UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TEMA

EVALUACIÓN ECOTOXICOLÓGICA DE LAS AGUAS PARA USO HUMANO EN LA UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA MEDIANTE SEMILLAS DE *Lactuca sativa* L. COMO BIOINDICADOR.

AUTOR

AVELLÁN MOLINA JUAN MANUEL

FUENTES LLAMUCA IVON ALEJANDRA

DIRECTOR DEL PROYECTO

DR. BRAVO SÁNCHEZ LUIS RAMÓN, PhD.

Puyo-Ecuador

Julio 2021

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quienes suscriben Avellán Molina Juan Manuel con C.I. 131563818-7 y Fuentes Llamuca Ivon Alejandra con C.I. 180477688-6, hacemos constar que somos autores del Trabajo de Integración Curricular titulado**: "EVALUACIÓN ECOTOXICOLÓGICA DE LAS AGUAS PARA USO HUMANO EN LA UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA MEDIANTE SEMILLAS DE *Lactuca sativa* L. COMO BIOINDICADOR"**, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, Dr. Bravo Sánchez Luis Ramón, PhD. En tal sentido, manifestamos la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 16 días del mes de julio de 2021.



Avellán Molina Juan Manuel

C.I.: 131563818-7



Fuentes Llamuca Ivon Alejandra

C.I.: 180477688-6

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN ECOTOXICOLÓGICA DE LAS AGUAS PARA USO HUMANO EN LA UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA MEDIANTE SEMILLAS DE *Lactuca sativa* L. COMO BIOINDICADOR**

JESSY PAULINA GUERRERO RUBIO

Firmado digitalmente porJESSY PAULINA GUERRERO RUBIO
DN: cn=JESSY PAULINA GUERRERO RUBIO c=EC l=QUITO o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION-ECIBCE
Motivo:Soy el autor de este documento
Ubicaci- n:
Fecha:2021-07-19 13:52-05:00

Ing. Jessy Paulina Guerrero Rubio M.Sc.
Presidente del Tribunal

Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO NICOLAS AGUIAR NOVILLO

Ing. Santiago Nicolás Aguiar Novillo M.Sc.
Miembro del Tribunal

Firmado electrónicamente por:
MARCOS DAVID LANDIVAR VALVERDE

Dr. Marco David Landívar Valverde, PhD.
Miembro del Tribunal

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA ANTI PLAGIO

Quien suscribe el presente Dr. Bravo Sánchez Luis Ramón, PhD con C.I.: 175704145-2, certifica que el Trabajo de Integración Curricular titulado: EVALUACIÓN ECOTOXICOLÓGICA DE LAS AGUAS PARA USO HUMANO EN LA UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA MEDIANTE SEMILLAS DE *Lactuca sativa* L. COMO BIOINDICADOR, ha sido examinado a través del sistema Antiplagio URKUND y presentaun porcentaje de similitud del 5 %.

En el cantón Pastaza, a los 16 días del mes de julio de 2021.

Firmado electrónicamente por:
LUIS RAMON BRAVO

Dr. Bravo Sánchez Luis Ramón, PhD.
Director de Trabajo de Titulación

DERECHOS DE AUTOR COPYRIGHT

©2021, Avellán Molina Juan Manuel y Fuentes Llamuca Ivon Alejandra

Autorizamos la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor**.**

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quienes suscriben, Avellán Molina Juan Manuel y Fuentes Llamuca Ivon Alejandra, declaramos que el presente proyecto de investigación, es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular.



AVELLÁN MOLINA JUAN MANUEL
No. Cédula: 131563818-7



FUENTES LLAMUCA IVON ALEJANDRA
No. Cédula: 180477688-6

DEDICATORIA

La parte más difícil de un proyecto que lleve dedicatoria, es escribir la dedicatoria, por el simple hecho de que a veces no se encuentran las palabras que expresen lo emotivo que has estado y estás, pero es una de las más gratificantes porque puedes reflejar lo maravilloso que es la vida.

Mi andar por este trayecto se lo debo a un amor, apoyo y felicidad familiar, mi padre Juan Avellán y mi madre Patricia Molina, iconos de superación, esfuerzo, valentía y alegría, seres que me inculcaron la libertad con responsabilidad, la pasión con objetivos, la aventura con regocijo, personas que sin importar la situación siempre están con una sonrisa, un abrazo, una hospitalidad que te alegran la vida.

Mi otra mitad que le dio la gana de nacer otro día, mi Ñouto, mi hermanita Jennifer Leonela, la alegría de mi mundo, a quién sin importar la distancia creamos las mejores historias para nuestros padres y nosotros.

Al nuevo y más joven integrante de la familia, mi sobrinito, personita que se convirtió en la anécdota del viaje y noticia más efímera que he tenido y que al verlo por primera vez se convirtió en una de mis motivaciones y amor verdadero.

Para Miaumanchas que forma la alegría de todos.

Con eterno amor,

Juanma

DEDICATORIA

"El Señor, sondeó el corazón y examinó los pensamientos,
para darle a cada uno según sus acciones
y según el fruto de sus obras"
Jeremías 17:10

Con sentimientos de profundo amor y gratitud:

A quienes han sido la motivación más grande en mi vida , quienes me inspiraron y me ayudaron a llegar a donde he llegado, mis héroes, mis padres Mentor Fuentes y Marina Llamuca que con amor, esfuerzo y apoyo incondicional me han enseñado que las metas se cumplen paso a paso, estando presentes en cada sueño cumplido, sin importar los momentos de dificultad, hemos batallado para salir adelante; la vida no me alcanzara para agradecerles lo que han hecho por mí, tengo una deuda , impagable con ustedes, que solo puedo honrar su herencia en vida y prometer que su legado será eterno.

A mis hermanas Grace y Wendy Fuentes Llamuca, quienes han sido una parte fundamental de este gran logro, apoyándome de principio a fin en este duro camino, por sus consejos, aliento, motivación, risas, sueños y dificultades que hemos atravesado pero que juntas tomamos como lecciones de vida, convirtiéndonos en las mujeres que ahora somos, sin duda son el mejor ejemplo de amor y trabajo en equipo.

Con mucho cariño Ale

AGRADECIMIENTO

Una aventura de conocimiento con personas maravillosas, llenas de historias, inteligencia, amor, viajes, sueños, pasión, anécdotas, imaginación, melancolía, liderazgo, carisma típicos y atípicos, cosmovisión, pensamientos, creencias y talentos únicos; son los que me encontré en este loco y emocionante, pero no efímero trayecto de mi vida.

Dios y a la Pachamama, mis guías y protectores espirituales, ¡Gracias Eterno!

Prof. Luis, Mabel; personas que por azares del destino llegaron y que en un solo día se convirtieron en personas amigas, consejeros, que inspiran superación y son parte de este proyecto con su tutoría, siendo ahora también un referente de un cafecito cubano o una fría, ¡Gracias Incalculable!

Un apreciado agradecimiento a mi familia adoptiva, señito Alva Valverde y familia Sánchez Nardo, personas con un inmenso corazón, ¡Gracias Extraordinario!

Alejandra Fuentes, amiga y compañera, una dupla perfecta que se creó en todo el andar universitario y que forma parte de este proyecto académico y la vida, ¡Gracias Total!

Diana Aveiga, una de mis mentoras exitosas, ¡Gracias Interminable!

Familiares cercanos y lejanos, amistades y desconocidos que ya son conocidos, Alma Mater UEA, maestras, maestros, compañeras y compañeros, ¡Gracias Infinitas!

Con alegría
Juanma

AGRADECIMIENTO

Nadie ha logrado el éxito sin ayuda de otros, por lo que siempre se debe reconocer esa ayuda con gratitud.

Agradezco infinitamente a Dios por ser mi fe, mi fuerza y mi guía, gracias por ponerme en el camino universitario, ayudarme a vencer mis temores y a coincidir con personas muy valiosas y especiales en este hermoso camino.

A mis padres que sin duda supieron como guiarme y motivarme, gracias por su apoyo emocional y económico, Uds. han sido mi luz en los momentos más difíciles y me han enseñado valores que hoy definen mi vida, todos mis logros son suyos. Gracias a Uds. soy la mujer que soy, los amo con todo mi corazón.

Gracias a mis hermanas Grace, Wendy y Camila por ser mi pilar de apoyo en los momentos difíciles y enseñarme que los problemas son más llevaderos si estamos juntas, las amo infinitamente

Gracias a mis tíos Humberto y Olguita quienes han sido mis segundos padres, por sus consejos, amor y el apoyo constante, para poder cumplir cada uno de mis sueños, gracias por enseñarme con su ejemplo la perseverancia y el saber luchar por mis aspiraciones, por confiar en mis capacidades y siempre motivarme hacer una mejor persona. Siempre estaré agradecida por todo su amor.

A mi tutor Dr. Luis Bravo por su paciencia, apoyo incondicional a lo largo de todo el trabajo de la presente investigación, por ser una mano amiga siempre, otorgarme conocimientos y fomentar la práctica constante de mi perfil profesional, permitiéndome ganar experiencia y confianza.

A la M.Sc. Mabel Calvache por haberme brindado parte de su tiempo para ayudarme a solventar mis dudas y guiarme en diversos aspectos de mi investigación.

Al mejor amigo, compañero de tesis Juan Avellán, gracias por tu apoyo incondicional en toda nuestra vida universitaria, juntos probamos y desarrollamos métodos para llevar acabo de mejor manera nuestro ensayo. Aprendimos y llevamos a cabo una gran investigación.

A mis amigos cercanos, por su compañía, cariño, paciencia y amor, alegraron mis días y quedan en mí, grandes recuerdos de lo vivido.

De todo corazón gracias

Ale

RESUMEN

Se realizó un estudio ecotoxicológico del agua del grifo de la Universidad Estatal Amazónica y se comparó con agua embotellada, empleando como control negativo agua destilada. Los parámetros físico químicos medidos a las aguas en estudio se encontraron dentro de los parámetros normados y permitieron marcar un punto de partida para los estudios toxicológicos de dichas aguas. En la evaluación de la calidad toxicológica del agua potable del grifo de la UEA, mediante el bioindicador semillas de *Lactuca sativa* L., se demostró que la radícula era el elemento más sensible a la toxicidad al compararlo con el hipocótilo. Por otra parte, teniendo en cuenta los valores negativos de porcentajes de inhibición de la elongación de radícula e hipocótilo y los valores que enmarcan la escala de toxicidad, se concluyó que el agua del grifo de la UEA posee baja toxicidad. Los parámetros físico químicos como el pH y la conductividad eléctrica del agua embotellada mostraron valores diferentes con relación al agua de grifo de la UEA, el pH fue menor, sin embargo, la conductividad resultó mayor, lo que indicó que este tipo de agua presentaba una mayor cantidad de oligoelementos en forma de sales, proporcionando una mayor cantidad de posibles nutrientes, lo que se refleja en el porcentaje de germinación de las semillas que fue de 92% para el agua embotellada y 90% para el agua de grifo.

Palabras clave: agua potable, ecotoxicología, *Lactuca sativa* L.

ABSTRACT

An ecotoxicological study of tap water from the Amazonian State University was carried out in comparison with bottled water, using distilled water as a negative control. The physical-chemical parameters measured in the waters under study were found within the parameters established and it made possible to mark a starting point for the toxicological studies of waters. In the evaluation of the toxicological quality of tap water from the UEA, using *Lactuca sativa* L. seeds as a bioindicator, it was demonstrated that the radicle was the element most sensitive to toxicity when compared to hypocotyl; on the other hand, taking into account the negative values of radicle and hypocotyl elongation inhibition percentages and the values that frame the toxicity scale, it was concluded that the water from the UEA had a low toxicity. The physical-chemical parameters such as pH and electrical conductivity of bottled water showed different values in relation to tap water from the UEA, the pH was lower, however, the conductivity was higher, which indicated that this type of water had a higher quantity of trace elements in the form of salts, providing greater quantity of possible nutrients, which was reflected in the germination percentage of the seeds, which was 92% for bottled water and 90% for tap water.

Keywords: tap water, ecotoxicology, *Lactuca sativa* L.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1. Planteamiento del Problema 2

1.2. Formulación del Problema 2

1.3. Objetivos 3

1.3.1. Objetivo General 3

1.3.2. Objetivos Específicos 3

1.4. Justificación 3

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 5

2.1. El Agua 5

2.1.1. Agua Potable. Parámetros de calidad. 5

2.2. Ecotoxicología y ensayos biológicos 10

2.2.1. Bioindicadores y ensayos de germinación de semillas 12

2.3. Germinación de las plantas 13

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 14

3.1. Localización 14

3.2. Tipo o Diseño de Investigación 15

3.2.1. Diseño de Investigación 15

3.3. Métodos de Investigación 15

3.3.1. Valoración de Parámetros Fisicoquímicos Básicos en el Agua. 15

3.3.2. Evaluación del efecto ecotoxicológico. Bioensayo con el test de Lactuca sativa L. 15

3.3.3. Materiales, Equipos, Reactivos y condiciones de ensayo de toxicidad 17

3.3.4. Verificación de la viabilidad de las semillas y mediciones de radícula e hipocótilo 18

3.3.5. Prueba de Toxicidad. Cálculo de Porcentaje de Germinación e inhibición o estimulación en la elongación de la radícula e hipocótilo 20

3.3.6. Correlación de resultados físico-químicos y toxicológicos 20

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS..... 21

4.1. Evaluación de parámetros Físico Químicos..... 21

4.2. Evaluación del efecto ecotoxicológico. Bioensayo con el test de *Lactuca sativa* L. ……22

4.2.1. Verificación de la viabilidad de las semillas en el control de agua destilada..... 22

4.2.2. Verificación de la viabilidad de las semillas en la muestra de estudio (Agua Grifo UEA) ..... ……23

4.2.3. Prueba de toxicidad respecto al agua del grifo de la UEA 24

4.2.4. Verificación de la viabilidad de las semillas Muestra de Estudio (Agua Embotellada-Marca Reservada)..... 25

4.2.5. Pruebas de toxicidad respecto al agua embotellada 26

RECOMENDACIONES 31

REFERENCIAS..... 32

ANEXOS..... 35

Análisis Estadísticos y Réplicas 35

Muestra Control (Agua Destilada)..... 35

Muestra de Estudio (Agua Embotellada- Marca reservada)..... 40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Características físicas, sustancias inorgánicas y radioactivas 6
Tabla 2-2: Sustancias Orgánicas..... 7
Tabla 3-2: Plaguicidas..... 8
Tabla 4-2: Residuos de desinfectantes..... 9
Tabla 5-2: Subproductos de desinfección..... 9
Tabla 6-2: Cianotoxinas..... 9
Tabla 7-2: Requisitos Microbiológicos..... 10
Tabla 1-4: Parámetros Físico Químicos de las muestras de agua..... 21
Tabla 2-4: Porcentaje de germinación de *Lactuca sativa* L. en cinco réplicas..... 22
Tabla 3-4: Coeficiente de variación de radícula e hipocótilo en la muestra control. 23
Tabla 4-4: Porcentaje de germinación de *Lactuca sativa* L. en cinco réplicas..... 23
Tabla 5-4: Coeficiente de variación de radícula e hipocótilo en la muestra de estudio 24
Tabla 6-4: Porcentaje de germinación de las semillas de la muestra de estudio con respecto al control negativo 24
Tabla 7-4: Porcentaje de inhibición en la elongación de la radícula e hipocótilo-Escala de toxicidad..... 25
Tabla 8-4: Porcentaje de germinación de *Lactuca sativa* L. en cinco réplicas..... 25
Tabla 9-4: Coeficiente de variación de radícula e hipocótilo en la muestra de estudio 26
Tabla 10-4: Porcentaje de germinación de las semillas de la muestra de agua embotellada con respecto al control negativo 26
Tabla 11-4: Porcentaje de inhibición en la elongación de la radícula e hipocótilo 27
Tabla 1A: Análisis Estadístico. Semillas de *Lactuca Sativa* L. en muestra Control-Agua Destilada-Réplicas 35
Tabla 2A: El coeficiente de variación para la radícula en los controles negativos, se obtuvo dividiendo la desviación estándar de las longitudes para el promedio de las longitudes de la radícula e hipocótilo..... 36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-3: Ubicación Satelital del Área de Estudio. 14

Figura 2-3: Medida de Radícula e Hipocótilo. 19

Figura 3-4: Comportamiento de la germinación respecto a la conductividad. 28

Figura 4-4: Comportamiento de la germinación respecto al pH 28

Figura 1A: Semillas de *Lactuca sativa L.;* b. Germinación; c. Germinación Anómala; d. Medición……...43

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-3: Porcentaje de viabilidad la muestra con respecto a las semillas germinadas.....19

Ecuación 2-3: Coeficiente de variación.....19

Ecuación 3-3: Porcentaje de germinación con respecto a la muestra control.....20

Ecuación 4-3: Porcentaje de inhibición en la elongación e hipocótilo.....20

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En las Ciencias Ambientales la innovación en métodos y tecnologías para la investigación relacionada con el agua, uno de los recursos vitales para el ser vivo, tiene una gran relevancia y permite obtener resultados de calidad, tanto generales, como específicos, y tal es el caso de los contaminantes tóxicos, orgánicos o inorgánicos que se pueden presentar en este recurso hídrico, debido al crecimiento poblacional, lo que conlleva a la expansión, desarrollo urbano, industrial y tecnológico, donde ciertamente se presentan impactos que pueden ser indirectos o directamente proporcionales, entre ellos se presenta el uso y consumo de bienes y servicios, tales como la minería y el aumento en los cultivos que usan pesticidas que van liberando gran cantidad de metales pesados en el suelo, agua y aire, lo cual no solo afecta a la salud humana sino también a la integridad de los ecosistemas, ocasionando daños a veces irreparables, tales como la pérdida de la biodiversidad (Saetama, 2017).

La contaminación del agua potable no es común y normalmente no se registran niveles de contaminantes que representarían riesgos a la salud. Sin embargo, a medida que se siga incrementando el desarrollo de la sociedad moderna y sus actividades, sin un manejo apropiado de los químicos, desechos humanos, animales, y las sustancias que existen naturalmente, se incrementa el riesgo de contaminación (Castillo et al., 2004).

En la actualidad, la aplicación de biomodelos da la posibilidad de evidenciar los efectos nocivos de los contaminantes presentes en las aguas de uso humano sobre un organismo vivo, tal es así que los estudios de ecotoxicidad se han convertido en una herramienta esencial para detectar dicha contaminación, a través de los resultados obtenidos luego de la exposición de determinada especie vegetal a un agente contaminante en forma de gas, de sólido o de líquido.

A partir de estos antecedentes se ha identificado la necesidad de analizar la calidad eco-toxicológica que presenta el agua potable en el Campus Principal de la Universidad Estatal Amazónica de la ciudad de Puyo, aplicando el test de *Lactuca sativa* L. (semillas de lechuga) como bioindicador. Los resultados de este estudio tendrán como objeto vislumbrar la existencia o no de toxicidad en el agua, y a su vez contribuir a la futura eliminación de

posibles problemas relacionados con la calidad de este recurso hídrico que llega a dicho centro de estudios superiores.

1.1.Planteamiento del Problema

El manejo adecuado del recurso hídrico en la Amazonía implica adaptarse al cambio climático, en donde los ecosistemas y las comunidades indígenas juegan un papel importante en la dinamización de modelos de desarrollo. En la ciudad de Puyo la cobertura poblacional está en un 65,5% y el sistema de agua potable funciona a gravedad por no presentar una planificación de ordenamiento a largo plazo, este sistema de agua cuenta con tres plantas de tratamiento que proveen a la urbe, entre ellas está la planta de tratamiento "La Palestina" que se abastece de una captación en el río Puyo, siendo esta la que distribuye el agua a la Universidad Estatal Amazónica (EMAPAST-EP, 2016).

Constantemente se analiza el agua potable a utilizar, con el fin de estar preparados ante posibles variaciones en las concentraciones que puedan alterar los procesos rutinarios, empleando pruebas físico químicas que son principalmente de alto costo, pues es de vital importancia identificar que el agua que sale de las plantas potabilizadoras cumpla con la normativa internacional de calidad de agua establecida por la OMS. De allí la relevancia que adquiere la implementación de bioensayos, con bioindicadores sensibles, los cuales, en un tiempo de exposición reducido, sin requerir equipamiento sofisticado ni altos costos, permiten evaluar la calidad del agua, que pueden ser aplicados en muestras ambientales, agua potable, residuales, saneamiento, control de efluentes, proyectando resultados de toxicidad por sustancias antropogénicas o naturales presentes en al agua (Castillo et al., 2004).

Dentro de las investigaciones realizadas se pueden destacar los bioensayos con semillas de *Lactuca Sativa* L., que son aplicados para la evaluación de la toxicidad, lo que permite aplicarlo como metodología para la muestra de estudio que fue recolectada de un grifo del Campus Principal de la Universidad Estatal Amazónica de la ciudad de Puyo.

1.2.Formulación del Problema

¿Cuál es la calidad ecotoxicológica que presenta el agua potable en el Campus Principal de la Universidad Estatal Amazónica de la ciudad Puyo, provincia de Pastaza?

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Evaluar la calidad que presenta el agua potable del Campus Principal de la Universidad Estatal Amazónica de la ciudad de Puyo, a través de un bioensayo ecotoxicológico con semillas de *Lactuca sativa* L.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Valorar, sobre la base de un estudio bibliográfico, algunas características físico - químicas de las aguas para el consumo humano en la Universidad Estatal Amazónica, teniendo en cuenta lo que establecen las normativas nacionales o internacionales para evaluar su calidad.
- Determinar los indicadores de toxicidad de las aguas objeto de estudio a través del "test" de *Lactuca sativa* L.
- Correlacionar los resultados de los análisis físico - químicos y toxicológicos; en caso necesario, proponer medidas correctivas para eliminar las posibles fuentes de generación del efecto tóxico.

1.4.Justificación

El presente proyecto se realizó con el fin de incorporar técnicas de bioensayos que permitan analizar toxicológicamente el agua potable, ya que actualmente muchos de estos procedimientos requieren reactivos químicos de costos elevados, por lo que cada día se buscan nuevos procedimientos más económicos que sean fácilmente reproducibles y confiables (Planes y Fuchs, 2015).

En los últimos treinta años, se han utilizado ensayos de toxicidad con organismos de aguas continentales y terrestres, tanto en condiciones de laboratorio, como de campo, con el objeto de detectar y evaluar la capacidad de un agente dado para producir efectos tóxicos sobre organismos vivos y en ocasiones para caracterizar la relación dosis-respuesta.

En la presente investigación el organismo a utilizar es *Lactuca sativa* L., una especie usada como bioindicador, el cual permite identificar si en el agua donde germina y crece se

presentan o no sustancias nocivas; esta especie, por ejemplo, presenta alta sensibilidad a la presencia de metales y si se expone a determinadas concentraciones de los mismos, al cabo de un tiempo mueren, esto permite determinar que el agua a analizar no es apta para ser consumida por ningún organismo (Núñez y Hurtado, 2015).

El procedimiento a utilizar es relativamente sencillo por lo que se busca incorporar en las plantas de tratamiento de aguas, con el fin de detectar la más mínima concentración de tóxicos que afecten al organismo, debido, sobre todo, a que algunas personas pueden ser más vulnerables que la población en general a los contaminantes en el agua potable. Con esta técnica se pueden reducir costos de operación, pues se utilizarán organismos de fácil cultivo y de rápido crecimiento, además, se pretende innovar con las tecnologías ya existentes para que puedan ser utilizadas en distintas plantas de tratamiento (Planes y Fuchs, 2015).

La originalidad del presente trabajo radica en la importancia de desarrollar estudios mediante bioensayos en especies vegetales con las condiciones propuestas como es el caso de *Lactuca sativa* L., que en sus primeros días de germinación y crecimiento ofrece resultados clave, ya que en esta se desarrollan procesos fisiológicos de supervivencia en los cuales la presencia de una sustancia tóxica puede interferir en el progreso normal, siendo por lo tanto una etapa de gran sensibilidad frente a factores externos adversos.

El propósito de realizar la presente investigación en la Universidad Estatal Amazónica fue obtener un diagnóstico general de las condiciones actuales que presenta el agua potable, en caso de que surjan problemas relacionados con la salud de los estudiantes o el personal en general de la institución educativa, sobre la base de conocimientos técnicos y prácticos de investigaciones realizadas con la finalidad de proponer técnicas de remediación de ser necesario, lo que reduciría paralelamente el porcentaje de agentes contaminantes en el agua.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.El Agua

El agua, es uno de los recursos más importante y abundante en la Tierra, base de toda vida, esta puede ser renovable cuando sus usos, tratamiento, liberación y circulación son controlados, de lo contrario puede llegar a ser escasa en un área determinada. En nuestro planeta se puede encontrar la distribución de este recurso en diferentes formas, los océanos y mares que presentan alta salinidad, cubren un 97% de la superficie terrestre y apenas un 3% de agua dulce se puede encontrar en lagunas, lagos, ríos superficiales y subterráneos, casquetes helados en los polos y glaciares. Dada la importancia del agua para todo ser vivo y debido al crecimiento de la población y su desarrollo, la humanidad está en el compromiso de cuidar y evitar que este preciado recurso esté expuesto a sustancias nocivas que pongan en peligro su existencia.

El agua dulce es un recurso renovable, pero el acceso a esta sin estar contaminada y fresca, está limitándose progresivamente, aumentando la demanda de abastecimiento de agua limpia. Actualmente muchas naciones se preocupan por su conservación y la instauración de conciencia de que este es uno los recursos más importantes en la naturaleza, por todas las conexiones que tiene con el ser vivo (Marcano, 2020).

2.1.1. Agua Potable. Parámetros de calidad.

Según Saetama (2017), el agua potable es el agua utilizada para fines domésticos y la higiene personal, así como para beber y cocinar. Es el agua para el consumo humano que puede ser consumida sin restricción debido a que, gracias a un proceso de purificación, no representa un riesgo para la salud y cumple con las normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales.

La Norma Técnica Ecuatoriana 1108, 5ta. Revisión 2014 -01, presentada por el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2014, en su artículo 5, numeral 5.1 y 5.2 establece los requisitos para el agua potable, donde se plantea que los sistemas de abastecimiento de agua potable deberían acogerse al Reglamento Buenas Prácticas de

Manufactura del Ministerio de Salud Pública. El agua potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación, en las tablas desde la 1-2 hasta la 7-2.

Tabla 1-2: Características físicas, sustancias inorgánicas y radioactivas

Parámetro	Unidad	Límite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	*NTU*	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
Inorgánicos		
Antimonio, Sb	mg/L	0,02
Arsénico, As	mg/L	0,01
Bario, Ba	mg/L	0,7
Boro, B	mg/L	2,4
Cadmio, Cd	mg/L	0003
Cianuros, CN	mg/L	0,07
Cloro libre residual*	mg/L	0,3 a 1,5
Cobre, Cu	mg/L	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/L	0,05
Fluoruros	mg/L	1,5
Mercurio, Hg	mg/L	0,006
Níquel, Ni	mg/L	0,07
Nitratos, NO_3	mg/L	50
Nitritos, NO_2	mg/L	3,0
Plomo, Pb	mg/L	0,01
Radiación total α *	Bq/L	0,5
Radiación total β **	Bq/L	1,0
Selenio, Se	mg/L	0,04

Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos
* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionúclidos: ^{210}Po, ^{224}Ra, ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{234}U, ^{238}U, ^{239}Pu
** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionúclidos: ^{60}Co, ^{89}Sr, ^{90}Sr, ^{129}I, ^{131}I, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{210}Pb, ^{228}Ra

Fuente: INEN, 2014. (Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108)
Realizado por: INEN

Tabla 2-2: Sustancias Orgánicas

Parámetro	Unidad	Límite máximo permitido
Hidrocarburos:		
Benceno	mg/L	0,01
Tolueno	mg/L	0,7
Xileno	mg/L	0,5
Estireno	mg/L	0,02
1,2dicloroetano	mg/L	0,03
Cloruro de vinilo	mg/L	0,0003
Tricloroeteno	mg/L	0,02
Tetracloroeteno	mg/L	0,04
Di(2-etilhexil) ftalato	mg/L	0,008
Acriylamida	mg/L	0,0005
Epiclorohidrina	mg/L	0,0004
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006
1,2Dibromoetano	mg/L	0,0004
1,4- Dioxano	mg/L	0,05
Ácido Nitrilotriacético	mg/L	0,2

Fuente: INEN, 2014. (Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108)
Realizado por: INEN

Tabla 3-2: Plaguicidas

Parámetro	Unidad	Límite máximo permitido
Atrazina y sus metabolitos cloro-s-triazina	mg/L	0,1
Isoproturón	mg/L	0,009
Lindano	mg/L	0,002
Pendimetalina	mg/L	0,02
Pentaclorofenol	mg/L	0,009
Dicloropropano	mg/L	0,1
Alacloro	mg/L	0,02
Aldicarb	mg/L	0,01
Aldrín y Dieldrín	mg/L	0,00003
Carbofurán	mg/L	0,007
Clorpirifos	mg/L	0,03
DDT y metabolitos	mg/L	0,001
1,2-Dibromo-3-cloropropano	mg/L	0,001
1,3-Dicloropropeno	mg/L	0,02
Dimetoato	mg/L	0,006
Endrín	mg/L	0,0006
Terbutilazina	mg/L	0,007
Clordano	mg/L	0,0002
Hidroxiatrazina	mg/L	0,2

Fuente: INEN, 2014. (Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108)
Realizado por: INEN

Tabla 4-2: Residuos de desinfectantes

Parámetro	Unidad	Límite máximo permitido
Monocloramina,	mg/L	3
Si pasa de 1,5 mg/L investigar:N-Nitrosodimethylamine	mg/L	0,0001

Fuente: INEN, 2014. (Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108)
Realizado por: INEN

Tabla 5-2: Subproductos de desinfección

Parámetro	Unidad	Límite máximo permitido
2,4,6-triclorofenol	mg/L	0,2
Trihalometanos totales	mg/L	0,5
Si pasa de 0,5 mg/L investigar: Bromodiclorometano	mg/L	0,06
Cloroformo	mg/L	0,3
Tricloroacetato	mg/L	0,2

Fuente: INEN, 2014. (Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108)
Realizado por: INEN

Tabla 6-2: Cianotoxinas

Parámetro	Unidad	Límite máximo permitido
Microcistina-LR	mg/L	0,001

Fuente: INEN, 2014. (Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108)
Realizado por: INEN

Tabla 7-2: Requisitos Microbiológicos

Coliformes fecales (1):	
Tubos múltiples NMP/100 mL o Filtración por membrana ufc/ 100 ml	< 1,1 *
	< 1 **
Cryptosporidium, número de ooquistes/ litro	Ausencia
Giardia, número de quistes/ litro	Ausencia

* < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm^3 ó 10 tubos de 10 cm^3 ninguno es positivo

** < 1 significa que no se observan colonias

(1) ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida

Fuente: INEN, 2014. (Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108)
Realizado por: INEN

Esta Norma Técnica es una adaptación que realiza el Instituto Ecuatoriano de Normalización, de las guías para la calidad del agua potable de la Organización Mundial dela Salud, cuarta edición de 2011.

2.2.Ecotoxicología y ensayos biológicos

La Ecotoxicología estudia el origen y los efectos de los contaminantes en el ambiente; con el objetivo de manifestar las causas y prever los posibles riesgos, esta se divide en prospectiva, que permite evaluar la toxicidad de las sustancias antes de que se produzca, y retrospectiva que se ocupa de confirmar si la sustancia produjo daños en el ecosistema. La derivación causada por un tóxico dependerá de su toxicidad inherente, es decir, el rendimiento que presenta el xenobiótico en afectar al organismo vivo, lo que también dependerá del tiempo de exposición, la cantidad que ingrese y los distintos procederes del ecosistema y de su persistencia (Puig, 2015).

Los ensayos biológicos son técnicas especializadas de diagnóstico de toxicidad, empleadas en condiciones controladas, que se aplican para determinar la concentración de una sustancia tóxica que induce una cierta respuesta en una colección de organismos. Los efectos que se pueden presentar para su determinación pueden ser tanto inhibición como

magnificación, evaluados por la reacción de los organismos, tales como muerte, crecimiento, proliferación, multiplicación, cambios morfológicos, fisiológicos o histológicos (Díaz et al., 2007).

La detección de sustancias peligrosas o nocivas con métodos biológicos hace su aparición en el siglo XX, introduciéndose la aplicación de bioensayos con invertebrados y algas, los cuales han sido adaptados y aplicados al complemento de la caracterización fisicoquímica de un diagnóstico ambiental, permitiendo tener predicciones de la presencia de sustancias tóxicas. En 1996 el avance trascendental de aportes a la evaluación y control de la calidad del agua por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Naciones Unidas convocó a una asamblea internacional de especialistas para sondear ensayos de toxicidad simples, de bajo costo, rutinarios, en laboratorios con equipamiento básico e insumos mínimos, que sean óptimos para conformar un conjunto de bioensayos sustentables para la evaluación de toxicidad de aguas de consumo humano, accesible a países en vías de desarrollo (Castillo et al., 2004).

Como derivación de esta reunión en 1997 se creó la red internacional WaterTox que tuvo como objetivo la validación de un conjunto de ensayos a través de muestras ciegas, y su posterior aplicación en muestras ambientales; entre estas se presentan metodologías con organismos de prueba que permiten evidenciar efectos fitotóxicos subletales agudos como *Lactuca sativa* L. y *Allium cepa* L., efectos crónicos con el alga *Selenastrum capricornutum* (*Pseudokirchneriella subcapitata*) y efectos agudos letales y subletales como la *Daphnia magna* e *Hydra attenuata* (Díaz et al., 2007).

En el XVIII Congreso de Investigación realizado en el Centro Universitario Anglo Mexicano Mórelas, en el área de biología, se realizó un proyecto cuyo objetivo fue comprobar la sensibilidad de *Daphnia magna* a los niveles reducidos de toxicidad en las aguas. Según la hipótesis de Barrios et al., (2007), fue que mientras más elevado el nivel de toxicidad se incrementará más la mortalidad. Pérez et al., (2015) en su investigación de valoración fisicoquímica y fitotóxica de las aguas residuales depuradas/regeneradas destinadas al riego agrícola, usando como organismo de prueba el test de *Lactuca sativa* L,

destacaron que la radícula es más perceptiva a los efectos fitotóxicos sub letales agudos al compararse con el hipocótilo.

La investigación ecotoxicológica con diferentes especies de *Lactuca sativa* L. ocupa un importante lugar en la evaluación de los contaminantes del agua en ciertos ecosistemas. Sus características genéticas, fisiológicas, nutricionales y funcionales han sido evaluadas comparando los cambios que se producen en estos organismos, fundamentalmente en presencia de agentes tóxicos. Ello ha dado lugar a la existencia de protocolos normalizados para esta semilla en ensayos de toxicidad (Castillo et al., 2004).

2.2.1. Bioindicadores y ensayos de germinación de semillas

Los bioindicadores son organismos vivos que presentan una dominante sensibilidad a los diferentes cambios que se presentan en el ecosistema, entre ellos los efectos tóxicos, que por lo general son complicados de determinar. La reacción de los bioindicadores ante la presencia de sustancias contaminantes es mucho más rápida que las de los indicadores abióticos o artificiales, lo que lo establece como una de las alternativas más usadas en los programas de biomonitorización en ecosistemas acuáticos, aéreos y terrestres (Roldán, 2020).

Los bioensayos de toxicidad con semillas de especies vegetales presentan algunas ventajas como: fácil manipulación, bajo costo, las plantas son más sensibles al estrés ambiental, mínimos requerimientos en cuanto a las condiciones de realización de las pruebas y ajuste de las muestras, son bioensayos con semillas de fácil y rápida germinación, no se requiere de aparatos especializados, el tiempo de exposición al tóxico es reducido lo que permiten evaluar los efectos fitotóxicos de compuestos puros o mezclas complejas en el proceso de germinación de las semillas y en el desarrollo de las plántulas durante los primeros días de crecimiento (Moscoso, 2014).

La planta *Lactuca sativa* L. (lechuga) se ha utilizado con frecuencia como bioindicador en ensayos específicos de toxicidad. La lechuga es una hortaliza anual herbácea que se la consume generalmente cruda en ensaladas, esta presenta un 90 a 95% de agua en su composición, siendo rica en vitaminas A, C, E, B1, B2, Y B3 y minerales como hierro, potasio, fósforo, calcio y aminoácidos. Entre sus características morfológicas se presenta una

raíz que no sobrepasa los 25 cm de profundidad, pivotante, corta y con ramificaciones; hojas lanceoladas oblongas situadas en roseta, con bordes limbos ondulados, lisos, dentados; un tallo corto en estado vegetativo entre 1 a 3 cm y hasta 1,2 m en fase de floración donde se alarga y ramifica; sus semillas son aquenios, presentan colores versátiles que van desde el blanco al marrón oscuro, casi negro, achatado, pequeño y son livianas; por lo general, esta planta puede generar entre 600 a 1000 semillas (Sinavimo, 2015).

2.3.Germinación de las plantas

Con la germinación de la planta se da el rompimiento de la envoltura seminal, por medio de factores ajenos a la planta, como lo es la humedad y la temperatura; las cuales generan un espacio adecuado para su germinación. La semilla sirve como recipiente de almacenamiento del embrión y su alimento. De igual forma el epicolito crece en forma ascendente, por fuera del suelo, con el objetivo de dar forma a la planta en su parte exterior con su tallo y hojas, al mismo tiempo se presenta el crecimiento del hipocótilo en la parte superior, el cual responde negativamente a la gravedad; la parte inferior del hipocótilo se desarrolla en profundidad reproduciendo así las radículas y luego las raíces de esta planta (Matilla, 2008).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.Localización

La provincia de Pastaza, ubicada en el centro este de la Región Amazónica del Ecuador, fue fundada el 10 de noviembre de 1959, llamada también "Corazón de la Amazonía". Esta provincia es la más extensa del Ecuador, cuenta con una superficie aproximada de 29531 km^2, que representa alrededor del 11% de la superficie nacional. (GADPP, 2019).

Puyo con una superficie de 87,67 km^2, es la cabecera cantonal del Cantón Pastaza y capital de la Provincia de Pastaza; la ciudad es el centro económico de la provincia, con una población de 61.779 habitantes (GuíaPuyo, 2016).

La Universidad Estatal Amazónica, matriz principal, se encuentra ubicada en el km 2 ½, vía Puyo-Tena (paso lateral), en la ciudad de Puyo, provincia de Pastaza (Figura 1-3). Este campus universitario cuenta con 20 hectáreas y un total aproximado de 3656 personas que transitan el lugar entre estudiantes, docentes, administrativos, servidores y trabajadores (UEA, 2020).



Figura 1-3: Ubicación Satelital del Área de Estudio.
Fuente: (Google Earth, 2018).

3.2.Tipo o Diseño de Investigación

3.2.1. Diseño de Investigación

Se realizó un diseño de investigación descriptivo experimental y explicativo debido a que se centró en obtener datos precisos que puedan aplicarse en promedios y cálculos estadísticos, mediante la observación, manipulación y registro de variables que afectan al objeto. Se analizaron distintas fuentes bibliográficas, cuidadosamente seleccionadas, para garantizar la confiabilidad de los resultados.

3.3.Métodos de Investigación

3.3.1. Valoración de Parámetros Fisicoquímicos Básicos en el Agua.

Previo a ejecutar el bioensayo, se procedió a realizar análisis básicos de parámetros físico químicos como: potencial de Hidrógeno (pH), conductividad y temperatura, de las aguas sujetas a estudio (muestras). Los resultados obtenidos permitirán tener una visión, mediante comparación con información bibliográfica, del cumplimiento de algunos índices de calidad generales del agua para uso humano (Severiche et al., 2013).

El agua sujeta a estudio (muestra) fue tomada de un grifo de la Universidad Estatal Amazónica; para tener una muestra representativa se recolectó 250 mL en un envase de vidrio previamente lavado y secado para que no presente alteración el agua y llevado al laboratorio; mientras que el agua comparación (agua embotellada, marca reservada por temas legales) se compró un botellón de 1litro en una tienda de abarrotes.

3.3.2. Evaluación del efecto ecotoxicológico. Bioensayo con el test de Lactuca sativa L.

Las aplicaciones de bioensayos en circunstancias experimentales controladas permiten detectar y evaluar varios efectos tóxicos que se generan por diversos contaminantes; el manejo de especies que ayudan a revelar la existencia de estos efectos van desde semillas (lechuga, cebolla), plantas (lenteja de agua, algas), invertebrados (*Daphnia magna*) y vertebrados (peces), que lo manifiestan a través de cambios fisiológicos, morfológicos, proliferación, multiplicación, muerte o inhibición de crecimiento (Saetama, 2017).

Para el estudio de evaluación de calidad toxicológica del agua que llega a la Universidad Estatal Amazónica se aplicó el bioensayo de toxicidad con semillas de *Lactuca sativa* L. Se realizó una prueba estática de toxicidad aguda, en la que se procedió a hacer germinar y crecer por 120 horas (5 días) las semillas de lechuga presencia de determinados tipos de agua (el agua tomada de un grifo de la UEA, agua embotellada y agua destilada como control negativo) en condiciones controladas de temperatura e iluminación, con la finalidad de determinar efectos tóxicos a través de la inhibición en la germinación y elongación de la radícula e hipocótilo que son los indicadores sub letales en la germinación de las semillas y el desarrollo en el crecimiento en los primeros días de la plántula (Saetama, 2017). Para clasificar los resultados en cuanto a nivel de toxicidad, se siguieron los criterios que se observan en la tabla 1-3.

Tabla 1-3: Índice para determinar el nivel de toxicidad

0 a – 0,25 baja toxicidad.
-0,25 a 0,5 moderada toxicidad.
-0,5 a – 0,75 muy tóxico.
-0,75 a -1 altamente tóxico.
> 0 indican la estimulación del crecimiento de la semilla (hormesis).

Fuente: Bagur et al., (2010)
Realizado por: Bagur et al.,

Esta clasificación o escala de índice para determinar el nivel de toxicidad fue establecida por Bagur et al., (2010), de tal manera que los valores pueden variar de 0 a -1; además, plantean que, si en los resultados se presenta una reducción del 50% en la variable a estudiar con relación al control negativo, este se considera una sustancia altamente tóxica.

Organismos de Prueba

Las características de las semillas que se seleccionaron para este bioensayo fueron las que se ofrecen en la tabla 2-3.

Tabla 2-3: Características de la Semilla

Características	
Semillas de lechuga	*Lactuca sativa* L.
Variedad	Iceberg
Lote	103751484
Origen	USA
Registro No	02017544077
Peso Neto	500 g
Obtenidas	Ferticampo

Realizado por: Avellán J., Fuente A.

3.3.3. Materiales, Equipos, Reactivos y condiciones de ensayo de toxicidad

Los recursos materiales utilizados para este ensayo, así como las condiciones experimentales se describen en la tabla 3-3.

Tabla 3-3: Materiales, equipos, reactivos y condiciones de toxicidad

Materiales e instrumentos
Cajas Petri de 90 mm de diámetro
Papel de filtro MACHEREY-NAGEL 615
Pipeta volumétrica de 5mL
Calibrador pie de rey
Pinzas
Bolsas plásticas
Equipos
Cámara germinación
Muestras y Organismo de Prueba
Control Negativo *(Agua Destilada)*
Muestra de estudio de caso *(Muestra de agua recolectada en la UEA y Muestra de Agua embotellada)*
Semillas de lechuga de la especie *Lactuca sativa* L.
Condiciones del ensayo
Temperatura (°C) 22 ± 2
Intensidad de luz – Oscuridad total
20 semillas por réplica
5 réplicas

Fuente: Saetama, (2017)
Realizado por: Avellán J., Fuentes A.

3.3.4. Verificación de la viabilidad de las semillas y mediciones de radícula e hipocótilo

Se tuvo en cuenta el criterio de Saetama (2017) citando a (Sobrero y Ronco, 2004) el cual consiste en que, para una viabilidad de semillas óptima para realizar los bioensayos, estas deben presentar un porcentaje de germinación mayor o igual a 90%, sincronización y baja variabilidad de la elongación de la radícula e hipocótilo, donde el coeficiente de variación debe ser menor al 30% (Ecuación 1-3 y 2-3).

Para la obtención de estos resultados se realizaron ensayos utilizando agua destilada como control negativo, con 5 réplicas, en cada caja Petri de 90 mm de diámetro se colocó un disco de papel filtro MACHEREY-NAGEL 615, el cual fue humedecido con 5 mL de agua destilada o la respectiva muestra de ensayo, evitando la formación de burbujas de aire, se colocaron 20 semillas en cada caja Petri, se cubrieron las cajas, y se colocaron en bolsas plásticas de color negro para evitar la luz y la pérdida de humedad, bajo esas condiciones fueron incubadas 120 horas (5 días) a una temperatura de 22 ± 2 ºC. Las réplicas realizadas, y el número de semillas utilizadas garantizó que la menos hubiera 100 semillas para cada muestra de ensayo o el control negativo.

Finalizado el período de incubación, se realizó el conteo del número de semillas germinadas, se midió con un pie de rey la longitud de radícula e hipocótilo, considerando germinadas aquellas con una longitud de radícula mayor a 1 mm, se calculó el promedio de las longitudes, la desviación estándar, el porcentaje de germinación y el coeficiente de variación para la elongación tanto de radícula como de hipocótilo (Saetama, 2017).

De acuerdo a Sobrero y Ronco (2004), la elongación de la radícula inicia desde el ápice radicular hasta la región de nudo engrosado que es donde inicia el hipocótilo hasta la inserción de los cotiledones.

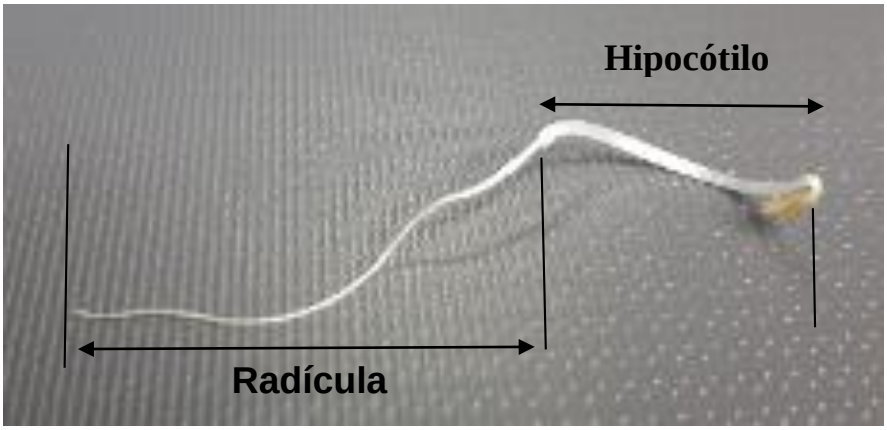

Figura 2-3: Medida de Radícula e Hipocótilo.
Fuente: (Avellán J., Fuente A., 2021).

El porcentaje de germinación para la viabilidad del lote semilla se calculó en función del número de semillas germinadas y el número total de semillas colocadas en las cajas (ecuación 1-3).

$$\%\ \text{Germinación (\%G)} = \frac{\text{No. Semillas germinadas}}{\text{No. Total de semillas}}\ x\ 100$$

Ecuación 1-3: Porcentaje de germinación-viabilidad
Fuente: Rodríguez et al., (2014)

El coeficiente de variación para la radícula en los controles negativos y muestra se obtuvo dividiendo la desviación estándar de las longitudes para el promedio de las longitudes de la radícula e hipocótilo y multiplicando por 100 (ecuación 2-3)

$$\text{Coeficiente de variación (cv)} = \frac{\text{Desviación estándar}}{\text{Media}}\ x\ 100$$

Ecuación 2-3: Coeficiente de variación-viabilidad
Fuente: Rodríguez et al., (2014)

3.3.5. Prueba de Toxicidad. Cálculo de Porcentaje de Germinación e inhibición o estimulación en la elongación de la radícula e hipocótilo

Los efectos fitotóxicos, se establecieron mediante el porcentaje de germinación y la inhibición o estimulación en la elongación de la radícula e hipocótilo. Se calculó el porcentaje de germinación de las semillas para cada muestra con respecto al control negativo de acuerdo a Rodríguez et al, (2014) mediante la (ecuación 3-3), estos resultados para verificar en la escala que plantea Bagur et al., (2010) se tiene que dividir para 100.

$$\%\ \text{Germinación (\%G)} = \frac{\text{No. Semillas germinadas en la muestra}}{\text{No. Semillas germinadas en el control}} x\ 100$$

Ecuación 3-3: Porcentaje de Germinación-toxicidad
Fuente: Rodríguez et al., (2014)

El porcentaje de inhibición o estimulación en la elongación de la radícula e hipocótilo, fue calculado de acuerdo a (Bagur et al.,2010) mediante la siguiente (ecuación 4-3) estos resultados para verificar en la escala que plantea Bagur et al., (2010) se tiene que dividir para 100.

$$\%\ \text{Inhibición elongación (\%IE)} = \frac{\text{Promedio de elongación muestra} - \text{Promedio de elongación control}}{\text{Promedio de elongación control}} x\ 100$$

Ecuación 4-3: Porcentaje de inhibición en la elongación e hipocótilo-toxicidad
Fuente: Bagur et al., (2010)

Los datos obtenidos en el bioensayo con las diferentes muestras fueron procesados y analizados, utilizando el programa Excel 2016 (v16.0)

3.3.6. Correlación de resultados físico-químicos y toxicológicos

Los resultados obtenidos permiten relacionar los aspectos físicos-químicos, con los toxicológicos, para lo cual se realizaron evaluaciones cualitativas, basadas en predicciones de comparación en relación directa con los datos toxicológicos y propiedades físico-químicas, permitiendo de esta manera establecer prioridades sobre el estado actual del agua y desarrollar guías preliminares con medidas correctivas (Espín, 2013).

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.Evaluación de parámetros Físico Químicos

En la tabla 1-4 se observan los resultados de las mediciones de los parámetros físico químicos evaluados para cada tipo de agua.

Tabla 8-4: Parámetros Físico Químicos de las muestras de agua

	pH	Conductividad	Temperatura
Agua Destilada *(Muestra Control)*	5,8	20,0	20,8 °C
Agua Grifo UEA *(Muestra de Estudio)*	6,5	22,7	23,6 °C
Agua Embotellada *(Muestra de Estudio)*	5,5	57,4	24,9 °C

Elaborado por: Avellán J., Fuentes A.

Según (TULSMA, 2017) el pH en el agua potable debe estar en un intervalo de 6-9, para considerarse un agua óptima para el consumo, por lo cual se puede mencionar que las muestras de agua tanto del grifo de la Universidad Estatal Amazónica tiene un pH de 6,5 característica que indican que el agua se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la normativa ambiental y son aptas para el consumo humano.

La normativa INEN (2017) determina que el pH para el agua embotellada deberá estar entre 4,5 y 9,5 para calificarse como un agua óptima para el consumo, el agua embotellada de marca reservada utilizada en la presente investigación presenta un pH de 5,5 señalando que si cumple con los requisitos establecidos por la normativa que garantizan el cumplimiento de los parámetros.

En la normativa ecuatoriana INEN no está regulado el parámetro de la conductividad eléctrica, debido a esto se comparó con el límite máximo permisible que se encuentra en el TULSMA. Los resultados de los puntos muestreados señalan que cumplen con el límite máximo permisible establecido de 1500 µS/cm. Los valores obtenidos se mantienen en un intervalo adecuado; el agua embotellada tiene 57,4 µS/m y para el agua del grifo de la Universidad Estatal Amazónica es de 22, 7 µS/m. La conductividad eléctrica está relacionada

directamente con la concentración de sólidos disueltos en el agua, el valor obtenido de la conductividad permite establecer un estimativo rápido de la concentración de sólidos disueltos.

4.2.Evaluación del efecto ecotoxicológico. Bioensayo con el test de *Lactuca sativa* L.

4.2.1. Verificación de la viabilidad de las semillas en el control de agua destilada

En la tabla 2-4 se muestra el porcentaje de germinación obtenido respecto a la exposición de la semilla *Lactuca sativa* L. en cada réplica y un total global de la misma ante la muestra Control de estudio que fue el agua destilada con la finalidad de verificar la viabilidad de las semillas.

Tabla 9-4: Porcentaje de germinación de *Lactuca sativa* L. en cinco réplicas.

T: **Total de semillas expuestas.** Tg: **Total de semillas germinadas G**: **Porcentaje de germinación.**

RÉPLICA	T	TG	G %
1	20	19	95
2	20	19	95
3	20	17	85
4	20	19	95
5	20	18	90
TOTAL	100	92	92
TOTAL GERMINACIÓN H_2O DESTILADA			**92%**

Elaborado por: Avellán J., Fuentes A.

Como se observa, se obtuvo un porcentaje de germinación superior al 90 % para las réplicas 1, 2, 4 y 5, mientras que para la réplica 3 este fue inferior con un 85 %, y un total global del 92%, es decir que de 100 semillas utilizadas para esta muestra germinaron 92, lo cual indica que la viabilidad de las semillas está acorde a lo planteado por (Sobrero y Ronco, 2004) respecto a la germinación.

Tabla 10-4: Coeficiente de variación de radícula e hipocótilo en la muestra control.

	Desviación Estándar	Media	Coeficiente de Variación (CV %)
RADÍCULA	0,81	2,72	29,93
HIPOCÓTILO	1,19	3,97	29,95

Elaborado por: Avellán J., Fuentes A.

En la tabla 3-4 se muestra el coeficiente de variación obtenido para la radícula e hipocótilo respecto a la exposición de la semilla *Lactuca sativa* L. en la muestra control de estudio que fue el agua destilada con la finalidad de verificar la variabilidad de la elongación. En la radícula se obtuvo un porcentaje de coeficiente de variación del 29,93% y para el hipocótilo un 29,95% lo cual indica que la variabilidad de las mediciones correspondientes al crecimiento relativo de radícula e hipocótilo posee un grado de dispersión, para este sistema biológico, acorde a lo planteado por (Sobrero y Ronco, 2004) ya que se encuentran por debajo del 30%.

4.2.2. Verificación de la viabilidad de las semillas en la muestra de estudio (Agua Grifo UEA)

En esta tabla 4-4 se observa el porcentaje de germinación obtenido respecto a la exposición de la semilla *Lactuca sativa* L. en cada réplica y un total global de la misma ante la muestra de estudio que fue el agua obtenida desde un grifo en la Universidad Estatal Amazónica con la finalidad de verificar la viabilidad de las semillas o la capacidad que tienen para germinar n este tipo de agua.

Tabla 11-4: Porcentaje de germinación de *Lactuca sativa* L. en cinco réplicas.

T: **Total de semillas expuestas.** Tg: **Total de semillas germinadas G**: **Porcentaje de germinación.**

RÉPLICA	T	TG	G %
1	20	19	95
2	20	18	90
3	20	17	85
4	20	19	95
5	20	17	85
TOTAL	100	90	90
TOTAL GERMINACIÓN H_2O UEA			**90%**

Elaborado por: Avellán J., Fuente A.

Como se puede apreciar, se obtuvo un porcentaje de germinación superior al 90 % para las réplicas 1, 2, y 4, mientras que para la réplica 3 y 5 este fue inferior (85 %) y un total global del 90%, es decir que de 100 semillas utilizadas para esta muestra germinaron 90, lo cual indica que la viabilidad de las semillas está acorde a lo planteado por (Sobrero y Ronco, 2004) respecto a la germinación, aunque cabe recalcar que fue ligeramente inferior que para el control de agua destilada.

Tabla 12-4: Coeficiente de variación de radícula e hipocótilo en la muestra de estudio

	Desviación Estándar	Media	Coeficiente de Variación (CV %)
RADÍCULA	0,70	2,67	26,39
HIPOCÓTILO	1,13	3,81	29,61

Elaborado por: Avellán J., Fuentes A.

En la tabla 5-4 se muestra el coeficiente de variación obtenido para radícula e hipocótilo respecto a la exposición de la semilla *Lactuca sativa* L. en la muestra de estudio que fue el agua obtenida desde un grifo en la Universidad Estatal Amazónica. En la radícula se obtuvo un porcentaje de coeficiente de variación del 26,39% y para el hipocótilo un 29,61% lo cual indica una variabilidad en la germinación de las semillas acorde a lo establecido por (Sobrero y Ronco, 2004) ya que se encuentran por debajo del 30%.

4.2.3. Prueba de toxicidad respecto al agua del grifo de la UEA

Tabla 13-4: Porcentaje de germinación de las semillas de la muestra de estudio con respecto al control negativo

N. Semillas Germinadas en la Muestra	90
N. Semillas Germinadas en el Control	92
%Germinación (%G)	**97,83**

Elaborado por: Avellán J., Fuentes A.

En la tabla 6-4 se muestra el porcentaje de germinación de la muestra de estudio con respecto al control negativo. El porcentaje de germinación respecto al control resultó ser de un 97,83%.

Tabla 14-4: Porcentaje de inhibición en la elongación de la radícula e hipocótilo-Escala de toxicidad

	Promedio de Elongación muestra	Promedio de Elongación Control	%Inhibición Elongación (%IE)	**Escala de Toxicidad**
RÁDÍCULA	2,67	2,72	-1,88	**-0,02**
HIPOCÓTILO	3,81	3,97	-4,11	**-0,04**

Elaborado por: Avellán J., Fuentes A.

De acuerdo los índices para medir los niveles de toxicidad, establecidos por Bagur et al., (2010), y que se mostraron en la Tabla 7-4 de este trabajo, cabe recalcar que el porcentaje de inhibición de la elongación para la radícula es de -1,88 %, que de acuerdo a la escala representa un valor de -0,02, (se encuentra en el intervalo de 0 a -0,25 que corresponde con baja toxicidad); en cuanto al hipocótilo sus porcentaje de inhibición fue de -4,11%, representando un índice de toxicidad también bajo con -0,04; lo que permite afirmar que el agua de la Universidad Estatal Amazónica reúne las características adecuadas para considerarse como agua apta para el consumo humano.

4.2.4. Verificación de la viabilidad de las semillas Muestra de Estudio (Agua Embotellada-Marca Reservada)

Tabla 15-4: Porcentaje de germinación de *Lactuca sativa* L. en cinco réplicas.

T: **Total de semillas expuestas.** Tg: **Total de semillas germinadas G**: **Porcentaje de germinación.**

RÉPLICA	T	Tg	G %
1	20	18	90
2	20	16	80
3	20	20	100
4	20	20	100
5	20	18	90
TOTAL	100	92	92
TOTAL GERMINACIÓN H_2O EMBOTELLADA			**92%**

Elaborado por: Avellán J., Fuentes A

En la tabla 8-4 se muestra el porcentaje de germinación obtenido respecto a la exposición de la semilla *Lactuca sativa* L. en cada réplica y un total global de la misma ante la muestra de estudio que fue el agua obtenida de una empresa embotelladora de este líquido,

de la cual, por temas legales, se reserva el nombre, con la finalidad de verificar la capacidad de las semillas de germinar en dicha agua. Se obtuvo un porcentaje de germinación superior al 90% para todas las réplicas y un total global del 92%, es decir que, de 100 semillas utilizadas para esta muestra, germinaron 92, lo cual indica que la viabilidad de las semillas está acorde a lo planteado por (Sobrero y Ronco, 2004) respecto a la germinación.

Tabla 16-4: Coeficiente de variación de radícula e hipocótilo en la muestra de estudio

	Desviación Estándar	Media	Coeficiente de Variación (CV %)
RADÍCULA	0,86	3,00	28,79
HIPOCÓTILO	0,89	3,41	26,11

Elaborado por: Avellán J., Fuentes A

En la tabla 9-4 se muestra el coeficiente de variación obtenido de la radícula e hipocótilo respecto a la exposición de la semilla *Lactuca sativa* L. en la muestra estudio que fue al agua embotellada, con la finalidad de verificar la baja variabilidad de la elongación. En la radícula se obtuvo un porcentaje de coeficiente de variación del 28,79% y para el hipocótilo un 26,11% lo cual indica que la viabilidad de las semillas está acorde a lo planteado por (Sobrero y Ronco, 2004) ya que se encuentran por debajo del 30%.

4.2.5. Pruebas de toxicidad respecto al agua embotellada

Tabla 17-4: Porcentaje de germinación de las semillas de la muestra de agua embotellada con respecto al control negativo

N. Semillas Germinadas en la Muestra	92
N. Semillas Germinadas en el Control	92
%Germinación (%G)	100

Elaborado por: Avellán J., Fuentes A

En la tabla 10-4 se muestra el porcentaje de germinación de las semillas en la muestra de estudios con respecto al control negativo, obteniéndose un 100%, lo que indica una estimulación del crecimiento de la semilla según la escala planteada Bagur et al., (2010).

Tabla 18-4: Porcentaje de inhibición en la elongación de la radícula e hipocótilo

	Promedio de Elongación muestra	Promedio de Elongación Control	%Inhibición Elongación (%IE)	**Escala de Toxicidad**
RÁDÍCULA	0,90	3,19	28,15	**0,28**
HIPOCÓTILO	1,03	3,49	29,44	**0,29**

Elaborado por: Avellán J., Fuentes A

De acuerdo al índice para medir los niveles de toxicidad establecidos por Bagur et al., (2010), y la información ofrecida en la Tabla 11-4 se puede indicar que para la radícula la inhibición de la elongación fue de 28,15%, lo que de acuerdo a escala representa 0,28 y para hipocótilo, la inhibición fue de 29,44%, representando un índice de toxicidad de 0,29; ambos valores positivos indican estimulación del crecimiento de la semilla (hormesis), dado tal vez por los oligoelementos nutrientes presentes en el agua embotellada. En estudios realizados por Pérez et al., (2015) se manifiesta la relación de crecimiento de la lechuga con el contenido de sales presentes en el agua e indica que este deberá dar lugar a más del 90 % de germinación.

4.3. Correlación de resultados físico-químicos y toxicológicos

Si se correlacionan o comparan los resultados de parámetros físico químicos con los de germinación en los diferentes tipos de agua puede decirse que existe un nivel de dependencia entre unos y otros. La figura 3-4 muestra que, en la medida que aumenta la conductividad, existe una tendencia a incrementarse el porcentaje de germinación; esto puede deberse a que algunos de los sólidos disueltos que contribuyen al incremento de la conductividad pueden ser a su vez nutrientes esenciales o componentes capaces de estimular la germinación de las semillas.

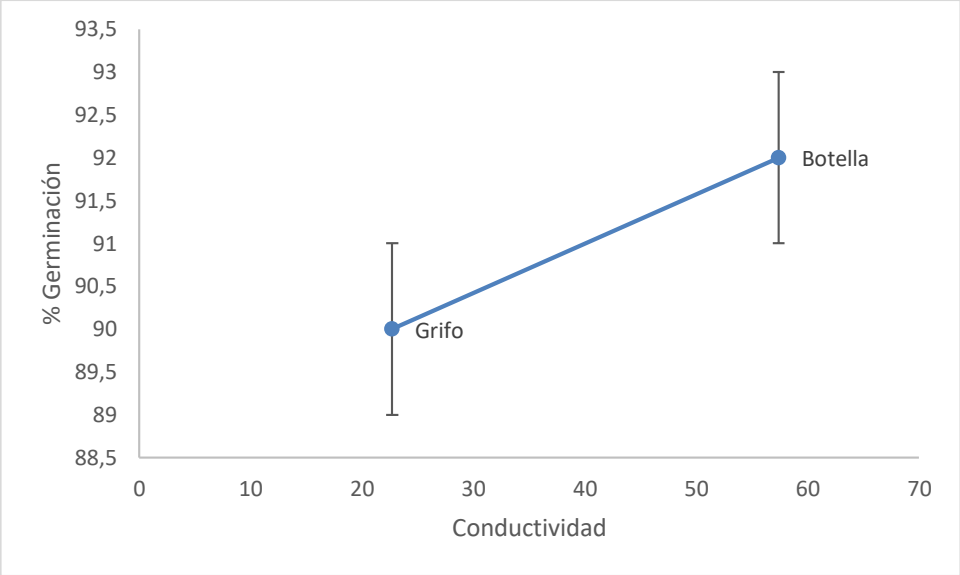

Figure 3-4:Comportamiento de la germinación respecto a la conductividad.
Fuente: Realizado por Avellán J., Fuente A.

En la figura 4-4 se observa también una dependencia del porcentaje de germinación respecto al pH. A valores más bajos de pH el porcentaje de germinación es mayor, lo cual concuerda con lo descrito por varios autores en lo que respecta a los mecanismos de germinación de semillas (Matilla, 2008).

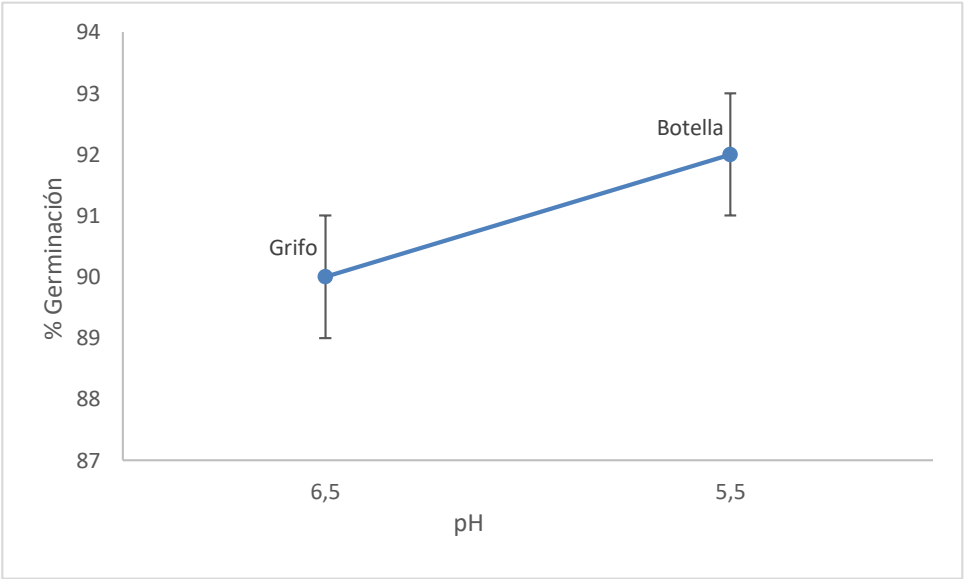

Figure 4-4:Comportamiento de la germinación respecto al pH
Fuente: Realizado por Avellán J., Fuente A.

La realización de este estudio de dependencia de parámetros químico físicos con la germinación, que a su vez se puede considerar como indicador de toxicidad de las aguas, ayuda a entender mejor el fundamento de estos métodos de evaluación y permite tener una noción de las medidas correctivas que se pueden tomar con las aguas con vistas a mejorar su calidad toxicológica.

CONCLUSIONES

- Los parámetros físico químicos medidos a las aguas en estudio: agua del grifo de la UEA, en comparación con el agua embotellada y tomando como control negativo el agua destilada, se encuentran dentro de los parámetros normados y permiten establecer un punto de partida para los estudios toxicológicos de dichas aguas.

- En la evaluación de la calidad toxicológica del agua potable del grifo de la UEA, mediante el bioindicador semillas de *Lactuca sativa* L., se demostró que la radícula es el elemento más sensible a la toxicidad al compararlo con el hipocótilo; por otra parte, teniendo en cuenta los valores negativos de porcentajes de inhibición de la elongación de radícula e hipocótilo y los valores que enmarcan la escala de toxicidad, se concluye que el agua del grifo de la UEA posee baja toxicidad.

- Los parámetros físico químicos como el pH y la conductividad eléctrica del agua embotellada muestran valores diferentes con relación al agua de grifo de la UEA, el pH es menor, sin embargo, la conductividad es mayor lo que indica que este tipo de agua presenta una mayor cantidad de iones disueltos, proporcionando una mayor cantidad de posibles nutrientes, lo que se refleja en el porcentaje de germinación de las semillas que fue de 92% para el agua embotellada y 90% para el agua de grifo.

RECOMENDACIONES

- Incorporar bioensayos de eco toxicidad con diferentes indicadores (distintos tipos de semillas), en los distintos tipos de muestras de agua, como una herramienta útil de caracterización y proteger el ecosistema.

- Replicar los ensayos en número mayor a 5 veces por cada muestra, esto con el fin de verificar las posibles variaciones en la germinación de las semillas y así controlar posibles anomalías existentes.

REFERENCIAS

- Bagur, M. et al., (2010). Evaluación de la toxicidad utilizando Lactuca sativa L. bioensayo del metal (loid) s As, Cu, Mn, Pb y Zn en extractos de suelo saturados soluble en agua de un sitio minero abandonado. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/227295752_Toxicity_assessment_using_Lactuca_sativa_L_bioassay_of_the_metalloids_As_Cu_Mn_Pb_and_Zn_in_soluble-in-water_saturated_soil_extracts_from_an_abandoned_mining_site
- Barrios, A. et al. (2007). XVIII Congreso de Investigación Daphnia magna El canario de las aguas. Recuperado de http://www.acmor.org.mx/cuam/biol/217daphnia.pdf
- Castillo, M. et al. (2004). Ensayos Toxicológicos y Métodos de Evaluación de Calidad de Aguas. Estandarización, Intercalibración, Resultados y Aplicaciones. (Ed). *México: IMTA.* Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=GD7-N3154OIC&lpg=PP1&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false
- Díaz, M. et al. (2007). Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas.
  Estandarización, Intercalibración, resultados y aplicaciones .*Mexico:IMTA*.Recuperado de: https://www.idrc.ca/sites/default/files/openebooks/147-7/index.html
- EMAPAST-EP (2016). Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado de Pastaza. Recuperado de https://emapast.puyo.gob.ec/
- GADPP, (2019). Información de la Provincia de Pastaza. https://pastaza.gob.ec/pastaza/informacion/informacion-de-la-provincia-de-pastaza/
- GuíaPuyo, (2016). Información General. Recuperado de https://guiapuyo.com/informacion-general-pastaza/
- INEN, (2017) "Norma Técnica Ecuatoriana-Agua Purificada Envasa-Requisitos". Segunda revisión 2017-04. Recuperado de https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2200-2.pdf
- Matilla, A. (2008). Desarrollo y germinación de las semillas. *ResearchGate*. Recuperado de https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2016/08/Matilla-2008.pdf

- Marcano, J. (2020). El Agua. *Educación Ambiental*. Recuperado de https://jmarcano.com/recursos-naturales/agua/
- Moscoso, R. (2014). *Determinación de la toxicidad por aluminio del efluente de laplanta potabilizadora de El Cebollar en el río Tomebamba, utilizando bioensayosecotoxicológicos* (Tesis maestría, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador). Recuperado de https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20392/1/TESIS.pdf
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108. Agua Potable. Requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normalización (2014). Recuperado de http://www.pudeleco.com/files/a16057d.pdf
- Núñez, M., Hurtado, J. (2015). Bioensayos de toxicidad aguda utilizando Lactuca sativa L, desarrollada en medio de cultivo modificado. [Versión electrónica]. Revista Peruana de Biología, 12 (1), 165-170. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v12n1/v12n1a18.pdf (20/11/2011)
- Pérez D. J., Vera L., Bravo S. L., Delgado D. S., González C. E. (2015). Valoración físico-química y fitotóxica de las aguas residuales. *Rev. Toxicol.* 32(2), 140-143. Recuperado de https://www.redalyc.org/pdf/919/91942717013.pdf
- Planes, E. & Fuchs, J. (2015). Cuáles son los aportes de la Ecotoxicología a las Regulaciones Ambientales. *Rev. Ciencias e Investigación.* 65(2). Recuperado de http://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2018/01/RevistasCeI/tomo65-2/5-Planes-cei65-2-5.pdf
- Puig, A. (2015). *Bioindicadores (= Indicadores Biológicos)* Mendoza.conicet. Recuperado de https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/Bioindic.htm
- Rodríguez et al., (2014). Índices de germinación y elongación radical de Lactuca sativa en el biomonitoreo de la calidad del agua del río Chalma. *Rev. Internacional Contaminación Ambiental.* 30(3). Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000300007

- Roldán L. (2020). Bioindicadores: qué son, tipos y ejemplos. *Ecología Verde*. Recuperado de https://www.ecologiaverde.com/bioindicadores-que-son-tipos-y-ejemplos-2846.html
- Saetama, M. (2017). *Evaluación toxicológica de soluciones acuosas de ibuprofeno y su posible remoción utilizando biomasa residual de tallos de rosas.* (Tesis maestría, Universidad de Cuenta, Cuenca, Ecuador). Recuperado de http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/29445/1/Trabajo%20de%20titulaci%c3%b3n.pdf
- Severiche, C., Castillo, M., y Acevedo, R. (2013). Manual De Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos Básicos en Aguas. Recuperado de https://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/index.htm
- Sinavimo. (2015). *Lactuca Sativa.* Recuperado de https://www.sinavimo.gob.ar/cultivo/lactuca-sativa
- Sobrero, M., y Ronco, A. (2004). Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga Lactuca sativa L. *Intercalibrados*. Recuperado de http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/573/cap4.pdf
- UEA. (Productor). (2020, mayo). *Rendición de Cuentas 2020.* Recuperado de https://www.facebook.com/219132258116634/videos/298740475248490

ANEXOS

Análisis Estadísticos y Réplicas

Muestra Control (Agua Destilada)

Tabla 19: Análisis Estadístico. Semillas de *Lactuca Sativa* L. en muestra Control-Agua Destilada-Réplicas

SD: **Desviación Estándar.** Rad.: **Radícula** Hipo: **Hipocótilo**

	RÉPLICA 1		**RÉPLICA 2**		**RÉPLICA 3**		**RÉPLICA 4**		**RÉPLICA 5**	
Semilla	Rad.	Hipo.	Rad.	Hipo.	Rad.	Hipo.	Rad.	Hipo.	Rad.	Hipo.
1	5,5	5,1	33,9	21,9	6,6	4,6	7,7	8,7	31,1	23,1
2	3,7	0	1,6	2,1	3,4	3,1	3	8,8	3	0
3	5,1	6,3	1	0	1,7	3,7	2	5,9	5,2	6,2
4	7,1	7,8	1	7	4,9	4,6	1,5	7,2	4,3	6
5	1,2	2,2	5,7	3,1	6,8	8,8	3,1	2,2	2,4	3,7
6	1	4,5	1,5	5,5	3,1	3,1	2,8	4	1,8	4,2
7	4,6	3,4	1,1	5,7	2,3	4,8	4,5	5,5	5	7,8
8	4,6	5,9	1,1	7,7	3,7	3,1	2,2	6,8	3,1	0
9	1,7	2,7	4,3	7,8	3,6	3,8	1,3	3,4	2,4	0
10	2,6	0	2,8	2,2	2,8	3,1	1,7	9,7	2,7	2,5
11	1,7	0	3,1	3,3	3	0	5,6	7,6	3,4	3
12	2,6	9	1,2	3,1	3,6	0	1,3	5,1	7,8	3
13	3,1	0	3,7	3,7	2,5	3,4	1,2	1	5,9	5,7
14	2,1	2,3	1,6	1,3	2,1	6	3	0	2	4
15	1,1	5,6	1,5	4,9	4,5	1	1,3	3	1	0
16	1,6	0	3,1	1	1,3	4,2	2,1	3,4	3,3	0
17	2,3	4,1	1,2	0	2,8	0	2,8	3,1	1,2	1
18	2,1	7,1	3,3	0	0	0	3	4,7	3,4	2,1
19	1,6	3,6	2,6	0	0	0	2,1	5,4	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PROMEDIO	2,91	4,64	3,96	5,02	3,45	4,09	2,75	5,31	4,94	5,56
SD	1,72	2,10	7,37	5,24	1,53	1,78	1,65	2,45	6,75	5,60

Elaborado por: Avellán J., Fuentes A

Tabla 20: El coeficiente de variación para la radícula en los controles negativos, se obtuvo dividiendo la desviación estándar de las longitudes para el promedio de las longitudes de la radícula e hipocótilo

RADÍCULA			
RÉPLICA	Desviación Estándar	Media	Coeficiente de Variación (CV %)
1	1,72	2,91	59,24
2	7,37	3,96	185,90
3	1,53	3,45	44,26
4	1,65	2,75	60,11
5	6,75	4,94	136,51
TOTAL	3,80	3,60	105,56

Elaborado por: Avellán J., Fuentes A

HIPOCÓTILO			
RÉPLICA	Desviación Estándar	Media	Coeficiente de Variación (CV %)
1	2,10	4,64	45,17
2	5,24	5,02	104,36
3	1,78	4,09	43,42
4	2,45	5,31	46,23
5	5,60	5,56	100,68
TOTAL	3,43	4,92	69,71

Elaborado por: Avellán J., Fuentes A

Muestra de Estudio (Agua grifo UEA)

Tabla 3A: Análisis Estadístico. Semillas de *Lactuca Sativa* L. en muestra Estudio- Agua Grifo de la Universidad Estatal Amazónica

SD: **Desviación Estándar.** Rad.: **Radícula** Hipo: **Hipocótilo**

	RÉPLICA 1		RÉPLICA 2		RÉPLICA 3		RÉPLICA 4		RÉPLICA 5	
Semilla	Rad.	Hipo.	Rad.	Hipo.	Rad.	Hipo.	Rad.	Hipo.	Rad.	Hipo.
1	8,3	9,1	3,4	6,7	1,6	0	4,2	6,5	3,6	2,8
2	7,6	7,1	6,2	10,1	3,1	3,1	6,4	6,4	4,7	2,7
3	6,6	4,1	2,5	6,1	3,3	2	1,5	3,2	5,2	8,9
4	5,1	6,1	2,4	4,7	8,8	7,6	2,1	4,8	1,2	5,9
5	4,1	5,1	7,5	6,6	2,5	5,6	2,8	3	1,9	2,9
6	3,2	6,1	6,1	7,1	3	0	4,6	5,2	1,1	1
7	2,2	3,8	1,2	4,1	2,1	0	1	2	2,6	5,6
8	2,4	3,1	2,4	2,1	3,5	3	2,1	4,7	2,1	2,1
9	5,1	5,1	2,3	5,6	1	1	2,2	3,1	3,5	3,7
10	2,1	2,3	2,5	2,6	7,1	9,6	1,4	4	2,1	2,7
11	7,6	6,6	1,1	4,4	1,7	3,5	1,8	0	2,2	0
12	2,1	4,8	1,7	3,5	6,4	5,6	2	3,2	2,9	0
13	3,8	1,5	11	0	4	5,2	4,6	1,6	1,2	2,3
14	1,2	0	1,7	1	2,1	9,5	2,6	5	1,1	0
15	2,6	3,1	3,5	3,8	2,4	0	1,7	0	5,2	5,5
16	1,2	1	2,1	4,5	4,4	3,6	1,5	0	3,1	3,8
17	1,2	2,1	2,4	3,6	1,6	1,6	7,5	6,4	3,7	3,5
18	2,3	3,9	3,6	1,5	0	0	3,7	4,6	0	0
19	2,6	1,6	0	0	0	0	1,7	2,1	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PROMEDIO	3,75	4,25	3,53	4,59	3,45	4,68	2,92	4,11	2,90	1,70
SD	2,32	2,20	2,58	2,29	2,15	2,83	1,80	1,59	1,37	1,90

Elaborado por: Avellán J., Fuentes A

Tabla 4A: Coeficiente de variación radícula e hipocotilo de la muestra estudio- Agua Grifo de la Universidad Estatal Amazónica.

RADÍCULA			
RÉPLICA	Desviación Estándar	Media	Coeficiente de Variación (CV %)
1	2,32	3,75	61,69
2	2,58	3,53	72,92
3	2,15	3,45	62,29
4	1,80	2,92	61,60
5	1,37	2,90	47,09
TOTAL	2,04	3,31	61,64

Elaborado por: Avellán J., Fuentes A

HIPOCÓTILO			
RÉPLICA	Desviación Estándar	Media	Coeficiente de Variación (CV %)
1	2,20	4,25	51,78
2	2,29	4,59	49,98
3	2,83	4,68	60,38
4	1,59	4,11	38,68
5	1,90	1,70	111,86
TOTAL	2,16	3,87	55,93

Elaborado por: Avellán J., Fuentes A

Tabla 5A: Porcentaje de inhibición o estimulación en la elongación de la radícula e hipocótilo de la muestra estudio- Agua Grifo de la Universidad Estatal Amazónica.

HIPOCOTILO			
RÉPLICA	**Promedio de Elongación muestra**	**Promedio de Elongación Control**	**%Inhibición Elongación (%IE)**
1	5,09	4,64	9,70
2	5,66	5,02	12,78
3	2,67	4,09	-34,76
4	4,22	5,31	-20,46
5	4,23	5,56	-23,94
TOTAL	4,37	4,92	-11,17

Elaborado por: Avellán J., Fuentes A

RADÍCULA			
RÉPLICA	**Promedio de Elongación muestra**	**Promedio de Elongación Control**	**%Inhibición Elongación (%IE)**
1	3,75	2,91	28,93
2	3,53	3,96	-10,85
3	3,45	3,45	-0,17
4	2,92	2,75	6,13
5	2,90	4,94	-41,35
TOTAL	3,31	3,60	-8,16

Elaborado por: Avellán J., Fuentes A

Muestra de Estudio (Agua Embotellada- Marca reservada)

Tabla 6A: Análisis Estadístico Semillas Lactuca Sativa L. en muestra Estudio- Agua Embotellada

SD: **Desviación Estándar.** Rad.: **Radícula** Hipo: **Hipocótilo**

	REPLICA 1		REPLICA 2		REPLICA 3		REPLICA 4		REPLICA 5	
Semilla	Rad.	Hipo.	Rad.	Hipo.	Rad.	Hipo.	Rad.	Hipo.	Rad.	Hipo.
1	3,4	4,7	7,7	6,8	5	7,1	2,2	0	6,6	7,4
2	5,4	5,3	8	11	8,2	8,8	7	9,7	2	4
3	7,2	6,9	5	7,4	7,2	5	1	2	1,3	3,7
4	2,6	0	4	4	1,8	4	1	3	3,1	3,1
5	2,3	3,1	6	14,1	4,1	2,1	1	3,6	2,1	0
6	4,3	0	1,5	6,8	2	1,4	1	0	2,9	0
7	3	0	6	8,5	1,2	3,4	1	0	3,1	4,2
8	3,4	1,1	3,1	0	1	3,5	4,3	2,5	4,6	0
9	5,5	4,4	2,5	2,3	1	2	2,5	0	1,4	3
10	3,9	4,3	2,4	2,1	1,3	4,3	2,5	2,1	3	0
11	2	1	2,2	4	2,3	0	3,5	0	6,1	8,5
12	3,1	4,8	1,7	3,4	1	0	2	2,1	4,5	0
13	4	4,2	3,6	3,8	3,1	3,8	4	6,4	1,1	4,7
14	5,5	2,8	1,7	3	2	2	3,3	4	1	0
15	5,2	5,2	24,4	3,4	1	0	3,4	0	1	0
16	3,1	0	1	0	2,2	0	2,1	0	1	0
17	1	0	0	0	5,2	6,3	5,1	4	1	0
18	1	0	0	0	1,1	4	2,1	0	13	15,3
19	0	0	0	0	2,5	5,2	5,5	6,1	0	0
20	0	0	0	0	2,1	0	2,5	6,1	0	0
PROMEDIO	3,66	3,98	5,05	5,76	2,84	2,96	2,85	4,30	3,27	5,99
SD	1,65	1,72	5,61	3,55	2,04	2,14	1,68	2,35	3,00	3,97

Elaborado por: Avellán J., Fuentes A

Tabla 7A: Coeficiente de variación radícula e hipocotilo de la muestra Estudio- Agua Embotellada.

RADÍCULA			
RÉPLICA	Desviación Estándar	Media	Coeficiente de Variación (CV %)
1	1,65	3,66	45,11
2	5,61	5,05	111,09
3	2,04	2,84	71,67
4	1,68	2,85	58,83
5	3,00	3,27	91,84
TOTAL	2,79	3,53	79,09

Fuente: Elaborado por Avellán J., Fuente A.

HIPOCÓTILO			
RÉPLICA	Desviación Estándar	Media	Coeficiente de Variación (CV %)
1	1,72	3,98	43,23
2	3,55	5,76	61,61
3	2,14	2,96	72,29
4	2,35	4,30	54,59
5	3,97	5,99	66,35
TOTAL	2,75	4,60	59,73

Fuente: Elaborado por Avellán J., Fuente A.

Tabla 8A: Porcentaje de inhibición o estimulación en la elongación de la radícula e hipocótilo de la muestra estudio- Agua Grifo de la Universidad Estatal Amazónica.

RADÍCULA			
RÉPLICA	**Promedio de Elongación muestra**	**Promedio de Elongación Control**	**%Inhibición Elongación (%IE)**
1	3,66	2,91	25,79
2	5,05	3,96	27,42
3	2,84	3,45	-17,75
4	2,85	2,75	3,74
5	3,27	4,94	-33,93
TOTAL	3,53	3,60	-1,95

Fuente: Elaborado por Avellán J., Fuente A.

HIPOCÓTILO			
RÉPLICA	**Promedio de Elongación muestra**	**Promedio de Elongación Control**	**%Inhibición Elongación (%IE)**
1	5,09	4,64	9,70
2	5,66	5,02	12,78
3	2,67	4,09	-34,76
4	4,22	5,31	-20,46
5	4,23	5,56	-23,94
TOTAL	4,37	4,92	-11,17

Fuente: Elaborado por Avellán J., Fuente A.



Figura 1A. Semillas de *Lactuca sativa L.*; b. Germinación; c. Germinación Anómala; d. Medición
Fuente: (Avellán J., Fuente A., 2021).