

**UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA, INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS Y AMBIENTAL**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**FITORREMEDIACIÓN DE COLIFORMES A TRAVÉS DE
LA ESPECIE *LEMNA MINOR* EN AGUA SINTÉTICA CON
MATERIA FECAL**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

KATHERIN MASIEL CELESTINO DOMINGUEZ

**HUACHO –PERÚ
2021**

**UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA, INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS Y AMBIENTAL**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**FITORREMEDIACIÓN DE COLIFORMES A TRAVÉS DE
LA ESPECIE *LEMNA MINOR* EN AGUA SINTÉTICA CON
MATERIA FECAL**

Sustentado y aprobado ante el Jurado evaluador

**Dr. Ranulfo Flores Briceño
Presidente**

**Mrto. Victor Raul Coca Ramirez
Secretario**

**Mg. Jose Saul Orbegoso Lopez
Vocal**

**Mg. Hellen Yahaira Huertas P.
Asesor**

**HUACHO –PERÚ
2021**

DEDICATORIA

Primero a Dios por permitirme llegar al día de hoy. Luciana y Edgar, mis padres. Gracias por acompañarme en este largo camino, con sus enseñanzas y consejos. Jordan y Jeisson, hermanos, es grato decir que ha sido un gusto compartir todos estos años de crecimiento juntos. Son mi todo.

Katherin Masiel Celestino Dominguez

AGRADECIMIENTO

- ◇ A mi casa de estudio, la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión que me acogió durante cinco años.
- ◇ A la plana docente que contribuyó en mi formación profesional en el paso de la universidad.
- ◇ A mi padre, que con cada palabra de aliento más que un apoyo, fue pieza clave en mi desarrollo profesional y el proyecto de investigación no fue la excepción. Gracias por cada corrección, aporte y tiempo invertido.
- ◇ A mi madre, por cada consejo oportuno y por saber escuchar.
- ◇ Milagros, no olvidare tu apoyo. Fuiste la compañera de búsqueda vegetal.

Katherin Masiel Celestino Dominguez

ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	12
1. CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	13
1.2. Formulación del problema	15
1.2.1. Problema General	15
1.2.2. Problemas Específicos	15
1.3. Objetivos de la investigación	15
1.3.1. Objetivo General.....	15
1.3.2. Objetivos Específicos	15
1.4. Justificación de la investigación	16
1.5. Delimitaciones del estudio	17
2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Antecedentes de la Investigación	18
2.2. Investigaciones Internacionales	18
2.3. Investigaciones Nacionales	19
2.3.1. Bases teóricas.....	20
2.3.2. Bases filosóficas	31
2.3.3. Definición de términos básicos.....	36

2.4.	Hipótesis de la investigación	39
2.4.1.	Hipótesis General	39
2.4.2.	Hipótesis Especificas	39
2.4.3.	Operacionalización de las variables.....	40
3.	CAPITULO III. METODOLOGÍA.....	41
3.1.	Diseño metodológico.....	41
3.2.	Población y muestra	43
3.2.1.	La población	43
3.2.2.	Muestra	43
3.3.	Técnicas de recolección de datos.....	44
3.4.	Técnicas para el procesamiento de la información	46
4.	CAPITULO IV. RESULTADOS.....	47
4.1.	Análisis del resultado	47
4.2.	Contrastación de la hipótesis.....	59
5.	CAPITULO V. DISCUSIÓN.....	60
5.1.	Discusión de resultados.....	60
6.	CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
6.1.	Conclusiones	62
6.2.	Recomendaciones	63
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	64
7.1.	Fuentes bibliográficas	64
	ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Bacteria coliforme	23
<i>Figura 2</i> <i>Lemna minor</i>	27
<i>Figura 3</i> Hojas de lenteja de <i>Lemna minor</i>	28
<i>Figura 4</i> Interrelación de las ciencias.....	32
<i>Figura 5</i> Desarrollo humano	33
<i>Figura 7</i> Cuba-C ₁	48
<i>Figura 6</i> Cuba L ₃	48
<i>Figura 8</i> Cuba-LC ₂	48
<i>Figura 9</i> Cuba-L ₁	49
<i>Figura 10</i> Cuba-C ₃	49
<i>Figura 11</i> Cuba-LC ₁	49
<i>Figura 12</i> Rango de tolerancia-pH de la <i>Lemna minor</i>	51
<i>Figura 13</i> Representación de barras del grupo testigo-pH.....	52
<i>Figura 14</i> Representación de barras del grupo control-pH.....	53
<i>Figura 15</i> Representación de barras del grupo experimental-pH.....	54
<i>Figura 16</i> Relación de los tres grupos-pH.....	55
<i>Figura 17</i> Pre-fitorremediación vs. Post-fitorremediación	56
<i>Figura 18</i> Ficha de observación y recolección de datos -pH- 24/03/21.....	69
<i>Figura 19</i> Ficha de observación y recolección de datos -pH- 07/04/21.....	69
<i>Figura 20</i> Ficha de observación y recolección de datos-color y olor 18/03/21	69
<i>Figura 21</i> Ficha de observación y recolección de datos-color y olor 02/04/21	69
<i>Figura 22</i> Análisis microbiológico de coliformes fecales-grupo control (C ₁).....	69
<i>Figura 23</i> Análisis microbiológico de coliformes fecales-grupo control (C ₂).....	69
<i>Figura 24</i> Análisis microbiológico de coliformes fecales-grupo control (C ₃).....	69
<i>Figura 25</i> Análisis microbiológico de coliformes fecales- grupo experimental (LC ₁).69	
<i>Figura 26</i> Análisis microbiológico de coliformes fecales- grupo experimental (LC ₂)69	
<i>Figura 27</i> Análisis microbiológico de coliformes fecales- grupo experimental (LC ₃).69	
<i>Figura 28</i> Lugar de recolección de la macrófita- Calle Santa Catalina-Barranca.....	69

<i>Figura 29</i> Pesado de la macrófita <i>Lemna minor</i>	69
<i>Figura 30</i> Acondicionamiento de la macrófita <i>Lemna minor</i>	69
<i>Figura 31</i> pH del grupo experimental LC ₂ -31 días.....	69
<i>Figura 32</i> pH del grupo experimental LC ₃ -31 días.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Taxonomía de coliformes</i>	23
Tabla 2 <i>Clasificación de la familia enterobacter</i>	24
Tabla 3 <i>Taxonomía de la Lemna minor</i>	28
Tabla 4 <i>Composición química de la Lemna minor</i>	29
Tabla 5 <i>Actividad experimental</i>	42
Tabla 6 <i>Muestra de la lenteja de agua (Lemna minor)</i>	43
Tabla 7 <i>Muestra de heces fecales, diluidas en agua</i>	44
Tabla 8 <i>Color y olor-18/03/2021</i>	48
Tabla 9 <i>Color y olor-02/04/2021</i>	48
Tabla 10 <i>Temperatura máxima y mínima en los meses marzo-abril</i>	50
Tabla 11 <i>Lemna minor - pH</i>	51
Tabla 12 <i>Lemna minor-pH</i>	52
Tabla 13 <i>Sin tratamiento de Lemna minor – pH</i>	53
Tabla 14 <i>Sin tratamiento de Lemna minor-pH</i>	53
Tabla 15 <i>Con tratamiento de Lemna minor-pH</i>	54
Tabla 16 <i>Con tratamiento de Lemna minor-pH</i>	54
Tabla 17 <i>Cuantificación de coliformes fecales-pre tratamiento</i>	56
Tabla 18 <i>Cuantificación de coliformes fecales-post tratamiento</i>	56

RESUMEN

Objetivo: el presente trabajo busca determinar el grado de eficacia del *Lemna minor* en la remoción de coliformes en agua sintética que contiene materia fecal. **Metodología:** Se acondiciono nueve cubas, bajo el diseño metodológico experimental y mediante el diseño de grupo de control no equivalente (DGCNE), se dividió en tres grupos: grupo testigo, grupo control y grupo experimental, las cuales van conformadas de la siguiente manera. Grupo testigo, (L₁: 30 gr de *Lemna minor* + 1000 ml agua destilada), (L₂: 20 gr de *Lemna minor* + 1000 ml de agua destilada) y (L₃: 10 gr de *Lemna minor* + 1000 ml de agua destilada), grupo control, (C₁: 8 gr de heces fecales + 1000 ml de agua destilada), (C₂: 4 gr de heces fecales + 1000 ml de agua destilada) y (C₃: 2 gr de heces fecales + 1000 ml de agua destilada) y por último el grupo experimental (LC₁: 30 gr de *Lemna minor*+8 gr de heces fecales+1000 ml de agua destilada), (LC₂: 20 gr de *Lemna minor*+4 gr de heces fecales+ 1000 ml de agua destilada) y (LC₃: 10 gr de *Lemna minor*+2 gr de heces fecales+ 1000 ml de agua destilada). Los parámetros a evaluar en este proceso de fitorremediación fueron: parámetros físicos (temperatura, color y olor), parámetros químicos (pH) y parámetros microbiológicos (coliformes fecales). **Resultados:** evidenciando que, en las cubas del grupo experimental el TR₁ se obtuvo una remoción de 0,99991 equivalente al 99%, el TR₂ dio como resultado una remoción de 0,99928 equivalente al 99% y el TR₃ alcanzo una remoción de 0,99925 equivalente al 99%. **Conclusión:** La macrófita *lemna minor* evidenció eficacia en el proceso de fitorremediación, en el grupo experimental de las tres cubas etiquetadas como (LC₁, LC₂ y LC₃) durante el periodo de 31 días.

Palabras claves: fitorremediación, macrófita, *Lemna minor*, grupo control, grupo experimental, parámetros microbiológicos, coliformes fecales.

ABSTRACT

Objective: the present work seeks to determine the degree of effectiveness of Lemna minor in the removal of coliforms in synthetic water that contains fecal matter. **Methodology:** Nine tanks were conditioned, under the experimental methodological design and by means of the non-equivalent control group design (DGCNE), it was divided into three groups: control group, control group and experimental group, which are conformed as follows. Control group, (L1: 30 gr of Lemna minor + 1000 ml distilled water), (L2: 20 gr of Lemna minor + 1000 ml of distilled water) and (L3: 10 gr of Lemna minor + 1000 ml of distilled water), control group, (C1: 8 g of feces + 1000 ml of distilled water), (C2: 4 g of feces + 1000 ml of distilled water) and (C3: 2 g of feces + 1000 ml of distilled water) and finally the experimental group (LC1: 30 g of Lemna minor + 8 g of feces + 1000 ml of distilled water), (LC2: 20 g of Lemna minor + 4 g of feces + 1000 ml of distilled water) and (LC3: 10 g of Lemna minor + 2 g of feces + 1000 ml of distilled water). The parameters to be evaluated in this phytoremediation process were: physical parameters (temperature, color and odor), chemical parameters (pH) and microbiological parameters (fecal coliforms). **Results:** evidencing that, in the experimental group tanks, TR1 obtained a removal of 0.99991 equivalent to 99%, TR2 resulted in a removal of 0.99928 equivalent to 99% and TR3 reached a removal of 0, 99925 equivalent to 99%. **Conclusion:** The macrophyte lemna minor showed efficacy in the phytoremediation process, in the experimental group of the three tanks labeled as (LC1, LC2 and LC3) during the period of 31 days.

Key words: phytoremediation, macrophyte, *Lemna minor*, control group, experimental group, microbiological parameters, fecal coliforms

INTRODUCCIÓN

El uso del agua es sinónimo de desarrollo y medio ambiente. Hoy en día, el empleo de este recurso es vital en el sector agrario, minero e industrial, mediante la infinidad de actividades que existen de por medio y a la vez en el día a día del ser humano. Pero, así como su uso nos trae beneficios, el uso inadecuado, excesivo, despilfarrador y desmedido genera escasez o falta de este recurso para sectores y/o personas que lo necesitan. El agua dulce disponible no alcanza ni el 0,5% de la totalidad del agua existente y el consumo de agua se duplica cada 20 años, superando dos veces más el crecimiento poblacional, según la Autoridad Nacional del Agua.

Ante ello, es necesario buscar alternativas eco amigables que permitan darle una segunda vida al agua que ya ha sido empleada. Hoy en día existen procesos que se valen de especies vegetales, las cuales cuentan con propiedades capaces de disminuir, remover y hasta eliminar agentes bacterianos, concentración de metales, compuestos orgánicos, sedimentos y materiales en suspensión. Todo este proceso se le denomina fitorremediación, por el empleo de una especie vegetal, la cual de manera sostenible puede realizarse, además de poseer un costo moderado.

Por lo cual, esta investigación se basa en el uso de la macrófita *Lemna minor* para demostrar el grado de eficiencia bactericida en agua con concentraciones de coliformes fecales, y se desarrolló de la siguiente manera: El primer capítulo abarca la problemática existente y los objetivos planteados, asimismo la justificación y la delimitación de la investigación. El segundo capítulo se basa en toda la información fundamental y complementaria de la especie vegetal *Lemna minor* y coliformes fecales, el tercer capítulo se describe la metodología que responde a la interrogante ¿que se hizo? y ¿cómo? El cuarto capítulo son los resultados escritos y representados en gráficos. Por último, tenemos la discusión, conclusiones y recomendaciones que se llegaron tras la investigación concluida.

1. CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.Descripción de la realidad problemática

Para Latinoamérica y el Caribe, de acuerdo con las cifras reportadas en GEO-ALC 2000, se estima que apenas 2% de las aguas residuales reciben un tratamiento adecuado (PNUMA, 1999). En particular se menciona que la calidad de las aguas costeras ha disminuido debido a las descargas de aguas residuales domesticas directamente sin ningún tratamiento, para el Caribe refiere que entre el 80 y 90% de las aguas residuales domesticas se descargan al mar sin tratamiento alguno (PNUMA, 1999). Este es el mayor problema en la región, ya que las cargas orgánicas que se están depositando en los cuerpos de agua no son oxidadas y removidas, puesto que superan por mucho la capacidad de los sitios receptores, provocando eutrofización y anoxia de los sistemas, además de graves problemas de salud pública.

Situación de tratamiento de aguas residuales domesticas en el Perú. De la revisión del estudio efectuado por Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) en el 2008, se desprende que el 70% de las aguas residuales en el Perú no tienen tratamiento de aguas alguno; asimismo, que de las 143 plantas de tratamiento residual que existen en el Perú, solo el 14% cumplen con la normatividad vigente para el cabal funcionamiento de las mismas (Larios, González y Morales, 2015); de acuerdo al Plan Nacional de Saneamiento 2017 – 2021, en el año 2018 invirtió s/ 241 115 846 nuevos soles y se tiene programado invertir en el año 2019 la cantidad de s/ 475 440 923 nuevos soles. Además, asegura que el ministerio de desarrollo e inclusión social (MIDIS) es la encargada de producción y distribución de agua potable y recolección, tratamiento y disposición de aguas residuales domésticas, incluyendo la gestión de recursos hídricos.

En el ámbito local, en la Región Lima – Distritito de Barranca la situación que encontramos acerca del tratamiento a aguas residuales es la firma de un convenio con el ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (MVCS) para la delegación de funciones y competencias con la Municipalidad Provincial de Barranca.

A través de la empresa prestadora de servicios Semapa Barranca S.A. la cual nos brinda la información que existe un déficit de casi un 94% en el tratamiento de aguas residuales domesticas (ARD) en la localidad, dado que solo cuentan con una planta de tratamiento “Santa Catalina” que trata un caudal de 5,5 l/s, desembocando ese gran porcentaje sin previo tratamiento al litoral marino, agudizando aún mas este problema podemos agregar el crecimiento poblacional de la ciudad de Barranca. Ante esta situación problemática se presenta el siguiente trabajo de investigación **“Fitorremediación de coliformes a través de la especie *Lemna minor* en agua sintética con materia fecal** “que permitirá minimizar el impacto ambiental por las aguas residuales domesticas (ARD) contribuyendo de esta manera a unas playas menos contaminadas.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

- ¿Qué grado de eficacia evidencia la *Lemna minor* en el proceso de fitorremediación de coliformes en agua sintética que contiene materia fecal?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Qué factores ambientales de carácter físico, químico y microbiológico influyen la sostenibilidad del ciclo reproductivo de la especie *Lemna minor*?
- ¿Qué relación de eficacia existe entre la variación de la concentración de coliformes (NMP) y la concentración de *Lemna minor* (g) durante el proceso de la fitorremediación de agua sintética con materia fecal?
- ¿Qué grado de eficacia evidencia la propiedad bactericida de la *Lemna minor* en la remoción de coliformes de agua sintética que contiene materia fecal?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

- Determinar el grado de eficacia de la *Lemna minor* en la fitorremediación de coliformes en agua sintética que contiene material fecal.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Describir y caracterizar los factores físico, químico y microbiológico que influyen en el ciclo reproductivo de la *Lemna minor*.
- Establecer la relación de eficacia entre la variación de concentración de coliformes (NMP) y la concentración de *Lemna minor* (g) como resultado del proceso de fitorremediación.
- Determinar el grado de eficacia de la propiedad bactericida de la *Lemna minor* en la remoción de coliformes de agua sintética con materia fecal.

1.4. Justificación de la investigación

Justificación académica: El abordaje de la presente actividad investigativa, se ha nutrido de anteriores investigaciones, y los resultados de estas, servirán de soporte o referencia para futuras investigaciones; en ese contexto, la presente experimentación sobre la potencialidad biológica de la *Lemna minor* en el tratamiento de *coliformes*, tiene un alto valor académico por la imperancia de un organismo vegetal cuyas propiedades bio-químicas desarrollan un proceso de fitorremediación sobre un sistema físico-químico tóxico como son las heces fecales. Sus resultados servirán de peldaño precedente para investigaciones futuras de diversa índole aplicativa.

Justificación social: La generación del conocimiento científico y su tangibilización tecnológica, constituye el motor de desarrollo de sociedad; por cuanto, su aplicación concreta resuelve la problemática y por ende eleva la calidad de vida, en esta lógica, los resultados de la presente actividad investigativa, pondrán en evidencia un conjunto de alternativas orientadas a la remoción de coliformes de un modo ecológico no convencional, por un lado fortaleciendo la resiliencia del sistema hídrico y por lo otro la mejora sanitaria de la salud poblacional fundamentalmente de las zonas rurales.

Justificación legal: La justificación legal cobra consistencia al enmarcarse en el Estándar de Calidad Ambiental (ECA N° 004-2017-MINAM), normatividad que sostiene taxativamente, que los niveles de concentración de los elementos, sustancias, parámetros físicos y químicos y biológicos, presentes en el agua en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos que no represente riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente.

1.5.Delimitaciones del estudio

Delimitación temporal: La actividad investigativa en el estudio de su objeto a través de la interacción de sus dos variables, se ejecutó en el periodo de febrero a abril del presente año (trabajo de campo).

Delimitación geográfica y/o espacial: La actividad sobre la etapa de captación, lavado y pesaje de la macrófita *Lemna minor*, se dio en la calle Santa Catalina y la Urb. Barbara de Achille, de la ciudad de Barranca. Posteriormente, las muestras fueron derivadas al laboratorio especializado AGQ-Labs ubicado en Av. Luis Jose Orbegoso N°350, San Luis-Lima.

Delimitación teórica: En cuanto al campo temático disciplinar se ha previsto la delimitación en torno al proceso de fitorremediación de aguas fecales, problemática que se encuentra imbricada por dos componentes antagónicos: por un lado, la toxicidad y potencialidad de la colonia de *coliformes fecales* y por lo otro la propiedad bio-química del *Lemna minor* en la remoción del agente patógeno descrito anteriormente.

2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Todo problema del entorno ambiental, depara una contradicción entre el desarrollo económico y la sostenibilidad. Es por ello que se busca alternativas viables pero fundamentadas que puedan complementar o hasta reemplazar los tratamientos y/o procesos convencionales a través del empleo de los recursos que nos pueda brindar la naturaleza, utilizándolos de manera racional. Para poder implantar un desarrollo económico y ambiental armonioso, respetando leyes, límites y parámetros que los rijan.

Para este caso en particular, encontramos algunos estudios de investigación llevados a cabo con anterioridad a la nuestra. Con tema a fin al estudio que se está realizando.

2.2. Investigaciones Internacionales

Gualán (2016), En su investigación del pasto alemán (*Echinochloa Polystachya*) y lenteja de agua (*Lemna Minor*) afirma que “Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación son presentados detalladamente por cada uno de los tres objetivos específicos planteados, entre los resultados más relevantes es el porcentaje de descontaminación de la lenteja de agua con 81 % a los 21 días. El presente trabajo de investigación se ha desarrollado con la finalidad de aportar a la solución de una de las problemáticas que presenta la cabecera parroquial de Chicaña como es el vertido directo de aguas residuales, derivándose posteriormente en pérdidas económicas para las familias que se dedican a esta actividad (turismo).

Robles (2013), evaluó el uso de lagunas con una macrófita flotante (*Pistia stratiotes L.*) Para el tratamiento de agua de un río urbano contaminado, dentro de un proyecto de una biorrefinería que incluye el uso de biomasa vegetal y algal para la producción de metano y biodiesel respectivamente”.

León (2016), en su investigación halló plantas acuáticas con potencial de fitorremediación de agua contaminada con *E. coli* y coliformes totales. Se encontró un porcentaje de eliminación de *E. coli* de 99% para *A. caroliniana*, *E. crassipes* y *Lemna sp.* Y de 100% para *P. stratiotes* y *S. auriculata*.

2.3. Investigaciones Nacionales

García (2012), presenta un estudio comparativo acerca de la capacidad depuradora de nutrientes presentes en las aguas residuales, de tres plantas acuáticas flotantes, *Azolla filiculoides*, *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes*. La primera fase de la investigación consistió en la aplicación de plantas acuáticas en monocultivo con *Lemna M.* y *Eichhornia C.* utilizando el efluente de las PTAR-CITRAR en Lima para analizar el efecto depurador de las plantas acuáticas.

Cupe y Portocarrero (2009), sostiene que los sistemas de tratamiento acuáticos son una variante adecuada para la depuración de estas aguas. En ellos las plantas acuáticas funcionan como filtros biológicos removiendo sustancias tanto biodegradables como no biodegradables, nutrientes, sustancias tóxicas y microorganismos patógenos. Para la presente investigación, las macrófitas en estudio se obtuvieron de los pantanos de Villa en Chorrillos en donde reconocieron la presencia de las especies: LEMNA MINOR (LENTEJA DE AGUA), EICHHORNIA CRASSIPES (JACINTO DE AGUA) Y PISTIA STRATOIDES (LECHUGA DE AGUA) cuya capacidad depuradora es motivo de nuestra investigación. Se instaló una pequeña planta piloto en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la UNI (UNITRAR). La planta piloto se conformó de dos unidades; la primera unidad consta de un tanque almacenador y la segunda unidad estuvo conformada por tres estanques de vidrio de flujo discontinuo en donde se encontraban las plantas acuáticas flotantes, simulando humedales en donde se realizaba el tratamiento de las aguas residuales para periodos de retención determinados.

Celis (2017), en su actividad investigativa trabajó con un diseño de Bloque Completo Al Azar (DBCA), con 5 bloques, 4 tratamientos por bloque y 3 repeticiones por cada tratamiento, haciendo un total de 60 unidades experimentales. Los bloques del experimento fueron las dosis de nitrato de plomo de 0, 25, 50, 80 y 150 ppm y los tratamientos fueron la variación de Agua Residual Sintética (A.R.S) del 0%, 20%, 60% y 100% respectivamente, el A.R.S fue preparada a una concentración promedio de Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 1000 mg/L y por cada unidad experimental se empleó un peso húmedo de *Lemna minor* de 50 g. La comparación de promedios de los tratamientos se realizó mediante la prueba de Tukey.

2.3.1. Bases teóricas

La actividad antropógena a lo largo del desarrollo histórico de la sociedad ha logrado cambiar la naturaleza en sus diversas dimensiones para satisfacer sus necesidades, al mismo tiempo como secuela de la misma ha logrado transformarse a sí mismo y con mayor énfasis ha generado un alto grado de desequilibrio ecológico capaz de poner en riesgo la subsistencia filogenética del hombre. Estas razones obligan a la ingeniería ambiental y otras carreras afines apelando a la falibilidad de la ciencia a promover e indagar procedimientos y mecanismos de remediación y resiliencia para mitigar el impacto ambiental.

En este contexto consideramos necesaria revisar literatura especializada del marco teórico general y el marco teórico específico que a continuación describimos.

2.3.1.1. Agua residual domestica

Según el Organismo de evaluación y fiscalización ambiental (OEFA) son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente.

Gerard Kiely (1999) menciona que las aguas residuales domésticas solo comprenden a las aguas fecales sin tomar en cuenta las escorrentías por lluvias. Asimismo, refiere que un agua residual municipal es el agua residual doméstica o la mezcla de estas con aguas residuales industriales, con o sin escorrentía de lluvia.

◇ **Bioindicadores de contaminación de aguas residuales domesticas**

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 (Munn, 2004).

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 (Marín et al., 2004)

Los organismos patógenos presentes en las aguas residuales domesticas pueden provenir de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una enfermedad determinada. (Garcia Trujillo, 2012). Entre los principales organismos patógenos encontramos los siguientes: bacterias, protozoos, virus, entre otros.

a) Coliformes fecales

Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44.5°C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces fecales, están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. Ya que los coliformes fecales se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal. (Madigan y col., 1997).

b) *Escherichia coli*

Esta bacteria es uno de los habitantes de mayor prevalencia en los tractos gastrointestinales tanto de los humanos como del resto de mamíferos y aves. Pertenece a la familia Enterobacteriaceae; como habitante pro-biótico del tracto gastrointestinal cohabita en una relación semi simbiótica con su huésped, raramente causa alguna enfermedad, pero hay otras variedades de *E. coli* que pueden causar un gran número de enfermedades (Allocati, Masulli, Alexeyev, y Di Ilio, 2013).

Como microorganismo en una relación cuasi simbiótica con su huésped forma parte del microbioma intestinal de mamíferos, pero también puede ser encontrada formando parte del microbioma intestinal de reptiles, aves y peces; así como también puede ser encontrada en alimentos, plantas, tierra y agua (Leimbach, Hacker, y Dobrindt, 2013).

2.3.1.2.Mecanismo que influyen en la muerte de bacterias patógenas

Existe mecanismo por los cuales se podría llegar a eliminar las bacterias patógenas y son las siguientes:

a) Tiempo de retención

Estudios han demostrado que un mayor tiempo de exposición de la bacteria a los procesos removedores de un sistema de fitorremediación es beneficioso para que sean eliminadas por completo o en su mayoría, aunque también varía su efectividad dependiendo de las etapas del sistema de tratamiento (Díaz et al., 2010).

b) Radiación solar

Este parámetro puede llegar a tener incidencia en estos tratamientos, ya que están expuestos a las radiaciones solares. Mayo, (2004) mostró que en sus ensayos la radiación fue responsable del 72.6% remoción bacteriana y que la concentración de *E. coli* se redujo significativamente debido a la contribución solar.

c) pH

Un pH ácido ayuda a la proliferación de coliformes fecales se ha reportado que su ambiente ideal es entre un pH 5.5 – 7.5 y que su tasa de supervivencia cae rápidamente por encima de este umbral Solic y Krstuloviic (1992) por lo que valores superiores de pH siendo esta ya un agua alcalina ayuda a la eliminación de las coliformes Mayo (2004).

2.3.1.3.Coliformes

Revisar la bibliografía especializada en el campo de la biología, específicamente en el mundo de los microorganismos unicelulares como es el caso de las bacterias, grupo en la cual se encuentran los coliformes, necesariamente implica tomar en cuenta como fundamento teórico, la teoría celular y dos principios relevantes, tal como detallamos a continuación:

a) Taxonomía

Los coliformes presentan una taxonomía compuesta que va desde su dominio, filo, clase, orden y familia. Además, poseen géneros donde encontramos las más usuales o comunes en su hábitat.



Figura 1 Bacteria coliforme

Fuente: Tomado de García (2012).

Tabla 1
Taxonomía de coliformes.

Dominio	Bacteria
Filo	Proteobacteria
Clase	Gamma Proteobacteria

Fuente: López (2009).

b) Morfología

Las bacterias son microorganismos unicelulares que poseen una serie de características en cuanto a su morfología. En el caso de los coliformes presentan las siguientes:

- Su tamaño, por lo general va desde 1 a 3 μm de largo.
- Posee un diámetro de 0,5 μm .
- Su forma es de un bastón alargado y se le denomina bacilos.
- Poseen una envoltura celular, que se caracteriza por una estructura multilaminar.

c) Clasificación

La familia enterobacter conforman un grupo amplio bacteriológico, el cual posee la siguiente clasificación. No coliformes (pertenecientes a este grupo, pero no son necesariamente coliformes), coliformes totales y las coliformes fecales.

Tabla 2
Clasificación de la familia enterobacter

No coliforme	Coliformes totales	Coliformes fecales
Shiguella		
Yersinia		
Vibrio	Escherichia	Escherichia coli
Salmonella	Citrobacter	Citrobacte freundil
Serratia	Krebsiella	Krebsiella pneumoniae
Proteus	Enterobacter	

Fuente: Obras Sanitarias del Estado (OSE)

◇ Coliformes termotolerantes o fecales

Este es un subgrupo dentro de las bacterias coliformes totales. Se conocen como termotolerantes porque tienen la peculiaridad de ser capaces de fermentar la lactosa a temperaturas sumamente elevadas, de entre 44 y 45°C. Estas bacterias también son conocidas como coliformes fecales porque tienen su origen, de manera general, en el intestino de algunos animales. Debido a esto, se encuentran contenidas en la materia fecal.

Los géneros que integran al grupo de las bacterias termotolerantes son Escherichia, Enterobacter y Klebsiella, siendo la más representativa de todas las bacterias Escherichia coli. Debido a su conocido origen fecal, las bacterias coliformes termotolerantes, especialmente la Escherichia coli, son un indicador muy eficaz e inequívoco de la contaminación de cuerpos de agua por materia fecal. (López, 2009).

2.3.1.4.Mecanismos técnicos para la detección de coliformes

A lo largo del tiempo se ha ido desarrollando técnicas que faciliten la presencia y el conteo de microorganismos.

◇ Número más probable (NMP)

La determinación de microorganismos coliformes totales por el método del número más probable (NMP), se fundamenta en la capacidad de este grupo microbiano de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas al incubarlos a $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 48 h., utilizando un medio de cultivo que contenga sales biliares. Esta determinación consta de dos fases, la fase presuntiva y la fase confirmativa.

En la fase presuntiva el medio de cultivo que se utiliza es el caldo lauril sulfato de sodio el cual permite la recuperación de los microorganismos dañados que se encuentren presentes en la muestra y que sean capaces de utilizar a la lactosa como fuente de carbono. Durante la fase confirmativa se emplea como medio de cultivo caldo lactosado bilis verde brillante el cual es selectivo y solo permite el desarrollo de aquellos microorganismos capaces de tolerar tanto las sales biliares como el verde brillante.

La determinación del número más probable de microorganismos coliformes fecales se realiza a partir de los tubos positivos de la prueba presuntiva y se fundamenta en la capacidad de las bacterias para fermentar la lactosa y producir gas cuando son incubados a una temperatura de $44.5^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 24 a 48 h.

Finalmente, la búsqueda de *Escherichia coli* se realiza a partir de los tubos positivos de caldo EC, los cuales se siembran por agotamiento en medios selectivos y diferenciales y posteriormente realizando las pruebas bioquímicas básicas. (Camacho, A., M.Giles. y otros, 2009)

2.3.1.5.Fitorremediación

◇ Fitorremediación acuática

El fundamento de este tipo de tratamiento consiste en que los compuestos presentes en el agua son adsorbidos e incorporados dentro de la estructura de las plantas (absorción), logrando eliminar la contaminación del agua y favoreciendo la restauración de la calidad de la misma (Olguin, Núñez, Meas, y Ortega, 2004)

Las lagunas con plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales, se basan en principios ecológicos, en donde los efluentes son tratados eficientemente mediante relaciones mutuas y coordinadas de flujo de energía y nutrientes, entre las plantas acuáticas y los microorganismos degradadores (Shi y Wang, 1991). Además, con base en los estudios de remoción de compuestos tóxicos por plantas acuáticas, se pueden considerar a los sistemas de fitorremediación acuática como una alternativa ecológica y económicamente viable, no sólo para el tratamiento de los efluentes municipales sino también para efluentes industriales (Olguín et al.,2004).

2.3.1.6.Macrófitas acuáticas

Son aquellas plantas que tienen todas sus estructuras vegetativas (hojas, tallos y raíz) sumergidas o flotantes.

◇ Propiedades de las plantas acuáticas en sistemas de tratamientos

Las plantas acuáticas poseen un papel importante, ya que son las protagonistas y las encargadas de cumplir ciertas funciones que mencionaremos a continuación

- a) Airear el sistema radicular y facilitar oxígeno a los microorganismos que viven en la rizosfera.
- b) Absorción de nutrientes (nitrógeno y fósforo).
- c) Eliminación de contaminantes asimilándolos directamente en sus tejidos.
- d) Filtración de los sólidos a través del entramado que forma su sistema radicular. (García Trujillo, 2012)

Existen estudios de la macrófita acuática *Lemna Minor* en sistemas de depuración de aguas residuales que han demostrada tener gran eficiencia en distintos parámetros como solidos totales, materia orgánica y agentes patógenos.

Además de existir muchas más especies que pueden ser empleadas en un sistema de aguas residuales como azolla (*Azolla spp*), Jacinto acuático (*Eichhomia crassipes*), lechuga de agua, entre otras.

2.3.1.7.Lenteja de agua



Figura 2 Lemna minor

Fuente: Tomado de Gualan (2016).

◇ Descripción de la especie

La *Lemna minor* o también conocida como limacos u ovas es una planta acuática flotante que posee una estructura simple y una de las tasas de crecimiento más altas en el mundo. Esta familia alberga cuatro géneros de lentejas: *Lemna*, *Spirodela*, *Wolfia* y *Wolfiella*. (Jumbo y Campoverde, 2012)

a) Taxonomía

Tabla 3
Taxonomía de la Lemna minor

Reino	Plantae
División	Magnoliophta
Clase	Liliopsida
Orden	Arales
Familia	Lemnaceaes
Genero	Lemna

Fuente: Mariuxi y Flores (2012)

b) Morfología



Figura 3 Hojas de lenteja de *Lemna minor*

Fuente: Tomado de picasa-google

- Su tamaño oscila entre 0.1 y 2 cm de diámetro
- Con una sola raíz de 1 a 2 cm de largo
- Las hojas son de 1 a 8 mm de largo y 0.6 a 5 mm verde amplio
- La semilla es de 1 mm de largo

c) Composición química

En cuanto a la capacidad proteica que posee la *Lemna minor*, se afirma que es muy alta y es por ello que se puede incluir en la alimentación de ganados y peces.

Tabla 4
Composición química de la Lemna minor

Constituyente	Porcentaje (%)
Agua	86 a 97
Lípidos	5.58
Proteínas	31.19
Fibra	8.22
Fosforo	1.44

Fuente: Mariuxi y Flores (2012)

Por otro lado, según los estudios investigativos realizados por (Olivera y Quispe, 2011), se concluye que, por la aplicación de la técnica de la Fluorescencia de Rayos X, la *Lemna minor* está constituido por los elementos Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Br, Rb, Sr, Sb, Ba, Pb en la composición química de la *Lemna* secada a 60 °C.

◇ Parámetros de crecimiento

◇ Temperatura

En comparación con otras plantas acuáticas, son muy tolerantes a un amplio rango de temperaturas. Estudios ya realizados por Docaur (1983) señalan como un rango óptimo de temperaturas para diferentes especies de 25 a 31 °C. En cuanto a las temperaturas mínimas se le puede considerar dos casos:

Para supervivencia: Con la capacidad de soportar 0°C por cortos periodos de tiempo. Para crecimiento: Posee unos límites que van desde los 8 a 16 °C y 16 a 20 °C.

◇ **Iluminación**

La radiación solar en el rango visible es absorbida por la *Lemna minor* a través de diferentes pigmentos y la utiliza como generador de energía para regular diferentes procesos.

Existen parámetros con respecto a los rangos de saturación de la intensidad lumínica, límites máximos y mínimos, los cuales van a depender de la temperatura y la presencia de nutrientes. (Jumbo y Campoverde, 2012)

◇ **Densidad y cosecha**

El método de cultivo dependerá únicamente del uso o empleo que se le dé a la planta acuática. Pero para el cultivo de la lenteja de agua se debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- Cubrir en totalidad la superficie del agua, proteger de los vientos para evitar acumulación en las esquinas.
- La *Lemna minor* utiliza los nutrientes de las capas superiores es recomendable tener bajas profundidades.
- Cabe recalcar que la densidad es un factor muy importante para la reproducción de esta planta acuática. (Jumbo y Campoverde, 2012)
- Si es muy alta, la fotosíntesis no se realiza tan eficientemente.
- Si es muy baja, disminuye la posibilidad de reproducción por unidad de área.

◇ **pH**

La *Lemna minor* puede adaptarse a condiciones en el agua de un amplio rango de pH. Sin embargo, existen valores óptimos y valores máximos y mínimos para algunas plantas acuáticas resultados de una investigación por McLay (1976). En este caso la *Lemna minor* posee el rango de tolerancia de 3 a 10.

◇ **Salinidad y conductividad**

Los altos requerimientos de nutrientes de la lenteja de agua indican que es resistente a altos niveles de salinidad. Por lo general se considera que tiene un amplio rango de tolerancia. La conductividad en el agua está directamente correlacionada con su salinidad o concentración de sales disueltas. Oron et al (1985) encontraron que las lemneas cultivadas en aguas salinas sobreviven hasta niveles de 4000 ms/cm. Esta resistencia de la *Lemna minor* a altas salinidades es un factor importante para su aplicación en lagunas de tratamiento de aguas residuales y reducir la salinidad de los efluentes.

◇ **Hábitat**

Nativa en la mayor parte de África, Asia, Europa y América, que se producen en todas partes que los estanques de agua dulce y lento movimiento de las corrientes se producen, a excepción de ártica y climas subárticos. Crece con tanta rapidez y eficiencia que puede provocar grandes daños de forma frecuente a una alfombra completa aun cuando las condiciones son adecuadas. Especie casi cosmopolita. (García, 2012)

2.3.2. Bases filosóficas

En el marco de la teoría del conocimiento o fundamentos epistemológicos vigentes en la comunidad científica contemporánea, existe una pluralidad paradigmática respecto a las ciencias ambientales desde la arista de la interdisciplinariedad y, se agudizan aún más en su dimensión interdisciplinaria por la existencia de posturas epistemológicas contradictorias, en torno a su teoría y práctica; situación que se visibiliza en la incertidumbre de su misma concepción científica y la determinación de su objeto de estudio.

La demarcación del objeto de estudio de la ciencia ambiental nos lleva a distinguir tres acepciones referenciales: i) la concepción como una “rama del conocimiento científico que busca entender, de manera interdisciplinaria, el funcionamiento del ambiente, las diversas formas en que lo afectamos y las estrategias que podemos implementar para enfrentar tales efectos”. Chirás (2006); ii) la ciencia ambiental como una ciencia que busca en las relaciones

causa efecto los principios ambientales fundamentales, entendiendo como trabaja el ambiente natural, como se regeneran los recursos naturales y como esta capacidad regeneradora se ve afectada por las actividades humanas. Nebel y Bernard (1999); iii) finalmente como la ciencia de la interacción con otras especies, y la manera en que se efectúa el intercambio de materia y energía. Miller (1994). A partir de estas consideraciones, se desprende como objeto de estudio, la interacción triádica entre ambiente- actividad antropogénica – tecnología, para la primera concepción; la interacción de la resiliencia o capacidad regenerativa del ambiente y la actividad antropogénica, para la segunda acepción y; para la tercera la interacción humana con otras especies y el intercambio de materia-energía. Esta referencia epistémica nos permite afirmar que, el asunto no se trata de una ciencia única, sino, de un conjunto de ciencias interactuantes en un marco interdisciplinario, que implica una bifurcación entre las ciencias naturales, las ciencias sociales, y la posibilidad de las ciencias aplicadas como las tecnológicas ingenieriles, tal como se esquematiza en el siguiente gráfico:

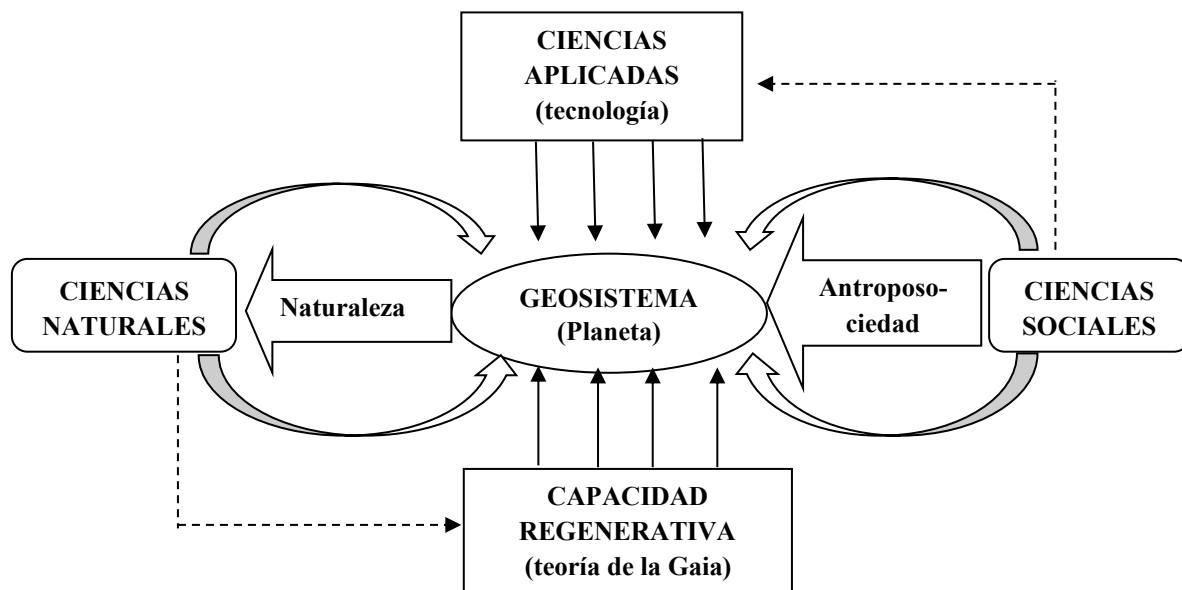


Figura 4 Interrelación de las ciencias

Del esquema gráfico, se desprende una macro interrelación entre la naturaleza y la antroposociedad, interrelación en la que, la actividad antropogénica ha generado diversos impactos ecológicos con consecuencias de desequilibrios en el sistema ecológico del planeta, pese a la capacidad regeneradora del propio geosistema. A partir de esta situación, tomando los

aportes de la filosofía y la ciencia disciplinar, emergen diversas preocupaciones y propuestas en el marco de la “ciencia ambiental” como herramienta interdisciplinar para analizar las multicausalidades de la actividad antropogénica, las leyes, ciclos y fenómenos naturales del geosistema y, proponer con el soporte de la tecnología procedimientos y sistemas para el diagnóstico, planificación, tratamiento y gestión de los sistemas ecológicos del geosistema, recurriendo para ello a la ecología, biología, física, química, climatología y toxicología. Giannuzzo (2010).

Desde la otra arista de las ciencias sociales, los aportes provienen desde las ciencias de la economía, la política, la ética. Independiente de las posturas epistémicas en discusión, en la realidad objetiva del geosistema como actividad inherente de la subsistencia humana, el abanico de la problemática ambiental cobra vigencia en diversos grados de impacto y degradación, como resultado de la interacción de los factores económicos y sociales en torno a la naturaleza; dicha práctica cotidiana, para algunos basado en el enfoque del antropocentrismo y para otros basado en el enfoque ecocentrismo; pero al fin y al cabo, ambas posturas justifican el anhelo del desarrollo sostenible.

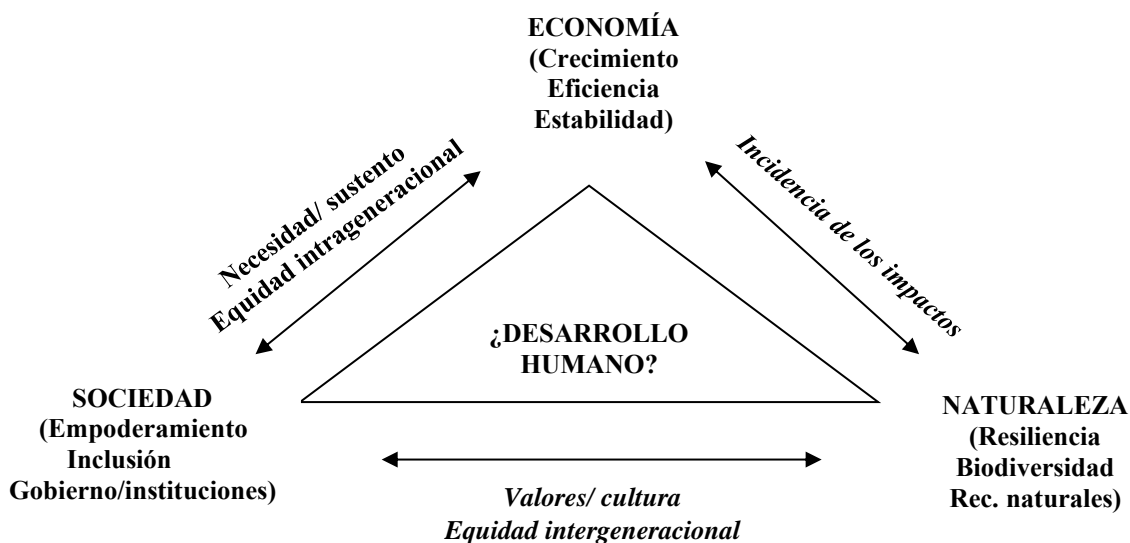


Figura 5 Desarrollo humano

Fuente: Adaptado de Pérez Rojas 2017 - Las ciencias ambientales. Una caracterización desde la epistemología sistémica

Del esquema-gráfico anterior se infiere, que en la cotidianeidad es una constante la interacción sociedad – naturaleza – economía, proceso que no se detiene en la larga discusión de posturas epistemológicas; de modo que, el objetivo último de la elección consciente de la epistemología en la cual basar las investigaciones no es “quedar atrapado en la reflexión filosófica”, sino “poder practicar la interdependencia” Escobar (2013), dicho de otro modo, la teorización propuesta debe tomar en cuenta los elementos fenoménicos de dicha interacción e influir en la práctica de la investigación e intervención ambiental.

Otro aspecto que en ocasiones no se vislumbra en la discusión, es la “cosmovisión”, el “saber ambiental” o el “conocimiento no científico” que emerge de las entrañas de la interculturalidad de las comunidades intergeneracionales que anteceden en larga data la génesis del asunto epistemológico, ante el dilema en mención, Enrique Leff (2006, 138) propone una epistemología ambiental y un saber ambiental al mismo tiempo, situación que no implica una ética universal o de una suya propia, sino en el mejor de los casos, propone una ética que toma como sustento el respeto a los diversos valores culturales cuyo arraigo deviene de la pluriculturalidad y las cosmovisiones sobre el medio ambiente que tienen un recorrido en la línea de tiempo desde los albores de la humanidad hasta nuestros días. Esta contradicción configura una parcela circunscrita para la “doxa” y otra parcela para la “episteme” demarcada por la línea divisoria de la científicidad, problemática que tiene salvedad en la tesis de Feyerabend (2009) quien sostiene que “la ciencia no es absolutamente superior a otras formas de conocimiento”, de manera tal que, desde la arista de la teoría del pensamiento complejo configurar una parcela mucho más amplia denominada “gnoseología” y dentro de ella la “epistemología”, con la finalidad de superar la exclusión bajo el criterio de la superioridad obviamente manteniendo la distinción entre lo científico y lo no científico.

Finalmente, los determinismos del dualismo disciplinar mecanicista y disyuntiva, requiere re direccionar el proceso constructivo epistémico de las ciencias ambientales, en el cauce de la corriente interdisciplinaria y sistémico al amparo de los postulados del pensamiento complejo (que no implica dificultad complicada, sino tejido de interrelaciones como una totalidad concreta) caracterizados por su “interdependencia”, “interacción” e “inter-retroactividad”; visto así, el asunto de esta parte de la contradicción, implica construir nuevas demarcaciones y la

generación de nuevos conceptos estructurantes a la luz de los tres postulados anteriores. Toda la argumentación hilvanada hasta aquí como un recorrido y revisión de la situación epistemológica de la disciplina ciencia ambiental, nos lleva a plantear de modo conclusivo, lo siguiente:

En el plano gnoseológico y epistemológico, la ciencia ambiental es una disciplina incipiente aún, camino constructivo en la que urge:

- Determinar su objeto de estudio.
- Avizorar una parcela interdisciplinaria capaz de transitar de la “ciencia ambiental” a las “ciencias ambientales”, donde se configure la interdependencia, la interacción e inter-retroactividad entre las ciencias naturales, ciencias sociales y ciencias aplicadas, en torno al geosistema caracterizada por su capacidad regeneradora.
- Concebir que la subsistencia humana a nivel planetario, ha generado un alto grado de impacto ecológico, como consecuencia de la interacción sociedad, naturaleza y economía, bajo el enfoque del antropocentrismo en desmedro del ecocentrismo.
- Integrar desde la gnoseología el conocimiento científico y el no científico, concibiendo a éste último como el saber ambiental emergente desde la pluriculturalidad que no solo representa conocimiento, sino cosmovisiones y valores éticos respecto a la naturaleza en su interdependencia con la sociosfera; y dentro de ella, la epistemología capaz de establecer su estatuto, en torno a su objeto de estudio, la estructura lógica de sus teorías, la validez de sus métodos de investigación, sus resultados y la confirmación y refutación de sus teorías.
- Empezar el establecimiento de un marco interdisciplinario y complejo, capaz de viabilizar la interdependencia, la interacción y la inter-retroactividad de sus componentes, procesos en el quehacer investigativo.

De este conjunto de planteamientos, que analizan el bosque de la problemática de las ciencias ambientales; el propósito, los procesos metodológicos y el discernimiento del marco teórico de

la presente actividad investigativa denominada “fitorremediación de sistemas coliformes con *Lemna minor*” resultaría imposible abordarlo desde la postura disciplinar, por cuanto resultaría mecanicista y disyuntivo, negar y excluir la interdependencia e interacción de las ciencias naturales y las ciencias sociales en la dinámica de la fitorremediación tanto en sistemas naturales como sistemas artificiales, aunando en esta interacción, la intervención de sistemas tecnológicos como soporte para la concreción de la actividad investigativa. Asimismo, el saber ambiental sobre las bondades de la *Lemna minor* datan de los saberes ancestrales de los habitantes uros del lago Titicaca, que pese, a no tener rigurosidad científica constituye no solo un sistema de conocimientos, sino que alberga una cosmovisión de equilibrio entre hombre-naturaleza. De otro lado, desde la mirada de la totalidad concreta, donde el “todo” está en las “partes” y, las “partes” en el “todo”; el geosistema como un todo (teoría de la gaia) a nivel macro se rige por las leyes naturales basadas en la entropía y la neguentropía, en tanto en el nivel micro (teoría celular) los procesos metabólicos de la *Lemna minor* se rigen por procesos biológicos y químicos como mecanismos de regulación, los mismos que contribuyen a la capacidad regeneradora del geosistema y viceversa. Finalmente, para el entendimiento del objeto de estudio como interacción entre la *Lemna minor* y los coliformes, la interacción de los procesos metodológicos para su tratamiento y la argumentación de todo ello, solo es posible desde la interdisciplinariedad, el pensamiento complejo y el enfoque del ecocentrismo como una propuesta en la búsqueda del desarrollo sostenible.

2.3.3. Definición de términos básicos

a) Fitorremediación

Tratamiento biológico de sustancias residuales utilizando determinadas especies vegetales y sus microorganismos asociados, para eliminar, remover, degradar o inmovilizar agentes contaminantes ambientales del suelo y/o agua. Adaptado de (Pilon, 2005). La esencia de la fitorremediación es el aprovechamiento de los recursos vegetales para la remediación de los problemas ambientales; esta técnica es ampliamente usada para un sin número de aplicaciones

como la remediación de suelos y aguas contaminadas con metales pesados. (Paulson, 2014 citado por Hernández y Luna, 2016).

Conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o detoxificar metales pesados y compuestos orgánicos por medio de la utilización de plantas. Es el empleo de vegetación para el tratamiento in situ de suelos, sedimentos y aguas contaminadas. (Mentaberry, 2011).

b) Macrófitas

Plantas acuáticas observables a simple vista, su importancia en el medio acuático radica en que son la base de la cadena trófica y aumentan la cantidad de oxígeno en el agua. Ministerio del medio ambiente y medio rural y marino.

c) Lenteja de agua

Es el nombre coloquial o común por el cual conocen a la *Lemna minor* los pobladores donde abundan estas plantas acuáticas.

d) Heces fecales

Materia sólida y/o líquida que es producto final del proceso de digestión en un ser humano, también considerado indicador de insalubridad en la calidad del agua.

e) Coliformes

Grupo de bacterias aerobias, no esporulantes, fermentadoras de lactosa y habitantes típicos del intestino grueso humano y animales de sangre caliente. Asimismo, sirve como indicador microbiológico en análisis de laboratorio y su medición se realiza generalmente en número más probable (NMP).

f) Remoción

Proceso bioquímico que realizan las especies vegetales fitorremediadoras al entrar en interacción ecosistémica con sustancias contaminadas. El proceso en sí, se realiza a través de la asimilación, metabolismo y detoxificación, según la morfología y particularidad de cada especie fitorremediadora.

g) Propiedad bactericida de la *Lemna minor*

Propiedad bioquímica de la especie *Lemna minor*, caracterizada predominantemente por la presencia de un conjunto de elementos químicos, principalmente de cloro (Cl) y cobre (Cu) que bajo la forma de enzima degradan la pared celular de las bacterias.

h) Grupo testigo

Grupo que garantizara cambios notorios post proceso de fitorremediación.

i) Grupo control

Grupo con el cual la investigación podrá demostrar que obtuvimos resultados, ya que generará una comparación con el pre y post tratamiento.

j) Grupo experimental

Adición del grupo control y grupo testigo, sometido al proceso de fitorremediación

2.4.Hipótesis de la investigación

2.4.1. Hipótesis General

H1: La *Lemna minor* evidencia una alta eficacia en la fitorremediación de coliformes de agua sintética que contiene materia fecal.

2.4.2. Hipótesis Especificas

HE: Los factores ambientales de carácter físico, químico y microbiológicos influyen de modo sostenible el ciclo reproductivo de la *Lemna minor*.

HE: Existe una relación de eficacia alta entre la variación de concentración de coliformes (NMP) y la concentración de *Lemna minor* (g) como resultado del proceso de fitorremediación.

HE: La propiedad bactericida de la *Lemna minor* evidencia una eficacia alta en la remoción de coliformes de agua sintética con materia fecal.

2.4.3. Operacionalización de las variables

Variables	Definición conceptual	Indicadores	Escala de medición
Fitorremediación <i>(Lemna minor)</i> (X)	Tratamiento biológico (remoción) de sustancias residuales utilizando determinadas especies vegetales y sus microorganismos asociados, para eliminar, reducir, remover, degradar o inmovilizar agentes contaminantes ambientales del suelo y/o agua. (Adaptado de Pilon Smits, 2005).	Factores ambientales (temperatura, pH y evapotranspiración) Propiedad bactericida de la <i>Lemna minor</i>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Influyen sosteniblemente ○ No influyen sosteniblemente ○ Alta ○ Intermedio ○ Bajo
Materia fecal (Coliformes) (Y)	Desechos metabólicos sólidos o líquidos de la especie humana compuesto por el resto de alimentos no absorbidos por el aparato digestivo. Se caracteriza por la presencia diversiva de flora bacteriana, entre ellas los coliformes fecales.	Coliformes	<ul style="list-style-type: none"> ○ Número más probable (NMP)

3. CAPITULO III. METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico

◇ Tipo de investigación

El tipo de investigación a desarrollar fue de tipo experimental, donde se manipuló la variable independiente consistente en la fitorremediación (X), situación que devino como resultado efecto la variable dependiente, consistente en la modificación físico- químico del agua sintética con materia fecal, en presencia de coliformes (Y) y, obviamente la injerencia de la variable interviniente (factores de contexto natural).

◇ Nivel de investigación

La investigación aborda el nivel explicativo ya que mediante hechos encontraremos la relación causa-efecto y se probó la veracidad de las hipótesis.

◇ Diseño

Se apeló al uso del diseño experimental, transversal - DGCNE (Diseños de grupo de control no equivalente) Fischer y Ponocny, (1994-1995) su formato consta de medidas antes y después de la aplicación del tratamiento.

Tabla 5
Actividad experimental

Eficiencia de fitorremediación de la <i>Lemna minor</i>			
Tratamiento	Grupo Testigo	Grupo Control	Grupo Experimental
Tr₁	Agua destilada	Agua destilada	Agua destilada
	1000 ml	1000 ml	1000 ml
	+	+	+
	<i>Lemna minor</i> 30 gr	heces fecales 8 gr	<i>Lemna minor</i> 30 gr
Tr₂	Agua destilada	Agua destilada	Agua destilada
	1000 ml	1000 ml	1000 ml
	+	+	+
	<i>Lemna minor</i> 20 gr	heces fecales 4 gr	<i>Lemna minor</i> 20 gr
Tr₃	Agua destilada	Agua destilada	Agua destilada
	1000 ml	1000 ml	1000 ml
	+	+	+
	<i>Lemna minor</i> 10 gr	heces fecales 2 gr	<i>Lemna minor</i> 10 gr

Fuente: Autoría propia.

◇ Enfoque

El enfoque que tiene la investigación desarrollada es cuantitativo ya que plantea la recolección y análisis de datos, con lo que se pudo encontrar respuestas a las hipótesis planteadas. Cabe resaltar que este enfoque se caracteriza por el manejo de las variables establecidas En su mayoría estas recolecciones de datos son representadas mediante técnicas estadísticas.

3.2.Población y muestra

3.2.1. La población

En esta investigación es la clase liliopsida, la cual engloba a la *Lemna minor* en su taxonomía, dicha lenteja desarrollara un proceso denominado fitorremediación.

3.2.2. Muestra

Se tomaron tres muestras representativas en pesos diferenciados de *Lemna minor*. Las cuáles fueron puestas en marcha en el proceso de fitorremediación, así como también se elaboró agua artificial con concentración de coliformes.

- Instrumentos utilizados: Se empleó guantes quirúrgicos, balanza analítica, porta objetos, papel toalla, probetas y cubas.

Tabla 6
Muestra de la lenteja de agua (Lemna minor)

L ₁	L ₂	L ₃
30 gr	20 gr	10 gr

Fuente: Autoría propia

Tabla 7
Muestra de heces fecales, diluidas en agua

Agua artificial con presencia de coliformes	
Agua destilada	1000 ml
C ₁	8 gr
C ₂	4 gr
C ₃	2 gr

Fuente: Autoría propia

3.3. Técnicas de recolección de datos

Las siguientes técnicas a emplear fueron tomadas de Sampieri (2014).

- ◇ **Técnica documental digital:** Para el desarrollo de esta investigación se tomó como antecedente experiencias pasadas, tanto en el contexto nacional e internacional, también se recopiló información investigativa y empírica de las potencialidades que tiene la especie *Lemna minor* como objeto de investigación.
- ◇ **Técnica de observación:** Aquella que tuvo lugar en la vida real, en este caso fue de carácter planificado.

Para las cubas se analizó los parámetros (físicos, químicos y microbiológicos) tomando los valores respectivos. (Tabla n°8 y 9) ;(Figura 15 y 17)

La investigación comprendió 6 etapas:

- **Descripción previa del proceso**

La puesta en marcha de todo proceso investigativo, trasciende de lo simple a lo complejo, de lo desconocido a lo conocido, apelando al criterio del ensayo-error, cuestión que se evidencia en nuestra actividad en una primera etapa. Consecuentemente el sistema de cubas, conteniendo agua artificial con heces fecales y la macrófita fueron ambientados, en espacios con abundante ventilación y exposición directa a los rayos solares, ensayo que divino en una situación adversa que limitó el ciclo reproductivo de la *Lemna minor*; de modo que, se optó por trasladar los

sistemas de cubas a espacios ventilados, pero bajo sombra parcial. Como resultado de este proceso, a continuación, se detallan las etapas correspondientes del proceso de fitorremediación.

a) Etapa I –obtención de las macrófitas acuáticas

La especie *Lemna minor* se recolecto de unos pozos ubicados exactamente en la calle Santa Catalina, distrito de Barranca.

b) Etapa II- Lavado y pesado de las macrófitas (*Lemna minor*)

Descripción: Tras obtener las macrófitas se hizo un ligero lavado con agua potable para poder reducir y/o extraer algún residuo ajeno. Posteriormente se optó por separarla y obtener cantidades en pesos diferenciados.

c) Etapa III – Adaptación y crecimiento de las macrófitas (*Lemna minor*)

Descripción: Ya teniéndola en pesos diferenciados, se colocó en las cubas con abundante agua destilada, debidamente rotuladas.

Forma y dimensión de una cuba.

- **Largo:** 35.5 cm
- **Ancho:** 23 cm
- **Profundidad:** 7 cm

Parámetros a revisar

- **Parámetros físicos:** Temperatura, evapotranspiración, color y olor
- **Parámetro químico:** pH
- **Parámetro microbiológico:** Coliformes fecales

d) Etapa IV- Actividad experimental de fitorremediación

Se llevó a cabo la fase experimental en modo reiterativo y en diversas condiciones, lo cual garantizo la eficacia de fitorremediación de la especie *Lemna minor*, donde se empleó estanques artificiales (cubas) que contenían concentración de coliformes (materia fecal) previamente calculada, de igual manera con la macrófita acuática.

e) Etapa V - Análisis de resultados en el laboratorio

De la etapa anterior se generó muestras que posteriormente fueron llevadas al laboratorio especializado AGQ-Labs, para obtener resultados.

f) Etapa VI - Elaboración del informe de resultados

Con los resultados que se obtuvieron, se redactó conclusiones que expliquen todo el procedimiento experimental que desarrollamos.

3.4. Técnicas para el procesamiento de la información

Ya que la variable independiente, la cual es fitorremediación es un proceso que generó cambios sobre la variable dependiente materia fecal, representado en un resultado numérico. Lo que se busca es obtener varios resultados simultáneamente, ya que se empleó pesos diferenciados en la especie vegetal *Lemna minor* en el proceso de fitorremediación, por ende, se optó por emplear el programa Microsoft Excel.

4. CAPITULO IV. RESULTADOS

4.1. Análisis del resultado

a) Parámetros físicos

Desde la observación empírica y el registro de datos de la misma, permitió caracterizar los siguientes factores en cada una de las cubas.

◇ Color y olor

Para la actividad experimental se organizó tres grupos de estudio: GT, GC Y GE, los cuales evidenciaron cambios progresivos en el tiempo, tanto en la colorimetría como en el olor.

El grupo testigo (GT) estuvo conformado por:

- (L₁): 30 gr de *Lemna minor* + 1000 ml de agua destilada
- (L₂): 20 gr de *Lemna minor* + 1000 ml de agua destilada
- (L₃): 10 gr de *Lemna minor* y 1000 ml de agua destilada
-

El grupo control (GC) estuvo conformado por:

- (C₁): 8 gr de heces fecales + 1000 ml de agua destilada
- (C₂): 4 gr de heces fecales + 1000 ml de agua destilada
- (C₃): 2 gr de heces fecales + 1000 ml de agua destilada
-

El grupo experimental estuvo conformado por:

- (LC₁): 30 gr de *Lemna minor*, 8 gr de materia fecal y 1000 ml de agua destilada
- (LC₂): 20 gr de *Lemna minor*, 4 gr de materia fecal y 1000 ml de agua destilada
- (LC₃): 10 gr de *Lemna minor*, 2 gr de materia fecal y 1000 ml de agua destilada

Para una mayor comprensión organizativa del sistema experimental se ha utilizado las siguientes tablas para caracterizar los parámetros de color y olor en dos fechas específicas en un periodo de diferencia de 15 días.

Tabla 8
Color y olor-18/03/2021

Grupos	Muestras	Color (*)	Olor
Grupo testigo	L ₁	M: Verde S: Translucido	Inodoro
	L ₂	M: Verde S: Translucido	Inodoro
	L ₃	M: Verde S: Translucido	Inodoro
Grupo control	C ₁	S: Turbio	Fétido
	C ₂	S: Turbio	Fétido
	C ₃	S: Semi turbio	Fétido
Grupo experimental	LC ₁	M: Verde S: Turbio	Fétido
	LC ₂	M: Verde S: Turbio	Fétido
	LC ₃	M: Verde S: Semi turbio	Fétido

(*) = (M: Macrófita); (S: Solvente)
 Fuente: Autoría propia



Figura 7 Cuba L₃
 el color de la macrófita
 es verde y el olor es
 inodoro

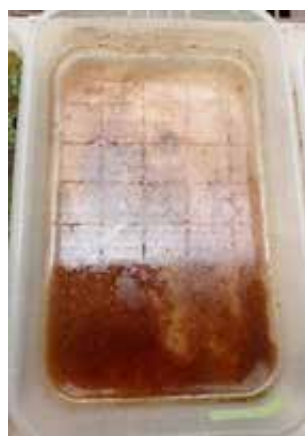


Figura 6 Cuba-C₁
 el solvente es turbio y
 el olor es fétido



Figura 8 Cuba-LC₂
 el color de la macrófita
 es verde y el olor es
 fétido

Tabla 9
Color y olor-02/04/2021

Grupos	Muestras	Color (*)	Olor
Grupo testigo	L ₁	M: Verde S: Translucido	Inodoro
	L ₂	M: Verde S: Translucido	Inodoro
	L ₃	M: Verde S: Translucido	Inodoro
Grupo control	C ₁	S: Turbio	Fétido
	C ₂	S: Turbio	Fétido
	C ₃	S: Turbio	Fétido
Grupo experimental	LC ₁	M: Blanco S: Turbio	Inodoro
	LC ₂	M: Amarillo S: Turbio	Inodoro
	LC ₃	M: Verde S: Semi turbio	Inodoro

(*) = (M: Macrófita); (S: Solvente)
 Fuente: Autoría propia



Figura 9 Cuba-L₁
 el color de la macrófita
 es verde y el olor es
 inodoro



Figura 10 Cuba-C₃
 el solvente es turbio y
 el olor es fétido



Figura 11 Cuba-LC₁
 el color de la
 macrófita es blanco y
 el olor es inodoro

En la tabla 8, transcurrido un período de una semana se evidencio cambios de color y olor intenso en las cubas C₁ y LC₂ correspondientemente.

Según la tabla 9 nos muestra que, en el transcurso de las dos semanas de la actividad experimental, se volvió a recolectar información a partir de la observación del color y olor del sistema de cubas, evidenciándose cambios más notorios en el caso de la macrófita de color verde a un color amarillo y posteriormente a blanco y, en sentido contrario la intensidad del olor fétido de la cuba experimental LC₁ devino en un estado inodoro.

◇ **Temperatura**

Este factor físico cumple un rol muy importante, en el desarrollo de todo ser vivo autotrófico, no pudiendo ser la excepción de nuestro objeto de estudio. Vean la siguiente tabla.

Tabla 10
Temperatura máxima y mínima en los meses marzo-abril

	Meses	Temperatura
Marzo	Temperatura máxima	27.2 °C
	Temperatura mínima	20.1 °C
Abril	Temperatura máxima	25.6 °C
	Temperatura mínima	18.3 °C

Fuente: Autoría propia

En cuanto a la temperatura se comprobó que las muestras expuestas a altos grados de temperatura y a exposición directa al sol, por el fenómeno de evapotranspiración limita al ciclo reproductivo de la *Lemna minor*, situación que no nos permitió observar el proceso de la fitorremediación. Esta experiencia nos llevó a ubicar las cubas en espacios ventilados y con sombra.

◇ Evapotranspiración

Proceso físico en el cual el agua pasa de estado líquido a estado gaseoso. En este caso el solvente (agua destilada) se evaporará y se desintegrará en la atmósfera.

$$\begin{aligned} \text{Evapotranspiración} &= \frac{\text{Altura inicial (cm)} - \text{Altura final (cm)}}{\text{Tiempo (días)}} \\ &= \frac{7 \text{ cm} - 5.20 \text{ cm}}{31 \text{ días}} \\ &= \frac{1.8 \text{ cm}}{31 \text{ días}} = 0.058 \text{ cm/día} \end{aligned}$$

De este proceso se evidencia, que transcurrido los 31 días notamos una reducción media de la cantidad del solvente (agua destilada) con la que se inició el tratamiento de fitorremediación.

b) Parámetros químicos

◇ pH

El rango de tolerancia en la escala de pH donde mejor se desarrolla la macrófita *Lemna minor*, va desde el 3 al 10.

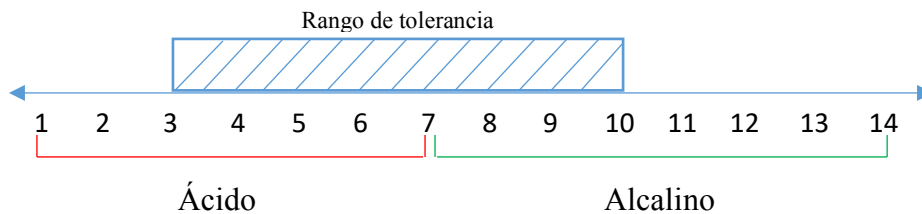


Figura 12 Rango de tolerancia-pH de la *Lemna minor*

Tabla 11
Lemna minor – pH

Parámetro	Muestras	Tiempo	Resultados de muestras
pH	L ₁	17 días	7.41 pH
	L ₂	17 días	6.86 pH
	L ₃	17 días	6.80 pH

Fuente: Autoría propia

Tabla 12
Lemna minor-pH

Parámetro	Muestras	Tiempo	Resultados de muestras
pH	L ₁	31 días	7.08 pH
	L ₂	31 días	6.86 pH
	L ₃	31 días	6.86 pH

Fuente: Autoría propia

*(L₁: 30 gr de *Lemna minor* +agua destilada), (L₂: 20 gr de *Lemna minor* +agua destilada), (L₃: 10 gr de *Lemna minor* +agua destilada)

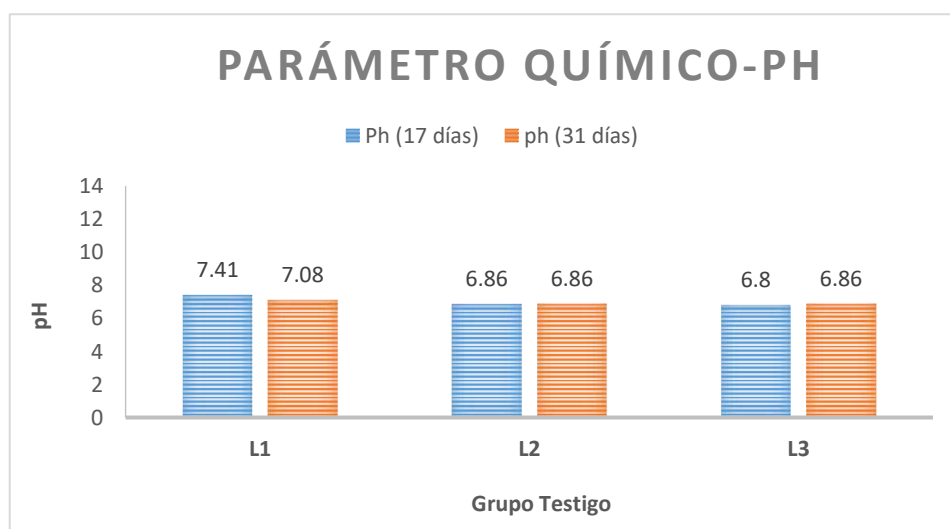


Figura 13 Representación de barras del grupo testigo-pH

De las tablas 11 y 12 diferenciados por el periodo de tiempo (17 días a 31 días) se evidencia en L₁ una variación ligera hacia la alcalinización (7.41 a 7.08 pH) en tanto en L₂ y L₃ presentan una tendencia leve hacia la acidificación, entendiéndose que esta variación se circunda en el rango de tolerancia de la macrófita.

Tabla 13
Sin tratamiento de *Lemna minor* – pH

Parámetro	Muestras	Tiempo	Resultados de muestras
pH	C ₁	17 días	8.62 pH
	C ₂	17 días	8.84 pH
	C ₃	17 días	9.18 pH

Fuente: Autoría propia.

Tabla 14
Sin tratamiento de *Lemna minor*-pH

Parámetro	Muestras	Tiempo	Resultados de muestras
pH	C ₁	31 días	7.63 pH
	C ₂	31 días	7.41 pH
	C ₃	31 días	7.41 pH

Fuente: Autoría propia

*(C₁: 8 gr de heces fecales + agua destilada), (C₂: 4 gr de heces fecales + agua destilada), (C₃: 2 gr de heces fecales + agua destilada)

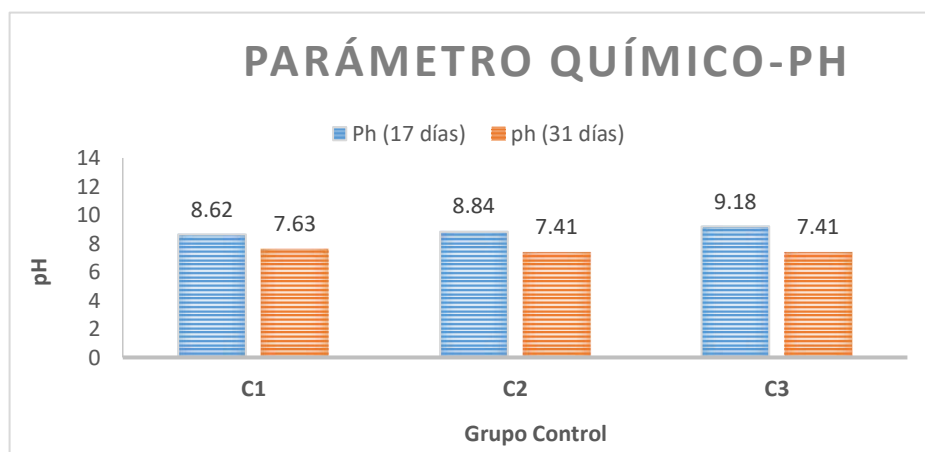


Figura 14 Representación de barras del grupo control-pH

En la tabla 13 y 14 se evidencia resultados del parámetro químico pH en el grupo control, donde C₁ va de 8.62 (17 días) a 7.63 (31 días), en C₂ va de 8.84 (17 días) a 7.41 (31 días) y en C₃ va de 9.18 (17 días) a 7.41 (31 días) en las tres muestras notamos una ligera baja, pero aun así es evidente la tendencia hacia la alcalinización.

Tabla 15
Con tratamiento de Lemna minor-pH

Parámetro	Muestras	Tiempo	Resultados de muestras
pH	LC ₁	17 días	8.40 pH
	LC ₂	17 días	8.18 pH
	LC ₃	17 días	9.06 pH

Fuente: Autoría propia

Tabla 16
Con tratamiento de Lemna minor-pH

Parámetro	Nº Muestras	Tiempo	Resultados de muestras
pH	LC ₁	31 días	7.41 pH
	LC ₂	31 días	7.30 pH
	LC ₃	31 días	6.86 pH

Fuente: Autoría propia

*(LC₁: 30 gr de Lemna minor + agua destilada), (LC₂: 20 gr de Lemna minor + agua destilada), (LC₃: 10 gr de Lemna minor + agua destilada)

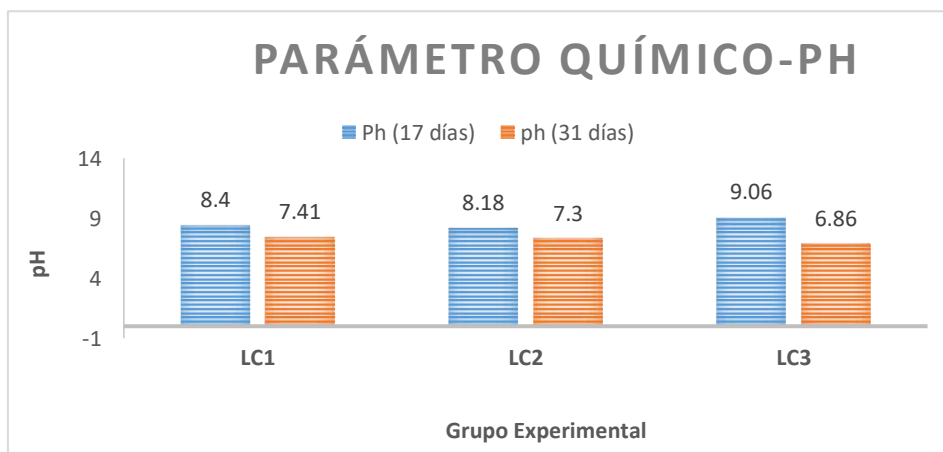


Figura 15 Representación de barras del grupo experimental-pH

En la tabla 15 y 16 se evidencia los resultados del parámetro químico pH en el grupo experimental, donde LC₁ va de 8.40 (17 días) a 7.41 (31 días), en LC₂ va de 8.18 (17 días) a 7.30 (31 días), en las muestras ya mencionadas notamos una baja, pero se mantienen alcalinas y en LC₃ va de 9.06 (17 días) a 6.86 (31 días) presente la baja, inclinada hacia la acidificación.

- Al contrastar la variación del pH del grupo testigo, control y experimental:

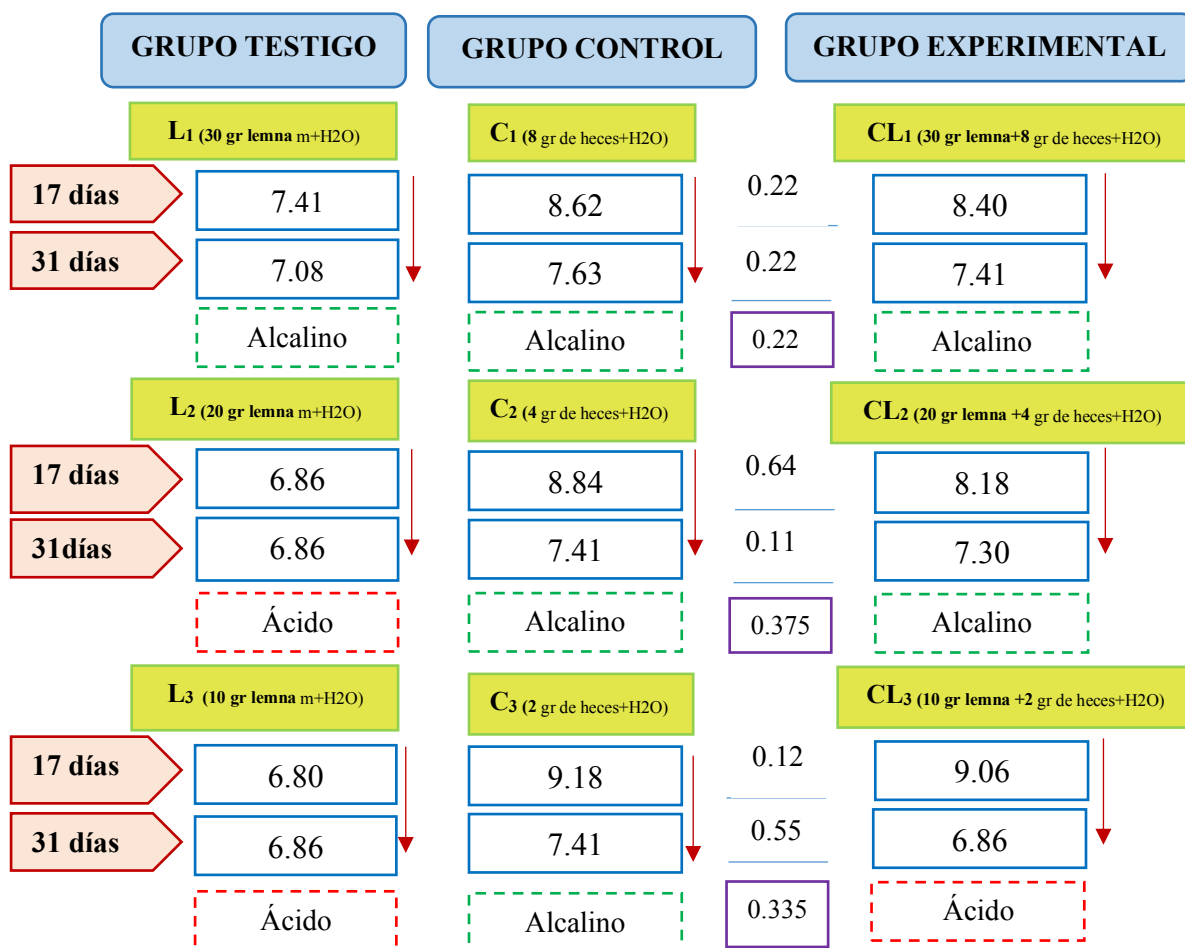


Figura 16 Relación de los tres grupos-pH

La figura 16 representa los resultados en cuanto a pH en los tres grupos (grupo testigo, grupo control y grupo experimental) podemos decir lo siguiente:

- A > cantidad de macrófitas en proporción a las heces fecales (30 gr de *Lemna minor*/ 8 gr de materia fecal) la variación de pH es equivalente promedio a 0.22 con tendencia hacia la alcalinización.
- La cantidad intermedia de macrófitas en proporción a las heces fecales (20 gr de *Lemna minor*/4 gr de materia fecal) la variación de pH es equivalente promedio a 0.375 con tendencia hacia la alcalinización.
- A < cantidad de macrófitas en proporción a las heces fecales (10 gr de *Lemna minor*/2gr de materia fecal) la variación de pH es equivalente promedio a 0.335 con tendencia hacia la acidificación.

c) Parámetros microbiológicos

◇ Coliformes fecales

Tabla 17

Cuantificación de coliformes fecales-pre tratamiento

Grupo	Muestras	Tiempo	Coliformes fecales
Grupo Control	C ₁	31 días	2,2 x 10 ⁴ NMP/100 ML
	C ₂	31 días	2,5 x 10 ³ NMP/100 ML
	C ₃	31 días	2,4 x 10 ³ NMP/100 ML

Fuente: Autoría propia

Tabla 18

Cuantificación de coliformes fecales-post tratamiento

Grupo	Muestras	Tiempo	Coliformes fecales
Grupo Experiencia	LC ₁	31 días	< 1,8 NMP/100 ML
	LC ₂	31 días	< 1,8 NMP/100 ML
	LC ₃	31 días	< 1,8 NMP/100 ML

Fuente: Autoría propia

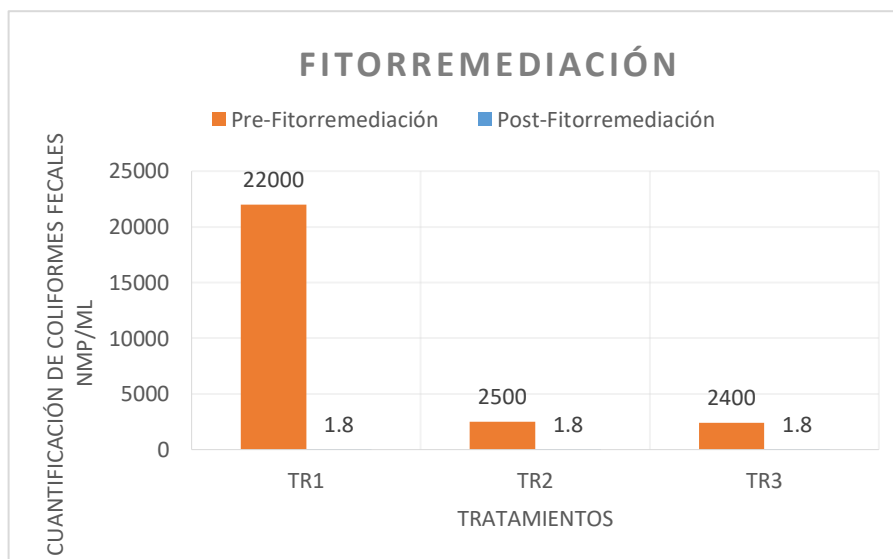


Figura 17 Pre-fitorremediación vs. Post-fitorremediación

En la tabla 17 y 18 se evidencian resultados del parámetro microbiológico-coliformes fecales en el grupo control y experimental. En el caso de C₁ y LC₁, C₂ y LC₂ y finalmente C₃ y LC₃ notamos una diferencia muy marcada de la remoción representada en la figura de barras.

◇ **Porcentaje de remoción**

$$\text{Formula \% de remoción} = \frac{[C_e]-[C_s]}{[C_e]} \times 100$$

$$\begin{aligned} \text{\% de remoción en TR}_1 &= \frac{[C_e]-[C_s]}{[C_e]} \times 100 \\ &= \frac{[2,2 \times 10^4 \text{ NMP/mL}]-[1,8 \text{ NMP/mL}]}{[2,2 \times 10^4 \text{ NMP/mL}]} = 0,9999 \\ &= 0,99991 \times 100 = 99\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{\% de remoción en TR}_2 &= \frac{[C_e]-[C_s]}{[C_e]} \times 100 \\ &= \frac{[2,5 \times 10^3 \text{ NMP/mL}]-[1,8 \text{ NMP/mL}]}{[2,5 \times 10^3 \text{ NMP/mL}]} = 0,9992 \\ &= 0,99928 \times 100 = 99\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{\% de remoción en TR}_3 &= \frac{[C_e]-[C_s]}{[C_e]} \times 100 \\ &= \frac{[2,4 \times 10^3 \text{ NMP/mL}]-[1,8 \text{ NMP/mL}]}{[2,4 \times 10^3 \text{ NMP/mL}]} = 0,99925 \\ &= 0,99925 \times 100 = 99\% \end{aligned}$$

Leyenda: [C_{entrada}] = C_{1,2,3}

[C_{salida}] = LC_{1,2,3}

Del análisis del parámetro microbiológico, las cubas con las muestras correspondientes en los grupos asignados, fueron analizados en el laboratorio especializado en servicios en las áreas de agronomía, medio ambiente, salud y seguridad. Cuyos resultados obtenidos fueron los siguientes:

- a) En el tratamiento de fitorremediación 1 se obtuvo el 99% de remoción de coliformes fecales, evidenciando eficacia

- b) En el tratamiento de fitorremediación 2 se obtuvo el 99% de remoción de coliformes fecales, evidenciando eficacia

- c) Y en el tratamiento de fitorremediación 3, el ultimo. Se obtuvo el 99% de remoción de coliformes fecales, evidenciando eficacia

4.2. Contrastación de la hipótesis

Hipótesis General

Hipótesis alternativa: La *Lemna minor* evidencia eficacia en la fitorremediación de coliformes de agua sintética que contiene materia fecal

Hipótesis nula: La *Lemna minor* no evidencia eficacia en la fitorremediación de coliformes de agua sintética que contiene materia fecal

Hipótesis Especifica 1

Hipótesis alternativa: Los factores ambientales de carácter físico, químico y microbiológico influyen en la sostenibilidad del ciclo reproductivo de la *Lemna minor*.

Hipótesis nula: Los factores ambientales de carácter físico, químico y microbiológico no influyen en la sostenibilidad del ciclo reproductivo de la *Lemna minor*.

Hipótesis Especifica 2

Hipótesis alternativa: Existe una relación de eficacia entre la variación de concentración de coliformes (NMP) y la concentración de *Lemna minor* (g) como resultado del proceso de fitorremediación.

Hipótesis nula: No existe una relación de eficacia entre la variación de concentración de coliformes (NMP) y la concentración de *Lemna minor* (g) como resultado del proceso de fitorremediación.

Hipótesis Especifica 3

Hipótesis alternativa: La propiedad bactericida de la *Lemna minor* evidencia una eficacia en la remoción de coliformes de agua sintética con materia fecal.

Hipótesis nula: La propiedad bactericida de la *Lemna minor* no evidencia una eficacia en la remoción de coliformes de agua sintética con materia fecal

5. CAPITULO V. DISCUSIÓN

5.1. Discusión de resultados

Los resultados de la presente investigación evidencian un grado de eficacia a través del proceso de fitorremediación de coliformes fecales, datos que podemos notar en la tabla 17, donde el grupo control arroja los siguientes datos pre tratamiento C_1 : $2,2 \times 10^4$ NMP/100 ml, C_2 : $2,5 \times 10^3$ NMP/100 ml y C_3 : $2,4 \times 10^3$ NMP/100 ml y en la tabla 18 del grupo experimental tenemos los siguientes datos LC_1 : $< 1,8$ NMP/100 ml, LC_2 : $< 1,8$ NMP/100 ml y LC_3 : $< 1,8$ NMP/100 ml post tratamiento con la macrófita *Lemna minor*. Ambos grupos tuvieron un período de tiempo de 31 días.

En este caso coincidimos con (Gualán,2016) ya que los resultados obtenidos en su investigación que llevan a cabo empleando dos especies vegetales, siendo una de ellas la *Lemna minor* con agua residuales en presencia de coliformes fecales obtienen como resultado del proceso de fitorremediación de 110000 NMP/100 ml a 150 NMP/100 ml en un periodo de tiempo de 14 días. Por otro lado (Cupe & Portocarrero, 2009) estipulan en su resumen, tras trabajar con tres especies vegetales que la *Lemna minor* ocupa el segundo lugar en cuanto a eficacia.

Los factores ambientales tanto físicos y químicos influyen en el ciclo reproductivo de la *Lemna minor*, como muestra la tabla 10 donde la temperatura de la cual se realizó un análisis, nos proporciona datos de los meses donde se realizó el proceso de fitorremediación como: la temperatura máxima del mes de marzo es 27.2 °C y la temperatura del mes de abril es 25.6 °C. Asimismo (Gualán, 2016) confirma en su estudio que la *Lemna minor* posee un rango amplio de temperatura que varía entre 5 a 30 °C, con un crecimiento optimo entre los 15 y 18 °C.

En la tabla 15 y 16 se emiten resultados del potencial de hidrogeno (pH) en el grupo experimental donde LC_1 va de 8.40 (17 días) a 7.41 (31 días), en LC_2 va de 8.18 (17 días) a 7.30 (31 días) y en LC_3 va de 9.06 (17 días) a 6.86 (31 días), notamos la presencia mayoritaria de alcalinidad en los tres grupos.

De esta manera podemos decir que coincidimos con el autor (Gualán, 2016) ya que en su investigación sostiene que las piscinas con las que trabajo que contienen *Lemna minor* arrojan como dato en pH (día 7) 7.7 , (día 14) $7,7$ y (día 21) 7.5 manteniendo la alcalinidad, siendo esto beneficioso al desarrollo del ciclo reproductivo de la macrófita. Además, según García (2012)

en su investigación detalla que se presenta mejores resultados de desarrollo en pH 7 y en su estudio específicamente se mantuvo el pH entre 7.54 -10.40

En cuanto al porcentaje de remoción en el grupo experimental nos dio como resultado, en el tratamiento 1 (LC₁), un 0,99991 equivalente al 99%, el tratamiento 2 (LC₂), un 0,99928 equivalente al 99% y en el tratamiento 3 (LC₃), un 0,99925 equivalente al 99%. Demostrando de esta manera la evidente eficacia de la macrófita empleada.

Y asimismo (León Robert, 2017) en su estudio sostiene que la *Lemna minor* de cinco plantas más con las que trabajó. Obtuvo una remoción al 100% de la E. coli, la cual pertenece a la familia de coliformes fecales, y un 24,91% de coliformes totales.

Con los autores descritos anteriormente compartimos similitud en la obtención de resultados, tras emplear o trabajar con la misma especie vegetal (*Lemna minor*) mediante un proceso de fitorremediación y los resultados demuestran la eficacia de esta macrófita.

Con este conjunto de argumentaciones, se categoriza de modo concreto, que el resultado de la actividad experimental confirmó el enunciado hipotético formulado.

6. CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- La macrófita *lemna minor* evidenció eficacia en el proceso de fitorremediación, en el grupo experimental de las tres cubas etiquetadas como (LC₁, LC₂ y LC₃) durante el periodo de 31 días.
- Los factores ambientales (físicos y químicos) influyen de manera sostenible en el ciclo reproductivo de la *lemna minor*. La temperatura oscilante en 25.6 a 27.2 fue adecuada, dejando claro que la exposición directa al sol no es conveniente, bajo sombra es lo ideal, de esto último también dependerá el fenómeno de la evapotranspiración y de la cantidad de días tomados para el desarrollo del proyecto.

En cuanto al pH a > cantidad de macrofitas en proporción a las heces fecales la variación del pH es equivalente a la alcalinización, en cantidad intermedia de macrofitas en proporción a las heces fecales la equivalente también se inclina hacia la alcalinización y a < cantidad de macrofitas en proporción a las heces fecales es equivalente a la tendencia a la acidificación.

- Tuvo una relación eficiente la concentración de macrofitas (g) y la concentración de coliformes fecales (NMP). A mayor concentración de *lemna minor*, menor es la concentración de (NMP) de las coliformes fecales.
- El porcentaje de remoción de los tres tratamientos que se desarrolló. El tratamiento 1 evidencia una eficacia de 0,99991 equivalente al 99% con una concentración de 30 gr de *lemna minor*.

6.2.Recomendaciones

Los resultados de la actividad experimental llevan a plantear y sugerir su aplicación práctica en los siguientes rubros:

- Tratamiento de aguas domésticas en centros rurales o urbanos desde una postura ecológica, con la finalidad de mitigar el impacto ecológico, a raíz de las actividades de carácter antropógena.
- Tratamiento o reciclaje de las aguas domésticas de los centros escolares y universidades, las mismas que pueden ser utilizadas en los biohuertos escolares.
- Aplicación en proyectos pilotos de investigación aplicada
- Implementación de parques científicos para infantes y adolescentes, con la finalidad de estimular la actividad de la indagación
- Aplicación como insumos de alguna de las variables durante la práctica de laboratorio en los centros escolares.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

7.1.Fuentes bibliográficas

- Allocati, N., Masulli, M., Alexeyev, M. F. y Di Ilio, C. (2013). *Escherichia coli* in Europe: An overview. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(12), 6235–6254. doi: 10.3390/ijerph10126235
- Camacho, A., Giles, M., Ortegón, A., Palao, M., Serrano, B. y Velázquez, O. (2009). *Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos* (trabajo de grado). 2ª ed. Facultad de Química, UNAM, México.
- Celis, M. (2017). *Optimización de la concentración de agua residual sintética para incrementar la absorción de plomo por Lemna minor lenteja de agua* (tesis pregrado). Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú.
- Chiras, D. (2006). *Environmental Science*. Estados Unidos de América: Jones and Bartlett Publisher, Inc; 7 edición. Recuperado de: http://books.google.com.mx/books?id=_3zLQvhENVMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Cupe, E., Portocarrero, C. (2009). *Evaluación de la eficiencia de plantas acuáticas flotantes Lemna minor (Lenteja de agua), Eichhornia Crassipes (Jacinto de agua) y Pistia Stratoides (Lechuga de agua) para el tratamiento de aguas residuales domésticas* (tesis pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Díaz, F. J., O'Geen, A. T., y Dahlgren, R. A. (2010). Efficacy of constructed wetlands for removal of bacterial contamination from agricultural return flows. *Agricultural Water Management*, 97(11), 1813–1821. doi: org/10.1016/j.agwat.2010.06.015
- Escobar, A. (2013, 18 de enero-junio). En el transfondo de nuestra cultura: La tradición racionalista y el problema del dualismo ontológico. *Tabula Rasa-Revista de Humanidades*. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/396/39629177001.pdf>
- Feyerabend, Paul K. (2009). *¿Por qué no Platón?* Madrid: tecnos.

- Fischer, G.H. y Ponocny, I. (1995). Extendida escala de calificación y modelos de crédito parcial para evaluar el cambio. En G.H.Fischer e I.W.Molenaar, eds. : Modelos de Rasch, fundamentos, desarrollos y aplicaciones recientes, págs. 353-70. NuevoYork, Nueva York: Springer-Verlag
- García, Z. (2012). *Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Giannuzzo, A. (2010). *Los estudios sobre el ambiente y la ciencia ambiental*. Recuperado de <https://www.scielo.br/j/ss/a/DcgkTxq9MkKhctCddKDnTMK/?lang=es&format=pdf>
- Gualan, S. y Ramos, G. (2016). *Evaluación del pasto alemán (Echinochloa Polystachya) y lenteja de agua (Lemna Minor) como especies fitorremediadoras para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Chicaña, provincia de Zamora Chinchipe* (tesis pregrado). Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
- Hernández, N. y Luna, J. (2016). *Prueba piloto para la evaluación de la eficiencia de las plantas fitorremediadoras del humedal las Tinguas, en el tratamiento de aguas residuales domésticas* (Tesis de pregrado). Universidad De La Salle, Bogotá, Colombia
- Hortua, E. (2007). *Hipotesis de la Gaia-James Lovelock, Lynn Margulis* (trabajo de grado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- Jaramillo, M. y Flores, E. (2012). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (Lenteja de agua), y Echornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
- Kiely, G. (1999). *Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. España: Dialnet.
- Larios, J., González, C. y Morales, Y. (2015). *Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú* (tesis de pregrado). Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, Perú.
- Leff, E. (2006). *Aventuras de la epistemología ambiental. De la articulación de las ciencias al diálogo de saberes*, Siglo XXI Editores, México, 2006, 138 p
- Leimbach, A., Hacker, J., y Dobrindt, U. (2013). Intradermal Rabies Vaccination: The Evolution and Future of Pre- and Post-exposure Prophylaxis. *Current Topics in Microbiology and Immunology*, 358(January), 3–32. doi: org/10.1007/82

- León. (2016). *Inventario de plantas recomendadas para fitorremediación de coliformes fecales en aguas negras* (tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- López, B. (18 de diciembre de 2020). Coliformes: características, tipos, géneros, enfermedades. *Lifeder*. Recuperado de <https://www.lifeder.com/coliformes/>
- Madigan, M.; Martinku, J. Y Parker, J. (1997). “Biología de los microorganismos”. Prentice Hall. Madrid. Octava edición. 986 págs.
- Mayo, A. W. (2004). Kinetics of bacterial mortality in granular bed wetlands. *Physics and Chemistry of the Earth*, 29 (15 – 18), 1259 – 1264. doi : org/10.1016/j.pce.2004.09.030
- Marín, B., Garay, J., Ramírez, G., Betancourt, J., Troncoso, W. y Gómez, ML. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. *Diagnóstico Nacional y Regional 2004*. INVEMAR; 2004b.
- McLay, L. (1976). El efecto del pH sobre el crecimiento poblacional de tres especies de lenteja de agua: *Spirodela oligorrhiza*, *Lemna minor* y *Wolffia arrhiza*. *Biología de agua dulce*, 6 (2), 125-136. doi: 10.1111 / j.1365-2427.1976.tb01596.x
- Mentaberry, A. (2011). *Fitorremediación* (trabajo de grado). Departamento de Fisiología, Biología Molecular y Celular Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Metcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. España: Mc Graw-Hill.
- Miller, G. (1994). *Ecología y medio ambiente*. Ciudad de México, México: Grupo editorial Iberoamérica.
- Munn, Cb. (2004) *Marine Microbiology: ecology and applications*. New York, Estados Unidos: BIOS Scientific Publisher.
- Nebel y Bernard, J. (1999). *Ciencias Ambientales; Ecología y Desarrollo Sostenible*. México: Prentice Hall. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=sy0dCa8xC5MC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ViewAPI&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Olguin, J., Núñez, R., Meas, Y. y Ortega, R. (2004, junio-setiembre). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Ciencia*. Recuperado de https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf

- Olivera, P. y Quispe, G. (2011). *Caracterización química de Lemna o lenteja de agua del lago Titicaca* (tesis de pregrado). Universidad del Altiplano de Puno, Puno, Perú.
- Oron, G., Potah, D. y Jansen, H. (1985). Rendimiento de la especie de lenteja de agua *Lemna gibba* en aguas residuales municipales para la renovación de efluentes y producción de proteínas. *Biotechnology and Bioengineering*. doi: org/10.1002/bit.260290217
- Pilon-Smits, E. (2005). Fitorremediación. *Revisión anual de biología vegetal*, 56, 15-39. doi: org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214
- Robles (2013). *Evaluación de sistemas de fitorremediación de aguas residuales dentro de una biorrefinación* (tesis de pregrado). Instituto de la ecología, México.
- Rodier, J. (1986). *Análisis de aguas*. Barcelona, España: OMEGA.
- Shi, S., y Wang, X. 1991. The purifying efficiency and mechanism of aquatic plants in ponds. *Wat. Sci. Tech* 24 (5):63- 73
- Solic, M., & Krstuloviic, N. (1992). Separate and combined effects of solar radiation, temperature, salinity, and pH on the survival of faecal coliforms in seawater. *Marine Pollution Bulletin*, 24(8), 411–416. doi: 10.1128 / AEM.68.3.1122-1131.2002
- Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V
- Sunass. (2019). Estudio Tarifario- empresa prestadora de servicios de saneamiento de barranca sociedad anónima -eps barranca s.a. (1). Recuperado de https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2020/09/et_barranca_final_nov2019.pdf

ANEXOS

Matriz de consistencia

“Fitorremediación de coliformes a través de la especie *Lemna minor* en agua sintética con materia fecal”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DISEÑO METODOLOGICO												
<p>Problema General</p> <p>- ¿Qué grado de eficacia evidencia la <i>Lemna minor</i> en el proceso de fitorremediación de coliformes en agua sintética que contiene materia fecal?</p> <p>Problemas Específicos</p> <p>- ¿Qué factores ambientales de carácter físico, químico y biológico influyen la sostenibilidad del ciclo reproductivo de la especie <i>Lemna minor</i>?</p> <p>- ¿Qué relación de eficacia existe entre la variación de la concentración de coliformes (NMP) y la concentración de <i>Lemna minor</i> (g) durante el proceso de la fitorremediación de agua sintética con materia fecal?</p> <p>- ¿Qué grado de eficacia evidencia la propiedad bactericida de la <i>Lemna minor</i> en la remoción de coliformes de agua sintética que contiene materia fecal?</p>	<p>Objetivo General</p> <p>- Determinar el grado de eficacia de la <i>Lemna minor</i> en la fitorremediación de coliformes en agua sintética que contiene material fecal.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>- Describir y caracterizar los factores físico, químico y biológico que influyen en el ciclo reproductivo de la <i>Lemna minor</i>.</p> <p>- Establecer la relación de eficacia entre la variación de concentración de coliformes (NMP) y la concentración de <i>Lemna minor</i> (g) como resultado del proceso de fitorremediación.</p> <p>- Demostrar el grado de eficacia de la propiedad bactericida de la <i>Lemna minor</i> en la remoción de coliformes de agua sintética con materia fecal.</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>-H1: La <i>Lemna minor</i> evidencia una alta eficacia en la fitorremediación de coliformes de agua sintética que contiene materia fecal</p> <p>Hipótesis Específicas</p> <p>-HE: Los factores ambientales de carácter físico, químico y microbiológicos influyen de modo sostenible el ciclo reproductivo de la <i>Lemna minor</i>.</p> <p>-HE: Existe una relación de eficacia alta entre la variación de concentración de coliformes (NMP) y la concentración de <i>Lemna minor</i> (g) como resultado del proceso de fitorremediación</p> <p>-HE: La propiedad bactericida de la <i>Lemna minor</i> evidencia una eficacia alta en la remoción de coliformes de agua sintética con materia fecal.</p>	<p>V.I</p> <p>Fitorremediación (<i>Lemna minor</i>)</p> <p>X</p> <p>V.D</p> <p>Materia fecal (Coliformes)</p> <p>Y</p>	<p>-Tipo: El tipo de investigación desarrollado es de tipo cuasiexperimental</p> <p>-Diseño: Se apeló al uso del diseño cuasi-experimental, transversal - DGCNE (Diseños de grupo de control no equivalente), su formato consta de medidas antes y después de la aplicación del tratamiento.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr><th>GT</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>L₁</td></tr> <tr><td>L₂</td></tr> <tr><td>L₃</td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr><th>GC</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>C₁</td></tr> <tr><td>C₂</td></tr> <tr><td>C₃</td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr><th>GE</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>LC₁</td></tr> <tr><td>LC₂</td></tr> <tr><td>LC₃</td></tr> </tbody> </table> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>Medidas antes</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Medidas después</p> </div> </div>	GT	L ₁	L ₂	L ₃	GC	C ₁	C ₂	C ₃	GE	LC ₁	LC ₂	LC ₃
GT																
L ₁																
L ₂																
L ₃																
GC																
C ₁																
C ₂																
C ₃																
GE																
LC ₁																
LC ₂																
LC ₃																

FICHA DE OBSERVACIÓN

MUESTRAS	FECHA: dd/mm/aa	PARAMETRO:
GRUPO: TESTIGO	HORA:	pH
L ₁	FECHA: 24/03/2021	7,41
	HORA: 12:49	
L ₂	FECHA: 24/03/2021	6,86
	HORA: 12:52	
L ₃	FECHA: 24/03/2021	6,80
	HORA: 12:57	

MUESTRAS	FECHA: dd/mm/aa	PARAMETRO:
GRUPO: CONTROL	HORA:	pH
C ₁	FECHA: 24/03/2021	8,62
	HORA: 1:00 pm	
C ₂	FECHA: 24/03/2021	8,84
	HORA: 1:05 pm	
C ₃	FECHA: 24/03/2021	9,18
	HORA: 1:09 pm	

MUESTRAS	FECHA: dd/mm/aa	PARAMETRO:
GRUPO: EXPERIMENTAL	HORA:	pH
LC ₁	FECHA: 24/03/2021	8,40
	HORA: 1:15 pm	
LC ₂	FECHA: 24/03/2021	8,18
	HORA: 1:22 pm	
LC ₃	FECHA: 24/03/2021	9,06
	HORA: 1:30 pm	

Figura 18 Ficha de observación y recolección de datos -pH- 24/03/21

FICHA DE OBSERVACIÓN

MUESTRAS	FECHA: dd/mm/aa	PARAMETRO:
GRUPO: TESTIGO	HORA:	PH
L ₁	FECHA: 07/04/2021	7,08
	HORA: 01:45 pm	
L ₂	FECHA: 07/04/2021	6,86
	HORA: 01:53 pm	
L ₃	FECHA: 07/04/2021	6,86
	HORA: 2:00 pm	

MUESTRAS	FECHA: dd/mm/aa	PARAMETRO:
GRUPO: CONTROL	HORA:	PH
C ₁	FECHA: 07/04/2021	7,63
	HORA: 2:07 pm	
C ₂	FECHA: 07/04/2021	7,41
	HORA: 2:12 pm	
C ₃	FECHA: 07/04/2021	7,41
	HORA: 2:17 pm	

MUESTRAS	FECHA: dd/mm/aa	PARAMETRO:
GRUPO: EXPERIMENTAL	HORA:	PH
LC ₁	FECHA: 07/04/2021	7,41
	HORA: 2:25 pm	
LC ₂	FECHA: 07/04/2021	7,30
	HORA: 2:32 pm	
LC ₃	FECHA: 07/04/2021	6,86
	HORA: 2:43 pm	

Figura 19 Ficha de observación y recolección de datos -pH- 07/04/21

FICHA DE OBSERVACIÓN

MUESTRAS	FECHA: dd/mm/aa	PARAMETRO:
GRUPO: TESTIGO	HORA:	COLOR Y OLOR
L1	FECHA: 18/03/2021	- Color - Olor - Macrofitas: Verde Inodoro - Solvente: Translucido
	HORA: 3:07 pm	
L2	FECHA: 18/03/2021	- Color - Olor - Macrofitas: verde Inodoro - Solvente: Translucido
	HORA: 3:09 pm	
L3	FECHA: 18/03/2021	- Color - Olor - Macrofitas: Verde Inodoro - Solvente: Translucido
	HORA: 3:12 pm	

MUESTRAS	FECHA: dd/mm/aa	PARAMETRO:
GRUPO: CONTROL	HORA:	COLOR Y OLOR
C1	FECHA: 18/03/2021	- Color - Olor - Solvente: Turbio Fétido
	HORA: 3:15 pm	
C2	FECHA: 18/03/2021	- Color - Olor - Solvente: Turbio Fétido
	HORA: 3:21 pm	
C3	FECHA: 18/03/2021	- Color - Olor - Solvente: Semi turbio Fétido
	HORA: 3:25 pm	

MUESTRAS	FECHA: dd/mm/aa	PARAMETRO:
GRUPO: EXPERIMENTAL	HORA:	COLOR Y OLOR
LC1	FECHA: 18/03/2021	- Color - Olor - Macrofitas: Verde Fétido - Solvente: Turbio
	HORA: 3:30 pm	
LC2	FECHA: 18/03/2021	- Color - Olor - Macrofitas: Verde Fétido - Solvente: turbio
	HORA: 3:32 pm	
LC3	FECHA: 18/03/2021	- Color - Olor - Macrofitas: Verde Fétido - Solvente: Semi turbio
	HORA: 3:35 pm	

Figura 20 Ficha de observación y recolección de datos-color y olor 18/03/21

FICHA DE OBSERVACIÓN

MUESTRAS	FECHA: dd/mm/aa	PARAMETRO:
GRUPO: TESTIGO	HORA:	COLOR Y OLORES
L ₁	FECHA: 02/04/2021	- Color macrofita: verde solvente: translucido
	HORA: 2:15 pm	- Olor Inodoro
L ₂	FECHA: 02/04/2021	- Color Macrofita: verde Solvente: translucido
	HORA: 2:20 pm	- Olor Inodoro
L ₃	FECHA: 02/04/2021	- Color Macrofita: verde Solvente: translucido
	HORA: 2:23 pm	- Olor Inodoro

MUESTRAS	FECHA: dd/mm/aa	PARAMETRO:
GRUPO: CONTROL	HORA:	COLOR Y OLORES
C ₁	FECHA: 02/04/2021	- Color Solvente: Turbio
	HORA: 2:30 pm	- Olor Fétido
C ₂	FECHA: 02/04/2021	- Color Solvente: Turbio
	HORA: 2:33 pm	- Olor Fétido
C ₃	FECHA: 02/04/2021	- Color Solvente: Turbio
	HORA: 2:35 pm	- Olor Fétido

MUESTRAS	FECHA: dd/mm/aa	PARAMETRO:
GRUPO: EXPERIMENTAL	HORA:	COLOR Y OLORES
LC ₁	FECHA: 02/04/2021	- Color Macrofita: Blanco Solvente: Turbio
	HORA: 2:38 pm	- Olor Inodoro
LC ₂	FECHA: 02/04/2021	- Color Macrofita: Amarillo Solvente: Turbio
	HORA: 2:42 pm	- Olor Inodoro
LC ₃	FECHA: 02/04/2021	- Color Macrofita: Verde Solvente: Semi turbio
	HORA: 2:45 pm	- Olor Inodoro

Figura 21 Ficha de observación y recolección de datos-color y olor 02/04/21

Anula y sustituye a la versión anterior : A-21/042332

Nº de Referencia: A-21/042332-M1	Registrada en: AGQ Perú	Cliente (*): CELESTINO DOMINGUEZ KATHERIN MASIEL
Análisis: 00023907-3	Centro Análisis: AGQ Perú	Domicilio: NO INDICA
Tipo Muestra: Agua Residual Doméstica	Fecha Recepción: 12/04/2021	(*): Contrato: QMT-PE-210400357
Fecha Inicio: 12/04/2021	Fecha Fin: 16/04/2021	Cliente 3º(*): ---
Descripción(*): Área de cultivo C1		

Fecha/Hora Muestreo: 11/04/2021 17:18	Muestreado por: Cliente (*)
Lugar de Muestreo: Urb. Barbara de Achile D-29 / Barranca	
Punto de Muestreo: Área de cultivo C1	

A continuación se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los Resultados emitidos en este Informe, no han sido corregidos con factores de recuperación. Siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ guardará bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert.
Microbiología			
Coliformes Fecales por NMP	2,2 x 10 ⁶	NMP/100mL	-

Nota: Los Resultados de este Informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este Informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. AGQ no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, asociada a la toma de muestras y a otros datos descriptivos, marcados con (*). A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. La Incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (LC).

(3) Los métodos indicados han sido acreditados por INACAL-DA

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref. Norma.	Lim Cuantif/ Detec (1)
Microbiología				
Coliformes Fecales por NMP	SMEWW 9221 B.2.3.E.1. 2.3rd Ed. 2017	Tubos Múltiples		1,8 NMP/100mL



Alex Ventura Uantuy; CBP
13395

FECHA EMISIÓN: 28/04/2021

OBSERVACIONES (*):

AGQ PERU, S.A.C.

Av. Luis José de Ribagosa 350, San Luis - Lima, PERU

T: (511) 710 27 00

atencionalclienteperu@agqlabs.com

agqlabs.pe

1/4

Figura 22 Análisis microbiológico de coliformes fecales-grupo control (C₁)

Anula y sustituye a la versión anterior : A-21/042334

N° de Referencia: A-21/042334-M1	Registrada en: AGQ Perú	Cliente (*): CELESTINO DOMINGUEZ KATHERIN MASIEL
Análisis: 00023907-3	Centro Análisis: AGQ Perú	Domicilio: NO INDICA
Tipo Muestra: Agua Residual Doméstica	Fecha Recepción: 12/04/2021	(*): Contrato: QMT-PE210400357
Fecha Inicio: 12/04/2021	Fecha Fin: 16/04/2021	Cliente 3ª(*) ----
Descripción(*): Área de cultivo C2		
Fecha/Hora: 11/04/2021 17:22	Muestreado por: Cliente (*)	
Muestreo:		
Lugar de Muestreo: Urb. Barbara de Achile		
D-29 / Barranca		
Punto de Muestreo: Área de cultivo C2		

A continuación se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los Resultados emitidos en este informe, no han sido corregidos con factores de recuperación. Siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ guardará bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert.
Microbiología			
Coliformes Fecales por NMP	2,5 x 10 ⁰	NMP/100ml	-

Nota: Los Resultados de este Informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. AGQ no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, asociada a la toma de muestras y a otros datos descriptivos, marcados con (*). A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. La Incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (L.C).

(3) Los métodos indicados han sido acreditados por INACAL-DA

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref. Norma.	Lim Cuantif/ Detec (1)
Microbiología				
Coliformes Fecales por NMP	SMEWW 9221 B,2,3,E,1. 23rd Ed. 2017	Tubos Múltiples		1,8 NMP/100mL



Alex Ventura Uantuy, CBP
13395

FECHA EMISIÓN: 28/04/2021

OBSERVACIONES (*):

AGQ PERU, S.A.C.

Av. Luis José de Orbegoso 350, San Luis - Lima, PERU

T: (511) 710 27 00

atencionclienteperu@agqlabs.com

agqlabs.pe

1/4

Figura 23 Análisis microbiológico de coliformes fecales-grupo control (C₂)

Anula y sustituye a la versión anterior : A-21/042335

Nº de Referencia: A-21/042335-M1	Registrada en: AGQ Perú	Cliente (*): CELESTINO DOMINGUEZ KATHERIN MASIEL
Análisis: 00023907-3	Centro Análisis: AGQ Perú	Domicilio: NO INDICA
Tipo Muestra: Agua Residual Doméstica	Fecha Recepción: 12/04/2021	(*): Contrato: QMT-PE-210400357
Fecha Inicio: 12/04/2021	Fecha Fin: 16/04/2021	Cliente 3P(*) ---
Descripción(*): Área de cultivo C3		

Fecha/Hora Muestreo: 11/04/2021 17:25	Muestreado por: Cliente (*)
Lugar de Muestreo: Urb. Barbara de Achife D-29 / Barranca	
Punto de Muestreo: Área de cultivo C3	

A continuación se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los Resultados emitidos en este informe, no han sido corregidos con factores de recuperación. Siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ guardará bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert.
Microbiología			
Coliformes Fecales por NMP	2,4 x 10 ³	NMP/100ml	-

Nota: Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. AGQ no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, asociada a la toma de muestras y a otros datos descriptivos, marcados con (*). A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. La Incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (L.C).

[3] Los métodos indicados han sido acreditados por INACAL-DA

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref. Norma.	Lim Cuantif/ Detec (1)
Microbiología				
Coliformes Fecales por NMP	SMEWW 9221 B.2.3.E.1. 23rd Ed. 2017	Tubos Múltiples		1,8 NMP/100ml



Alex Ventura Uantuy; CBP
13395

FECHA EMISIÓN: 28/04/2021

OBSERVACIONES (*):

Figura 24 Análisis microbiológico de coliformes fecales-grupo control (C₃)

Nº de Referencia: A-21/042328	Registrado en: AGQ Perú	Cliente (*): CELESTINO DOMINGUEZ KATHERIN MASIEL
Análisis: 00023907-3	Centro Análisis: AGQ Perú	Domicilio (*): NO INDICA
Tipo Muestra: Agua Residual Doméstica	Fecha Recepción: 12/04/2021	Contrato: QMT-PE210400357
Fecha Inicio: 12/04/2021	Fecha Fin: 16/04/2021	Cliente 3º(*): —
Descripción(*): Área de cultivo LC1		
Fecha/Hora: 11/04/2021 17:10	Muestreado por: Cliente (*)	
Muestras:		
Lugar de Muestreo: Urb. Barbara de Achile D. 29 / Barranca		
Punto de Muestreo: Área de cultivo LC1		

A continuación se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los Resultados emitidos en este informe, no han sido corregidos con factores de recuperación. Siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ guardará bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert
Microbiología			
Coliformes Fecales por NMP	< 1,8	NMP/100mL	-

Nota: Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las Incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. AGQ no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, asociada a la toma de muestras y a otros datos descriptivos, marcados con (*). A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. La Incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (LC).

(3) Los métodos indicados han sido acreditados por INACAL-DA

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref. Norma.	Lim Cuantif/ Detec [1]
Microbiología				
Coliformes Fecales por NMP	SMEWW 9221 B.2.3.E.1. 23rd Ed. 2017	Tubos Múltiples		1,8 NMP/100mL



Alex Ventura Llantuy, CIP
13395

FECHA EMISIÓN: 19/04/2021

OBSERVACIONES (*):

AGQ PERU, S.A.C.

Av. Luis José de Orbegoso 350, San Luis - Lima, PERU

T: (511) 710 27 00

atencionalclienteperu@agqlabs.com

agqlabs.pe

1/4

Figura 25 Análisis microbiológico de coliformes fecales- grupo experimental (LC₁)

N° de Referencia: A-21/042329	Registrada en: AGQ Perú	Cliente (*): CELESTINO DOMINGUEZ KATHERIN MASIEL
Análisis: 00023907-3	Centro Análisis: AGQ Perú	Domicilio: NO INDICA
Tipo Muestra: Agua Residual Doméstica	Fecha Recepción: 12/04/2021	(*): Contrato: QMT-PE210400357
Fecha Inicio: 12/04/2021	Fecha Fin: 16/04/2021	Cliente 3[*]----
Descripción[*]: Área de cultivo LC2		
Fecha/Hora: 11/04/2021 17:12	Muestreado por: Cliente (*)	
Muestreo:		
Lugar de Muestreo: Urb. Barbara de Achile D-29 / Barranca		
Punto de Muestreo: Área de cultivo LC2		

A continuación se exponen el informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los Resultados emitidos en este informe, no han sido corregidos con factores de recuperación. Siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ garantizará bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert
Microbiología			
Coliformes Fecales por NMP	< 1,8	NMP/100ml	-

Nota: Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. AGQ no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, asociada a la toma de muestras y a otros datos descriptivos, marcados con [*]. A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. La incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (LC).

(§) Los métodos indicados han sido acreditados por INACAL-DA.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref. Norma.	Lim Cuantif/ Detec [§]
Microbiología				
Coliformes Fecales por NMP	SMEWW 9221 B.2,3,E.1. 23rd Ed. 2017	Tubos Múltiples		1,8 NMP/100ml



Alex Ventura Llantuay, CBP
13395

FECHA EMISIÓN: 19/04/2021

OBSERVACIONES (*):

Nº de Referencia: A-21/042331	Registrada en: AGQ Perú	Cliente (*): CELESTINO DOMINGUEZ KATHERIN MASEL
Análisis: 00023907-3	Centro Análisis: AGQ Perú	Domicilio (*): NO INDICA
Tipo Muestra: Agua Residual Doméstica	Fecha Recepción: 12/04/2021	Contrato: QMT-PE210400357
Fecha Inicio: 12/04/2021	Fecha Fin: 16/04/2021	Cliente 3º(*): ---
Descripción(*): Área de cultivo LC3		
Fecha/Hora Muestreo: 11/04/2021 17:15	Muestreado por: Cliente (*)	
Lugar de Muestreo: Urb. Barbara de Achile D-29 / Barranca		
Punto de Muestreo: Área de cultivo LC3		

A continuación se exponen el informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los Resultados emitidos en este informe, no han sido corregidos con factores de recuperación. Siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ guardará bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert
Microbiología			
Coliformes Fecales por NMP	< 1,8	NMP/100mL	-

Nota: Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. AGQ no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, asociada a la toma de muestras y a otros datos descriptivos, marcados con (*). A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. La Incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (LC).

[3] Los métodos indicados han sido acreditados por INACAL-DA

[*] Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref. Norma.	Lím Cuantif/ Detec (1)
Microbiología				
Coliformes Fecales por NMP	SMEWW 9221 B.2.3.E.1. 23rd Ed. 2017	Tubos Múltiples		1,8 NMP/100mL



Alex Ventura Llantuy; CBP
13395

FECHA EMISIÓN: 19/04/2021

OBSERVACIONES (*):

AGQ PERU, S.A.C.

Av. Luis José de Orbegoso 350, San Luis, Lima, PERU

T: (511) 710 27 00

atencionalclienteperu@agqlabs.com

agqlabs.pe

1/4

Figura 27 Análisis microbiológico de coliformes fecales- grupo experimental (LC₃)



Figura 28 Lugar de recolección de la macrófita- Calle Santa Catalina-Barranca



Figura 29 Pesado de la macrófita *Lemna minor*



Figura 30 Acondicionamiento de la macrófita *Lemna minor*



Figura 31 pH del grupo experimental LC₂-31 días



Figura 32 pH del grupo experimental LC₃-31 días

F