ho: E.M ≤ 60

H1: E.M > 60

La prueba de t dio como resultado final que el estado Mesotrófico = - 3.366 ubicándose dentro del área de aceptación y aceptando la hipótesis nula.

#### 4.3.2 Fósforo Total (mg/m<sup>3</sup>)

Para el parámetro de fósforo total se utilizó la prueba de t de student así mismo para su operación se identificó la desviación estándar (s) siendo igual a 0.3104, el promedio de 47.095, con una muestra de 5, el estado Mesotrófico de 30 mg/m<sup>3</sup> y el grado de significancia de  $\alpha = 5\%$ , siendo  $T_{0.05} = 1.6973$ .

Tabla N° 22: Datos de fósforo total con un nivel de estado Mesotrófico de 30 mg/m<sup>3</sup>.

TSI (Fósforo total)				
N °	01/06/2017	05/07/2017	04/08/2017	Promedio
Punto 1	46.930	47.441	46.211	46.861
Punto 2	46.950	47.422	47.402	47.258
Punto 3	47.348	47.348	47.506	47.401
Punto 4	47.348	46.280	46.397	46.675
Punto 5	47.084	47.690	47.067	47.280
Promedio				47.095

Fuente: Adaptación propia del autor

Ho: E.M  $\leq$  30

H1: E.M > 30

La prueba de t dio como resultado final, que el parámetro de fósforo total para el estado Mesotrófico = 24.6248 ubicándose fuera del área de aceptación y rechazando la hipótesis nula.

Tabla N° 23: Datos de fósforo total con un nivel de estado Mesotrófico de 60 mg/m<sup>3</sup>.

TSI (Fósforo total)				
N °	01/06/2017	05/07/2017	04/08/2017	Promedio
Punto 1	46.930	47.441	46.211	46.861
Punto 2	46.950	47.422	47.402	47.258
Punto 3	47.348	47.348	47.506	47.401
Punto 4	47.348	46.280	46.397	46.675
Punto 5	47.084	47.690	47.067	47.280
Promedio				47.095

Fuente: Adaptación propia del autor

Para el cuadro N° 23 se trabajo con el estado Mesotrófico de 60 mg/m<sup>3</sup> la desviación estándar de 0.3104, el promedio de 47.095, con una muestra de 5 y el grado de significancia de  $\alpha = 5\%$ , siendo  $T_{0.05} = 1.6703$ :

Ho: E.M  $\leq$  60

H1: E.M  $>$  60

La prueba de t dio como resultado final para el estado Mesotrófico = -18.5891 ubicandose dentro del area de aceptación y aceptando la hipótesis nula.

#### 4.3.3 Clorofila-a (mg/m<sup>3</sup>)

Para el parámetro de clorofila-a se utilizó la prueba t de student, para poder hallar la t para clorofila-a se halló que la desviación estándar que es = 1.2741, el promedio es de 44.350, el número de muestras es de 5, el estado Mesotrófico de 30 mg/m<sup>3</sup> y el grado de significancia de  $\alpha = 5\%$ , siendo  $T_{0.05} = 1.6973$ .

Tabla N° 24: Datos de clorofila-a con un nivel de estado Mesotrófico de 30 mg/m<sup>3</sup>.

TSI (Clorofila-a)				
N °	01/06/2017	05/07/2017	04/08/2017	Promedio
Punto 1	54.963	37.839	46.583	46.462
Punto 2	43.915	40.935	47.282	44.044
Punto 3	50.489	38.172	40.341	43.001
Punto 4	44.221	42.228	45.659	44.036
Punto 5	0.000	44.529	43.885	44.207
Promedio				44.350

Fuente: Adaptación propia del autor

Ho: E.M ≤ 30

H1: E.M > 30

La prueba de t dio como resultado final el estado Mesotrófico en el parámetro de clorofila-a = 5.0367 ubicandose fuera del área de aceptación y aceptando la hipótesis alterna.

Tabla N° 25: Datos de clorofila-a con un nivel de estado Mesotrófico de 60 mg/m<sup>3</sup>.

TSI (Clorofila-a)				
N °	01/06/2017	05/07/2017	04/08/2017	Promedio
Punto 1	54.963	37.839	46.583	46.462
Punto 2	43.915	40.935	47.282	44.044
Punto 3	50.489	38.172	40.341	43.001
Punto 4	44.221	42.228	45.659	44.036
Punto 5	0.000	44.529	43.885	44.207
Promedio				44.350

Fuente: Adaptación propia del autor

En el cuadro N° 25 se trabajo con el estado Mesotrófico de 60 mg/m<sup>3</sup> la desviación estándar de 1.2741, el promedio de 44.350, con una muestra de 5 y el grado de significancia de α= 5%, siendo T<sub>0.05</sub> = 1.6703:

Ho: E.M ≤ 60

H1: E.M > 60

La prueba de t dio como resultado final para el estado Mesotrófico = -5.4932 ubicándose dentro del área de aceptación y aceptando la hipótesis nula

#### **4.3.4 Hipótesis nula (H<sub>0</sub>)**

Los parámetros de Turbidez, Fósforo total y Clorofila-a según la prueba de t de student dan a conocer que la laguna de Paca no se encuentra en un estado Mesotrófico (EM) al momento que se trabaje con 60 mg/m<sup>3</sup> y un nivel de significancia de  $\alpha = 5\%$  siendo  $EM \leq 60$  y aceptando la hipótesis nula

#### **4.3.5 Hipótesis alterna (H<sub>1</sub>)**

Los parámetros de Turbidez, Fósforo total y Clorofila-a según la prueba de t de student dan a conocer que la laguna de Paca se encuentra en un estado Mesotrófico (EM) al momento que se trabaje con 30 mg/m<sup>3</sup> y un nivel de significancia de  $\alpha = 5\%$  siendo  $EM > 30$  y aceptando la hipótesis alterna

## CONCLUSIONES.

Con el análisis obtenido de los datos para los parámetros de Turbidez, Fósforo total y Clorofila-a, reemplazado al modelo matemático del (IET) y al grado de eutrofia establecida por la OCDE junto a ello la información recopilada sobre eutrofización tanto natural como antrópica en relación a nuestros objetivos establecidos se concluye:

1. El estado actual de eutrofización en la laguna de Paca se encuentra en un estado Mesotrófico según las evaluaciones del modelo del índice de Estado Eutrófico (IET) y el grado de Eutrofia de la (OCDE). Sin embargo se obtuvieron los datos promedios de cada mes y cada parámetro con la que opera el IET, se operaron con cada modelo matemático según el parámetro y se comparó el resultado con la tabla N° 4 obteniendo un estado Mesotrófico pero cabe destacar que el modelo establecido por Robert E. Carlson para el IET no es el adecuado para el clima de la laguna de Paca por lo que se tendría primero que adaptar primero los modelos matemáticos mediante la ecuación N° 3 y luego hacer una regresión con los datos de (clorofila - disco de Secchi) y ( fósforo total – disco de Secchi) y ajustar los datos para obtener una ecuación línea.
2. Se determinó los valores del parámetro de turbidez según el Índice de Estado Trófico los valores promedios obtenidos para los meses de Junio, Julio y Agosto son de 48.464, 48.346 y 48.307 en metros respectivamente encontrándose dentro del rango del estado Mesotrófico del IET ( $30 < TSI < 60$ ), para el método del Grado de Eutrofia establecida por la OCDE, se obtuvieron los valores promedios para los mismos meses siendo de 2.24, 2.26 y 2.26 en metros respectivamente si comparamos con las tablas N° 4 y 6 concluimos que ambos métodos indican que la laguna de paca se encuentra en un estado Mesotrófico.
3. Se determinó las concentraciones del parámetro de fósforo total el según el Índice de Estado Trófico, las concentraciones promedio para los meses de Junio, Julio y Agosto son de 47.132, 47.236 y 46.916 en  $\text{mg/m}^3$  respectivamente comparando con la tabla N° 4 se encuentra dentro del rango del estado Mesotrófico del IET de ( $30 < TSI < 60$ ) para el método del Grado de Eutrofia

establecida por la OCDE las concentraciones para los meses de Junio, Julio y Agosto fueron de 19.704, 19.857 y 19.423 en ug/lit respectivamente comparando estas concentraciones obtenidas con la tabla N° 6 podemos concluir que el método de OCDE como el IET indica que la laguna de paca se encuentra en un estado Mesotrófico con respecto al parámetro de fósforo total.

4. Se determinó las concentraciones del parámetro de clorofila-a según el modelo del Índice de Estado Trófico las concentraciones promedio para los meses de Junio, Julio y Agosto fueron de 48.397, 40.741 y 44.750 mg/m<sup>3</sup> comparando con la tabla N° 4 estas concentraciones se encuentran dentro del rango establecido por el IET de (30 < TSI < 60) dando a conocer un estado Mesotrófico. El Grado de Eutrofia establecida por la OCDE las concentraciones obtenidas fueron de 6.868, 2.906 y 4.358 en ug/lit respectivamente para los meses Junio, Julio y Agosto comparando con la tabla N° 6 se concluye que ambos métodos indican que la laguna de Paca se encuentra en un estado Mesotrófico.
5. Se evaluó el comportamiento de eutrofización, según el parámetro de turbidez mediante el Índice de Estado Trófico y el Grado de Eutrofia establecida por la OCDE estos dos métodos dan a conocer que los valores obtenidos para el mes de febrero del 2017 el más alto es de 1.78 m que es referente del punto 4 y el valor más bajo es de 2 m en el punto 1 cabe resaltar que la turbidez es inversamente proporcional en relación a la profundidad y que en los meses de Noviembre a Febrero las lluvias aumentan y los demás meses las lluvias disminuyen es por eso que el comportamiento que la turbidez en la laguna de paca aumenta pero comparando con la tabla N° 6 se encuentran dentro del estado Mesotrófico.
6. Se evaluó el comportamiento de eutrofización con el parámetro de fósforo total según el gráfico N° 4 y el gráfico N° 10 las dos graficas presentan el mismo comportamiento utilizando por los dos método el IET y el Grado de Eutrofia establecida por la OCDE donde el punto 1 para el año 2013 presenta la mayor concentración para el año 2017 está disminuye, el punto 3 y 5 para el año 2013

presentan concentraciones bajas pero para el año 2017 estas aumentan mientras que para los puntos 2 y 4 estas mantiene las mismas concentraciones en esto últimos 4 años por lo que se concluye que tanto en el año 2013 y 2017 el comportamiento eutrófico de la laguna de paca sigue siendo Mesotrófico.

7. Para el parámetro de clorofila-a según el IET y el Grado de Eutrofia establecida por la OCDE ambos métodos presentan el mismo comportamiento para el año del 2015 al 2017, esto los podemos observar en los gráficos N° 6 y N° 12 donde el punto 1 y el punto 3 sus concentraciones aumentan para el año del 2017 para el mes de Junio y para los meses de Julio y Agosto decaen mientras que para los puntos 2, 3 y 5 decaen en el mes de Junio del 2017 pero para los mes de Julio y Agosto estas aumentan manteniéndose en un mismo estado eutrófico durante todo el tiempo monitoreado en conclusión las concentraciones del año 2015 y 2017 varían por más varianza que haya sigue manteniendo en un estado Mesotrófico durante estos 2 últimos años con respecto al parámetro de clorofila-a.

## **RECOMENDACIONES.**

1. Se recomienda que antes de utilizar los modelos matemáticos del IET se debe adaptarlos para el lago que se esté estudiando, así mismo la presente investigación sirve como una tesis base para futuras investigaciones de eutrofización que se realicen en la sierra central tanto para el IET y el grado de eutrofia establecida por la OCDE.
2. Se recomienda realizar muestreos de turbidez disco de Secchi en la laguna de Paca y tener en cuenta las estaciones meteorológicas que se realizan los monitoreos.
3. Se recomienda realizar muestreos de fósforo total (Pt) en la laguna de Paca por lo mínimo dos muestreos por años en épocas de estiaje y lluvias como también se recomienda tener más puntos de monitoreo.
4. Se recomienda monitorear el parámetro de clorofila-a (Clorf-a) en la laguna de Paca cada vez que se monitoree los parámetros de turbidez y fósforo total ya que estas están relacionadas entre sí para la determinación del estado eutrófico.
5. Se recomienda realizar muestreos de turbidez disco de Secchi cada año esta es muy sencilla y de baja económica de realizarla para obtener una data histórica con mejores datos y ser más objetivo en la evaluación del comportamiento de turbidez para el grado eutrófico de la laguna de Paca.
6. Se recomienda de realizar muestro de fósforo total cada año y así poder obtener una mejor evaluación y un mejor análisis de su comportamiento.
7. Se recomienda realizar muestras de clorofila-a mas seguidas para una mejor evaluación del comportamiento eutrófico en relación a la biomasa acuática.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Antimán, M. (2005). *Grado de antropización, evaluación y modelamiento matemático del nivel trófico del lago Budi como base para determinar su Comportamiento Ambiental*. Temuco, Chile: Universidad Católica de Temuco.
- Bayer Garden. (2017). Obtenido de Bayer Garden: <http://www.bayergarden.es/Cuida-de-tus-plantas/Plagas-del-Jardin/Faltan%20nutrientes>
- Botanical-online. (2017). *Botanical-online*. Obtenido de Botanical-online: <http://www.botanical-online.com/propiedadesnutrientes.htm>
- Brady, N., & Weil, R. (1999). *The nature and properties of soils*. Nueva Jersey, EE.UU: Prentice Hall.
- Chalar, G. (2007). Dinámica de la Eutrofización. *Embalse Salto Grande*, 87-101.
- Daniela Paola Moreno Franco, J. Q. (2010). *Metodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia*. Mexico: universidad Autonoma Metropolitana.
- E. Carlson, R. (1977). A trophic state index for lakes. *LIMNOLOGY AND OCEANOGRAPHY*, 361–369.
- G. Wetzel, R. (2001). Lake and River Ecosystems. En R. G. Wetzel, *Limnology* (pág. 1006 pp). San Diego: Academic Press.
- GIRÃO, G. E. (2007). Selección de los indicadores de la calidad del agua. *Revista Ciencia Agronómica*, 17-24.
- Gómez, E., Batista, J., Roux, N., & Sanchez, E. (2016). *ASPECTOS GENERALES DE LA EUTROFIZACIÓN*. Panama: UNIVERSIDAD DE PANAMÁ .
- Goyenola, G. (Junio de 2007). *RED MAPSA (Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos)*. Obtenido de RED MAPSA (Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos): <http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/>
- MORETA POZO, J. C. (2008). *La eutrofización de los lagos y sus consecuencias*. Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
- Naumann. (1919). FENÓMENO DE EUTROFICACIÓN. *EUTROFIZACIÓN DE CUERPOS DE AGUA*, 2.

- Nebel, B. &. (1999). *Ecología y Desarrollo Sostenible: Ciencias Ambientales*. Prentice Hall., 21-24.
- OCDE. (1982). *The OCDE Listo Social Indicators*. Paris: Organizacion para la Cooperacion y el Desarrollo Economico).
- OLMOS GARCIA, C. (2000). *Eutrofización en embalses de altura, Incachacajhampaturi*. España: Universidad De Oviedo.
- Parra, A. A. (2016). *DOCPLAYER*. Obtenido de DOCPLAYER: <http://docplayer.es/15858705-Fenomeno-de-eutrofizacion.html>
- RAPAL. (2010). *Contaminación y eutrofización*. Uruguay: RAPAL Uruguay.
- Ruivo, M. (1971). *La Contaminación del Mar y los Recursos Vivos*. Roma: Fishing New (Books).
- USEPA. (1997). *Protecting Coastal Waters from Nonpoint Source Pollution*. USA: (United States. Environmental Protection Agency).
- Vollenweider, R. A., & Janus, L. L. (1981). *Modelos estadísticos para predecir el oxígeno hipolimnético*. Ontario: Centro Canadiense de Aguas Interiores.
- Water on the web. (21 de Noviembre de 2011). *Primary Productivity*. Obtenido de Primary Productivity: <http://www.waterontheweb.org/resources/glossary.html>

## ANEXOS.

Anexo N° 1: Crecimiento de las plantas acuáticas por la entrada de nutrientes.



Fuente: Juan Carlos Moreta

Anexo N° 2: Eutrofización en lagos.



Fuente: Juan Carlos Moreta

Anexo N° 3: Contaminación Antrópica.



Fuente: Juan Carlos Moreta

Anexo N° 4: Contaminación del agua.



Fuente: Juan Carlos Moreta

Anexo N° 5: Posible Punto 1 de monitoreo.



Anexo N° 6: Posible Punto 2 de monitoreo.



Anexo N° 7: Posible Punto 3 de monitoreo.



Anexo N° 8: Posible Punto 4 de monitoreo.



Anexo N° 9: Posible Punto 5 de monitoreo.



Anexo N° 10: Frascos de Fosforo Total.



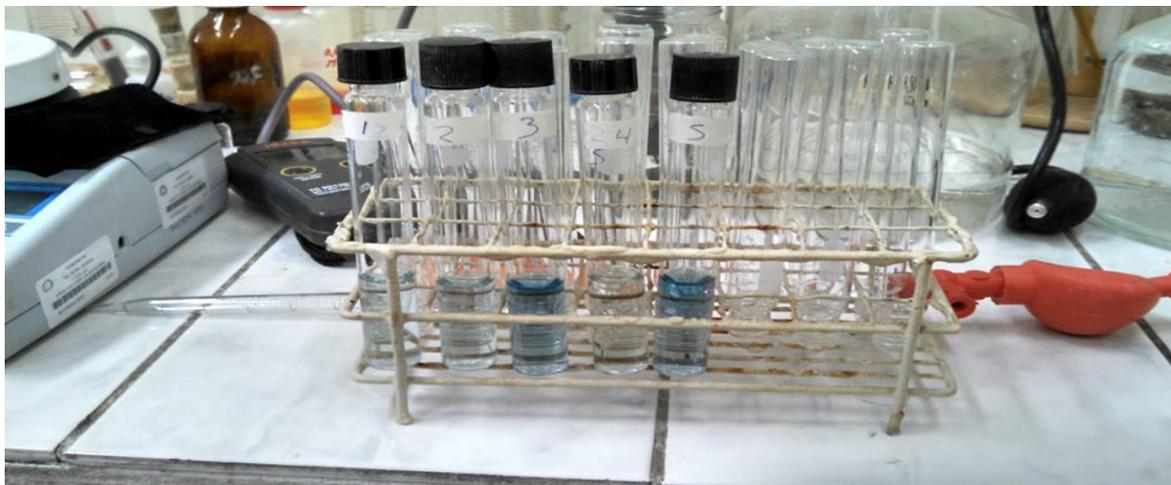
Anexo N° 11: Disco de Secchi.



Anexo N° 12: Muestras listas para el transporte a laboratorio.



Anexo N° 13: Preparación de muestras de fósforo total.



Anexo N° 14: Muestras de Fosforo listas para la lectura en laboratorio.



Anexo N° 15: Muestras de Clorofila.



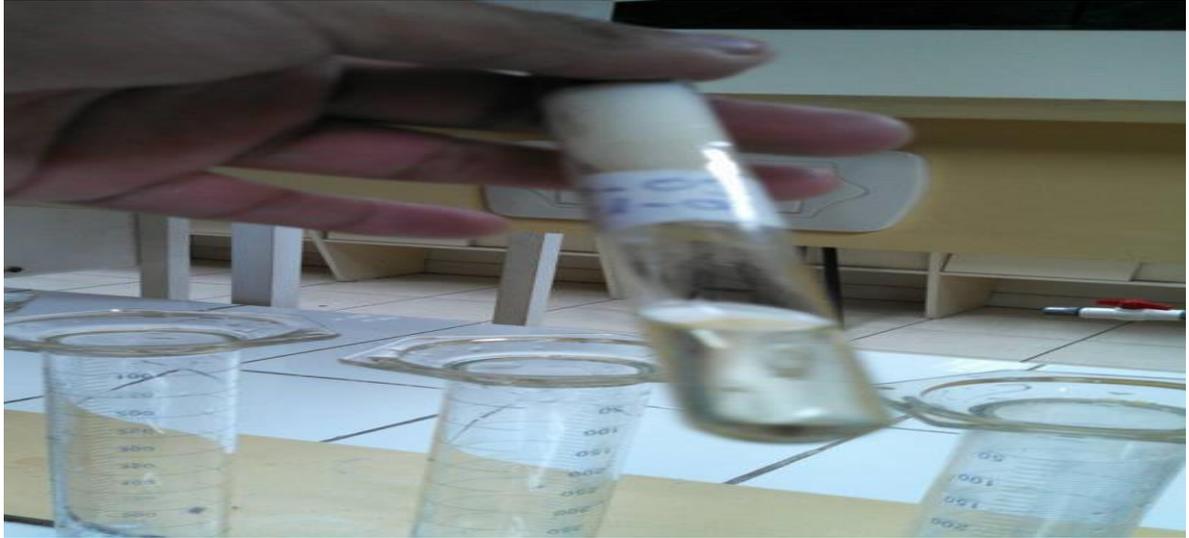
Anexo N° 16: Filtrando las muestras de Clorofila.



Anexo N° 17: Filtros de clorofila-a en tubos de muestreo para su conservación y transporte a laboratorio.



Anexo N° 18: Filtro con acetona pura para la extracción de los pigmentos de Clorofila-a.



Anexo N° 19: Uso de centrifuga para separar el material particulado con el extracto de clorofila-a.



Anexo N° 20: Lectura de las muestras de clorofila en el espectrofotómetro a diferentes longitudes de onda.





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ  
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO



**INFORME DE ENSAYO**

**SOLICITANTE : CUELLAR ARANCIBIA CRISTHIAN SANDRO**

MUESTRA : Agua de la laguna de Paca	N° DE REFERENCIA : 77-2017
DISTRITO : Paca	MUESTREADOR : Cristhian Cuellar Arancibia
PROVINCIA : Jauja	REGIÓN : Junín

Fuente	Clorofila (absorbancias)				Fecha
	Longitud de onda				
	750	664	630	647	
Punto 1	0.016	0.055	0.049	0.055	01/06/2017
Punto 2	0.026	0.036	0.023	0.019	
Punto 3	0.014	0.042	0.054	0.063	
Punto 4	0.075	0.083	0.071	0.050	
Punto 5	0.040	0.020	0.020	0.025	
Punto 1	0.004	0.010	0.002	0.005	01/07/2017
Punto 2	0.017	0.024	0.013	0.009	
Punto 3	0.011	0.016	0.004	0.003	
Punto 4	0.022	0.030	0.017	0.013	
Punto 5	0.042	0.057	0.059	0.067	
Punto 1	0.001	0.017	0.015	0.013	04/08/2017
Punto 2	0.015	0.031	0.026	0.019	
Punto 3	0.017	0.026	0.033	0.027	
Punto 4	0.006	0.020	0.011	0.013	
Punto 5	0.009	0.019	0.011	0.002	

fecha	Fosforo (absorbancias a 640 nm de longitud de onda)				
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
01/06/2017	0.102	0.107	0.10	0.125	0.108
05/07/2017	0.078	0.098	0.279	0.052	0.256
04/08/2017	0.067	0.136	0.046	0.066	0.152

Huancayo, 04 de octubre del 2017



**D<sup>e</sup> Demetrio Salazar Mauricio**  
Responsable del LAQ

Etiqueta para Muestra de Agua

Solicitante/cliente: Cristhian Cullor Arancibia.		
Nombre laboratorio: Ingeniería Química - UNCP		
Código punto de monitoreo: LP-03		
Tipo de cuerpo de agua: Límpico		
Fecha de muestreo: 03/06/2017	Hora: 9:30am	
Muestreado por: Cristhian Cullor Arancibia.		
Parámetro requerido: Clorof-a		
Preservada:	<input type="checkbox"/> SÍ	<input checked="" type="checkbox"/> NO
Tipo reactivo:		—

Solicitante/cliente: Cristhian Cullor Arancibia		
Nombre laboratorio: Ingeniería Química - UNCP		
Código punto de monitoreo: LP-03		
Tipo de cuerpo de agua: Límpico		
Fecha de muestreo: 03/06/2017	Hora: 9:30am	
Muestreado por: Cristhian Cullor Arancibia		
Parámetro requerido: Fosforo Total.		
Preservada:	<input type="checkbox"/> SÍ	<input checked="" type="checkbox"/> NO
Tipo reactivo:		—

 <b>CADENA DE CUSTODIA</b> 		AGUA: x	EMISI:	ORDEN DE SERVICIO N°:	PAG: 1	DE: 1													
<b>Datos del Cliente</b>		Obs																	
Enviar Informes de Ensayo A: Cristhian Sandro Cuellar Arancibia																			
Razon Social		Preserv	0																
Direccion	Calle Gamarra 1116		1																
Telefono	605830	Vol. / Pes	0																
cell	988224003		E																
Orden de Servicio N°	1	Envase	V																
Otra Referencia	Cotizacion 320 S/.		P																
Enviar Factura a: Cristhian Sandro Cuellar Arancibia		<b>ANALISIS REQUERIDOS</b>																	
Razon Social		Numero de Frascos por Punto de Muestreo	Clorofila-a	Fosforo Total															
R.U.C.	10772089304																		
Direccion	Jr. Cajamarca 657 - Huancayo																		
Nombre del Proyecto	Tesis de Estudio del estado actual de eutrofización utilizando el modelo matemático del (IET) y el grado de eutrofia de la (OCDE), en la laguna de Paca-Jauja																		
Procedencia	Juaja_Laguna de Paca																		
N° de muestras	Codigo del Cliente	Muestreo		Tipo de agua	Ubicación UTM	5	5												
		Fecha (d.m.a)	Hora (24.00)																
1	LP-01	01/06/2017	09:30	Aguas Lenticas	E 444783 - N 8704845	X	X												
2	LP-02	01/06/2017	09:30	Aguas Lenticas	E 445273 - N 8704076	X	X												
3	LP-03	01/06/2017	09:30	Aguas Lenticas	E 444541 - N 8702145	X	X												
4	LP-04	01/06/2017	09:30	Aguas Lenticas	E 443878 - N 8703312	X	X												
5	LP-05	01/06/2017	09:30	Aguas Lenticas	E 444635 - N 8703367	X	X												

## Registro de Identificación del Punto de Monitoreo

Nombre del cuerpo de agua:

Clasificación del cuerpo de agua:

(Escribir de acuerdo a R.L. N°20.070-06 y modificaciones posteriores)

Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero:

Código Mafesta:

### IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO

Código del punto de monitoreo:

(Según lo indicado en Item 4.3.4 del Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales)

Descripción:

(Especificar características)

Accesibilidad:

(Describir detalladamente la vía de acceso, para que otras personas puedan encontrar fácilmente el punto de monitoreo)

Representatividad:

(Describir el tramo de río o quebrada o la laguna o zona de laguna o mar, que el punto de monitoreo representa)

Finalidad del monitoreo:

(Describir la finalidad del punto de monitoreo. Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminante, etc.)

Reconocimiento del Entorno:

(Incluir referencias topográficas que permitan el fácil reconocimiento del punto en campo)

### UBICACIÓN

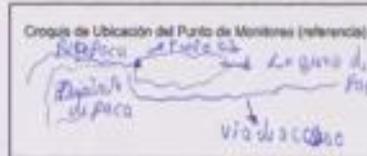
Distrito:  Provincia:  Departamento:

Localidad:

Coordenadas (WGS84): Sistema de coordenadas:  Proyección UTM  Geográficas

Norte/Latitud:  Zona:  (17, 18 o 19, para UTM solamente)

Este/Longitud:  Altitud:  (metros sobre el nivel del mar)



Elaborado por: Concepción Guiller Arroyave Fecha: 03/06/2017