

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**“CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DE LA LAGUNA
LOS MILAGROS – JOSÉ CRESPO Y CASTILLO”**

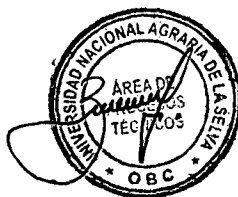
TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
MENCIÓN FORESTALES**

PRESENTADO POR:

LUIS MIGUEL PEÑA RIOS

2015



**T
FOR**

Peña Ríos, Luis Miguel

“Calidad del recurso hídrico de la Laguna Los Milagros – José Crespo y Castillo”

87 páginas; 23 cuadros; 27 figuras.; 36 ref.; 30 cm.

Tesis (Ing. en Recursos Naturales Renovables Mención: Forestales) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Recursos Naturales Renovables

1. CALIDAD 2. AGUA 3. LAGUNA LOS MILAGROS
4. MICROBIOLÓGICOS 5. FISICOQUÍMICOS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 30 de abril de 2015, a horas 6:05 p.m. en la Sala de Grados del Departamento Académico de Ciencias en Conservación de Suelos y Agua, para calificar la Tesis titulada:

“CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DE LA LAGUNA DE LOS MILAGROS – JOSÉ CRESPO Y CASTILLO”

Presentado por el Bachiller: **PEÑA RIOS, Luis Miguel**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES, Mención: FORESTALES**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del Título correspondiente.

Tingo María, 07 de mayo de 2015.

Lic. EVA D. FALCÓN TARAZONA
PRESIDENTE



Ing. M.Sc. JULIO A. CHIA WONG
VOCAL



Ing. JOSÉ LUIS PAREDES SALAZAR
VOCAL

Ing. M.Sc. LADISLAO RUIZ RENGIFO
ASESOR

DEDICATORIA

A mi Padre Celestial; quien mediante la guía de su Espíritu Santo iluminó mi camino dándome capacidad y sabiduría y así poder cumplir mis metas espirituales y profesionales.

A mí querida Madrecita Faviolith Ríos Vargas y padres Juanita Vargas y Artidoro Ríos; por el gran apoyo que me dan para salir adelante y por su gran amor incondicional.

A mi querida esposa Jimena Ventura y e hijo Luis Crissangelo; por el gran apoyo, la fuerza y valor trasmitidos, para poder culminar mis metas y por todo su amor.

A mis queridos tíos Edgar, Daniel, Artidoro, Juan Carlos, Edinson, Maribel, Jaime y Pedro; por el gran apoyo que depositaron en mí para salir adelante.

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables y plana docente, por la contribución en mi formación como profesional.

A mi asesor de tesis Ing. Ladislao Ruíz Rengifo por apoyarme con sus orientaciones en la ejecución de la investigación

A la Municipalidad Distrital de Juan José crespó y castillo, por abrirme las puertas para trabajar y a la vez brindarme las facilidades para realizar la presente investigación.

A mis amigos y colegas de la universidad y centro de trabajo, quienes siempre me brindaron el apoyo moral y físico para poder realizar y culminar la investigación.

A todas las personas que de una u otra forma me brindaron su apoyo moral, a mis familiares y amigos sinceros con quienes compartimos vivencias muy gratas que enriquecieron mi vida espiritual y profesional.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	01
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	04
2.1. Disponibilidad del agua en el mundo.....	04
2.2. Calidad del agua.....	06
2.3. La contaminación del agua.....	07
2.3.1. Efectos de la contaminación del agua.....	07
2.3.2. Fuentes de la contaminación.....	07
2.3.3. Agua eutrófica y oligotrófica.....	09
2.3.4. Nutrientes que eutrofizan las aguas.....	09
2.4. Definición de laguna.....	10
2.5. Indicadores fisicoquímicos de la calidad del agua.....	11
2.5.1. Temperatura del agua superficial.....	11
2.5.2. pH del agua superficial.....	11
2.5.3. Oxígeno disuelto.....	12
2.5.4. Nitratos.....	13
2.5.5. Sólidos totales suspendidos.....	13

2.6.	Indicadores microbiológicos de la calidad del agua.....	14
2.6.1.	Coliformes totales.....	14
2.6.2.	Coliformes fecales.....	15
2.7.	Manejo y conservación del agua.....	15
2.8.	Protección del agua.....	16
2.9.	Índice de calidad del agua.....	17
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1.	Lugar de ejecución.....	22
3.1.1.	Altitud.....	23
3.1.2.	Extensión.....	23
3.1.3.	Factores climáticos.....	23
3.1.4.	Fisiografía y zonas de vida.....	23
3.1.5.	Aspectos socioeconómicos.....	24
3.2.	Materiales, equipos y reactivos.....	24
3.2.1.	Materiales y equipos.....	24
3.2.2.	Reactivos.....	25

3.3. Metodología.....	25
3.3.1. Colecta y almacenamiento de muestras.....	25
3.3.2. Diseño de muestreo al azar.....	26
3.3.3. Parámetros de estudio.....	26
3.3.4. Evaluaciones realizadas.....	26
3.3.5. Diseño experimental.....	32
3.3.6. Modelo estadístico.....	33
3.3.7. Variables dependientes.....	34
3.3.8. Variables independientes.....	35
3.3.9. Análisis de datos.....	35
IV. RESULTADOS.....	37
4.1. Parámetros fisicoquímicos de la laguna Los Milagros, a diferentes profundidades, durante los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre del año 2014.....	37
4.2. Parámetros microbiológicos de la laguna Los Milagros, a diferentes profundidades, durante los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre del año 2014.....	53
4.3. Calidad del recurso hídrico a diferentes profundidades de la laguna Los Milagros, durante los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre del año 2014.....	60
4.3.1. Índice de calidad del agua de la laguna Los Milagros.....	60

4.4. Correlación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, con las diferentes profundidades de la laguna Los Milagros.....	65
V. DISCUSIÓN.....	70
5.1. Parámetros fisicoquímicos de la laguna Los Milagros, a diferentes profundidades, durante los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre del año 2014.....	70
5.2. Parámetros microbiológicos de la laguna Los Milagros, a diferentes profundidades, durante los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre del año 2014.....	73
5.3. Calidad del recurso hídrico a diferentes profundidades de la laguna Los Milagros, durante los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre del año 2014.....	74
5.4. Correlación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, con las diferentes profundidades de la laguna Los Milagros.....	75
VI. CONCLUSIONES.....	77
VII. RECOMENDACIONES.....	80
VIII. ABSTRACT.....	81
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
ANEXO.....	87
GLOSARIO.....	99

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Clasificación del "ICA" propuesta por BROWN.....	20
2. Pesos de los parámetros para el ICA.....	32
3. Esquema del análisis de varianza.....	34
4. Análisis de varianza para parámetros fisicoquímicos (primer grupo).....	39
5. Análisis de varianza para parámetros fisicoquímicos (segundo grupo).....	39
6. Promedios de los parámetros fisicoquímicos, de acuerdo a la profundidad y mes de evaluación (primer grupo) (media \pm EE).....	42
7. Promedios de los parámetros fisicoquímicos, de acuerdo a la profundidad y mes de evaluación (segundo grupo) (media \pm EE).....	46
8. Autovectores con los ponderados a cada parámetro en estudio en dos componentes.....	50
9. Autovectores con los ponderados a cada parámetro en estudio en dos componentes.....	51
10. Análisis de varianza de los parámetros microbiológicos.....	53
11. Promedios de los parámetros microbiológicos, de acuerdo a la profundidad y mes de evaluación. (Media \pm EE).....	55

12. Autovectores de los parámetros microbiológicos en los dos componentes principales.....	59
13. Autovectores de los parámetros microbiológicos en los dos componentes principales.....	60
14. Índice de calidad del agua de la laguna Los Milagros, a 0.20 m de profundidad.....	61
15. Índice de calidad del agua de la laguna Los Milagros, a 0.70 m de profundidad.....	62
16. Índice de calidad del agua de la laguna Los Milagros, a 1.20 m de profundidad.....	63
17. Análisis de correlación entre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos por profundidad.....	66
18. Límites máximos permisibles para aguas de uso recreacional.....	88
19. Aguas superficiales destinadas a uso poblacional y recreacional (parámetros fisicoquímicos).....	89
20. Aguas superficiales destinadas a uso poblacional y recreacional (parámetros biológicos).....	90
21. Aguas superficiales destinadas a uso poblacional y recreacional (parámetros microbiológicos).....	91
22. Clasificación del "ICA" propuesta por BROWN.....	92
23. Clasificación del "ICA" para uso recreativo.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mapa de ubicación de la laguna Los Milagros.....	22
2. Comportamiento de los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua, en tres profundidades de evaluación (primer grupo).....	43
3. Comportamiento de los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua, en tres profundidades de evaluación (primer grupo).....	44
4. Comportamiento de los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua, a tres profundidades de evaluación (segundo grupo).....	47
5. Comportamiento de los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua, en cuatro periodos (meses) de evaluación (segundo grupo).....	48
6. Biplot de los parámetros en estudio, sobre las tres profundidades evaluadas.....	49
7. Biplot de los parámetros en estudio, sobre los cuatro meses de evaluación.....	51
8. Árbol de Recorrido Mínimo (ARM) de los meses de evaluación sobre los 10 parámetros de estudio.....	52
9. Comportamiento de los valores de los parámetros microbiológicos del agua a tres profundidades de evaluación.....	56

10.	Comportamiento de los valores de los parámetros microbiológicos del agua en cuatro meses de evaluación.....	57
11.	Biplot de los parámetros microbiológicos, sobre las tres profundidades evaluadas.....	58
12.	Biplot de los parámetros microbiológicos, sobre los meses de evaluación.....	60
13.	Índice de calidad del agua de la laguna Los Milagros, a diferentes profundidades.....	64
14.	Regresión lineal de las relaciones con mayor coeficiente de Regresión, analizada a 0.20 m de profundidad.....	67
15.	Regresión lineal de las relaciones con mayor coeficiente de regresión, analizada a 0.70 m de profundidad.....	68
16.	Regresión lineal de las relaciones con mayor coeficiente de Regresión, analizada a 1.20 m de profundidad.....	69
17.	Toma de punto de georreferenciación.....	93
18.	Toma de muestra de agua.....	93
19.	Determinación in situ, del pH.....	94
20.	Preparación de los tubos de ensayo.....	94
21.	Confirmación de coliformes fecales en caldo <i>E. coli</i> 44.5 °C.....	95
22.	Confirmación de coliformes totales en caldo brilla 37 °C.....	95

23.	Cultivo de microorganismos.....	96
24.	Medio de cultivo en INVIC, para lectura.....	96
25.	Lectura de O.D de la muestra de agua.....	97
26.	Segundo lectura de O.D de la muestra de agua.....	97
27.	Mapa de puntos de muestreo en la laguna Los Milagros.....	98

RESUMEN

El agua de ríos, lagos y lagunas se ve afectada en cantidad y calidad, por la deforestación y la contaminación con desechos urbanos e industriales. En tal sentido, los objetivos del estudio fueron: determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la laguna Los Milagros, a diferentes profundidades, durante el periodo agosto - noviembre del año 2014; determinar la calidad del agua; y encontrar la correlación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, con las diferentes profundidades. La laguna se ubica políticamente en el departamento Huánuco, provincia Leoncio Prado, distrito José Crespo y Castillo, caserío Los Milagros. En gabinete se seleccionaron aleatoriamente tres puntos de muestreo, en cada uno de los cuales se tomó 3 muestras a profundidades de 0.20, 0.70 y 1.20 m. Se usó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con tres tratamientos (tres profundidades), y cuatro bloques (cuatro meses). Se hizo el análisis de varianza, y para las diferencias de medias se utilizó la diferencia mínima significativa de Fisher cuando $p < 0.05$; asimismo, los datos de los parámetros microbiológicos fueron transformados a $\sqrt{X} + 1$ con el fin de reducir el coeficiente de variación. Los resultados indican que: Los parámetros fisicoquímicos cuya concentración se incrementó entre 0.20 y 1.20 m de profundidad, fueron: turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), fosfato, nitrato, y sulfato; sin embargo, el oxígeno disuelto (OD) experimentó un descenso (7.16 a 4.88 mg/L). Los parámetros fisicoquímicos cuya concentración se incrementó entre los meses de agosto y noviembre, fueron: turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), y oxígeno disuelto (OD) (5.79 a 6.13 mg/L); en ambos casos, la concentración de oxígeno disuelto se

encuentra dentro de los límites establecidos por la normatividad peruana para uso recreacional. Los parámetros microbiológicos evaluados, en su totalidad disminuyeron entre 0.20 y 1.20 m de profundidad, destacando la presencia de *Escherichia coli* (55 a 7 NMP/100 ml), por cuyos valores según la normatividad peruana, el agua no es apta para uso recreacional. Los valores del ICA(a) e ICA(m) a diferentes profundidades evidencian que el agua es de calidad "regular" (según BROWN), y de acuerdo a la clasificación de DINIUS (1987) para uso recreativo, presenta calidad "aceptable", recomendando restringir los deportes de inmersión, como medida de precaución si se ingiere el agua. Finalmente, según el coeficiente de correlación de Pearson, el par con coeficiente positivo en las tres profundidades fue: sólidos suspendidos totales (SST) con turbidez, indicando que a mayor turbidez mayor contenido de SST.

I. INTRODUCCIÓN

La mayoría de aguas naturales contienen una amplia variedad de microorganismos que conforman un ecosistema equilibrado (PRIETO, 2002). El tipo y número de los diferentes grupos de microorganismos presentes se relacionan con la calidad de agua y los factores ambientales. El conocimiento de la calidad y cantidad del agua es fundamental para la determinación de sus usos potenciales, debido a que la calidad del agua se determina por las características de su naturaleza y cantidad de sustancias extrañas presentes en la misma.

El problema se agrava cuando el agua dulce de los ríos, lagos y lagunas se ve afectada en cantidad y calidad, por la contaminación con desechos urbanos, desechos de la actividad industrial y por la deforestación. En la laguna Los Milagros, el agua por el hecho de no tener una salida normal o efluente, se ve afectada con el tiempo, con una tendencia a sedimentar los desechos orgánicos y/u otros residuos generados por la población rural de Los Milagros, experimentando su contaminación a través del tiempo; debido a este problema, se genera gran cantidad de nutrientes orgánicos, incrementando la población microbiana, la misma que consume el oxígeno del agua de la laguna, afectando directamente la calidad del agua para consumo humano y vida ictiológica así como de otros agentes biológicos que habitan en forma natural,

al pasar estos a ser agentes contaminantes del agua, afectando gravemente la salud humana y en otros casos la muerte (ASTO, 2004).

Es importante destacar que todas las aguas naturales contienen diversos contaminantes que provienen de la erosión, lixiviación, infiltración, materia orgánica, aguas residuales de origen doméstico e industrial etc.; por ello, uno de los requisitos fundamentales que exige una muestra de agua que se destina al consumo humano, es la ausencia de bacterias y parásitos patógenos, dioxinas, sólidos suspendidos y sedimentales (nutrientes como: nitrógeno, fósforo y potasio) que puedan originar trastornos a los consumidores, ya sea de manera directa y/o indirecta; y para determinar el grado de contaminación, es necesario realizar exámenes microbiológicos, químicos y físicos (CEPIS/OPS, 2001).

Se conoce asimismo, que la fuente de abastecimiento de agua para el caserío Los Milagros proviene de la laguna Los Milagros, la misma que está constituida por agua almacenada sin flujo continuo de salida (laguna), y que debido a su tiempo de existencia en el referido caserío, ha acumulado gran cantidad de materia orgánica mediante la dinámica ambiental y micro orgánica, llegando a contaminar sus aguas; a ello se debe la importancia de conocer la calidad de este recurso hídrico, como estrategia para la generación de políticas ambientales tendientes a su gestión adecuada.

Surge entonces, la interrogante: ¿Cuál es la calidad del recurso hídrico en la laguna Los Milagros?, obteniéndose a manera de respuesta, la hipótesis: “los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de la laguna Los Milagros varían de acuerdo a la profundidad de muestreo y al mes de observación”.

En tal sentido, se plantearon los siguientes objetivos:

- Determinar los parámetros fisicoquímicos (pH, oxígeno disuelto, temperatura, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, turbidez, nitratos, fosfatos y sulfatos) de la laguna Los Milagros, a diferentes profundidades, durante los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre del año 2014.
- Determinar los parámetros microbiológicos (coliformes totales, coliformes fecales (*E. coli*), microorganismos aerobios viables, mohos y levaduras) de la laguna Los Milagros, a diferentes profundidades, durante los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre del año 2014.
- Determinar la calidad del recurso hídrico a diferentes profundidades de la laguna Los Milagros, durante los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre del año 2014.
- Encontrar la correlación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, con las diferentes profundidades de la laguna Los Milagros.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Disponibilidad del agua en el mundo

Según la OMS (2001), aproximadamente mil quinientos millones de personas en el mundo carecen de agua potable, y cinco millones mueren anualmente a causa de enfermedades transmitidas por medio de agua.

Por su parte, FAO (2000) sostiene que la disponibilidad de agua es desigual en el mundo, en América Latina la cantidad de agua por habitante es mucho mayor de la que disponen otros continentes: 48 000 m³ por habitante, comparado con 21 300 en Norteamérica, 9 400 en África, 5 100 en Asia y 4 400 en Europa, sin embargo, estos datos no revelan la realidad que se tiene en cada localidad. Así, en América Latina esta gran cantidad de agua disponible en realidad está concentrada en las zonas húmedas del continente, que ocupan un 39% de la región de América Latina y el Caribe, donde se reciben precipitaciones tan abundantes que se forman muchos ríos navegables que finalmente confluyen en el río más grande del mundo, el Amazonas.

Sobre la superficie de la tierra llueven anualmente alrededor de 119,000 km³ de agua (RHENHEIMER, 1999). Mucha de esa agua es absorbida por los suelos y gradualmente aprovechada por las raíces de las plantas, o depositadas en acuíferos y corrientes subterráneas. Cuando se desnuda un terreno boscoso, la lluvia compacta la superficie y el suelo se vuelve lodoso; el

lodo rellena las cavidades superficiales del suelo, reduce la infiltración del agua, aumenta la escorrentía y también aumenta las posibilidades de obstrucción (IPET, 1998); además, reduce la calidad del agua. Los bosques mejoran la calidad del agua. La evidencia científica demuestra que es verdadera excepto en climas altamente contaminados, la pureza del agua para consumo humano, generación de electricidad o pesca es mejor en las tomas de agua ubicadas en sitios con cobertura forestal (NASI *et al.*, 2002).

El Perú cuenta con importantes recursos hídricos: 12,201 lagunas en la sierra, más de 1,007 ríos y un nivel de precipitación pluvial entre 100,000 y 300,000 m³/seg en el río Amazonas. El mar peruano tiene un área de 617,500 km. de aguas territoriales, desde su línea costera de 2,330 km. de longitud hasta una distancia de 200 millas marinas mar adentro (PORTALAGRARIO, 2005).

El conocimiento de la calidad y cantidad del agua es fundamental para la determinación de sus usos potenciales, la calidad del agua está determinada por las características de su naturaleza y la cantidad de sustancias extrañas presentes en las mismas. La calidad del agua puede analizarse desde el punto de vista físico, según el contenido del material sólido u sedimentos, químicos por el contenido de sales y compuestos químicos en general y biológico por el contenido de microorganismos patógenos. Por ello cada requerimiento de agua presenta sus propias normas de calidad por ejemplo, la potabilidad de agua está regida por normas internacionales dotadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), y la preparación del concreto debe regir los requisitos exigidos por la norma ITINTEC 339.088 y si el agua se encuentra contaminada es de poca utilidad por abundante que sea, debe

considerarse que un agua es solucionada cuando no reúne sus propiedades físicas, químicas y biológicas ya que los contaminantes alteran la calidad del agua deteriorada (CEPIS/OPS, 2001).

La contaminación del agua puede ser agrupada en materiales solubles y componentes insolubles y por lo tanto, las fuentes por contaminación bacteriológicas son las llamadas epidemias hídricas, causadas por *Escherichia coli* y similares etc. (SEOANEZ, 1999). El agua de consumo humano de la mayor parte de las comunidades y municipios proviene de aguas superficiales (ríos, arroyos y lagos). Estas aguas pueden estar contaminadas con residuos domésticos, agrícolas e industriales. Estos contaminantes se pueden clasificar en tres categorías: químicos, físicos y biológicos. El agua puede comprometer a la salud y la vida si contiene microorganismos patógenos. Los patógenos más frecuentes que se transmiten a través del agua son aquellos que causan infecciones del tracto intestinal (fiebre tifoidea, sigelosis, cólera, enteritis virales, etc.). Estos microorganismos están presentes en las heces u orina de las personas infectadas por lo que pueden pasar al agua que en última instancia sirve como fuente de bebida (MATEOS, 2005).

2.2. Calidad del agua

La calidad del agua es conocida como la aptitud para satisfacer distintos usos en función de sus características, determinadas generalmente por parámetros fisicoquímicos con unos límites de concentración asociados. Éste es el enfoque de las directivas europeas aprobadas en los años 70 con el objetivo de garantizar una calidad del agua óptima para satisfacer cada uno de los usos (aguas para el consumo humano, zonas de baño, aguas destinadas a la protección de la vida piscícola, etc. (GONZÁLES y GUTIERREZ, 2005).

2.3. La contaminación del agua

Según CALDERON (2004), los principales contaminantes del agua son los siguientes: aguas residuales y otros residuos que demandan oxígeno (en su mayor parte materia orgánica, cuya descomposición produce la desoxigenación del agua).

2.3.1. Efectos de la contaminación del agua

ANDREWS (2001) manifiesta que los efectos de la contaminación del agua incluyen los que afectan a la salud humana. La presencia de nitratos en el agua potable puede producir una enfermedad infantil que en ocasiones es mortal. Así mismo menciona que, los fertilizantes químicos arrastrados por el agua desde los campos de cultivo pueden ser los responsables, el agotamiento del oxígeno en las aguas más profundas y la acumulación de sedimentos en el agua, así como cambios químicos, tales como la precipitación del carbonato de calcio en las aguas duras.

2.3.2. Fuentes de la contaminación

ANDREWS (2001) señala que la contaminación urbana está formada por las aguas residuales de los hogares y los establecimientos comerciales. Durante muchos años, el principal objetivo de la eliminación de residuos urbanos fue tan solo reducir su contenido en materias que demandan oxígeno, sólido en suspensión, compuestos de fósforos y nitrógeno y bacterias dañinas. En los últimos años, por el contrario, se ha hecho más hincapié en mejorar los medios de eliminación de los residuos sólidos producidos por los procesos de depuración.

La agricultura, la ganadería comercial y las granjas avícolas, son la fuente de muchos contaminantes orgánicos de las aguas superficiales y subterráneas. Estos contaminantes incluyen tanto sedimentos procedentes de la erosión de las tierras de cultivos como compuestos de fósforo y nitrógeno que, en parte, proceden de los residuos animales y los fertilizantes comerciales. Los residuos animales tienen un alto contenido en nitrógeno, fósforo y materia consumidora de oxígeno, y a menudo albergan organismos patógenos. Los residuos de los criaderos industriales se eliminan en tierra por contención, por lo que el principal peligro que representan es el de la filtración y las escorrentías. Las medidas de control pueden incluir el uso de depósitos de sedimentación para líquidos.

En los últimos setenta años, la población mundial incrementó seis veces su consumo de agua, mientras el volumen disponible es el mismo. En cambio, el agua potable no contaminada ha disminuido en un 15 %. La disponibilidad de agua por habitante disminuye, en promedio, en un tercio cada veinte años. Hay en el mundo 12 mil km³ de agua contaminada, más que la de las diez cuencas fluviales más importantes del mundo. (GARCÍA, 2005).

A nivel mundial, el 80% de las enfermedades infecciosas y parasitarias gastrointestinales y una tercera parte de las defunciones causadas por estas se deben al uso y consumo de agua insalubre. La falta de higiene y la carencia o el mal funcionamiento de los servicios sanitarios son algunas de las razones por las que la diarrea continúa representando un importante problema de salud en países en desarrollo. El agua y los alimentos contaminados se consideran como los principales vehículos involucrados en la transmisión de

bacterias, virus o parásitos. Los organismos transmitidos por el agua habitualmente crecen en el tracto intestinal y abandonan el cuerpo por las heces (WHO, 1998).

2.3.3. Agua eutrónica y oligotrófica

Cuando un lago o embalse es pobre en nutrientes (oligotrófico) tiene las aguas claras, la luz penetra bien, el crecimiento de las algas es pequeño y mantiene a pocos animales. Las plantas y animales que se encuentran son los característicos de aguas bien oxigenadas como las truchas (REIFF, 1995).

Al ir cargándose de nutrientes el lago se convierte en eutrónica. Crecen las algas en gran cantidad con lo que el agua se enturbia. Las algas y otros organismos, cuando mueren, son descompuestos por la actividad de las bacterias con lo que se gasta el oxígeno. No pueden vivir peces que necesitan aguas ricas en oxígeno, por eso en un lago de estas características encontraremos barbos, percas y otros organismos de aguas poco ventiladas. En algunos casos se producirán putrefacciones anaeróbicas acompañadas de malos olores. Las aguas son turbias y de poca calidad desde el punto de vista del consumo humano o de su uso para actividades deportivas. El fondo del lago se va rellenando de sedimentos y su profundidad va disminuyendo (REIFF, 1995).

2.3.4. Nutrientes que eutrofizan las aguas

Los nutrientes que más influyen en este proceso son los fosfatos y los nitratos. En algunos ecosistemas el factor limitante es el fosfato, 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 (REIFF, 1995).

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 erosionadas 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.

2.4. Definición de laguna

DRAE (2014) menciona que laguna es un depósito natural de agua que está separado del mar y es de menores dimensiones sobre todo en profundidad que un lago, pudiendo sus aguas ser tanto dulces como salobres, y hasta saladas.

Las lagunas suelen ser muy productivas debido fundamentalmente al mayor contacto de los sedimentos con la superficie del agua como consecuencia de su escasa profundidad. Otras características propias suelen ser la alternancia de ciclos secos y húmedos, la geomorfología, y los diferentes

usos del suelo. Además, es una extensión de agua estancada, y al ser poco profunda permite que el sol penetre hasta su fondo, impidiendo la formación de distintos estratos térmicos, como sí sucede en los lagos, en los que se distingue una zona afótica (sin luz) de otra fótica.

Las plantas con raíces pueden desarrollarse en una laguna de una costa a la opuesta, al contrario de los lagos en los cuales, al ser más grandes y hondos, sólo pueden crecer en sus márgenes y en caletas poco profundas.

2.5. Indicadores fisicoquímicos de la calidad del agua

2.5.1. Temperatura del agua superficial

CALDERON (2004) señala que la temperatura del agua tiene gran importancia por el hecho de que los organismos requieren determinadas condiciones de temperatura para realizar sus funciones fisiológicas. Este indicador influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad recurso hídrico, como el pH, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas.

2.5.2. pH del agua superficial

CALDERON (2004) manifiesta que el pH tiene un valor que define si una sustancia es ácida o básica, su escala varía entre 0 a 14 y el pH tiene un valor de 7 cuando es neutro. Un agua con un pH por debajo de 7 es considerada ácida y un pH por encima de 7 es considerada básica. Los ácidos se caracterizan principalmente por su sabor a agrio, y en disoluciones

concentradas son causticas y destruyen los tejidos vivos (naranja, vinagre, bebidas carbónicas).

APHA (1992) menciona que el valor ideal del pH debe estar comprendido entre 7.2 y 7.6. Por encima de un pH 7.8 y por debajo de un pH 7.0 el agua puede producir diversos problemas. Las aguas naturales usualmente tienen un pH entre 6.5 y 8.5. Su valor define en parte la capacidad de autodepuración de una corriente y, por ende, su contenido de materia orgánica (DQO, DBO), además de la presencia de otros contaminantes, como metales pesados.

2.5.3. Oxígeno disuelto

Todos los organismos vivos dependen del oxígeno, O_2 para sobrevivir y poder producir la energía necesaria para su desarrollo y producción. El O_2 que se encuentra en el agua de abastecimiento, especialmente superficial penetra en el agua por absorción. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, mala calidad de agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida, es indicador de fuerte contaminación, condiciones sépticas de materia orgánica y de desarrollo de una actividad bacteriana intensa. El oxígeno disuelto indica si los cambios biológicos se efectúan por organismos aeróbicos o anaeróbicos, si estos son aeróbicos, usan el O_2 disuelto para oxidar la materia orgánica e inorgánica y el resultado son productos finales inofensivos. Los organismos anaeróbicos, en cambio utilizan el O_2 disuelto de sales inorgánicas como los sulfatos y producen generalmente sustancias peligrosas, por esta razón es muy

importante mantener siempre las condiciones aeróbicas, y así evitar la presencia de los elementos anaeróbicos. La materia orgánica en descomposición aumenta la demanda del oxígeno (BUJAN, 1997).

2.5.4. Nitratos

El valor de nitratos es importante especialmente cuando las fuentes de abastos son aguas subterráneas, pues esto indica la presencia de materia orgánica, posiblemente por contaminación fecal. El excesivo nivel de nitrato en el agua potable puede causar serias enfermedades. Si la forma como viene el nitrógeno es el nitrito, NO_2 , el agua será más peligrosa, porque puede causar la *metahemoglobinemia*, que es la dificultad de absorción del oxígeno del aire por la hemoglobina sanguínea; esta enfermedad ataca especialmente a los niños. Afortunadamente, cuando hay dosificación de cloro, el agua oxida los nitritos convirtiéndolos en nitratos y disminuye el riesgo de contrarrestar enfermedad (BUJAN, 1997).

2.5.5. Sólidos totales suspendidos

Teóricamente, los sólidos totales contenidos en las aguas son los residuos secos de los productos disueltos que las aguas poseen en el momento de tomarse la muestra para análisis, es decir partículas como arcillas, limo y otras, que son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disolución coloidales) o en suspensión que solo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Todo lo que el agua contenga, excepto el agua misma, puede considerarse materia sólida. Sin embargo, la definición de sólido se refiere a la materia que queda como residuos después de la

evaporación y del secamiento. De una muestra de agua, los sólidos totales, mediante técnicas de laboratorio, se han podido clasificar en: sólidos suspendidos, sedimentos, disueltos y coloidales. Pueden hallarse en el agua en suspensión o en solución y estos a su vez pueden ser de naturaleza orgánica e inorgánica (BUJAN, 1997).

2.6. Indicadores microbiológicos de la calidad del agua

2.6.1. Coliformes totales

Las coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo los humanos. La presencia de bacterias coliformes es un indicio de que el agua puede estar contaminada con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo. La contaminación fecal ha sido y sigue siendo el principal riesgo sanitario en el agua, ya que supone la incorporación de microorganismos patógenos que pueden provocar enfermedades en la salud humana. Por ello, el control sanitario de riesgos microbiológicos es tan importante, y constituye una medida sanitaria básica para mantener un grado de salud adecuado en la población (RAMOS – ORTEGA *et al.*, 2008).

Los coliformes termotolerantes son los microorganismos coliformes capaces de fermentar la lactosa a 45°C. Esta bacteria se encuentra en el excremento humano y de otros animales de sangre caliente entrando al sistema por medio de desecho directo de mamíferos y aves, entre otros.

También pueden originarse en aguas provenientes de efluentes industriales, materiales vegetales en descomposición y suelos (ARCE y LEIVA, 2009).

El D.S. N° 002-2008-MINAM indica que las aguas superficiales destinadas a recreación es apta para esta actividad con contacto exige la normativa inferior a 1,000 NMP/100 ml. Asimismo, CEPIS (2001) exige inferior a 5,000 NMP/100 ml para el cumplimiento de las exigencias para el uso recreacional.

2.6.2. Coliformes fecales

Son bacterias cuya presencia indica que el agua podría estar contaminada con heces fecales humanas o de animales, los microorganismos que producen y provocan enfermedades patogénicas y que están presentes en las heces causan diarreas, retortijones, náuseas, cefalea, u otros síntomas, estos patógenos pueden representar un riesgo para la salud de bebés, niños pequeños y para personas con sistemas inmunológicos gravemente comprometidos. Las formas fecales incluyen a *Escherichia coli* (APHA, 2005). De acuerdo a los estándares nacionales de calidad ambiental para agua del D.S. N° 002-2008-MINAM, exige la normativa(ausencia); mientras que para la CEPIS(2001) exige inferior a (200 NMP/100 ml) para el cumplimiento de las exigencias para el uso recreacional.

2.7. Manejo y conservación del agua

Según la distribución de agua superficial terrestre, el 97% se encuentra en los océanos, el 2.3% en nevados y polos y en ríos, lagos y

lagunas sólo el 0.7%. Es decir solo disponemos del 0.7% para el consumo humano, la industria y la agricultura. Este pequeño porcentaje nos invita a reflexionar muy seriamente y pensar que el agua es un recurso natural que debemos conservar y que de ella depende la vida en nuestro planeta (ASTO, 2004). Las crecientes demandas de recursos hídricos, conlleva a buscar la mejor forma de poner término a la contaminación de las aguas, impedir el corte indiscriminado del bosque. Así también educar y reglamentar la forma de cómo gastar únicamente el agua indispensable (PRIETO, 2002). Según PRIETO (2002), para conseguir conservar, tener cantidad y calidad en aguas, es fundamental tener en cuenta lo siguiente:

- La vegetación en la retención del agua en el suelo.
- Mejoramiento y repoblamiento de bosques.
- Mejoramiento de bosques existentes.
- Control de la deforestación.

2.8. Protección del agua

La LEY DE RECURSOS HÍDRICOS (Ley N° 29338) regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta. Se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable.

Asimismo, La presente Ley tiene por finalidad regular el uso y gestión integrada del agua, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, así como en los bienes asociados a esta, creando mecanismos para

la participación de los usuarios y de la población organizada en la toma de decisiones que afectan el agua en cuanto a calidad, cantidad, oportunidad u otro atributo del recurso.

Finalmente, autoriza solo vertimientos que cumplan los estándares de calidad y ambiental (ECA-Agua) prohibiendo y sancionando cualquier otro vertimiento no autorizado.

2.9. Índice de calidad del agua

BROWN *et al.* (1970) desarrollaron por primera vez, una metodología para crear un índice de calidad de agua debido a la necesidad de implantar un método uniforme que pudiera medir la calidad del agua. Esta metodología debía ser sensitiva a los químicos más contaminantes y como resultado debía proporcionar los efectos desfavorables de la contaminación al hombre y a la vida acuática. Además, como es característico de los índices, debía permitir evaluar los cambios en la calidad del agua.

Según SNET (2000), el Índice de calidad de agua propuesto por Brown es una versión modificada del "WQI" que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), que en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares del país, creó y diseñó un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como:

Este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes siendo diseñado en 1970, y puede ser utilizado para

medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río además de comparar lo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no. Para la determinación del "ICA" interviene 9 parámetros, los cuales son:

- Coliformes fecales (en NMP/100 ml).
- pH (en unidades de pH).
- Demanda bioquímica de oxígeno en 5 días (DBO5 en mg/L).
- Nitratos (NO_3 en mg/L).
- Fosfatos (PO_4 en mg/L).
- Cambio de la temperatura (en °C).
- Turbidez (en FAU).
- Sólidos disueltos totales (en mg/L).
- Oxígeno disuelto (OD en % saturación).

Para desarrollar el "ICA", La NSF seleccionó 142 personas quienes representaron un amplio rango a nivel local, estatal y nacional en los Estados Unidos. El proceso para el desarrollo del Índice de Calidad del agua se llevó a cabo en las siguientes etapas:

I. La identificación de factores claves (parámetros biológicos, químicos o físicos) que pueden utilizarse como indicadores de la calidad del agua, basados

en el criterio profesional colectivo de personas con conocimientos relativos al medio acuático o al foco de contaminación. Mediante una serie de cuestionarios, a cada panelista se le preguntó que considerara 35 parámetros de calidad de agua para una posible inclusión en dicho índice. Este número se redujo finalmente a 9 parámetros, los cuales fueron mencionados anteriormente.

II. Asignación de los Pesos Relativos o Peso de importancia del Parámetro (w_i) correspondientes a los factores de contaminación en aguas. En esta fase se corre el riesgo de introducir cierto grado de subjetividad en la evaluación, pero por otro lado sugiere que es importante una asignación racional y unificada de dichos pesos de acuerdo al uso del agua y de la importancia de los parámetros en relación al riesgo que implique el aumento o disminución de su concentración. En el caso de asignaciones de Pesos Relativos se identifican cuatro fases:

- El panel de expertos procede a la generación de las ideas que determinan los Pesos Relativos, escribiéndolas en un papel.
- Recolección de las ideas generadas por los participantes en un gráfico, mediante una discusión en serie.
- Discusión de cada idea recogida por el grupo con el fin de proceder su clarificación y evaluación.
- Votación independiente sobre la prioridad de las ideas, es decir los Pesos Relativos, la decisión del grupo se determina mediante orientación matemática. Para esto se pueden establecer varias metodologías de índices como lo son las curvas funcionales.

Estos datos se promediaron dando origen a curvas que reflejan el criterio profesional de respuestas en una escala (Subi) de 0-100. La agregación de la información, mediante fórmulas que incluyen adiciones simples o multiplicativas (SNET, 2000).

El "ICA" adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación el curso de agua en estudio. Posteriormente al cálculo el índice de calidad de agua de tipo "General", se clasifica la calidad del agua según lo indicado en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación del "ICA" propuesta por BROWN.

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

Fuente: SNET (2000).

Las aguas con "ICA" mayor que 90 son capaces de poseer una alta diversidad de la vida acuática. Además, el agua también sería conveniente para todas las formas de contacto directo con ella.

- Las aguas con un "ICA" de categoría "Regular" tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas.

- Las aguas con un "ICA" de categoría "Mala" pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación.
- Las aguas con un "ICA" que caen en categoría "Pésima" pueden solamente poder apoyar un número limitado de las formas acuáticas de la vida, presentan problemas abundantes y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella, tal como natación.

Para determinar el valor del "ICA" en un punto deseado es necesario que se tengan las mediciones de los 9 parámetros implicados en el cálculo del Índice los cuales son: Coliformes fecales (*E.coli*), pH, DBO₅, Nitratos, Fosfatos, cambio de la temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto. La evaluación numérica del "ICA", con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos se debe a Brown (SNET, 2000).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El área en estudio está ubicada políticamente en el departamento Huánuco, provincia Leoncio Prado, distrito José Crespo y Castillo, caserío Los Milagros.

El caserío Los Milagros está ubicado a 22 km de la ciudad de Tingo María en la vía Tingo María – Aucayacu y cuenta con 417 familias.

Geográficamente la laguna se localiza entre las siguientes coordenadas UTM: 8988780 y 8989200 Norte, y 390500 y 390890 Este.



Figura 1. Mapa de ubicación de la laguna Los Milagros.

3.1.1. Altitud

La laguna Los Milagros tiene una altitud media de 690 msnm.

3.1.2. Extensión

El área superficial con que cuenta actualmente la laguna Los Milagros es de aproximadamente 50 ha.

3.1.3. Factores climáticos

El clima es generalmente cálido y húmedo, característico a la zona de selva alta, sin variaciones notables; la humedad relativa es de 85%, precipitación anual promedio de 3,500 mm, con temperatura media anual que oscila entre los 22 y 33 °C y máximas de 36 °C. Presenta intensas precipitaciones pluviales estacionales con mayor frecuencia en los meses de enero a marzo.

3.1.4. Fisiografía y zonas de vida

El caserío Los Milagros fisiográficamente presenta lomas o colinas bajas, caracterizadas por pequeños cerros alargados y de pendientes poco pronunciadas entre 10% y 35%, con predominio de areniscas y conglomerados; los suelos son aparentes para cultivos en limpio, pastos y cultivos permanentes; los valles aluviales se caracterizan principalmente por su topografía plana, conformados por sedimentos aluviónicos recientes y antiguos, acarreados y depositados principalmente por el río Huallaga; de paisaje montañoso, desde el punto de vista ecológico está constituido por bosque húmedo Tropical (bh-T)

transicional a bosque muy húmedo Tropical (bmh-T) y un promedio de precipitación total por año variable entre 3,500 y 3,800 mm, según el diagrama bioclimático de HOLDRIDGE (1987).

3.1.5. Aspectos socioeconómicos

La población económicamente activa de la zona en estudio está dedicada a la agricultura. La clase media es escasa con algunas excepciones en el caserío Los Milagros; la producción se comercializa en la ciudad de Tingo María, en cooperativas o comerciantes particulares. Parte de la población del caserío Los Milagros consume agua de la laguna, no de manera directa pero sí de filtraciones cercanas a la población.

3.2. Materiales, equipos y reactivos

3.2.1. Materiales y equipos

Peachímetro HANNA HI 9024C, agitador magnético modelo Q307-22P, mufla Thermolyne tipo F1300, balanza analítica marca Sartorius modelo Cubis, termómetro, Incubadora modelo LI20, equipos de titulación, espectrofotómetro HANNA modelo SQ2800, cubeta de 1 cm de camino óptico, autoclave Chamberland modelo 100, incubadora a 37 °C marca OLBA, pipetas de 1 ml, 2 ml, 5 ml y 10 ml; fioles de 25 ml, 50 ml, 100 ml; botellas de incubación para DBO de 250 a 300 ml de capacidad, bureta, pipetas, matraz Winkler de 250 ml, matraz Erlenmeyer de 100 ml y 250 ml, varilla de vidrio, piseta, vasos de precipitación de 50 ml, 100 ml, 150 ml y 250 ml; probeta, embudo, crisoles, papel filtro cuantitativo Watman N° 42, rejilla, oxímetro,

cuaderno, botas, canoa, frascos de vidrio de 500 ml, cámara digital, cinta métrica de 10 m, equipo de cómputo y machete.

3.2.2. Reactivos

Solución patrón de KCl 0,01M, solución tampón de fosfato (disolver 0.425 g de KH_2PO_4 , 1.0875 g de K_2HPO_4 , 1.67 g de $(\text{Na}_2\text{HPO}_4)7\text{H}_2\text{O}$ y 0.085 g de NH_4Cl ; diluir a 25 ml, pH de 7.2), solución de dicromato potásico $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0.1 N, solución de hidróxido de sodio NaOH 0.1 N, solución de ácido sulfúrico H_2SO_4 0.1 N, solución stock de nitratos (disolver 0.7218 g de KNO_3 , aforarlo a 1 L y preservarlo con 2 ml de cloroformo), solución patrón de nitrato (1 mg/L, 2 mg/L, 5 mg/L, 10 mg/L), solución de ácido clorhídrico HCl 1.0 N, disolución patrón de sulfato de 1.0 g/L (disolver 1.81 g de sulfato de sodio anhidro y aforarlo a 1L), cloruro de bario en cristales, agua de peptona, agua destilada, caldo lactosado verde brillante, agar rojo violeta y brillante bilis.

3.3. Metodología

3.3.1. Colecta y almacenamiento de muestras

La toma de muestras se hizo en frascos de polietileno esterilizados, de boca ancha, con capacidad de 1 litro, debidamente rotulados. Una vez determinados los 3 puntos de muestreo obtenidos de manera aleatoria en el gabinete, se destapó el frasco; con las precauciones necesarias se enjuagó con el agua de la misma fuente y en seguida se sumergió rápidamente a 20 cm, a 70 cm y de 100 cm – 120 cm de profundidad, dirigiendo la boca del frasco hacia abajo en forma vertical. Se obtuvo 3 muestras por cada punto de

muestreo, las cuales fueron extraídas en horas de la mañana solo una vez; finalmente se etiquetó y acondicionó adecuadamente para su traslado al laboratorio.

3.3.2. Diseño de muestreo al azar

Se delimitó los espacios muestrales mediante el diseño de muestreo al azar, según la metodología propuesta por PIMENTEL (1997); para ello se trabajó con grillas de 7 m x 7 m trazadas en toda el área de muestreo, tomándose 3 muestras en cada punto de muestreo.

3.3.3. Parámetros de estudio

Se evaluó la calidad del agua de la laguna Los Milagros, para lo cual se tomaron muestras en diferentes partes del humedal. Se determinó los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH, oxígeno disuelto, temperatura, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, turbidez, nitratos, fosfatos y sulfatos; y los siguientes parámetros microbiológicos: coliformes totales, coliformes fecales (*E. coli*), microorganismos aerobios viables, mohos y levaduras.

3.3.4. Evaluaciones realizadas

3.3.4.1. Determinación de parámetros fisicoquímicos

- **Determinación de los sólidos totales suspendidos (STS)**

Para llevar a cabo este proceso, se usó el método de sólidos totales en suspensión secados a 103 – 105 °C, cuyo muestreo se realizó

durante periodos con mayor precipitación pluvial; y para la determinación de los sólidos totales sedimentables, se usó el método de sólidos totales sedimentables por gravimetría.

- Determinación del pH

Para la determinación del pH del agua de la laguna Los Milagros se usó el método potenciométrico, realizando muestreos en los diversos puntos; para ello se utilizó un peachímetro, empleando la metodología propuesta por APHA (1976).

- Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La determinación de DBO₅ se realizó en el Laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, con los reactivos del HACH basada en la técnica de Winkler (HACH, 1997) y U.S. GEOLOGICAL SURVEY (2000).

- Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO)

Se determinó por el método espectrofotométrico de reflujos cerrado, planteado por APHA (2005).

- Determinación de oxígeno disuelto (OD)

Para cuyo efecto se muestreó y analizó in situ, utilizando el oxímetro.

- Determinación de nitratos

Se realizó una disolución del stock de KNO_3 de concentración 300 mg/L: para ello se secó una muestra (de aproximadamente 2-3 g) de KNO_3 en una estufa a 105 °C durante 24 horas; luego se pesó 0.4887 g de KNO_3 y se disolvió con agua destilada; finalmente se añadió 2 ml de CHCl_3 y se enrasó en un matraz de 1 L. Asimismo, se realizó una disolución estándar de NO_3 de concentración 30 mg/L: para tal efecto, se preparó 200 ml a partir de la disolución stock de KNO_3 ; finalmente, se filtró la muestra y se pasó a un matraz de 50 ml que contenía 1 ml de HCl 1N.

Reservar en un tubo de ensayo, 15-20 ml para medir. Preparación de las disoluciones de la curva estándar: se preparó diferentes disoluciones de NO_3 siguiendo un esquema. Lectura fotométrica: se conectó el espectrofotómetro, realizándose la línea base usando como disolvente agua destilada y lectura de la absorbancia de cada disolución a 220 nm. Tratamiento de datos: representación gráfica de la curva estándar y fue determinada de la concentración de NO_3 de la muestra problema por interpolación en la gráfica, según lo planteado por APHA (2005).

- Turbidimetría

Se colocó 10 ml de la muestra de agua en un matraz Erlenmeyer de 50 ml, y se añadió 1 ml de la solución ácida acondicionadora. Se mezcló y agregó 0.5 g de BaCl_2 y $2\text{H}_2\text{O}$ para agitar durante 1 minuto, luego se transfirió la muestra a una celda de 1 cm del espectrofotómetro y se tomó la lectura de la absorbancia a una longitud de onda de 420 nm dentro de los 2 minutos

siguientes. Curva de calibración de sulfatos: se preparó una curva de calibración con los siguientes puntos: 0, 5, 10, 15, 20 y 25 ppm de $\text{SO}_4^{=}$; se colocaron en 6 matraces volumétricos de 100 ml los siguientes volúmenes de solución estándar de 100 ppm de $\text{SO}_4^{=}$: 0, 5, 10, 15, 20 y 25 ml. Finalmente se aforó con agua destilada hasta la marca. Gráfico de la absorbancia contra las ppm. de $\text{SO}_4^{=}$; luego se calculó por el método espectrofotométrico. De la curva de calibración: se obtuvo las ppm de $\text{SO}_4^{=}$, de acuerdo con la lectura de absorbancia de la muestra.

$$\text{Meq./L de } \text{SO}_4^{=} = \frac{(\text{ppm})(\text{Dilución})}{\text{PE del } \text{SO}_4}$$

PE: Peso equivalente del ión sulfato = 48.0 g

El intervalo de linealidad depende de la longitud de onda de trabajo. A 420 nm está comprendido entre aproximadamente 5 y 30 mg/L de anión sulfato. Para obtener la recta de calibrado, se preparó en primer lugar, dos diluciones intermedias de 100 y 200 mg/L, que luego fueron introducidos en sendos matraces aforados de 250 ml y se enrasaron con agua desionizada. Para preparar los patrones de medida, se acondicionaron volúmenes 5 ml a 30 ml que fueron luego introducidos en matraces de 100 ml, se añadieron 10 ml del reactivo HCl/NaCl y 20 ml de la mezcla glicerina/etanol, y se diluyó con agua desionizada hasta casi la marca de enrase; finalmente, se añadió 0.3 g de cloruro de bario a cada aforado, se agitó durante un minuto y se enrasó. También se preparó un blanco (10 ml de reactivo HCl/NaCl , 20 ml de la mezcla glicerina/etanol y 0.3 g de cloruro de bario diluidos a 100 ml en un matraz aforado), que se utilizó para ajustar el cero de absorbancia en el

instrumento. Transcurridos cinco minutos (controlados con un cronómetro) desde la adición del cloruro de bario, se midió las absorbancias de los distintos patrones y se construyó la recta de calibrado. Para la cuantificación, se midió un volumen de muestra que contenía entre 0.5 y 3 mg de anión sulfato, se introdujo en un matraz aforado de 100 ml y se procede como se ha descrito para los patrones. La interpolación en la recta de calibrado de la absorbancia de la disolución así preparada, permitió obtener su concentración y, a partir de ese valor, calcular el contenido de sulfatos de la muestra original.

3.3.4.2. Parámetros microbiológicos

- Enumeración de bacterias coliformes

Se realizó mediante el método del Número Más Probable (NMP), según la metodología descrita por REFAI (1981).

- Prueba de *Escherichia coli*

Para esta prueba se utilizó el caldo *E. coli* de todos los tubos positivos donde hubo formación de gas; sobre una placa que contenía agar de Livene, se extendió en estrías el contenido de cada tubo positivo, de forma que se obtuvo colonias separadas, para posteriormente incubarlos de 18 a 24 horas a 37 °C; paralelamente se realizó el teñido de cada cultivo por el método de Gram, de acuerdo a lo sugerido por REFAI (1981).

- Enumeración de microorganismos aerobios viables

Para llevar a cabo la enumeración de microorganismos aerobios viables, se utilizó el método de recuento aeróbico de placas establecido por la FAO (1975).

- Enumeración de mohos y levaduras

Proceso que se desarrolló aplicando el método Microbiological Examination of Foods, propuesto por APHA (1976).

3.3.4.3. Cálculo del índice de calidad del agua (ICA)

Para calcular el Índice de Brown se utilizó una suma lineal ponderada de los subíndices (ICAa) y una función ponderada multiplicativa (ICAm). Estas agregaciones se expresan matemáticamente de la siguiente manera:

$$ICA = \sum_{i=1}^9 w_i * q_i \dots (1)$$

$$ICAM = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i} \dots (2)$$

Donde:

w_i : Pesos relativos asignados a cada parámetro (Sub_i), y ponderados entre 0 y 1 de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

Sub_i : Subíndice del parámetro.

Autores como LANDWEHR y DENNINGER (1976), demostraron que el cálculo de los "ICA" mediante técnicas multiplicativas es superior a las aritméticas, es decir, que son mucho más sensibles a la variación de los parámetros, reflejando con mayor precisión un cambio de calidad. Es por esta razón que la técnica que se aplicó en este estudio es la multiplicativa.

Para determinar el valor del "ICA" es necesario sustituir los datos en la ecuación 2, obteniendo los Sub_i de distintas graficas como se explica a continuación; el referido valor se eleva a sus respectivos W_i (Cuadro 2) y se multiplican los 9 resultados obteniendo de esta manera el "ICA", según lo propuesto por SNET (2000).

Cuadro 2. Pesos de los parámetros para el ICA.

N	Sub_i	w_i
1	Coliformes fecales	0.15
2	pH	0.12
3	DBO	0.10
4	Nitratos	0.10
5	Fosfatos	0.10
6	Temperatura	0.10
7	Turbidez	0.08
8	Solidos disueltos totales	0.08
9	Oxígeno disuelto	0.17

Fuente: SNET (2000).

3.3.5. Diseño experimental

El diseño experimental propuesto es un Diseño de Bloques Completamente al Azar, conformado por tres tratamientos: profundidad = 0.20 m, profundidad = 0.70 m y profundidad = 1.20 m, y cuatro bloques constituidos por los meses de evaluación: agosto, setiembre, octubre y noviembre. Se

tuvieron entonces, cuatro repeticiones correspondiendo a los meses de evaluación, considerados también como bloques.

Por lo tanto, se tienen los siguientes tres tratamientos:

T_1 : profundidad = 0.20 m

T_2 : profundidad = 0.70 m

T_3 : profundidad = 1.20 m

Asimismo, se tienen los cuatro siguientes bloques:

B_1 : mes de agosto

B_2 : mes de setiembre

B_3 : mes de octubre

B_4 : mes de noviembre

3.3.6. Modelo estadístico

El modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \text{Factor } A_i + \text{Factor } B_j + \epsilon_{ij}$$

Donde :

Y_{ij} : Respuesta esperada del i-ésimo factor A y el j-ésimo factor B.

μ : Media poblacional.

Factor A_i : Efecto del i -ésimo factor A (profundidad).

Factor B_j : Efecto del j -ésimo factor B (mes).

ϵ_{ij} : Error experimental.

El análisis de varianza se realizó con el programa InfoStat 2013 versión estudiantil libre, y para las diferencias de medias se utilizó la diferencia mínima significativa de Fisher cuando el valor de $p < 0.05$ (STEEL y TORRIE, 1996).

El esquema del análisis de varianza se describe en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Esquema del análisis de varianza.

FV	GL	SC	CM	Fc
Factor A	$a - 1$	$(\sum Y^2_{.j}/rb) - FC$	$SC_A/a-1$	CM_A/CM_{error}
Factor B	$b - 1$	$(\sum Y^2_{.k}/ra) - FC$	$SC_B/b-1$	CM_B/CM_{error}
Error	$a(r-1)$	Diferencia	$SC_{error}/ab(r-1)$	
Total	$ar - 1$	$\sum \sum Y_{ijk}^2 - FC$		

3.3.7. Variables dependientes

Parámetros fisicoquímicos

Turbidez (NTU)

pH

SST (mg/L)

OD (mg/L)

DQO (mg/L)

DBO₅ (mg/L)

Temperatura (°C)

Fosfato (mg/L)

Nitrato (mg/L)

Sulfato (mg/L)

Parámetros microbiológicos

NMAV (NMP/100ml)

Coliformes totales (NMP/100ml)

NML (Ufc)

E. coli (NMP/100ml)

3.3.8. Variables independientes

- Profundidad

- Meses

3.3.9. Análisis de datos

Los datos de los parámetros microbiológicos tienen su origen basado en conteos, por lo que son datos discretos. Para su procesamiento fueron transformados para encontrar la normalidad y reducir el coeficiente de variación a $\sqrt{X} + 1$; posteriormente fueron procesados y analizados con el

paquete estadístico InfoStat 2013 versión estudiantil libre, generando el cuadro del análisis de varianza y la prueba de comparación de promedios de Fisher a un nivel de significancia del 5%.

Se utilizó estadística descriptiva para caracterizar algunas variables dependientes; por otra parte, para lograr mayor información de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se realizó estadística multivariada basada en el análisis de componentes principales, llegando a descomponer las variables a dos componentes, logrando así la mayor variabilidad de los datos con respecto a las variables profundidad y mes. Asimismo, se incorporó gráficos del Árbol de Recorrido Mínimo (ARM) para determinar la relación entre estas dos últimas variables.

IV. RESULTADOS

4.1. Parámetros fisicoquímicos de la laguna Los Milagros, a diferentes profundidades, durante los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre del año 2014

Los parámetros fisicoquímicos fueron analizados a través del análisis de varianza. En el primer grupo se puede observar que los parámetros turbidez, pH, SST, OD y DQO, presentan alta diferencia estadística ($p < 0.05$) entre las tres profundidades evaluadas; lo mismo sucede con los meses de evaluación, encontrándose un alta diferencia estadística entre ellos, con respecto a los parámetros en estudio.

Por otra parte, se observa que los datos de los parámetros turbidez, pH, OD y DQO presentan un comportamiento homogéneo debido al bajo porcentaje del coeficiente de variación que no supera el 3%; siendo solo el parámetro SST el que presenta mayor coeficiente de variación (10.38%). Asimismo, los parámetros turbidez, SST, OD y DQO presentan un alto R^2 (de 0.96 a 0.99) que representa el porcentaje en el que los datos se ajustan al modelo propuesto, resultando solo el pH con menor valor (88%) (Cuadro 4).

En el segundo grupo se observan los siguientes cinco parámetros: DBO_5 , temperatura, fosfato, nitrato y sulfato, las mismas que presentan una alta diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las profundidades evaluadas,

observándose que las diversas profundidades de evaluación influyen sobre los valores que tomen los parámetros en estudio; con respecto a los meses evaluados, solo resultó altamente significativo ($p < 0.05$) con el parámetro DBO_5 , mientras que para el resto de parámetros: temperatura, fosfato, nitrato y sulfato no muestra indicios estadísticos ($p > 0.005$) de haber diferencias entre los meses de evaluación.

La variabilidad mostrada por estos parámetros es baja para la temperatura y DBO_5 , media para sulfato y nitrato, y alta para fosfato (21.53% de coeficiente de variación). Este grupo de parámetros se ajusta mucho más al modelo propuesto, dado que todas ellas sobrepasan el 93% de ajuste (Cuadro 5).

Cuadro 4. Análisis de varianza para parámetros fisicoquímicos (primer grupo).

Fuentes de variación	GL	Turbidez (NTU)			pH		SST (mg/L)		OD (mg/L)		DQO (mg/L)					
		CM	p-valor		CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor				
Profundidad	2	578.90	<0.0001	**	0.06	0.0439	*	7712	0.0001	**	5.22	<0.0001	**	13.19	0.0011	**
Mes	3	7.32	0.0283	*	0.13	0.0068	**	732	0.0285	*	0.23	0.0101	*	15.78	0.0005	**
Error	6	1.17			0.01			118			0.02			0.5		
Total	11															
CV		2.69%			2.00%		10.38%		2.59%		2.98%					
R ²		0.99			0.88		0.96		0.99		0.96					

(*) Significativo: (**) Altamente significativo.

Cuadro 5. Análisis de varianza para parámetros fisicoquímicos (segundo grupo).

Fuentes de variación	GL	DBO5 (mg/L)			Temp. (°C)		Fosfato (mg/L)		Nitrato (mg/L)		Sulfato (mg/L)					
		CM	p-valor		CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor				
Profundidad	2	18.27	0.0006	**	3.9	0.0002	**	6.62	0.0001	**	25.5	0.0004	**	219.29	<0.0001	**
Mes	3	6.9	0.0054	**	0.15	0.2342	ns	0.09	0.4629	ns	0.75	0.4158	ns	0.22	0.8464	ns
Error	6	0.55			0.08			0.1			0.68			0.83		
Total	11															
CV		5.10%			1.20%		21.53%		14.56%		11.29%					
R ²		0.95			0.95		0.96		0.93		0.99					

(ns) no significativo: (**) Altamente significativo.

Posteriormente, se realizó la prueba de medias utilizando el estadístico Fisher al 5 % de nivel de significancia (Cuadros 6 y 7).

Los valores medios obtenidos para los parámetros del primer grupo: turbidez, pH, SST, OD y DQO, se muestran en el Cuadro 6. Puede observarse que cuando es analizada la profundidad en sus tres niveles, resulta una clara diferenciación sobre el efecto de la profundidad del muestreo. Con respecto a la turbidez, a medida que se incrementa la profundidad, se incrementa también los niveles de turbidez claramente diferenciada estadísticamente, siendo menor el valor a los 0.20 m (29.8 NTU), mientras que a 1.20 m logra un valor de 53.41 NTU.

El parámetro pH presenta mayores niveles (ligeramente alcalinos) en las dos primeras profundidades (7.18 y 7.05 a 0.20 y 0.70 m de profundidad, respectivamente), mientras que a 1.20 m de profundidad cambia a ligeramente ácido (6.93); se logra entonces definir una igualdad estadística entre 0.70 y 1.20 m de profundidad versus la de 0.20 m. Con respecto al parámetro SST, este presenta un comportamiento similar a la de la turbidez; es decir, mayores valores se encuentran conforme se incrementa la profundidad de evaluación (66.42, 94.58 y 152.53 mg/L, a 0.20, 0.70 y 1.20 m de profundidad, respectivamente).

Los valores encontrados en los parámetros OD y DQO presentan un comportamiento inverso al anterior. A mayor profundidad de evaluación los valores encontrados tienden a disminuir, obteniéndose para el caso del parámetro OD 7.16 mg/L a 0.20 m de profundidad, hasta 4.88 de mg/L a 1.20 m de profundidad; asimismo, en cuanto al parámetro DQO se obtuvieron valores que van desde 25.39 hasta 21.81 mg/L, a 0.20 y 1.20 m de profundidad evaluada, respectivamente (Cuadro 6).

Con respecto a la premisa del efecto de los meses de evaluación sobre los valores de los parámetros, se muestra también los resultados comparativos de sus medias. En todos los parámetros evaluados: turbidez, pH, SST, OD y DQO, se identifican dos grupos estadísticamente diferenciados, resultando que en los meses de agosto y setiembre se logran medias similares diferenciadas de los meses de octubre y noviembre.

Con respecto a la turbidez, se observa que existe un incremento desde agosto hasta noviembre, obteniéndose 38.51 NTU para el mes de agosto y 41.18 NTU para el mes de noviembre; se deduce claramente que la turbidez es afectada por el mes que se toma la muestra. Asimismo, el pH alcanza valores ligeramente alcalinos durante los meses de agosto y setiembre (7.28 y 7.17, respectivamente), y cambia a ligeramente ácido en los meses de octubre y noviembre (6.83 y 6.94, respectivamente).

El parámetro SST tiene un incremento estadísticamente diferenciado entre los meses de agosto y setiembre (86.86 y 96.53 mg/L, respectivamente), respecto a los meses de octubre y noviembre (121.09 y 113.56 mg/L, respectivamente); similar tendencia muestra el parámetro OD (5.79 y 5.69 mg/L, para los meses de agosto y setiembre, respectivamente), versus 6.28 y 6.13 mg/L, para los meses de octubre y noviembre, respectivamente.

Situación contraria se observa en el parámetro DQO donde sus valores muestran una disminución estadísticamente diferenciada entre los meses de agosto y setiembre (26.31 y 25.11 mg/L, respectivamente), respecto a los meses de octubre y noviembre (21.54 y 22.17 mg/L, respectivamente) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Promedios de los parámetros fisicoquímicos, de acuerdo a la profundidad y mes de evaluación (primer grupo) (media \pm EE).

Parámetro	Prof. (m)	Unidad del parámetro	Mes	Unidad del parámetro
Turbidez (NTU)	0.20 m.	29.8 \pm 0.49	a Agosto	38.51 \pm 6.28 a
	0.70 m.	37.62 \pm 0.45	b Setiembre	39.48 \pm 6.65 a
	1.20 m.	53.41 \pm 1.40	c Octubre	41.93 \pm 7.49 b
			Noviembre	41.18 \pm 7.37 b
		p-valor: <0.0001	p-valor: 0.0283	
pH	0.20 m.	7.18 \pm 0.06	a Agosto	7.28 \pm 0.03 a
	0.70 m.	7.05 \pm 0.09	b Setiembre	7.17 \pm 0.02 a
	1.20 m.	6.93 \pm 0.16	b Octubre	6.83 \pm 0.13 b
			Noviembre	6.94 \pm 0.12 b
		p-valor : 0.0439	p-valor: 0.0068	
SST (mg/L)	0.20 m.	66.42 \pm 4.94	a Agosto	86.86 \pm 18.83 a
	0.70 m.	94.58 \pm 4.54	b Setiembre	96.53 \pm 22.42 a
	1.20 m.	152.53 \pm 14.03	c Octubre	121.09 \pm 30.88 b
			Noviembre	113.56 \pm 29.63 b
		p-valor: 0.0001	p-valor: 0.0285	
OD (mg/L)	0.20 m.	7.16 \pm 0.17	a Agosto	5.79 \pm 0.65 a
	0.70 m.	5.89 \pm 0.2	b Setiembre	5.69 \pm 0.59 a
	1.20 m.	4.88 \pm 0.06	c Octubre	6.28 \pm 0.73 b
			Noviembre	6.13 \pm 0.68 b
		p-valor: <0.0001	p-valor: 0.0101	
DQO (mg/L)	0.20 m.	25.39 \pm 1.02	a Agosto	26.31 \pm 0.71 a
	0.70 m.	24.15 \pm 1.06	b Setiembre	25.11 \pm 1.04 a
	1.20 m.	21.81 \pm 1.42	c Octubre	21.54 \pm 1.00 b
			Noviembre	22.17 \pm 1.52 b
		p-valor: 0.0011	p-valor: 0.0005	

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Fisher ($p \leq 0.05$).

Los comportamientos descritos en cuanto a la profundidad de evaluación, se muestran con mayor detalle en la Figura 2.

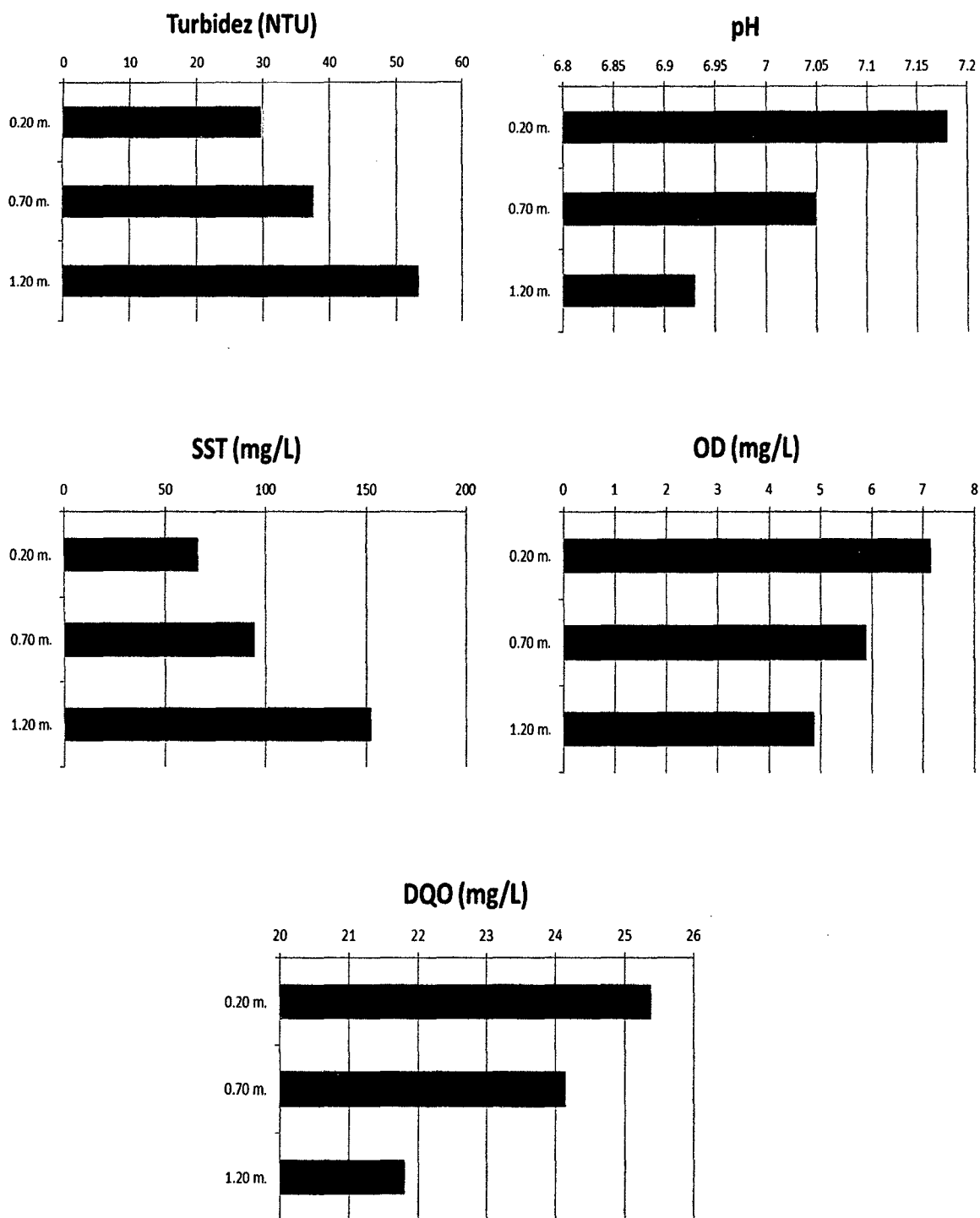


Figura 2. Comportamiento de los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua, en tres profundidades de evaluación (primer grupo).

Los comportamientos ascendentes y descendentes de los parámetros en estudio según los meses evaluados, se muestran en la Figura 3.

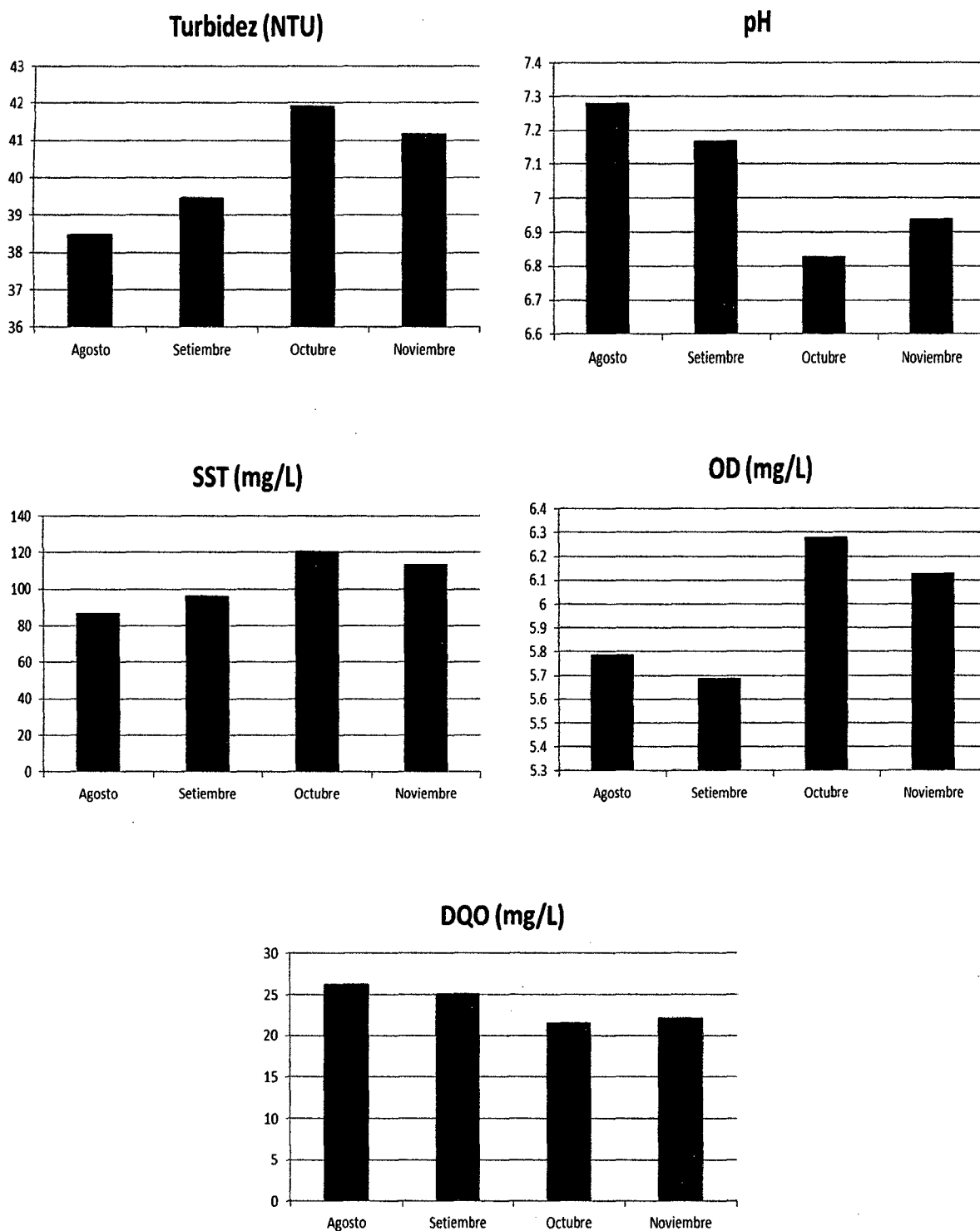


Figura 3. Comportamiento de los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua, en tres profundidades de evaluación (primer grupo).

El segundo grupo de parámetros fisicoquímicos evaluados: DBO₅, temperatura, fosfato, nitrato y sulfato, muestra que al realizar el análisis sobre las profundidades se encuentra que existe diferencia estadística entre las tres profundidades, con respecto a cada parámetro evaluado.

Respecto al parámetro DBO₅, se observa que a medida que las muestras son tomadas a mayor profundidad, los valores disminuyen (desde 16.56 mg/L a 0.20 m de profundidad, hasta 12.31 mg/L a 1.20 m de profundidad). Con respecto a la temperatura, también presenta el mismo comportamiento, encontrándose temperaturas menores a mayor profundidad (24.60, 23.60 y 22.63 °C, para 0.20, 0.70 y 1.20 m de profundidad, respectivamente).

Los parámetros fosfato, nitrato y sulfato, presentan un comportamiento totalmente opuesto a los anteriores, es decir, a medida que toma mayor profundidad los valores se incrementan, mostrando una relación directamente proporcional. El fosfato por ejemplo, presenta valores de 0.10, 1.58 y 2.66 mg/L, a 0.20, 0.70 y 1.20 m de profundidad, respectivamente; el nitrato por su parte, adquiere valores de 3.28, 5.35 y 8.30 mg/L, a 0.20, 0.70 y 1.20 m de profundidad, respectivamente; finalmente, el sulfato a 0.20, 0.70 y 1.20 m de profundidad, presenta valores de 1.63, 6.39 y 16.15 mg/L, respectivamente (Cuadro 7).

Por otra parte, al analizar los meses de toma de muestras, se comprueba que con respecto al DBO₅, este tiende a disminuir en los últimos meses de evaluación (15.43, 16.15, 13.76 y 12.83 mg/L, para los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre, respectivamente).

Para los parámetros temperatura, fosfato, nitrato y sulfato, los meses en que se tomaron las muestras no influyeron en sus valores, por lo que resultan estadísticamente similares en los cuatro meses de evaluación (Cuadro 7).

Cuadro 7. Promedios de los parámetros fisicoquímicos, de acuerdo a la profundidad y mes de evaluación (segundo grupo) (media \pm EE).

Parámetro	Prof. (m)	Unidad del parámetro	Mes	Unidad del parámetro
DBO ₅ (mg/L)	0.20 m.	16.56 \pm 0.61	a Agosto	15.43 \pm 0.71 a
	0.70 m.	14.76 \pm 0.85	b Setiembre	16.15 \pm 1.45 a
	1.20 m.	12.31 \pm 0.95	c Octubre	13.76 \pm 1.35 b
			Noviembre	12.83 \pm 1.49 b
		p-valor: 0.0006	p-valor: 0.0054	
Temp. (°C)	0.20 m.	24.60 \pm 0.15	a Agosto	23.37 \pm 0.55 a
	0.70 m.	23.60 \pm 0.14	b Setiembre	23.53 \pm 0.46 a
	1.20 m.	22.63 \pm 0.19	c Octubre	23.9 \pm 0.49 a
			Noviembre	23.63 \pm 0.78 a
		p-valor: 0.0002	p-valor: 0.2342	
Fosfato (mg/L)	0.20 m.	0.10 \pm 0.002	a Agosto	1.45 \pm 0.79 a
	0.70 m.	1.58 \pm 0.09	b Setiembre	1.32 \pm 0.67 a
	1.20 m.	2.66 \pm 0.25	c Octubre	1.69 \pm 0.92 a
			Noviembre	1.32 \pm 0.62 a
		p-valor: 0.0001	p-valor: 0.4629	
Nitrato (mg/L)	0.20 m.	3.28 \pm 0.54	a Agosto	5.17 \pm 1.44 a
	0.70 m.	5.35 \pm 0.23	b Setiembre	5.26 \pm 1.62 a
	1.20 m.	8.30 \pm 0.42	c Octubre	5.95 \pm 1.49 a
			Noviembre	6.18 \pm 1.50 a
		p-valor: 0.0004	p-valor: 0.4158	
Sulfato (mg/L)	0.20 m.	1.63 \pm 0.07	a Agosto	7.93 \pm 4.63 a
	0.70 m.	6.39 \pm 0.44	b Setiembre	8.27 \pm 4.59 a
	1.20 m.	16.15 \pm 0.52	c Octubre	7.73 \pm 3.88 a
			Noviembre	8.29 \pm 4.05 a
		p-valor: <0.0001	p-valor: 0.8464	

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Fisher ($p < 0.05$).

El comportamiento de los parámetros DBO_5 , temperatura, fosfato, nitrato y sulfato por profundidad, se observa en la Figura 4.

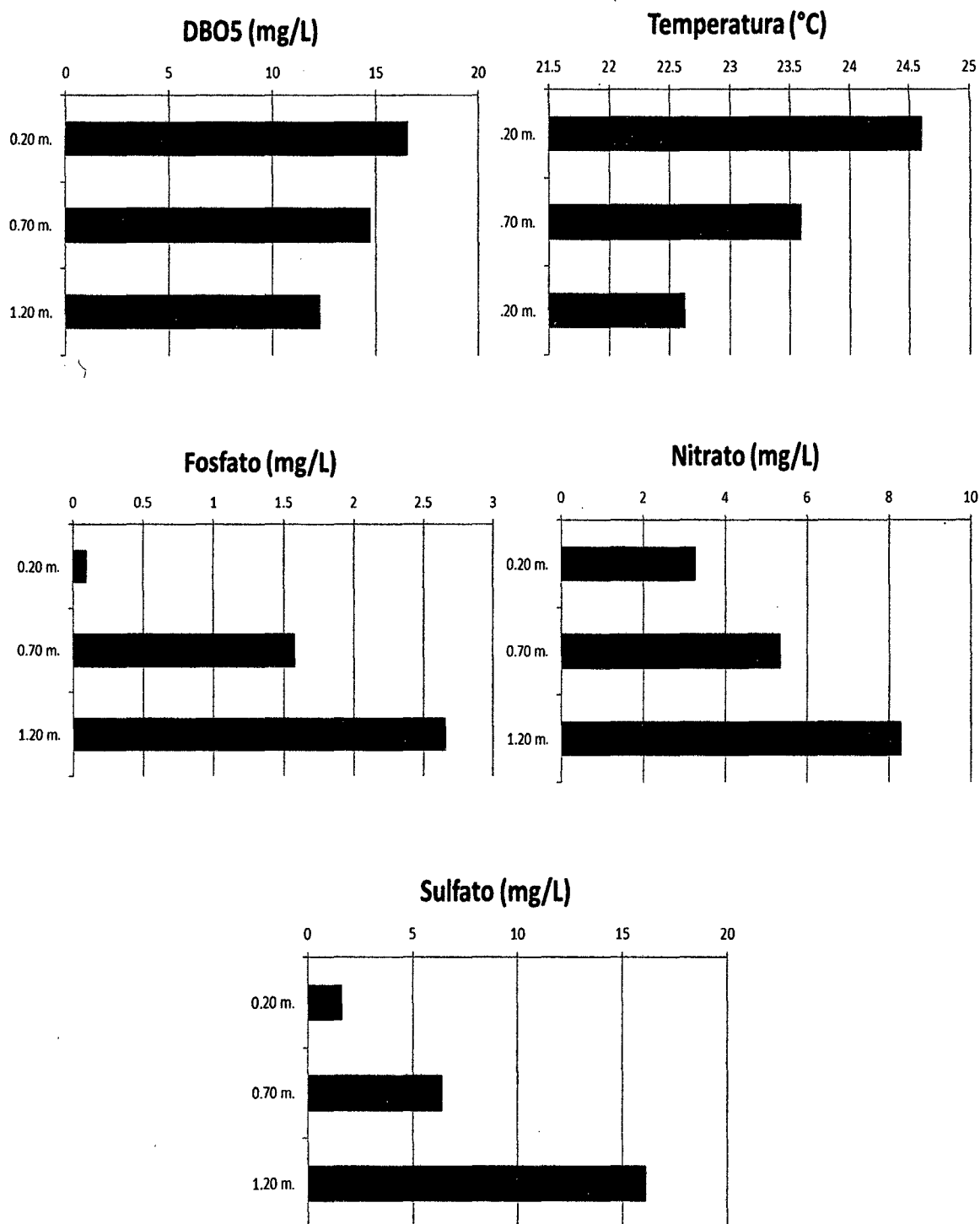


Figura 4. Comportamiento de los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua, a tres profundidades de evaluación (segundo grupo).

Asimismo, el comportamiento de los parámetros DBO_5 , temperatura, fosfato, nitrato y sulfato por mes de evaluación, se observa en la Figura 5.

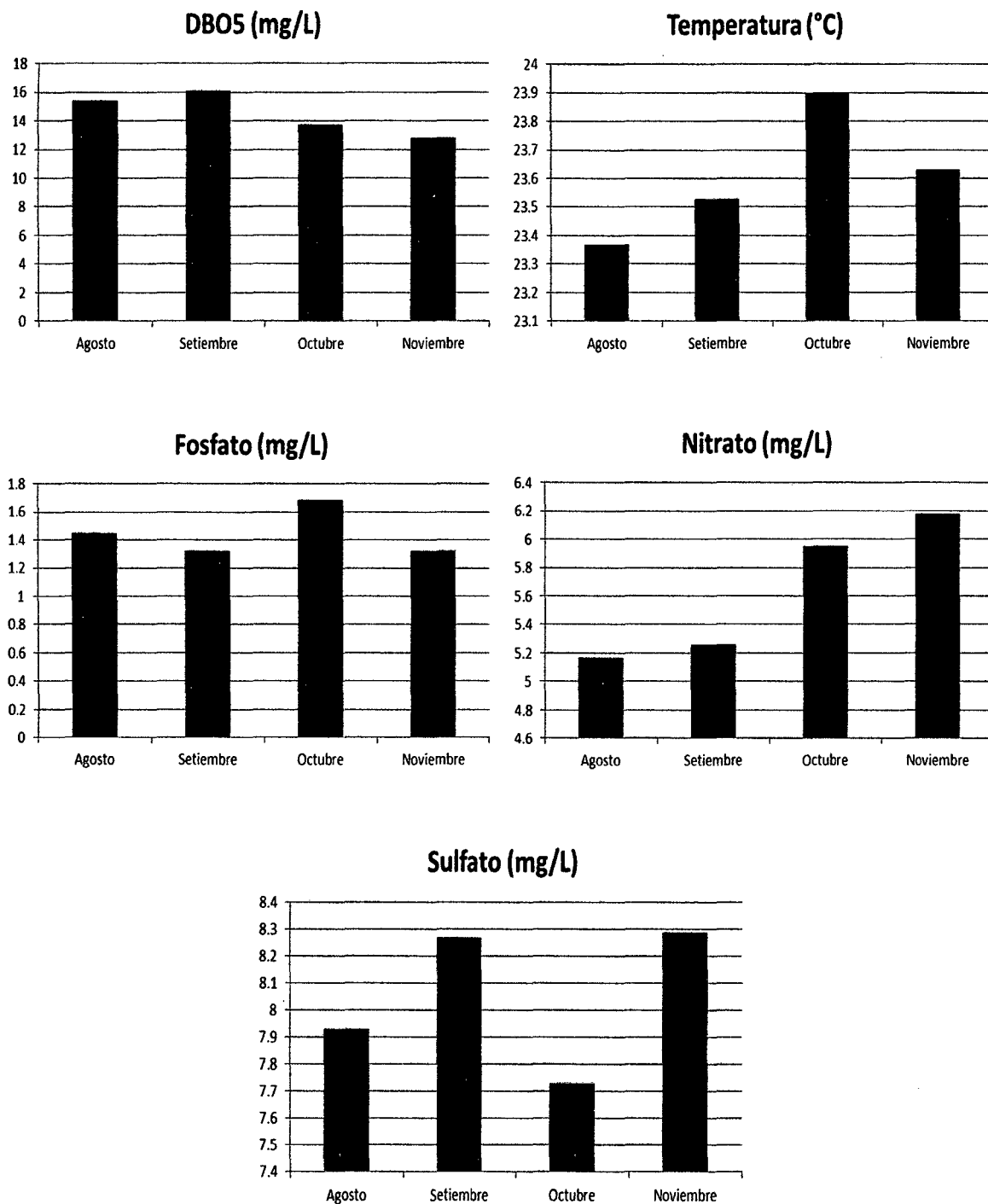


Figura 5. Comportamiento de los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua, en cuatro periodos (meses) de evaluación (segundo grupo).

Asimismo, se evaluaron los 10 parámetros fisicoquímicos bajo la premisa de cuáles de ellos influyen más sobre la variabilidad de acuerdo a las profundidades y a los meses de evaluación, es decir, con el propósito de reducir sobre qué parámetros recae mucho mejor la caracterización de las profundidades y los meses de evaluación, para lo cual se realizó un análisis multivariado utilizando el análisis de componentes principales. Se hizo entonces, la estandarización de los valores de los 10 parámetros y se graficó el biplot de distribución. Respecto a las profundidades evaluadas, se observa que el primer componente separa los parámetros DQO, DBO₅, temperatura, pH y OD del resto de parámetros, representando el 98.8% de la variabilidad total de las observaciones, por lo que resulta suficiente explicar el comportamiento de los parámetros fisicoquímico solo con estos cinco parámetros (Figura 6).

Por otra parte, la profundidad 1 (0.20 m) está más asociado al parámetro DBO₅, la tercera profundidad (1.20 m) está al nitrato, mientras que la segunda profundidad no está asociado o influenciado por ninguna de los parámetros en estudio, pudiendo decirse que los valores de los parámetros no están influenciadas a 0.70 m de profundidad.

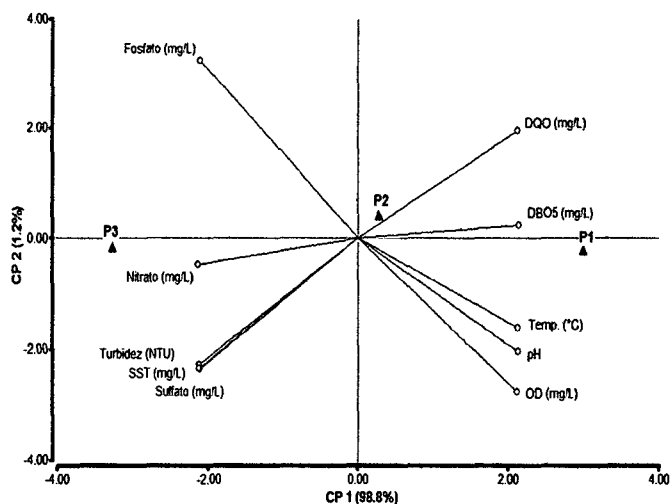


Figura 6. Biplot de los parámetros en estudio, sobre las tres profundidades evaluadas.

Por otra parte, se presenta los autovectores generados para los parámetros fisicoquímicos, donde los mayores valores positivos son precisamente los cinco parámetros mencionados anteriormente (Cuadro 8).

Puede observarse que en el segundo componente se logra explicar el 100% de la variabilidad total, siendo los parámetros fosfato y DQO los que representan la mayor ponderación al segundo componente, resultando estos parámetros los que explican la totalidad de la variabilidad (Cuadro 8, Figura 6).

Cuadro 8. Autovectores con los ponderados a cada parámetro en estudio en dos componentes.

Parámetros	e1	e2
pH	0.32	-0.30
OD (mg/L)	0.31	-0.41
DQO (mg/L)	0.32	0.29
DBO5 (mg/L)	0.32	0.04
Temperatura (°C)	0.32	-0.24
Fosfato (mg/L)	-0.31	0.48
Nitrato (mg/L)	-0.32	-0.07
Sulfato (mg/L)	-0.32	-0.35
Turbidez (NTU)	-0.32	-0.34
SST (mg/L)	-0.32	-0.35

Al analizar los meses de evaluación con respecto a los parámetros fisicoquímicos, se tiene otros resultados. Se obtiene un nuevo biplot considerando los meses de evaluación con respecto a los 10 parámetros fisicoquímicos. Como puede observarse, el primer componente separa pH y DQO del resto de parámetros; por lo tanto, estos dos parámetros explican el 76.7% de la variabilidad total con respecto a los meses de muestreo (Figura 7).

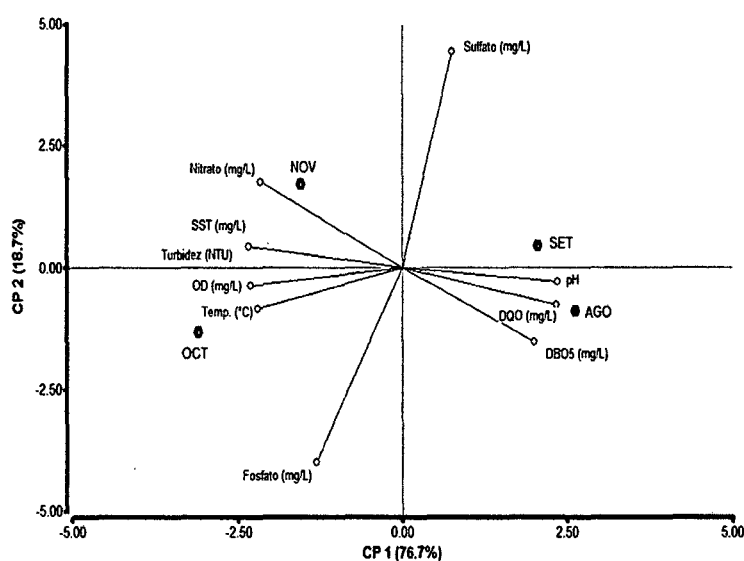


Figura 7. Biplot de los parámetros en estudio, sobre los cuatro meses de evaluación.

El primer y segundo componente permite explicar el 95.4% de la variabilidad y se reduce a interpretar esta variabilidad con el parámetro sulfato. Por otra parte, el parámetro DQO está más asociado al mes de agosto, el pH al mes de setiembre, la temperatura del agua al mes de octubre y el nitrato al mes de noviembre (Cuadro 9).

Cuadro 9. Autovectores con los ponderados a cada parámetro en estudio en dos componentes.

Parámetros	e1	e2
Turbidez (NTU)	-0.36	0.07
pH	0.36	-0.04
SST (mg/L)	-0.36	0.07
OD (mg/L)	-0.35	-0.06
DQO (mg/L)	0.36	-0.11
DBO5 (mg/L)	0.31	-0.23
Temperatura (°C)	-0.34	-0.13
Fosfato (mg/L)	-0.20	-0.61
Nitrato (mg/L)	-0.33	0.27
Sulfato (mg/L)	0.12	0.68

Para determinar la dependencia de las lecturas mensuales sobre los 10 parámetros fisicoquímicos, se realizó el Árbol de Recorrido Mínimo (ARM) sobre la Figura 6 (biplot de componentes principales por meses). Como puede observarse en base a las lecturas de los 10 parámetros, el mes de agosto está más relacionado con el mes de setiembre, seguido de noviembre y por último de octubre. Por otra parte, setiembre está más relacionado con agosto que con octubre, lo cual indica que los meses mucho más relacionados son agosto y setiembre, y los menos relacionados los meses de octubre y noviembre con respecto a los 10 parámetros fisicoquímicos estudiados (Figura 8).

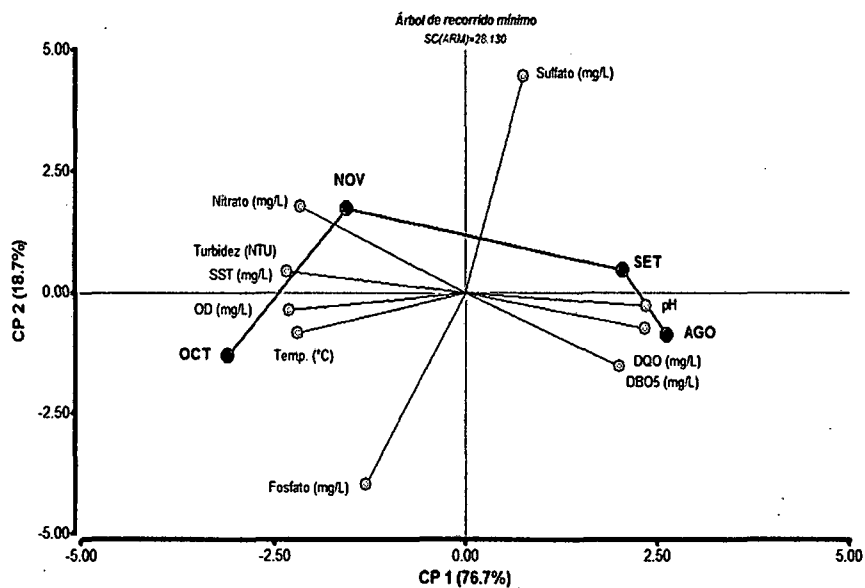


Figura 8. Árbol de Recorrido Mínimo (ARM) de los meses de evaluación sobre los 10 parámetros de estudio.

4.2. Parámetros microbiológicos de la laguna Los Milagros, a diferentes profundidades, durante los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre del año 2014

Los parámetros microbiológicos tienen origen en conteos de poblaciones, por lo tanto corresponden a variables discretas. A fin realizar el análisis de varianza se transformó los datos discretos a continuos utilizando la siguiente ecuación: $\sqrt{X} + 1$, y para la comparación de medias fueron re transformados a sus valores originales. Se observa que al analizar la profundidad, esta resulta altamente significativa ($p < 0.05$) para todos los parámetros en evaluación, es decir, existe evidencia estadística que la profundidad afecta a las poblaciones de microorganismos. Esto resulta para NMAV, coliformes totales, NML y *E. coli*. Por otra parte, los resultados muestran que el mes de evaluación no afecta estadísticamente ($p > 0.05$) a las poblaciones de microorganismos (Cuadro 10).

Los resultados también indican que el coeficiente de variabilidad va desde 5.16% hasta 16.63% de, valores que indican homogeneidad. Por otra parte, todos los parámetros evaluados presentan un R^2 aceptable (superior al 90%), el cual indica que los datos se ajustan al modelo propuesto.

Cuadro 10. Análisis de varianza de los parámetros microbiológicos.

Fuentes de variación	GL	NMAV (NMP/100ml)		Coliformes totales (NMP/100ml)		NML (Ufc)		<i>E. coli</i> (NMP/100ml)	
		CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor
Profundidad	2	4,976.3	<0.0001 **	29.24	0.0006 **	3.49	0.0001 **	23.3	0.0013 **
Mes	3	63.7	0.06 ns	0.71	0.5456 ns	0.09	0.309 ns	0.78	0.5286 ns
Error	6	14.69		0.9		0.06		0.95	
Total	11								
CV		5.67%		12.42%		5.16%		16.63%	
R^2		0.99		0.92		0.95		0.90	

(ns) no significativo: (**) Altamente significativo.

En la prueba de medias se observa con respecto a la profundidad, que los parámetros NMAV, coliformes totales, NML y *E. coli* presentan comportamiento inversamente proporcional al incremento de la profundidad, es decir, que las muestras tomadas desde 0.20 m hasta 1.20 m presentan valores decrecientes.

En el parámetro NMAV, se observa que las tres profundidades son estadísticamente diferentes en cuanto a los valores que adquiere, es así que a 0.20 m de profundidad se tiene 10,989 NMP/100 ml, valor que disminuye hasta llegar a 1,245 NMP/100 ml a 1.20 m de profundidad. En cuanto a los coliformes totales, disminuye desde 90 NMP/100 ml (0.20 m de profundidad) hasta 17 NMP/100 ml a 1.20 m de profundidad.

El parámetro NML disminuye desde 22 hasta 8 Ufc (para 0.20 y 1.20 m de profundidad, respectivamente), lo cual representa que a mayor profundidad se tienen menores unidades formadoras de colonias. Similar comportamiento tiene el parámetro *E. coli* que disminuye de 55 a 7 NMP/100 ml, desde 0.20 hasta 1.20 m de profundidad, respectivamente (Cuadro 11).

Cuadro 11. Promedios de los parámetros microbiológicos, de acuerdo a la profundidad y mes de evaluación. (Media \pm EE).

PARÁMETRO	Prof. (m)	Unidad del parámetro	MES	Unidad del parámetro		
NMAV (NMP/100 ml)	0.20 m.	10,989 \pm 0.90	a	Agosto	4,568 \pm 376.0	a
	0.70 m.	3,571 \pm 10.56	b	Setiembre	4,359 \pm 396.8	a
	1.20 m.	1,245 \pm 0.04	c	Octubre	5,188 \pm 382.2	a
				Noviembre	3,705 \pm 358.7	a
p-valor: <0.0001			p-valor: 0.06			
Coliformes totales (NMP/100 ml)	0.20 m.	90 \pm 0.64	a	Agosto	41 \pm 0.2	a
	0.70 m.	41 \pm 0.08	b	Setiembre	37 \pm 0.7	a
	1.20 m.	17 \pm 0.49	c	Octubre	51 \pm 0.1	a
				Noviembre	49 \pm 0.8	a
p-valor : 0.0006			p-valor: 0.5456			
NML (Ufc)	0.20 m.	22 \pm 0.77	a	Agosto	15 \pm 0.2	a
	0.70 m.	14 \pm 0.76	b	Setiembre	14 \pm 0.4	a
	1.20 m.	8 \pm 0.72	c	Octubre	15 \pm 0.2	a
				Noviembre	13 \pm 0.2	a
p-valor: 0.0001			p-valor: 0.309			
<i>E. coli</i> (NMP/100 ml)	0.20 m.	55 \pm 0.74	a	Agosto	24 \pm 0.1	a
	0.70 m.	21 \pm 0.05	b	Setiembre	18 \pm 0.6	a
	1.20 m.	7 \pm 0.56	c	Octubre	22 \pm 0.2	a
				Noviembre	30 \pm 0.3	a
p-valor: 0.0013			p-valor: 0.5286			

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Fisher ($p < 0.05$).

Gráficamente se muestra el comportamiento inversamente proporcional al incremento de la profundidad (Figura 9).

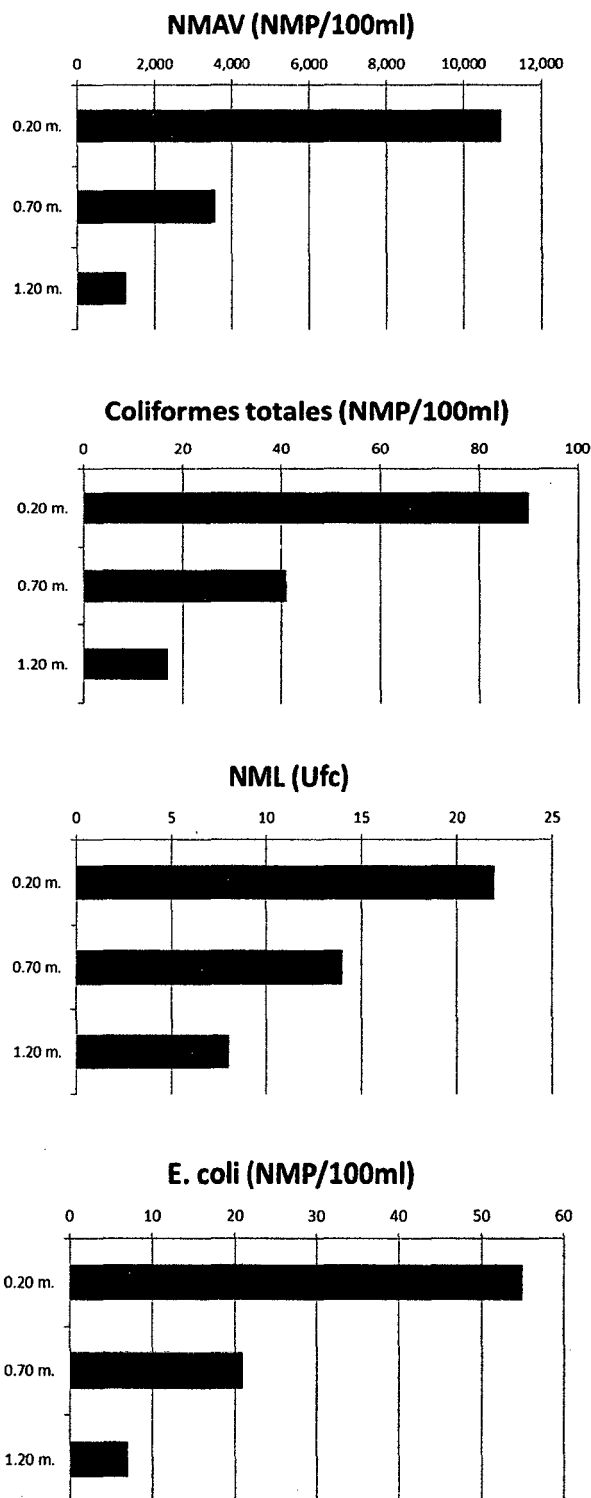


Figura 9. Comportamiento de los valores de los parámetros microbiológicos del agua a tres profundidades de evaluación.

Con respecto a los meses de evaluación, se comprueba que la toma de muestras en agosto, setiembre, octubre y noviembre no resulta estadísticamente significativa en cuanto a los parámetros evaluados, lo cual indica que estos no se alteran estadísticamente en los meses de evaluación.

El comportamiento antes descrito, se ilustra en la Figura 10.

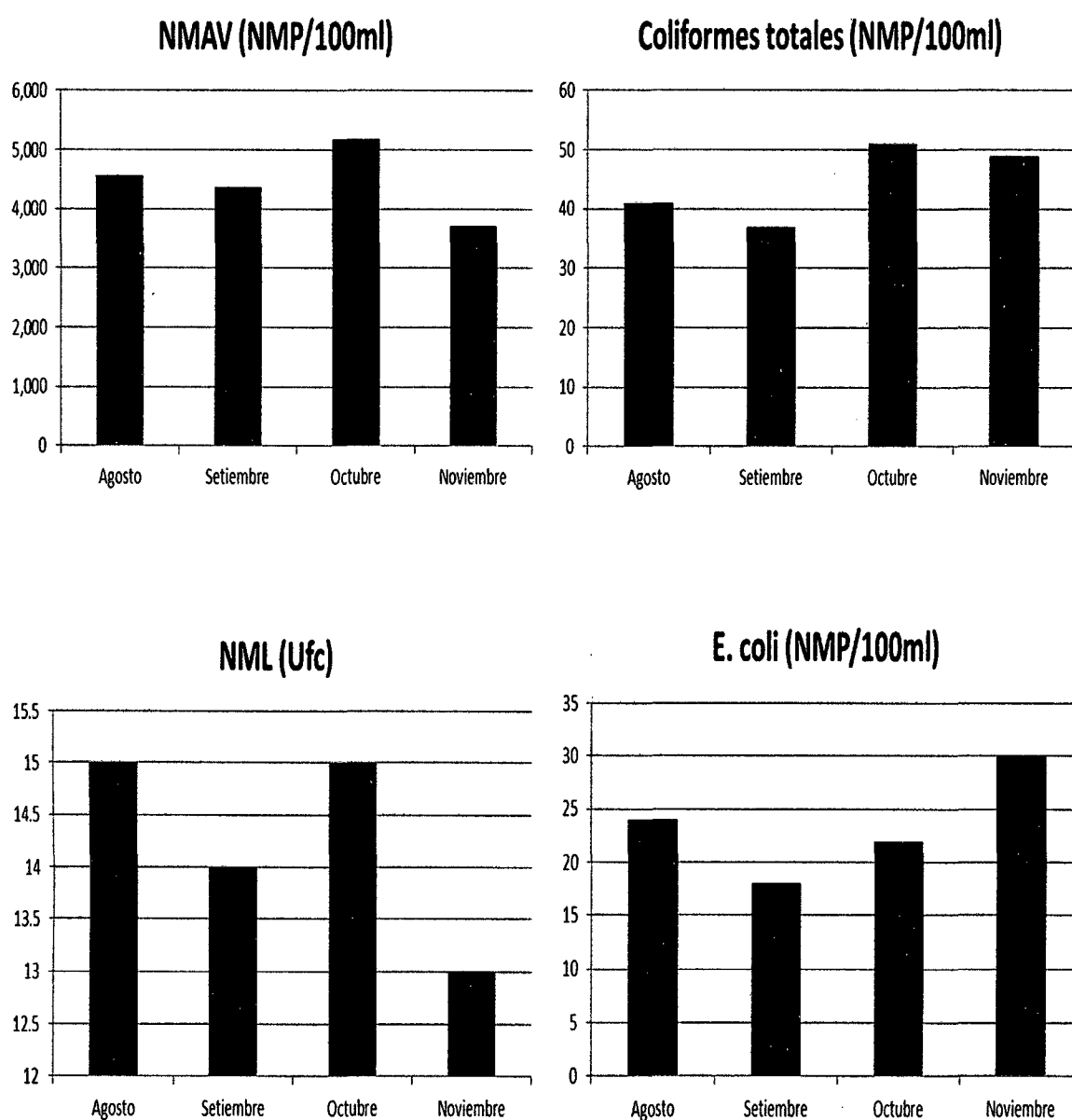


Figura 10. Comportamiento de los valores de los parámetros microbiológicos del agua en cuatro meses de evaluación.

El análisis de componentes principales muestra que el primer componente involucra a los cuatro parámetros en estudio, los cuales explican un 99.20% de la variabilidad total. Este resultado no reduce la dimensionalidad de los parámetros, por ello con el segundo componente acumulan el 100%, lo cual expresa la importancia del parámetro NML, que destaca del resto de parámetros.

Asimismo, se observa que la profundidad 0.20 m está más relacionada con los parámetros coliformes totales y *E. coli*, que de los parámetros NML y NMAV. Asimismo, indica que la profundidad 0.70 m (P2) no está tan relacionada con los parámetros evaluados, mientras que la profundidad a 1.20 m (P3) tiene una relación inversa o contraria a la existente con la primera profundidad (Figura 11).

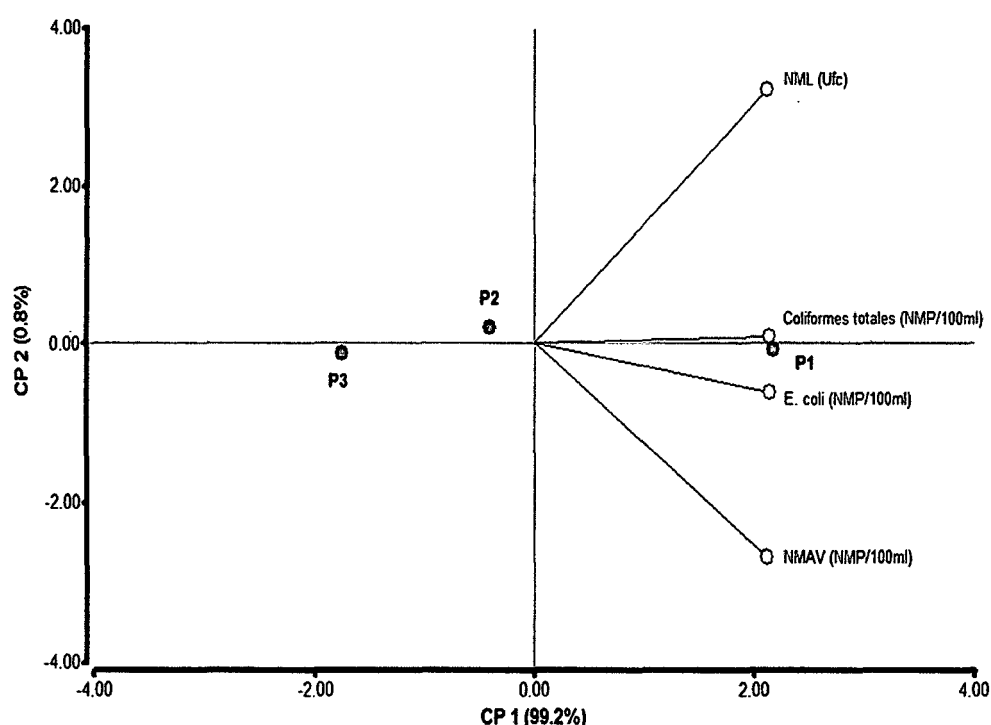


Figura 11. Biplot de los parámetros microbiológicos, sobre las tres profundidades evaluadas.

Se muestra los valores ponderados en los autovectores de los dos componentes, con los cuales se resaltan los mayores valores positivos (Cuadro 12).

Cuadro 12. Autovectores de los parámetros microbiológicos en los dos componentes principales.

Parámetros	e1	e2
NMAV (NMP/100ml)	0.50	-0.63
Coliformes totales (NMP/100ml)	0.50	0.02
NML (Ufc)	0.50	0.76
E. coli (NMP/100ml)	0.50	-0.15

En el análisis de los meses de evaluación, se observa en el biplot de los componentes principales que el primer componente separa los parámetros *E. coli* y coliformes totales, del resto de los parámetros, lo cual permite explicar el 68.2% de la variabilidad total. Por otra parte, el segundo componente destaca con mayor ponderado al parámetro coliformes totales, explicando así la mayor variabilidad sobre el resto de los parámetros evaluados en cuatro meses.

Asimismo, el mes de noviembre está más relacionado con *E. coli*, mientras que octubre se relaciona más con los parámetros NML y NMAV, en tanto los meses de agosto y setiembre no son representados por ninguno de los parámetros (Figura 12, Cuadro 13).

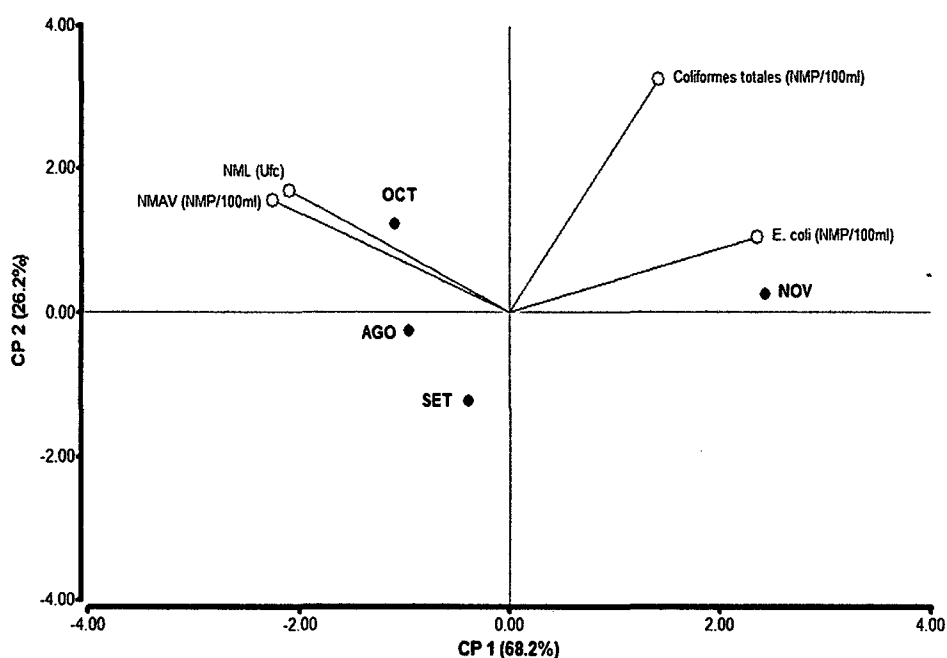


Figura 12. Biplot de los parámetros microbiológicos, sobre los meses de evaluación.

Cuadro 13. Autovectores de los parámetros microbiológicos en los dos componentes principales.

Parámetros	e1	e2
NMAV (NMP/100ml)	-0.55	0.38
Coliformes totales (NMP/100ml)	0.34	0.79
NML (Ufc)	-0.51	0.41
E. coli (NMP/100ml)	0.57	0.25

4.3. Calidad del recurso hídrico a diferentes profundidades de la laguna Los Milagros, durante los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre del año 2014

4.3.1. Índice de calidad del agua de la laguna Los Milagros

El índice de calidad del agua de la laguna Los Milagros a 0.20 m de profundidad nos permite cuantificar el grado de contaminación de las aguas

respecto a su condición general y no a contaminantes específicos, con un ICA(a) de 69.61 y un ICA(m) de 63.57; contribuyendo en especial el parámetro oxígeno disuelto (7.155 mg/L con 0.730 de subíndice con un peso asignado de 0.17), lo cual expresa la buena oxigenación a esta profundidad; mientras que los parámetros SST con un subíndice de 0.870 y turbidez con 0.5470 de subíndice, están presentes en cantidades poco favorables para el uso recreacional (Cuadro 14).

Cuadro 14. Índice de calidad del agua de la laguna Los Milagros, a 0.20 m de profundidad.

Parámetros	Variación estadística	Profundidad (0.2m)	Subíndice (Sub _i)	Pesos (W _i)	ICA _(a)	ICA _(m)
Turbidez (NTU)	X	29.799	54	0.08	4.32	1.38
	S	0.987				
	CV(%)	3.313				
pH	X	7.178	91	0.12	10.92	1.72
	S	0.129				
	CV(%)	1.796				
SST (mg/L)	X	66.415	87	0.08	6.96	1.43
	S	9.872				
	CV(%)	14.864				
OD (mg/L)	X	7.155	73	0.17	12.41	2.07
	S	0.333				
	CV(%)	4.66				
DBO5 (mg/L)	X	16.559	18	0.10	1.8	1.34
	S	1.215				
	CV(%)	7.339				
Cambio de temperatura (°C)	X	0.6	87	0.10	8.7	1.56
	S	0.51				
	CV(%)	84.984				
Fosfato (mg/L)	X	0.095	92	0.10	9.2	1.57
	S	0.004				
	CV(%)	4.476				
Nitrato (mg/L)	X	3.275	84	0.10	8.4	1.56
	S	1.078				
	CV(%)	32.922				
Coliformes totales (NMP/100ml)	X	90	46	0.15	6.9	1.78
	S	7.659				
	CV(%)	8.51				
Total			632	1.00	69.61	63.58

Así también, se muestra el índice de calidad del agua de la laguna Los Milagros a 0.70 m de profundidad, obteniéndose un ICA(a) de 60.41 y un ICA(m) de 55.42 para la referida laguna cuyo uso es recreacional (Cuadro 15).

Cuadro 15. Índice de calidad del agua de la laguna Los Milagros, a 0.70 m de profundidad.

Parámetros	Variación estadística	Profundidad (0.7m)	Subíndice (Sub _i)	Pesos (W _i)	ICA _(a)	ICA _(m)
Turbidez (NTU)	X	37.615	47	0.08	3.76	1.36
	S	0.907				
	CV(%)	2.412				
pH	X	7.048	90	0.12	10.80	1.72
	S	0.183				
	CV(%)	2.599				
SST (mg/L)	X	94.578	83	0.08	6.64	1.42
	S	9.074				
	CV(%)	9.594				
OD (mg/L)	X	5.884	53	0.17	9.01	1.96
	S	0.394				
	CV(%)	6.704				
DBO5 (mg/L)	X	14.755	21	0.10	2.10	1.36
	S	1.705				
	CV(%)	11.555				
Cambio de temperatura (°C)	X	0.2	90	0.10	9.00	1.57
	S	0.171				
	CV(%)	75.903				
Fosfato (mg/L)	X	1.58	34	0.10	3.40	1.42
	S	0.181				
	CV(%)	11.431				
Nitrato (mg/L)	X	5.352	76	0.10	7.60	1.54
	S	0.465				
	CV(%)	8.689				
Coliformes totales (NMP/100ml)	X	42.5	54	0.15	8.10	1.82
	S	17.078				
	CV(%)	40.184				
Total			548	1.00	60.41	55.42

Asimismo, a una profundidad de 1.20 m se calculó un ICA(a) de 56.28 y un ICA(m) de 51.42, resultado de las 9 mediciones de los parámetros analizados en la laguna Los Milagros (Cuadro 16).

Cuadro 16. Índice de calidad del agua de la laguna Los Milagros, a 1.20 m de profundidad.

Parámetros	Variación estadística	Profundidad (1.2m)	Subíndice (Sub _i)	Pesos (W _i)	ICA _(a)	ICA _(m)
Turbidez (NTU)	X	53.41	38	0.08	3.04	1.34
	S	2.806				
	CV(%)	5.254				
pH	X	6.93	88	0.12	10.56	1.71
	S	0.316				
	CV(%)	4.559				
SST (mg/L)	X	152.532	78	0.08	6.24	1.42
	S	28.063				
	CV(%)	18.398				
OD (mg/L)	X	4.877	42	0.17	7.14	1.89
	S	0.123				
	CV(%)	2.531				
DBO5 (mg/L)	X	12.301	31	0.10	3.1	1.41
	S	1.901				
	CV(%)	15.45				
Cambio de temperatura (°C)	X	0.1	91	0.10	9.1	1.57
	S	0.061				
	CV(%)	46.268				
Fosfato (mg/L)	X	2.658	23	0.10	2.3	1.37
	S	0.507				
	CV(%)	19.087				
Nitrato (mg/L)	X	8.3	55	0.10	5.5	1.49
	S	0.85				
	CV(%)	10.235				
Coliformes totales (NMP/100ml)	X	17	62	0.15	9.3	1.86
	S	5.033				
	CV(%)	29.607				
Total			508	1.00	56.28	51.42

Finalmente, se puede observar que el ICA(a) aritmético es mayor que el ICA(m) multiplicativo, siendo en ambos casos mayor conforme disminuye la profundidad, obteniéndose para 0.20 m de profundidad, valores de 69.61 y 63.58, respectivamente; a 0.70 m, valores de 60.41 y 55.42, respectivamente; y a profundidad de 1.20 m, presenta índices de 56.28 y 51.42, respectivamente; los mismos que consideran el análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de la laguna Los Milagros (Figura 13).

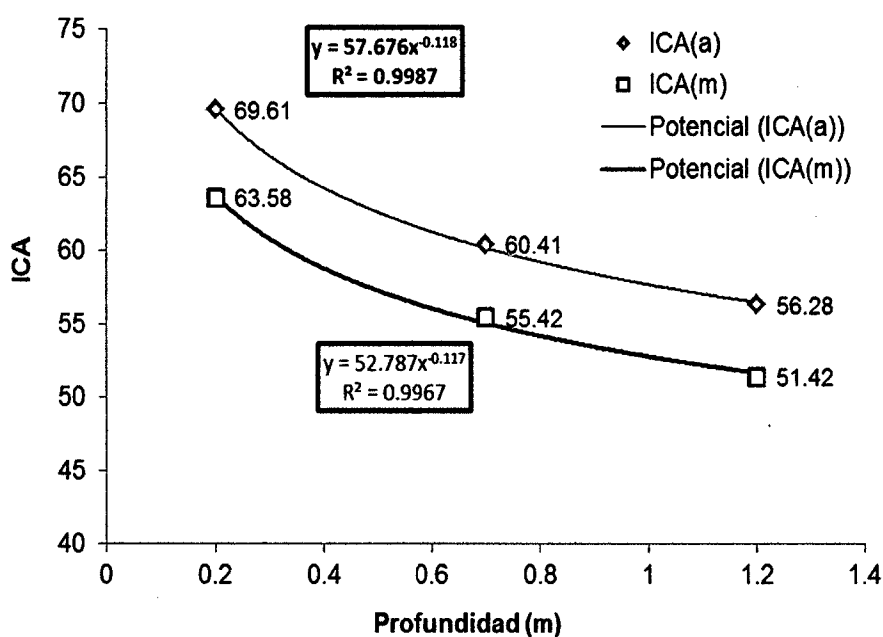


Figura 13. Índice de calidad del agua de la laguna Los Milagros, a diferentes profundidades.

4.4. Correlación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, con las diferentes profundidades de la laguna Los Milagros

Se muestra el análisis de correlación entre todos los parámetros fisicoquímicos (10) y microbiológicos (4) que resultaron significativos ($p < 0.005$), es decir, que presentan significativamente una correlación entre par de parámetros sea una correlación positiva o negativa por cada nivel de profundidad. Para 0.20 m de profundidad, se detectó ocho dependencias significativas; estas relaciones según el coeficiente de Pearson muestran correlación positiva o negativa; por ejemplo, se puede observar que pH con turbidez presenta un coeficiente negativo (- 0.97), es decir, a medida que se incrementa la turbidez disminuye el pH del agua; por contrario, para el caso de SST con turbidez presenta un coeficiente positivo (1.00), es decir, a medida que aumenta la turbidez, también se incrementa el valor de los sólidos totales en suspensión (SST). Este último comportamiento positivo lo presentan además los pares DQO con pH, y nitrato con temperatura. El parámetro microbiológico NML presenta correlación negativa con el contenido de fosfato.

Para la profundidad 0.70 m, se identifican 12 dependencias de pares, resultando cinco de ellas con coeficientes positivos (SST con turbidez, OD con turbidez, OD con SST, DQO con pH y fosfato con OD), y el resto negativos; mientras que a 1.20 m de profundidad se detectan 13 correlaciones de pares, siendo de ellas seis correlaciones positivas (SST con turbidez, DBO₅ con DQO, nitrato con turbidez, nitrato con SST, sulfato con pH y coliformes totales con temperatura). En el caso del contenido de coliformes totales, este parámetro presenta dependencia negativa con DBO₅ a 0.70 m de profundidad, mientras que a 1.20 m de profundidad presenta una dependencia positiva con la temperatura (Cuadro 17).

Cuadro 17. Análisis de correlación entre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos por profundidad.

Profundidad	Parámetro 1	Parámetro 2	Coefficiente de Pearson	p-valor
0.20 m	pH	Turbidez (NTU)	-0.97	0.0299
	SST (mg/L)	Turbidez (NTU)	1.00	<0.0001
	SST (mg/L)	pH	-0.97	0.0298
	DQO (mg/L)	Turbidez (NTU)	-1.00	0.0017
	DQO (mg/L)	pH	0.96	0.0443
	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	-1.00	0.0017
	Nitrato (mg/L)	Temperatura (°C)	1.00	0.0023
	NML (Ufc)	Fosfato (mg/L)	-1.00	<0.0001
0.70 m	pH	Turbidez (NTU)	-0.96	0.039
	SST (mg/L)	Turbidez (NTU)	1.00	<0.0001
	SST (mg/L)	pH	-0.96	0.039
	OD (mg/L)	Turbidez (NTU)	0.98	0.025
	OD (mg/L)	pH	-0.97	0.033
	OD (mg/L)	SST (mg/L)	0.98	0.025
	DQO (mg/L)	Turbidez (NTU)	-0.99	0.011
	DQO (mg/L)	pH	0.95	0.045
	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	-0.99	0.011
	DQO (mg/L)	OD (mg/L)	-0.99	0.006
	Fosfato (mg/L)	OD (mg/L)	0.97	0.035
	Coliformes totales (NMP/100ml)	DBO ₅ (mg/L)	-1.00	0.003
	1.20 m	pH	Turbidez (NTU)	-0.99
SST (mg/L)		Turbidez (NTU)	1.00	<0.0001
SST (mg/L)		pH	-0.99	0.0138
DQO (mg/L)		Turbidez (NTU)	-0.97	0.0264
DQO (mg/L)		SST (mg/L)	-0.97	0.0264
DBO ₅ (mg/L)		DQO (mg/L)	0.98	0.0203
Nitrato (mg/L)		Turbidez (NTU)	0.95	0.0453
Nitrato (mg/L)		SST (mg/L)	0.95	0.0452
Nitrato (mg/L)		DQO (mg/L)	-0.98	0.0188
Nitrato (mg/L)		DBO ₅ (mg/L)	-0.98	0.0171
Sulfato (mg/L)		pH	0.98	0.0241
Sulfato (mg/L)		OD (mg/L)	-0.96	0.0369
Coliformes totales (NMP/100ml)		Temperatura (°C)	0.96	0.0351

Se muestran las gráficas de las regresiones lineales entre las correlaciones que resultaron con mayor coeficiente de correlación (Pearson); asimismo, se adjunta su ecuación lineal que representa el ajuste. Es así que por ejemplo, a 1.20 m de profundidad se tiene la regresión de SST como variable dependiente y como regresora la turbidez, lo cual indica que por cada unidad de incremento de turbidez, se incrementa 10.01 unidades de SST (Figuras 14, 15, 16).

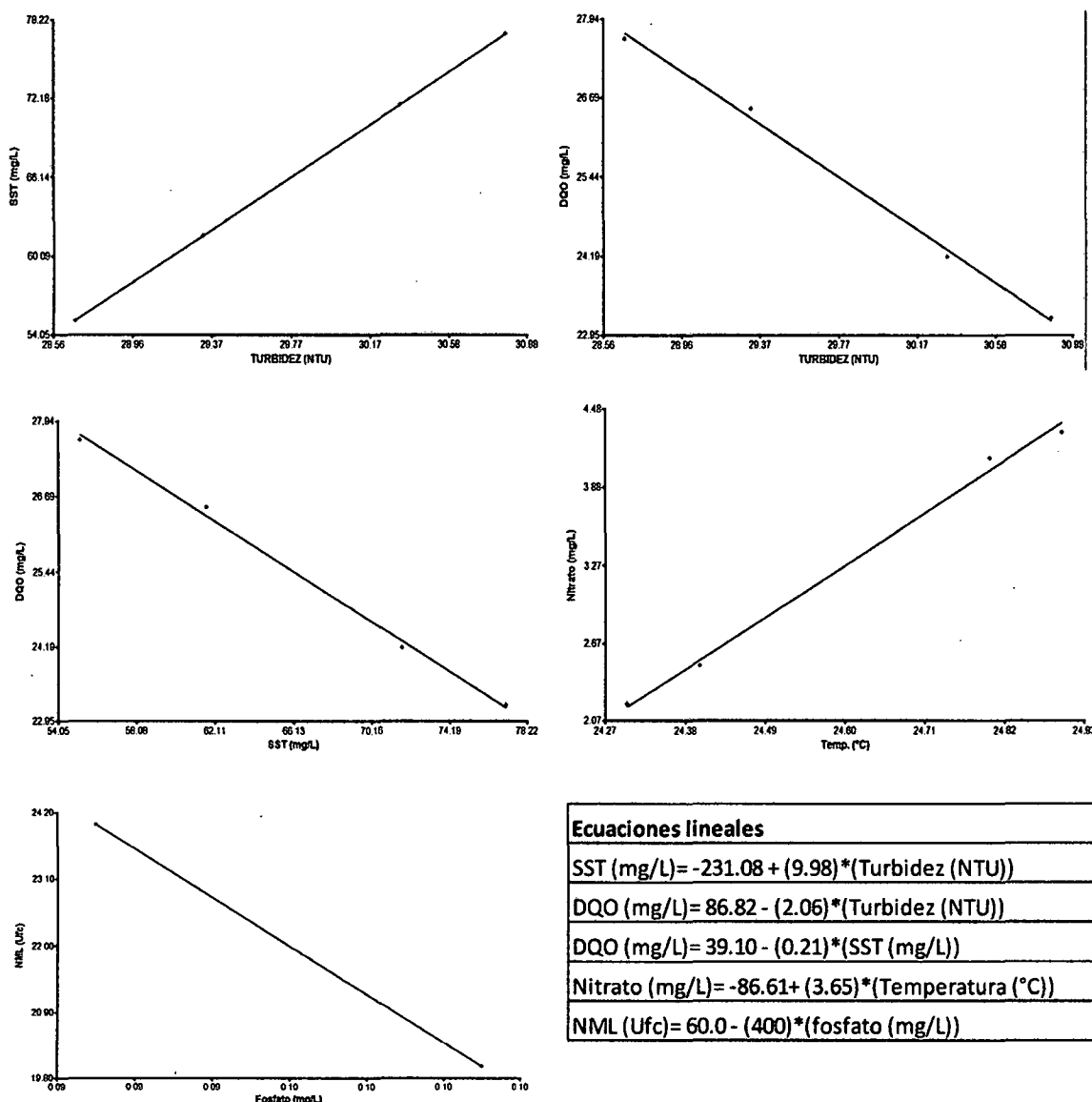
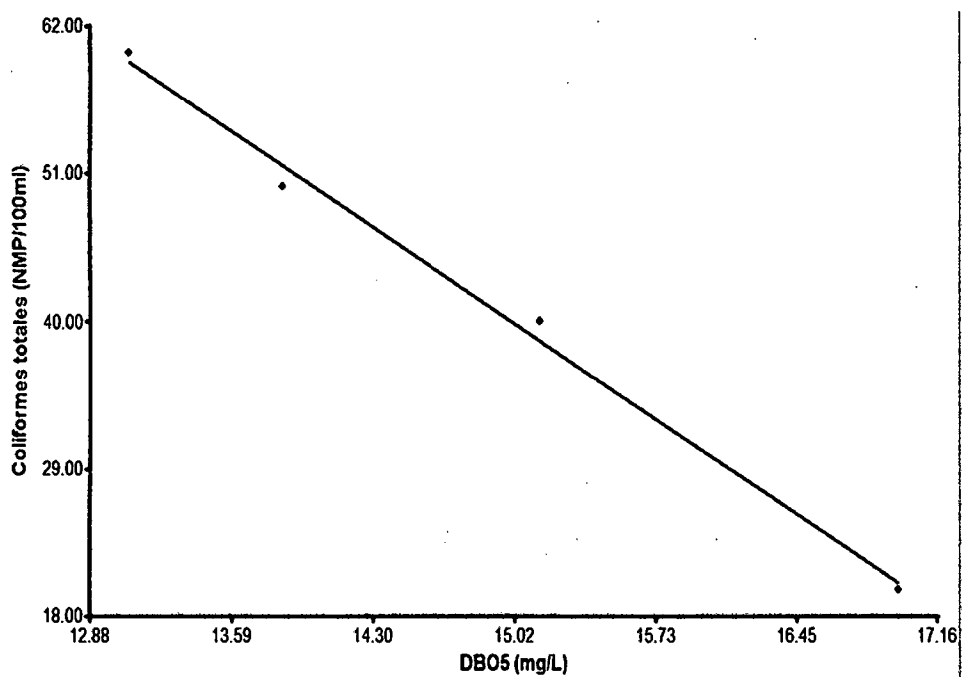
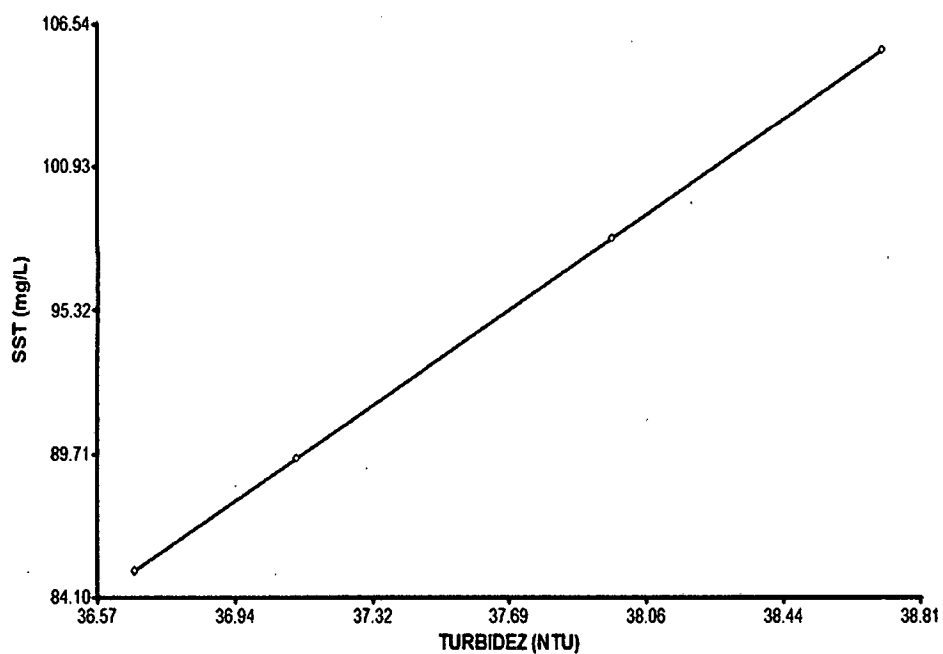


Figura 14. Regresión lineal de las relaciones con mayor coeficiente de regresión, analizada a 0.20 m de profundidad.

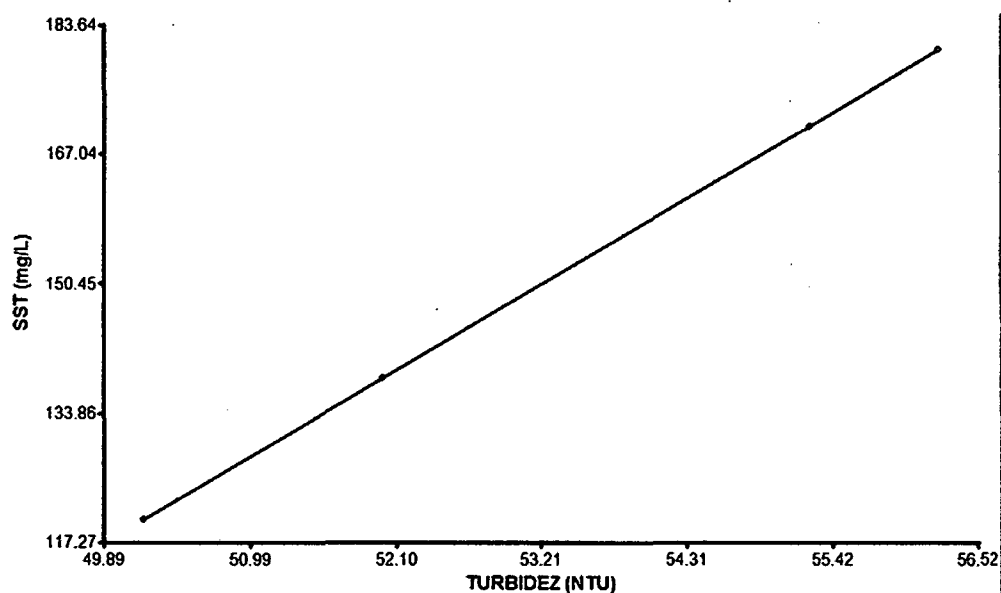


Ecuaciones lineales

$SST \text{ (mg/L)} = -281.34 + (9.99) * (\text{Turbidez (NTU)})$

$\text{Coliformes totales (NMP/100ml)} = 189.92 - (9.99) * (\text{DBO5 (mg/L)})$
--

Figura 15. Regresión lineal de las relaciones con mayor coeficiente de regresión, analizada a 0.70 m de profundidad.

**Ecuaciones lineales**

$$SST (mg/L) = -381.87 + (10.01) * (Turbidez (NTU))$$

Figura 16. Regresión lineal de las relaciones con mayor coeficiente de regresión, analizada a 1.20 m de profundidad.

V. DISCUSIÓN

5.1. Parámetros fisicoquímicos de la laguna Los Milagros, a diferentes profundidades, durante los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre del año 2014

Se obtuvo que la turbidez es directamente proporcional a la profundidad, al igual que los parámetros SST, fosfato, nitrato y sulfato; es decir, incrementan su concentración, según se incremente la profundidad. En lo que a pH respecta, el estudio presenta valores inversamente proporcionales a la profundidad (desde 7.18, hasta 6.93); al respecto, de acuerdo a los estándares nacionales de calidad ambiental para agua del D.S. N° 002-2008-MINAM, las aguas superficiales destinadas a recreación son aptas para esta actividad con contacto directo, cuando presentan un pH de 6 a 9; asimismo CEPIS (1996) exige un rango de 6.5 a 8.3, valores que concuerdan con el estudio, cuyo uso principal es con fines recreacionales; APHA (1992) por su parte, añade que las aguas naturales usualmente tienen un pH entre 6.5 y 8.5. Su valor define en parte la capacidad de autodepuración de una corriente y, por ende, su contenido de materia orgánica (DQO, DBO), además de la presencia de otros contaminantes, como metales pesados.

La relación directamente proporcional del parámetro SST con la profundidad en el estudio, indica que a una mayor profundidad de la laguna Los Milagros existe mayor presencia de sólidos suspendidos, lo cual genera riesgos

en la salud pública. Sobre el tema, de acuerdo a los estándares nacionales de calidad ambiental para agua del D.S. N° 002-2008-MINAM, este parámetro para esta categoría no es relevante sea para uso con contacto directo e indirecto.

Asimismo, se muestra que a mayor profundidad la concentración de oxígeno disuelto es menor. Al respecto, los estándares nacionales de calidad ambiental para agua del D.S. N° 002-2008-MINAM manifiestan que las aguas superficiales destinadas a recreación son aptas para esta actividad cuando presentan valores mayores o iguales a 5 mg/L, por lo que puede decirse que en el estudio se recomienda hacer uso hasta una profundidad de 0.7 m, donde puede haber con contacto directo; CEPIS(1996) por su parte, exige concentraciones mayores a 5 mg/L. Los resultados del referido parámetro indican además, una concentración acorde a la exigida por la normatividad, tanto en época de estiaje y en época de avenida, evidenciando así que el agua de la laguna Los Milagros presenta un nivel de calidad aceptable, corroborado por CIESE (2008), deduciéndose la existencia de especies piscícolas. Sin embargo, para la OMS (1993), estas aguas no estarían debidamente oxigenadas en la época de estiaje al no superar el 90 % que plantea, es por ello que en época seca, según METCALF y EDDY (1998), se perciben olores desagradables en el entorno a la laguna. Según MARSILLI (2005), estas aguas no pueden ser consideradas como potables al superar la exigencia de 8 mg/L. Como se indicó anteriormente, el OD va a estar en función de las concentraciones de la DBO₅ y de la DQO, de tal manera que a mayor concentración de estos componentes (DBO₅ y DQO), entonces disminuyen las concentraciones de OD, lo cual se debe a que al haber mayor presencia de

microorganismos aerobios viables, estos utilizan en mayor cantidad el oxígeno para su respiración y metabolismo (METCALF y EDDY, 1998).

Se observa también que a mayor profundidad, existe menor demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), información necesaria para conocer el consumo del oxígeno del agua por los organismos biológicos de la laguna, y según MARSILLI (2003), su análisis es muy importante cuando se trata de esta categoría. Sobre el tema, los estándares nacionales de calidad ambiental para agua del D.S. N° 002-2008-MINAM, indican que las aguas superficiales destinadas a recreación no son aptas para esta actividad con contacto directo, exigiendo la normativa concentraciones menores a a 5 mg/L para uso recreacional, en las diferentes profundidades.

Mientras que para la demanda química de oxígeno (DQO) los valores obtenidos son aceptables estando por debajo de los 30 mg/L que exige la normativa. Asimismo, según CISTERNA y PEÑA (2004), el promedio de este indicador corresponde a la cantidad de oxígeno requerido por los organismos para oxidar completamente por medios químicos los compuestos orgánicos del sistema a CO_2 y H_2O , observándose que la DQO es mayor que la DBO_5 , lo cual es corroborando por METCALF y EDDY (1998), quienes indican que ello se debe al mayor número de compuestos en el sistema, cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica; la importancia radica entonces en que mediante esta prueba los resultados se obtienen en horas y se puede aplicar en el control de los procesos de tratamientos de aguas residuales, en comparación con la DBO_5 donde los resultados se obtienen al quinto día.

Respecto al fosfato, su concentración en el estudio se incrementa conforme aumenta la profundidad; al respecto, según los estándares nacionales de calidad ambiental para agua del D.S. N° 002-2008-MINAM, este parametro no es relevante para esta categoría de recreación, siendo más bien el fósforo uno de los principales nutrientes para la vida acuática.

Por otra parte, el sulfato no es relevante para esta categoría de uso del agua. Sin embargo, la concentración de sulfato en el estudio, es directamente proporcional a la profundidad; comportamiento similar experimenta el nitrato que incrementa su concentración a mayor profundidad. De acuerdo a los estándares nacionales de calidad ambiental para agua del D.S. N° 002-2008-MINAM, las aguas superficiales destinadas a recreación son aptas para esta actividad con contacto directo, exigiendo la normativa menor a 10 mg/L en las diferentes profundidades muestreadas para el uso recreacional, lo cual corrobora los resultados obtenidos.

5.2. Parámetros microbiológicos de la laguna Los Milagros, a diferentes profundidades, durante los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre del año 2014

En cuanto al parámetro *E. coli*, se observa una relación inversamente proporcional con la profundidad; al respecto, los estándares nacionales de calidad ambiental para agua del D.S. N° 002-2008-MINAM, manifiestan que las aguas superficiales destinadas a recreación no son aptas para esta actividad, exigiendo la normativa "ausencia"; mientras que para el CEPIS (2001) la concentración debe ser inferior a 200 NMP/100 ml, por lo que se puede aseverar que el presente estudio satisface las exigencias en las diferentes profundidades muestreadas.

Se observa asimismo, que en el estudio los números mas probables (NMP) de coliformes totales es inversamente proporcional a la profundidad; sobre el tema, los estándares nacionales de calidad ambiental para agua del D.S. N° 002-2008-MINAM, indican que las aguas superficiales destinadas a recreacion son aptas para esta actividad con contacto directo, exigiendo la normativa concentraciones inferiores a 1,000 NMP/100 ml; por su parte, CEPIS(2001) exige valores inferiores a 5,000 NMP/100 ml, por lo que se deduce que las aguas de la laguna Los Milagros cumplen con las exigencias para uso recreacional, en las diferentes profundidades muestreadas.

5.3. Calidad del recurso hídrico a diferentes profundidades de la laguna Los Milagros, durante los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre del año 2014

Se observa al respecto, que el ICA(a) aritmético es menor que el ICA(m) multiplicativo, siendo en ambos casos mayor a menor profundidad, los cuales incluyen el análisis de parámetros microbiológicos y fisicoquímicos de la laguna Los Milagros. Según Landwehr y Denninger (1976), citados por SNET (2000), el cálculo de los "ICA" mediante técnicas multiplicativas es superior a las aritméticas, es decir, que son mucho más sensibles a la variación de los parámetros, reflejando con mayor precisión un cambio de calidad; por su parte, la Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF) indica que los índices de calidad de agua que se encuentran entre 51 – 70 pertenecen a la categoría "regular", lo cual corrobora que el agua de la laguna Los Milagros pertenece a esta categoría, mostrando que generalmente tiene menos diversidad de organismos acuáticos y que se ha aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas; por su parte, GUZMÁN y MERINO (1992) tipifican estos valores

según sus usos, siendo aceptables pero no recomendables, mientras que para pesca y vida acuática es muy dudoso, siendo aceptable para todo tipo de navegación. Además el índice de calidad del agua demuestra que está influenciado por la profundidad, es decir, a mayor profundidad, el índice de calidad es menor; al respecto, GUZMÁN y MERINO (1992) no recomiendan el contacto directo a menor profundidad.

5.4. Correlación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, con las diferentes profundidades de la laguna Los Milagros

El análisis de correlación entre todos los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos resultó significativo ($p < 0.005$), es decir, los parámetros presentan significativamente una correlación entre par de parámetros sea una correlación positiva o negativa por cada nivel de profundidad. Para 0.20 m de profundidad, se detectó ocho dependencias significativas; estas relaciones según el coeficiente de Pearson muestran correlación positiva o negativa; por ejemplo, se puede observar que pH con turbidez presenta un coeficiente negativo (- 0.97), es decir, a medida que se incrementa la turbidez disminuye el pH del agua; por contrario, para el caso de SST con turbidez presenta un coeficiente positivo (1.00), es decir, a medida que aumenta la turbidez, también se incrementa el valor de los sólidos totales en suspensión (SST). Este último comportamiento positivo lo presentan además los pares DQO con pH, y nitrato con temperatura. El parámetro microbiológico NML presenta correlación negativa con el contenido de fosfato.

Para la profundidad 0.70 m, se identifican 12 dependencias de pares, resultando cinco de ellas con coeficientes positivos (SST con turbidez, OD con

turbidez, OD con SST, DQO con pH y fosfato con OD), y el resto negativos; mientras que a 1.20 m de profundidad se detectan 13 correlaciones de pares, siendo de ellas seis correlaciones positivas (SST con turbidez, DBO₅ con DQO, nitrato con turbidez, nitrato con SST, sulfato con pH y coliformes totales con temperatura). En el caso del contenido de coliformes totales, este parámetro presenta dependencia negativa con DBO₅ a 0.70 m de profundidad, mientras que a 1.20 m de profundidad presenta una dependencia positiva con la temperatura.

VI. CONCLUSIONES

1. Los parámetros fisicoquímicos cuya concentración se incrementó entre 0.20 y 1.20 m de profundidad, fueron: turbidez (29.8 a 53.41 NTU, respectivamente), sólidos suspendidos totales (SST) (66.42 a 152.53 mg/L), fosfato (0.10 a 2.66 mg/L), nitrato (3.28 a 8.30 mg/L) y sulfato (1.63 a 16.15 mg/L). Por su parte, los que disminuyeron su concentración entre 0.20 y 1.20 m de profundidad, fueron: pH (7.18 a 6.93, respectivamente), oxígeno disuelto (OD) (7.16 a 4.88 mg/L), demanda química de oxígeno (DQO) (25.39 a 21.81 mg/L), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) (16.56 a 12.31 mg/L) y la temperatura (24.60 a 22.63 °C).
2. Respecto a los parámetros fisicoquímicos cuya concentración se incrementó entre los meses de agosto y noviembre, fueron: turbidez (38.51 a 41.18 NTU, respectivamente), sólidos suspendidos totales (SST) (86.86 a 113.56 mg/L) y oxígeno disuelto (OD) (5.79 a 6.13 mg/L). En tanto los parámetros cuya concentración disminuyó entre los meses de agosto y noviembre, fueron: pH (7.28 a 6.94, respectivamente), demanda química de oxígeno (DQO) (26.31 a 22.17 mg/L) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) (15.43 a 12.83 mg/L); finalmente, la temperatura, fosfato, nitrato y sulfato, resultaron estadísticamente similares en los cuatro meses de evaluación. Destaca en ambos casos el parámetro oxígeno disuelto, cuyas concentraciones se encuentran dentro de los límites establecidos por la normatividad peruana (D.S. N° 002-2008-MINAM) para uso recreacional, evidenciando una adecuada oxigenación del agua.

3. Los parámetros microbiológicos evaluados, en su totalidad disminuyeron entre 0.20 y 1.20 m de profundidad: microorganismos aerobios viables (NMAV) (10,989 a 1,245 NMP/100 ml, respectivamente), coliformes totales (90 a 17 NMP/100 ml), concentración de mohos y levaduras (NML) (22 a 8 Ufc) y *Escherichia coli* (de 55 a 7 NMP/100 ml). Este último parámetro muestra que el agua de la laguna Los Milagros no es apta para uso recreacional, toda vez que la normatividad peruana (D.S. N° 002-2008-MINAM) indica ausencia total del referido coliforme fecal.
4. Respecto a los meses de evaluación, se comprueba que la toma de muestras en agosto, setiembre, octubre y noviembre no resulta estadísticamente significativa en cuanto a los parámetros microbiológicos, lo cual indica que no se alteran estadísticamente en los meses de evaluación.
5. El índice de calidad del agua (ICA) de la laguna Los Milagros, a 0.20 m de profundidad presenta un ICA(a) de 69.61 y un ICA(m) de 63.58; a 0.70 m de profundidad muestra un ICA(a) de 60.41 y un ICA(m) de 55.42 y a profundidad de 1.20 m presenta un ICA(a) de 56.28 y un ICA(m) de 51.42; finalmente, se puede observar que el ICA(a) aritmético es mayor que el ICA(m) multiplicativo, siendo en ambos casos mayor a menor profundidad. En general, ambos índices a diferentes profundidades evidencian que el agua presenta calidad "regular" (51 a 70, según BROWN); por otra parte, según la clasificación dada por DINIUS (1987) para uso recreativo del agua, presenta calidad "aceptable (A)" (50 a 70), recomendando restringir los deportes de inmersión, como medida de precaución si se ingiere el agua, dada la posibilidad de presencia de bacterias.

6. Para 0.20 m de profundidad se detectó ocho dependencias significativas, y según el coeficiente de correlación de Pearson, tres pares presentan coeficiente positivo: sólidos suspendidos totales (SST) con turbidez (1.00), es decir, a medida que aumenta la turbidez, también se incrementa el valor de los SST; demanda química de oxígeno (DQO) con pH (0.96); y nitrato con temperatura (1.00).

7. A una profundidad de 0.70 m, se identificaron 12 dependencias de pares, resultando cinco de ellas con coeficientes positivos: SST con turbidez, oxígeno disuelto (OD) con turbidez, OD con SST, DQO con pH y fosfato con OD. Finalmente, a 1.20 m de profundidad se detectaron 13 correlaciones de pares, siendo seis de ellas correlaciones positivas: SST con turbidez, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) con DQO, nitrato con turbidez, nitrato con SST, sulfato con pH y coliformes totales con temperatura. Se observa claramente que el par que mantiene coeficiente positivo en las 3 profundidades es el constituido por sólidos suspendidos totales (SST) con turbidez, demostrando que a mayor turbidez, mayor concentración de SST.

VII. RECOMENDACIONES

- 1. Diseñar un sistema completo de tratamiento químico con los lodos de las aguas de la laguna Los Milagros con la finalidad de reducir la carga microbiológica (agua eutrofizadas).**
- 2. Realizar un diseño de plantaciones acuáticas y forestales nativas la cual permitirá aumentar una oxigenación adecuada, entonces regulará los parámetros fisicoquímicos como son pH, turbidez, sólidos totales, nitratos, sulfatos, fosfatos.**
- 3. Realizar una sensibilización y educación ambiental de los pobladores aledaños y de los turistas con respecto al manejo de los residuos sólidos y de las servidas.**
- 4. Incitar a los concesionarios de la laguna Los Milagros o instituciones públicas y privadas a la actividad de piscicultura nativa, permitiendo de esta manera el equilibrio de la vegetación (algas).**

**QUALITY OF WATER RESOURCES OF THE LAGOON
LOS MILAGROS - JOSÉ CRESPO Y CASTILLO**

VIII. ABSTRACT

The water in rivers, lakes and lagoons affected in quantity and quality, deforestation and pollution with municipal and industrial waste. In this regard, the study objectives were to determine the chemical and microbiological parameters of the lagoon Los Milagros, at different depths, during the period from August to November 2014; determining water quality; and find the correlation of the physicochemical and microbiological parameters for the different depths. The lagoon is located politically in the Huánuco department, Leoncio Prado province, José Crespo y Castillo district, hamlet Los Milagros. In office were randomly selected three sampling points, in each of which 3 samples at depths of 0.20, 0.70 and 1.20 m was taken. Design of Randomized Complete Block (RCBD), with three treatments (three depths), and four blocks (four months) was used. Analysis of variance was made, and the mean differences Fisher minimum significant difference when $p < 0.05$ was used; also, the microbiological parameters data were transformed to $\sqrt{X} + 1$ in order to reduce the coefficient of variation. The results indicate that: The physicochemical parameters whose concentration increased between 0.20 and 1.20 m depth, were: turbidity, total suspended solids (TSS), phosphate, nitrate, and sulfate; however, the dissolved oxygen (DO) experienced a decline (7.16 to

4.88 mg/L). The physicochemical parameters whose concentration was increased between the months of August and November, were: turbidity, total suspended solids (TSS), and dissolved oxygen (DO) (5.79 to 6.13 mg/L); In both cases, the concentration of dissolved oxygen is within the limits set by the Peruvian legislation for recreational use. Microbiological parameters evaluated, in whole declined between 0.20 and 1.20 m depth, highlighting the presence of *Escherichia coli* (55 to 7 NMP/100 ml), by whose values according to Peruvian legislation, the water is unfit for recreational use. Values the ICA(a) and ICA(m) at different depths show that the water is "regular" quality (according BROWN), and according to the classification of DINIUS (1987) for recreational use, presents quality "acceptable", recommending restricting sports immersion, as a precaution if the water is ingested. Finally, according to the Pearson correlation coefficient, torque with positive coefficient in the three depths, was: total suspended solids (TSS) with turbidity, indicating that the higher the turbidity higher content of TSS.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTO, J. 2004. Química Ambiental. Lima, Perú.

APHA, AWWA, WPCF. 1992. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Díaz de Santos, S.A. España. 1143 p.

APHA/AWWA/WAB. 1999. Métodos estándares de análisis de agua, American Public Health Association, N.W. Washington. USA.

BROWN, R., MCCLELLAND, N., DEININGER, R., Y R.G., TOZER. 1970. A Water Quality Index - Do We Dare. Proceedings of the National Symposium on Data and Instrumentation for Water Quality Management. Conference of State Sanitary Engineers and Wisconsin University. July 21-23, 1970. Madison. WIS. p. 364-383.

BUSTAMANTE, M. 2004. Proyecto de ley que establece que los Estándares de calidad ambiental y los niveles máximos permisibles no pueden ser superiores a los valores guía de las OMS.

BUJAN, D. 1997. Análisis del agua. [En línea]: Scielo, (<http://www.scielop.org/scielo.php?monografias.com>, 11 May. 2009).

CALDERON, J. 2004. Indicadores ambientales. [En línea]: Ideam, (<http://www.ideam.gov.co/indicadores/calidad5.htm>, 22 Dic. 2008).

CEPIS/OPS. 1994. Resumen Ejecutivo, estudio de casos 1994.

- CEPIS/OPS. 2001. Vigilancia y Control de la Calidad del agua para el Consumo Humano. [En línea]: CEPIS (www.cepis.opsoms.org).
- DINIUS, S. 1987. Design of an index of water quality, Water Res. Bull. 23:5. p. 833-843.
- DRAE. 2012 Diccionario de la lengua española obra de referencia de la Academia. La última edición es la 23.^a, publicada en octubre de 2014.
- ESPINOZA, 1997. Inventario y análisis de pozos de agua Subterránea en Castillo Grande y Brisas del Huallaga- Tingo María. Tesis Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, UNAS. Tingo María, Perú.
- FAO. 2000. Informe sobre la Disponibilidad de agua en el mundo. [En línea]: FAO (<http://www.fao.org/landwater/aglw/aquastabweb/dbase/html>).
- FLORES, C., SABOGAL, A. 2006. Manual de ecología, Prácticas. Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú. Lima, Perú
- GARCÍA. M. A. 2005. Agua y Biodiversidad en Montes Azules. Revista Hojarasca N° 87. México.
- GONZÁLEZ, M. I.; GUTIÉRREZ, J. 2005. Método gráfico para la evaluación de la calidad microbiológica de las aguas recreativas, Centro Habana, CIP 10300, Cuba.
- GUZMAN, A; MERINO M. 1992. Diagnóstico de la contaminación del agua en Jalisco. Cuaderno de difusión científica 26. Universidad de Guadalajara. México. 67 p.

- IPET. 1998. Saneamiento y Salud Ambiental. Administración de Programas de Salud Ambiental, Lima, Perú. 27 p.
- KEMMER, 1989. Agua de pozos. Ediciones Mundi Prensa. Barcelona. España.
- LEY 29338, Ley de Recursos Hídricos [En línea]:(<http://www.ana.gob.pe/>, 30 de marzo del 2009).
- LOBOS, J.E. 2002. Monitoreo de la contaminación hídrica de los afluentes del embalse del Cerrón Grande. Dirección General de Recursos Naturales y Renovables del Ministerio de Agricultura y Ganadería. PAES. Colombia.
- MATEOS, P. 2005. Ecología Microbiana. Universidad de Salamanca – España. [En línea]: USAL (<http://edicion-micro.usal.es/web/educativo/micro2/tema31.html>).
- D.S. N° 002-2008-MINAM. 2008. Lima, Perú. 12 p.
- NASI, R; WUNDER, S y CAMPOS, J. 2002. Servicios de los Ecosistemas Forestales. GEF:CIFOR:CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico/CATIE. No. 331. Turrialba, Costa Rica. 41 p.
- OMS. 2001. Sistemas de abastecimiento de agua. [En línea]: Consultado 82002 (www.who.int/m/topics/sustainable_water_supply_sanitation/es/html).
- PACHECO, G. 2002. El Agua y su Distribución en el Planeta. Liceo Politécnico Los Dominicos. Las Condes, región Metropolitana. Chile.
- PORTAL AGRARIO. 2005. Recursos Hidrológicos. [En línea]: PORTALAGRARIO (www.portalagrario.gob.pe).

- PRIETO, J. 2002. El Agua: Sus Formas, Efectos, Abastecimiento, Usos, Daños, Control y Conservación. Fundación Universidad Central. Bogotá, Colombia.
- REIFF, F.; WITT, V. 1995. Guía para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe; PAHO/WHO Document, Technical Series N°. 30.
- REFAI, M., K. 1981. Manual para el control de la calidad de alimentos. Edición Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- RHENHEIMER, G. 1999. Microbiología de las Aguas. España.
- RHINHEIMER, G. 1987. Microbiología de Aguas, Editorial Acribia.S.A, Zaragoza. España.
- SEAONEZ, 1999. Aguas residuales. Ediciones Mundi Prensa. Barcelona. España.
- SNET, 2000. Servicio Nacional de Estudios Territoriales. Índice de calidad del agua general "ICA". El salvador. (www.snet.sv).
- VENTURINI L.; BACIGALUPE, D.; BASSO, W.; UNZAGA, J. M.; VENTURINI, M.C.; MORÉ, G. 2006. *Cryptosporidium parvum* en animales domésticos y en monos de un zoológico. Parasitol Latinoam.
- ZAVALA, W. 1999. Estudio morfopedológico como base para la recuperación de suelos degradados en Tingo María. Tesis magister Scientiae en suelos. Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Agraria de la Molina.

ANEXO

Anexo 1. Estándares de calidad ambiental.

Cuadro 18. Límites máximos permisibles para aguas de uso recreacional.

Parámetros	Unidades	Límites
Oxígeno disuelto	mg/l	>=5
pH	Unidad	6,5 - 8,5
Cobre	mg/l	0.03
DBO	mg/l	15
Fósforo	mg/l	0.5
SDT	mg/l	1000
Zinc	mg/l	0.2
CT	NMP/100ml	1000
Salmonella	Ausencia/presencia	Ausencia
Magnesio	mg/l	0.4
Fierro	mg/l	0.3
Dureza	mg/l	
Sodio	mg/l	200
Enterococo	NMP/100ml	200
Giardia	Ausencia/presencia	Ausencia
Criptosporidium	Ausencia/presencia	Ausencia
Amebas	Ausencia/presencia	Ausencia
Estafilococos		

Fuente: D.S. N° 002-2008-MINAM.

Cuadro 19. Aguas superficiales destinadas a uso poblacional y recreacional (parámetros fisicoquímicos).

Parámetro	Unidad	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas al uso recreacional		Técnica de análisis recomendada
		A1	A2	A3	B1	B2	
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto primario	Contacto secundario	
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	
Físicos y químicos							
Color	Color verdadero escala Pt/Co	(7) 15	(2) 100	(2) 200	-2	Sin cambio normal (2)	Comparación visual
Materiales flotantes	Ausente/Presente	Ausente (5) (8)	**	**	Ausente (2) (7) (8)	Ausente (2)	Examen visual
Olor		Aceptable (10)	**	**	Ausente (5)	**	Test de valor umbral
Cloruros	mg/l	250 (5)	250 (5)	250 (5)	**	**	Volumétrico del nitrato de plata
Conductividad	us/cm (a)	1500 (9)	1600 (7)	**	**	**	Electrométrico
DBO ₅	mg/l	3 (5)	5 (5)	10 (5)	5(5)	10 (5)	Electrodo de membrana. Incubación a 20°C, 5 días
DQO	mg/l	10 (7)	20 (7)	30 (2)	30 (7)	50 (7)	Colorimétrico. Reflujo cerrado. Digestión con dicromato
Dureza	mg/l	500 (1b)	**	**	**	**	Volumétrico con EDTA
Fósforo total	Mg/l P	0,1 (5)	0,15 (5)	0,15 (5)	**	**	Colorimétrico del ácido ascórbico
Nitratos	Mg/l N	10 (5)	10 (5)	10 (5)	10 (5)	**	Espectrofotométrico UV/ Reducción de cadmio
Nitritos	Mg/l N	1 (5)	1 (5)	1 (5)	1(5)	**	Método colorimétrico
Oxígeno disuelto	Mg/L	>= 6 (5)	>= 5 (5)	>= 4 (5)	>= 5 (5)	>= 4 (5)	Winkler modificado
pH	Unidad de pH	6.5 – 8.5 (2)	5.5 – 9,0 (2)	5.5 – 9,0 (2)	6-9 (2, 5)	**	Electrométrico
Sólidos disueltos totales	mg/l	1000 (10)	1000 (6)	1500 (6)	**	**	Gravimétrico, secado a 103-105 °C
Sulfatos	mg/l	250 (1b)	**	**	**	**	Turbidimétrico
Turbiedad	UNT (b)	5 (1b)	100 (5)	**	100 (5)	**	Nefelométrico

Fuente: D.S. N° 002-2008-MINAM.

Cuadro 20. Aguas superficiales destinadas a uso poblacional y recreacional (parámetros biológicos).

Parámetro	Unidad	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas al uso recreacional		Técnica de análisis recomendada
		A1	A2	A3	B1	B2	
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto primario	Contacto secundario	
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	
Clordano	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**	Cromatografía de gases
DDT	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**	Cromatografía de gases
Dieldrin	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**	Cromatografía de gases
Endosulfan	mg/l	0,000056 (5)	0,000056 (5)	*	**	**	Cromatografía de gases
Endrin	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**	Cromatografía de gases
Heptacloro	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**	Cromatografía de gases
Heptacloro epóxido	mg/L	0.00003 (1)	0.00003 (1)	*	**	**	Cromatografía de gases
Lindano	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**	Cromatografía de gases
Paraquat (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**	Cromatografía de gases
Carbamatos:							Cromatografía de gases
Aldicarb (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**	Cromatografía líquida de alta precisión
Policloruros bifenilos totales (PCB's)	mg/l	0,000001 (5)	0,000001 (5)	**	**	*	Cromatografía de gases
MICROBIOLÓGICO							
Bacterias							
Colliformes totales (37 °C) (CE)	NMP/100 ml	50 (2, 8)	3000 (8)	50000 (2)	1000 (8)	4000 (8)	Tubos múltiples de fermentación
Colliformes termotolerantes	NMP/100 ml	0 (4)	2000 (2)	20000 (2)	200 (8)	1000(8)	Tubos múltiples de fermentación
Parásitos entéricos	Ausencia o presencia/l	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Presencia/Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia	200(12)	**	Tubos múltiples de fermentación
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	Ausencia (1)(3)	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Tubos múltiples de fermentación
<i>Giardia lamblia</i>	Ausencia o presencia/l	Ausencia (3)	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Presencia/Ausencia
Salmonella	Ausencia o presencia/l	Ausencia (2)	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Presencia/Ausencia

Fuente: D.S. N° 002-2008-MINAM.






Cuadro 21. Aguas superficiales destinadas a uso poblacional y recreacional (parámetros microbiológicos).

Parámetro	Unidad	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas al uso recreacional		Técnica de análisis recomendada
		A1	A2	A3	B1	B2	
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto Primario	Contacto Secundario	
		Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	
<i>Vibrio cholerae</i>	Ausencia o presencia/l	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Presencia/Ausencia
Aeromonas	Ausencia o presencia/l	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Presencia/Ausencia

Fuente: D.S. N° 002-2008-MINAM.

Anexo 2. Clasificación de los índices de calidad del agua (ICA).

Cuadro 22. Clasificación del "ICA" propuesta por BROWN.

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

Fuente: LOBOS (2002).

Cuadro 23. Clasificación del "ICA" para uso recreativo.

Calidad de agua	Descripción	Valor
Excelente (E)	Cualquier tipo de deporte acuático	70-100
Aceptable (A)	Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias	50-70
Levemente contaminada (LC)	Dudosa para contacto con el agua	40-50
Contaminada (C)	Evitar contacto, sólo con lanchas	30-40
Fuertemente contaminada (FC)	Contaminación visible, evitar cercanía	20-30
Excesivamente contaminada (EC)	Inaceptable para recreación	0-20

Fuente: DINIUS (1987).

Anexo 3. Panel fotográfico.

Figura 17. Toma de punto de georreferenciación.



Figura 18. Toma de muestra de agua.



Figura 19. Determinación in situ, del pH.



Figura 20. Preparación de los tubos de ensayo.

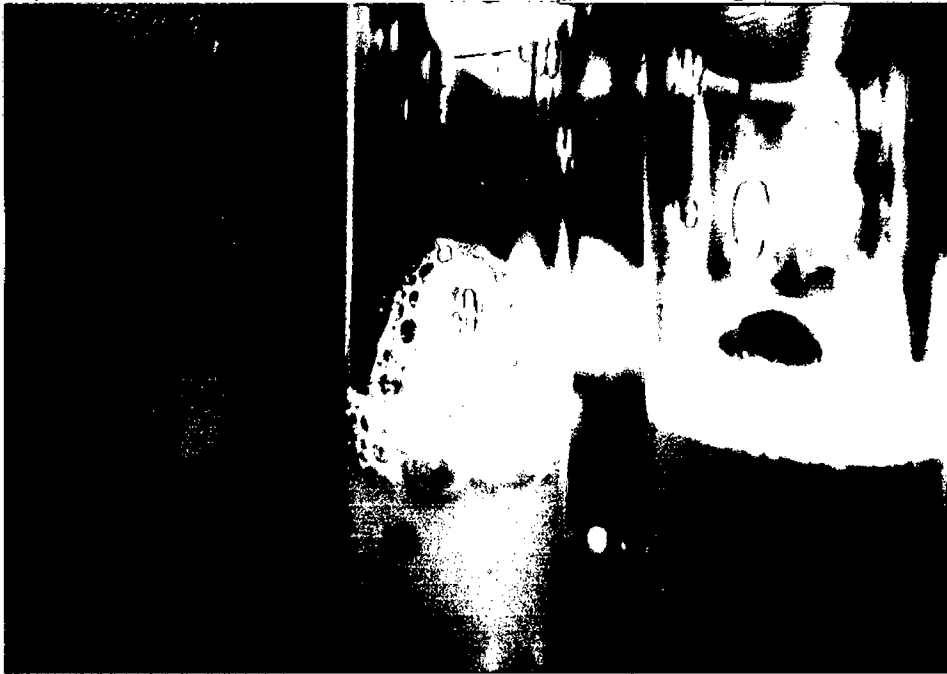


Figura 21. Confirmacion de coliformes fecales en caldo *E. coli* 44.5 °C.



Figura 22. Confirmacion de coliformes totales en caldo brilla 37 °C.

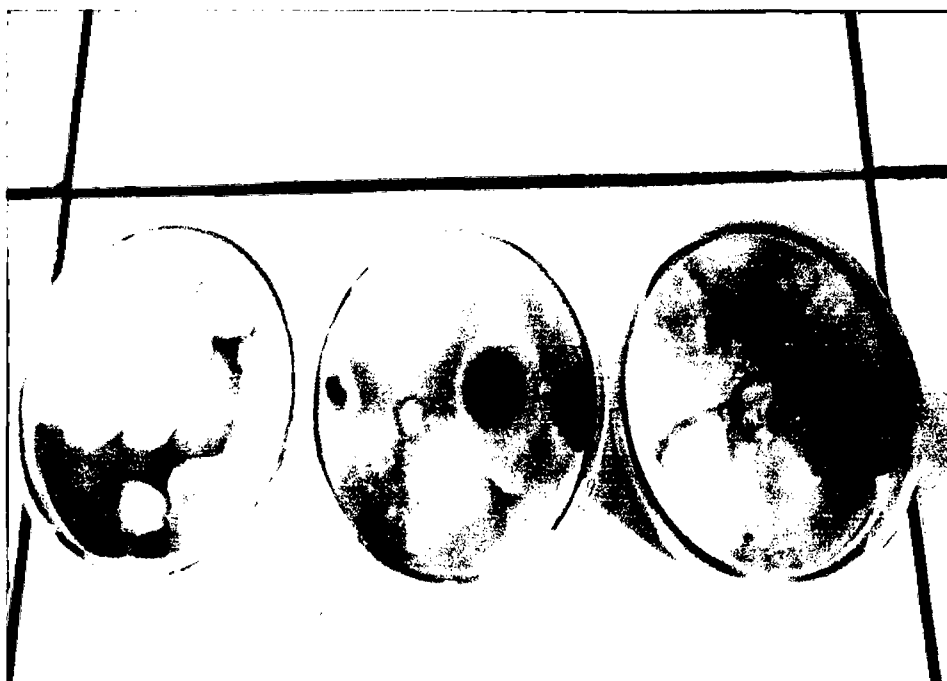


Figura 23. Cultivo de microorganismos.



Figura 24. Medio de cultivo en INVIC, para lectura.



Figura 25. Lectura de O.D de la muestra de agua.

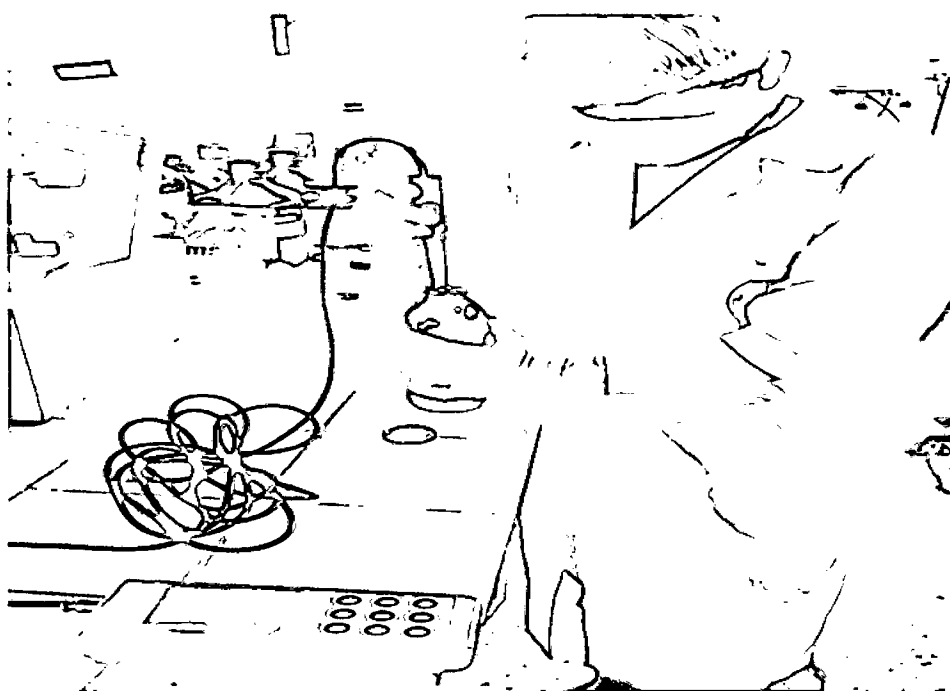


Figura 26. Segundo lectura de O.D de la muestra de agua.

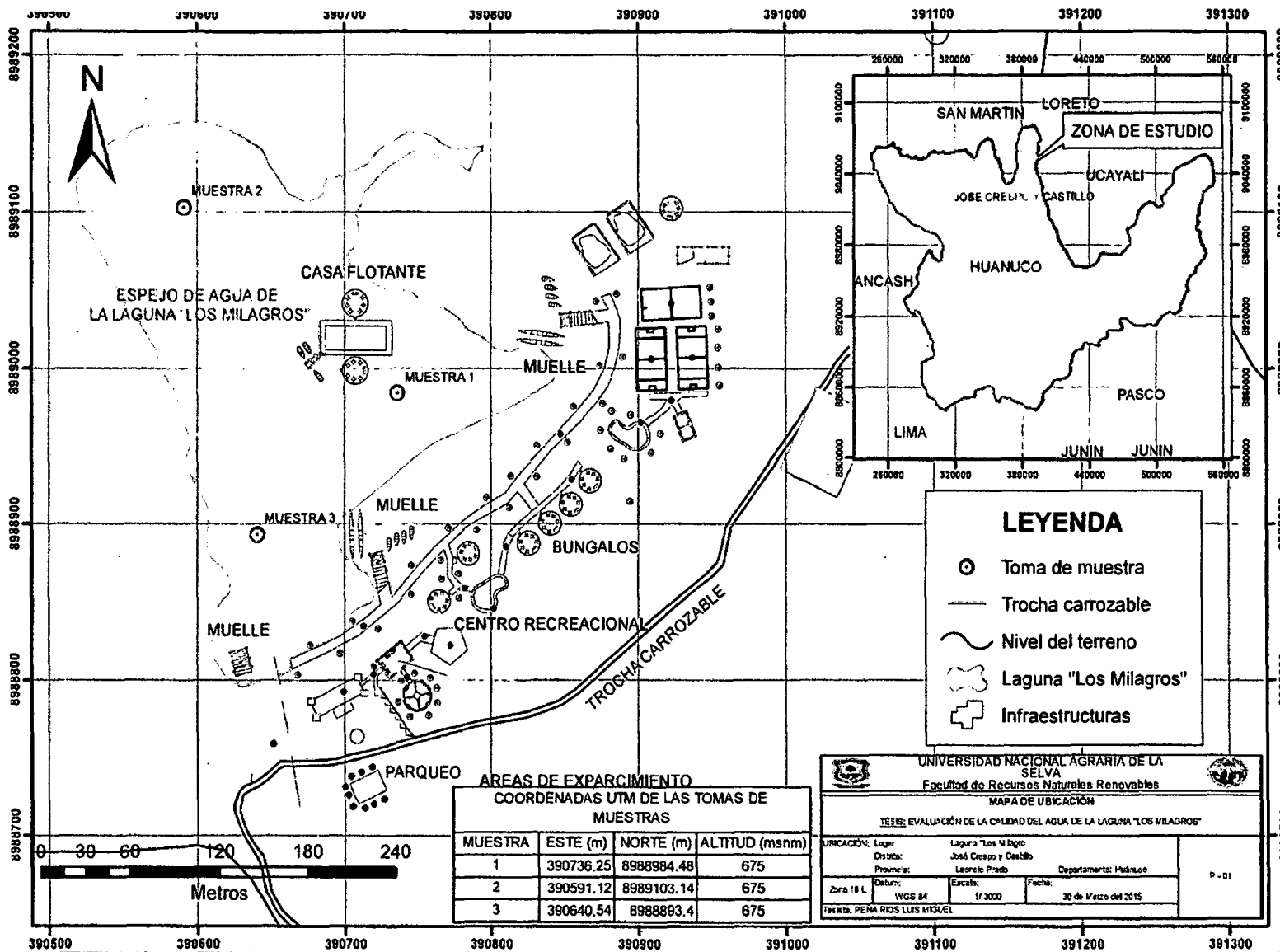


Figura 27. Mapa de puntos de muestreo en la laguna Los Milagros.

GLOSARIO

Agua. Es el compuesto más abundante en la tierra, forma 4\5 partes de la superficie terrestre, constituyendo la hidrosfera.

Agua superficial. Agua que se encuentra en la superficie de la tierra como por ejemplo lagos, ríos, arroyos y mares.

Contaminante Un compuesto que a concentración suficientemente alta causa daños en la vida de los organismos.

Contaminación del agua. Alteración de sus características organolépticas, física, química, radiactiva y microbiológica como resultado de las actividades humanas o procesos naturales, que producen o pueden producir rechazo, enfermedad o muerte al consumidor. Se puede dar por vertidos, derrames, desechos y depósitos directos o indirectos de toda clase de materiales.

Contaminantes biológicos .Organismos vivos tales como virus, bacterias, hongos, y antígenos de mamíferos y de pájaros que pueden causar efectos dañinos sobre la salud de los seres humanos.

Coliformes fecales .Bacterias aerobias gram-negativas, no formadoras de esporas, de forma bacilar y que, incubadas 44.5° C, fermentan la lactosa en un término de 48 horas, con producción de gas, pudiendo ser residentes del tracto digestivo humano y de animales de sangre caliente coliformes fecales y *E. coli*

son bacterias cuya presencia indica que el agua podría estar contaminada con heces fecales humanas o de animales.

DBO (Demanda Biológica de Oxígeno). La cantidad de oxígeno (medido en el *mg/l*) que es requerido para la descomposición de la materia orgánica por los organismos unicelulares, bajo condiciones de prueba. Se utiliza para medir la cantidad de contaminación orgánica en aguas residuales. DBO5: cantidad de oxígeno necesaria para estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, incubada durante cinco días a 20 °C. Reproduce el consumo de oxígeno en el medio natural.

Eutrofización. Enriquecimiento del agua, la cual causa un crecimiento excesivo de plantas acuáticas e incrementan la actividad de microorganismos anaeróbicos. Como resultado los niveles de oxígenos disminuyen rápidamente y el agua se asfixia, haciendo la vida imposible para los organismos acuáticos aeróbicos.

Hidrología. Es la ciencia de la naturaleza que estudia el agua dentro del planeta Tierra, tanto en los aspectos de ocurrencia como acumulación y circulación desde el punto de vista cualitativo, cuantitativo y estadístico. También se le llama Hidrografía.

Humedal. Un humedal es una zona de la superficie terrestre que está temporal o permanentemente inundada, regulada por factores climáticos y en constante interrelación con los seres vivos que la habitan.

Nitrato. Son compuestos químicos inorgánicos derivados del nitrógeno.

pH .El valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado por el número de iones de hidrogeno presente. Es medido en una escala desde 0 a 14, en la cual 7 significa que la sustancia es neutra. Valores de pH por debajo de 7 indica que la sustancia es ácida y valores por encima de 7 indican que la sustancia es básica.

Sólidos totales .Todos los sólidos en el agua residual o aguas de deshecho, incluyendo sólidos suspendidos y sólidos filtrables.