



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

Determinación de los Efectos de la Utilización de Biosólido como Abono en Especie Vegetal de
Ciclo Corto

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

Gestión Sostenible y aprovechamiento de los recursos naturales

SUBLINEA: Desarrollo y sostenibilidad

AUTOR: Luis Adrián Salazar Chang-Huang

ASESOR: PhD. Rubén del Toro Déniz

Ibarra, febrero de 2024


Ibarra, febrero de 2024

PhD. Rubén del Toro Déniz

ASESOR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigente en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.


(f).....

PhD. Rubén del Toro Déniz

C.C.: 1757544471

PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):

(f).....


PhD. Rubén del Toro Déniz

C.C.: 1757544471

(f).....


MSc Moraima Mera

C.C.: 1001743721

(f).....


MSc. Santiago Mafla

C.C.: 1002658399

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo Luis Adrián Salazar Chang-Huang, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 de Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derecho de disponer de sus derechos o autorizar de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, febrero del 2024



f):

Luis Adrián Salazar Chang-Huang

C.C.: 1004624555

AUTORÍA

Yo, Luis Adrián Salazar Chang-Huang, portador de la cédula de ciudadanía N°1004624555, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.



f):

Luis Adrián Salazar Chang-Huang

C.C.: 1004624555

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Luis Adrián Salazar Chang-Huang, con C.C.:1004624555, autor del trabajo de grado intitulado: DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA UTILIZACIÓN DE BIOSÓLIDO COMO ABONO EN ESPECIE VEGETAL DE CICLO CORTO previo a la obtención del título profesional de Ingeniería Ambiental, en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, 26 de febrero del 2024



f):

Luis Adrián Salazar Chang-Huang

C.C.: 1004624555

**DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO EN LA
ELABORACIÓN, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación de Proyecto de Titulación: DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA UTILIZACIÓN DE BIOSÓLIDO COMO ABONO EN ESPECIE VEGETAL DE CICLO CORTO, lo propuesto en el Código de Ética de la investigación y el aprendizaje de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, aprobado por el Consejo Superior de la PUCE con fecha 25 de septiembre de 2023

Para constancia firma:



f):

Luis Adrián Salazar Chang-Huang
Estudiante que ejecuta el trabajo de Titulación
C.C/ Pasaporte: 1004624555
Carrera: Ingeniería Ambiental

Ibarra, febrero del 2024

DEDICATORIA

Para mi abuelo el Dr. Iván Chang Huang que ha sido indispensable con su apoyo y consejos; para mis padres que me han brindado amor y sabiduría; para mi pareja que me ha impulsado cada día; para mis amigos que me han ayudado y por todos los que creyeron en mí, este trabajo está dedicado con gratitud y cariño.

Luis Adrián

AGRADECIMIENTO

Primero agradezco a Dios por permitirme llegar hasta donde estoy; también expreso mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que contribuyeron a la realización de este trabajo; especialmente a la institución que me vio crecer como estudiante y ahora como profesional PUCE-SI.

Luis Adrián

ÍNDICE

Portada	i
DEDICATORIA	viii
AGRADECIMIENTO	ix
ÍNDICE	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN	17
ABSTRACT.....	18
CAPÍTULO I	19
INTRODUCCIÓN.....	19
CAPÍTULO II.....	21
OBJETIVOS	21
2.1. Objetivo general	21
2.2. Objetivos específicos	21
2.3. Hipótesis.....	21
CAPÍTULO III.....	22
ESTADO DEL ARTE	22
3.1 Especies vegetales de ciclo corto	22
3.1.1 Clasificación de las especies vegetales de ciclo corto.....	22
3.2 Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	22
3.2.1 Características de la lechuga	23
3.2.2 Taxonomía de la lechuga.....	23

3.2.3 Morfología de la lechuga.....	24
3.3 Contaminación.....	24
3.3.1 Contaminación del agua.....	24
3.4 Aguas residuales.....	25
3.5 Tratamiento de aguas residuales.....	25
3.6 Planta de tratamiento de aguas residuales	26
3.6.1 Pretratamiento	26
3.6.2 Tratamiento Primario	27
3.6.3 Tratamiento Secundario	27
3.6.4 Tratamiento Terciario.....	27
3.6.5 Eliminación de biosólidos	28
3.7 Biosólido.....	29
3.7.1 Características de los Biosólidos.....	29
3.7.1.1 Características físicas	30
3.7.1.2 Características químicas.....	30
3.7.1.3 Características biológicas.....	31
3.7.2 Clasificación de Biosólidos	32
3.7.3 Uso de Biosólido como abono	32
3.7.4 Estudios realizados acerca del biosólido como abono	34
3.7.5 Impacto ambiental del uso de biosólidos como abono.....	35
3.7.6 Aspectos positivos del uso de biosólido como abono	35
CAPÍTULO IV	37
MATERIALES Y MÉTODOS	37
4.1. Fase de Campo	37
4.1.1 Materiales	37

4.1.2 Método Descriptivo	37
4.1.2.1 Obtención de la muestra	37
4.1.2.2 Obtención de plántulas	37
4.1.2.3 Preparación para la siembra	37
4.1.2.4 Adición de Lodo	38
4.1.3 Ubicación gráfica de campo	38
4.2. Fase Experimental	38
4.2.1 Equipos	38
4.2.2 Reactivos	39
4.2.3 Diseño experimental	39
4.2.4 pH	40
4.2.5 Conductividad eléctrica	40
4.2.6 Determinación de macronutrientes	41
4.2.6.1 Potasio (K).....	41
4.2.6.2 Fosforo (P).....	41
4.2.6.3 Amonio (NH ₄)	42
4.2.7 Metales pesados	42
4.2.8 Ubicación grafica experimental.....	42
Variables	44
CAPÍTULO V	45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
5.1. Resultados fase de campo	45
5.1.1 Observaciones.....	45
5.2. Resultados fase experimental.....	47

5.2.1. Caracterización del biosólido	47
5.2.2 Caracterización de la planta.....	48
5.3 Discusión.....	48
CAPÍTULO VI	51
CONCLUSIONES	51
CAPÍTULO VII.....	52
RECOMENDACIONES.....	52
CAPÍTULO VIII.....	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
ANEXOS	58

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. OBSERVACIONES SEMANA A SEMANA	45
TABLA 2. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL BIOSÓLIDO	47
TABLA 3. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA PLANTA	48

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA LECHUGA.....	23
FIGURA 2. APROVECHAMIENTO DE BIOSÓLIDO.....	33
FIGURA 3. INSTALACIONES DE LA PTAR IBARRA.....	38
FIGURA 4. MATRIZ DE DISEÑO EXPERIMENTAL DCA	40
FIGURA 5. EDIFICIO DE LA ECAA, INSTALACIONES DE LA PUCE-SI.....	43

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: FOTOGRAFIAS.....	58
---------------------------	----

RESUMEN

El problema por el cual se ha decidido hacer este trabajo es que no se realiza una disposición adecuada para el producto final de una planta de tratamiento de aguas residuales siendo el biosólido, un contaminante, por eso este proyecto se realizó con la intención de determinar cuáles son los efectos de usar los biosólidos producidos en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Ibarra-Ecuador, en cuanto a la cantidad de metales pesados (Hg, Pb y Cd) que puede absorber la especie vegetal: lechuga (*Lactuca sativa*) de la variedad crespa verde, al evaluar las concentración de estos metales al final del desarrollo de la misma, para determinar si existe toxicidad en la especie vegetal, con el fin de darle una disposición final a este producto. Para el desarrollo del experimento se determinaron 4 tratamientos con 3 repeticiones, cuyas dosis fueron aplicadas de la siguiente manera: T0 (0% biosólido), T1 (5% biosólido), T2 (10% biosólido) y T3 (15% biosólido). La siembra de la especie vegetal se realizó en terreno de la PTAR de Ibarra, teniendo en total 144 especies vegetales de lechuga (*Lactuca sativa*) de la variedad crespa, en fundas con la tierra y el biosólido mezclado respectivamente por tratamiento y organizado por un diseño completamente al azar, mientras que la fase de laboratorio se llevó a cabo en las instalaciones de la PUCE-I, donde se realizó la caracterización del biosólido y seguido la determinación de cantidad de metales pesados en la planta con el método de absorción atómica de llama, las mismas concentraciones que se encuentran bajo la normativa, siendo los mismos que no presentan un riesgo de toxicidad.

Palabras clave: Biosólido, Abono, Efectos, Toxicidad, Vegetal

ABSTRACT

The problem for which it has been decided to do this work is that there is no adequate disposal for the final product of a wastewater treatment plant being the biosolid, a pollutant, so this project was conducted with the intention of determining what are the effects of using the biosolids produced in the wastewater treatment plant in the city of Ibarra-Ecuador, in terms of the amount of heavy metals (Hg, Pb and Cd) that can be absorbed by the plant species: Lettuce (*Lactuca sativa*) of the green cressa variety, by evaluating the concentration of these metals at the end of the development of the same, to determine if there is toxicity in the plant species, in order to give a final disposition to this product. For the development of the experiment, 4 treatments with 3 replications were determined, whose doses were applied as follows: T0 (0% biosolid), T1 (5% biosolid), T2 (10% biosolid) and T3 (15% biosolid). The plant species were planted in the field of the Ibarra WWTP, with a total of 144 plant species of lettuce (*Lactuca sativa*) of the cressa variety, in bags with soil and biosolid mixed respectively per treatment and organized by a completely randomized design, While the laboratory phase was carried out at the PUCE-SI facilities, where the biosolid was characterized and followed by the determination of the amount of heavy metals in the plant with the flame atomic absorption method, the same concentrations that are under the regulations, being the same that do not present a risk of toxicity.

Keywords: Biosolids, Fertilizer, Effects, Toxicity, Plant

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La contaminación hídrica es uno de los mayores problemas ambientales, ya que en los cuerpos de agua (especialmente ríos) se arroja gran cantidad de residuos sólidos, aguas negras y hasta desechos tóxicos provenientes de fábricas y empresas, a raíz de este problema se implementaron sistemas de ingeniería para la remoción de los contaminantes presentes en el agua las denominadas Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), la misma que desinfecta y remueve de contaminantes en fuentes hídricas; pero a su vez tiene un residuo que también impacta en forma negativa al ambiente, el mismo que se denomina “biosólido”, siendo este un tipo de lodo resultante del proceso de tratamiento de aguas, el mismo que muchas veces no tiene gran utilidad y el paradero del mismo es un problema.

Dáguer G,2003, define al biosólido como un residuo de naturaleza orgánica producto de la estabilización el mismo se puede usar en la agricultura, y relleno forestal, recuperación de paisajes y para hacer compost, dependiendo de la clase de este mismo. Para darle un reciclaje apropiado a este residuo se ha realizado el presente estudio, el mismo que aportó de manera teórica y práctica a la determinación del efecto que se produce en una especie vegetal: lechuga (*Lactuca sativa*) de la variedad crespa al usar el biosólido proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales en dichas especies como abono, ayudando a solucionar el problema de manejo del mismo.

Para llegar al objetivo principal del estudio que es Determinar el efecto de usar biosólidos como abono en una especie vegetal de ciclo corto (lechuga/ *Lactuca sativa*) se realizó primero la caracterización del biosólido con métodos de laboratorio, siguiendo las técnicas especializadas tecnológicamente para la detección de elementos traza donde se utilizó la maleta de aguas de marca LaMotte Smart3 la misma que contiene productos “HACH” para la detección de estos elementos que utiliza principalmente espectrofotometría; en el apartado de metales pesados se han analizado: cadmio Cd, plomo Pb y mercurio Hg, para lo cual se hizo la digestión del suelo mezclado con biosólido en tratamientos y posteriormente se determinó en adsorción atómica por llama. Consecuentemente se realizó la siembra de 144 plántulas de lechuga en diferentes tratamientos, las mismas que se hidrataron regularmente según su necesidad y de

igual manera se cuidó de la presencia de plagas, una vez que las especies llegaron a su punto máximo de desarrollo se tomó muestras de las hojas de cada tratamiento y se realizaron los análisis de metales pesados: cadmio Cd, mercurio Hg y plomo Pb, que aportó los datos necesarios para llegar a la conclusión que se dio en el presente trabajo.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Determinar el efecto de usar biosólidos como abono en una especie vegetal de ciclo corto.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades físico-químicas de la especie vegetal al final de su ciclo de crecimiento
- Analizar si existe toxicidad en la especie vegetal utilizada como indicadores (*Lactuca sativa*), al usar los biosólidos de la PTAR como abono.

2.3. Hipótesis

H₀: El efecto de usar biosólidos como abono no tendrá relevancia alguna en la presencia de sustancias tóxicas en el crecimiento y desarrollo de la especie vegetal

H_a: El uso de biosólido residual de los procesos que cumple la PTAR sería beneficioso ya que la especie vegetal no captará sustancias tóxicas.

CAPÍTULO III

ESTADO DEL ARTE

3.1 Especies vegetales de ciclo corto

“Son cultivos cuyo ciclo de vida no es superior a 1 año. La gran mayoría son cosechados solo una vez, puesto que la planta produce el fruto y al poco tiempo muere” (Fedeagro,2019). Algunos ejemplos de estos cultivos de ciclo corto que pueden producir varios frutos maduros en distintas épocas del tiempo de vida de la planta son: pimentón, ají y tomate, que dan varios frutos a lo largo de su vida, pero este tiempo es menor a 1 año.

3.1.1 Clasificación de las especies vegetales de ciclo corto

Al hablar de especies vegetales de ciclo corto no podemos agruparlos a todos como uno solo, en si los podríamos agrupar dependiendo de lo que se desea, de esta forma podemos clasificarlos de la siguiente forma:

- Cereales, fuente de energía
- Oleaginosas, producen aceites
- Hortalizas, altos niveles de inversión y que tienen que tener un alto control
- Raíces y tubérculos, crecen bajo la tierra (papa, zanahoria,etc.) (Jhosymar Sifontes, s.f)

3.2 Lechuga (*Lactuca sativa*)

“Planta herbácea de la familia de las compuestas, con tallo ramoso de 40 a 60 cm de altura, hojas grandes, radicales, blandas, nerviosas, trasovadas, enteras o serradas, flores en muchas cabezuelas y de pétalos amarillentos, y fruto seco, gris” (RAE,2022). Su origen se data en la India y se cultiva en sembríos de todo el mundo, siendo uno de los alimentos más consumidos en el mundo.

3.2.1 Características de la lechuga

- Forma: depende de la variedad, en su gran mayoría redondeada y en hoja larga.
- Tamaño: su diámetro puede variar entre los 20 y 30 cm, respectivamente su peso medianamente es de 300 gramos.
- Color: generalmente su coloración es verde, pero también existen casos donde su coloración puede presentarse de color blancas o hasta cafés o rojizas. (EROSKI CONSUMER, s.f).

3.2.2 Taxonomía de la lechuga

La Rosa O (2015, p.9.) en el trabajo de grado denominado “CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca saliva*) BAJO CONDICIONES DEL VALLE DEL RÍMAC, LIMA” afirma basado en el trabajo de (Maroto et al, 199) que “La lechuga es una planta anual, autógena, diploide con $2n=18$ cromosomas, perteneciente a la familia Asteraceae y cuyo nombre botánico es *Lactuca saliva* L”.

FIGURA 1:

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA LECHUGA

Reino	<i>Plantae – Plantas</i>
Subreino	<i>Tracheobionta – Plantas Vasculares</i>
Superdivisión	<i>Spermatophyta – Plantas con semilla</i>
División	<i>Magnoliophyta – Plantas con flores</i>
Clase	<i>Magnoliopsida - Dicotiledóneas</i>
Subclase	<i>Asteridae</i>
Orden	<i>Asterales</i>
Familia	<i>Asteraceae</i>
Genero	<i>Lactuca L.</i>
Especie	<i>Lactuca sativa L.</i>

Nota. El gráfico representa la clasificación taxonómica de la lechuga, especificando desde su reino hasta su especie. Tomado de Vega (2013)

3.2.3 Morfología de la lechuga

La forma de la lechuga se describe inicialmente con una raíz que nunca es mayor a 25cm, de poca profundidad y tiene ramificaciones, dependiendo de la variedad la hoja puede estar en roseta o en hoja larga pivotante, cuyo borde puede ser ondulado, aserrado, o liso, con tallo cilíndrico. (La Rosa O, 2015).

3.3 Contaminación

Contaminación es un término muy amplio y variado del cual se derivan varias ramas para cada tipo de investigación. Dolores (2011) afirma que “Se entiende por contaminación la presencia en el aire, agua o suelo de sustancias o formas de energía no deseables en concentraciones tales que puedan afectar al confort, salud y bienestar de las personas” (p.3). La contaminación también produce afectaciones para la utilización y el goce de los productos y servicios de los recursos naturales.

3.3.1 Contaminación del agua

“La contaminación hídrica se entiende como la acción de introducir algún material en el agua alterando su calidad y su composición química” (Guadarrama et al., 2016). Entonces se puede decir que el agua se encuentra contaminada cuando la composición de este elemento ha sido modificada, de cierta forma que no sea segura para su consumo y afecte la salud de los seres que se encuentran en contacto con este mismo, debido a que al ser un líquido vital debe estar en óptimas condiciones para ser fuente de salud y seguridad. De igual forma este líquido es necesario para completar nuestras labores y rutinas del día al día, además nuestro cuerpo está compuesto tres cuartas partes de agua, pero aun que el planeta tierra este compuesto 70% de agua, pero apenas el 1% del agua del planeta es útil para el consumo, por ende, se debe concientizar del cuidado de este preciado recurso (Guadarrama et al., 2016)

3.4 Aguas residuales

Las aguas residuales provienen originalmente de los desechos de la población, una vez que han sufrido alteraciones por factores antropogénicos, ya sea de causa doméstica o industrial, estas mismas son transportadas mediante un canal de distribución ya sea un alcantarillado, el mismo que las lleva a un lugar adecuado para su disposición (Huarcaya A.,2012).

Dependiendo de su origen las aguas residuales se dan como resultante de la mezcla de los residuos sólidos y líquidos llevados por el agua, que vienen de las ciudades, industrias y actividades agrícolas, también de las aguas provenientes de las lluvias o subterráneas, dependiendo de su proveniencia estas aguas residuales se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Doméstica. _ Como su nombre lo dice son ciertas aguas que se usan de forma sanitaria (baños, cocinas, lavadoras, entre otras) reduciendo, son aguas usadas por personas naturales en sus hogares o empresas que no vierten residuos, que terminan en los sistemas de alcantarillado.
- Industrial. _ Estos son los desechos cuyo origen es de empresas o industrias específicas.
- Caudales extras e infiltraciones. _ Son aquellas que van más allá del sistema de drenaje infiltrándose por defectos de este mismo sistema que provocan fugas, haciendo que el agua caiga directamente al suelo.
- Precipitación o pluviales. _ Es agua proveniente de la lluvia que se escurre por la superficie y otra parte es infiltrada acarreando materia o basura que hay sobre la superficie del suelo (Huarcaya A.,2012).

3.5 Tratamiento de aguas residuales

“La práctica sistemática de recolección, tratamiento y disposición de aguas residuales no existía hasta después del siglo XIX” (Santoyo E., 2012, p.5). Reynolds, K. A. (2001) en su trabajo denominado “tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica identificación del problema” cita al Banco Mundial afirmando que “De acuerdo al Banco Mundial, más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producen 225,000 toneladas de residuos sólidos cada día. Sin embargo, menos del 5% de las aguas de alcantarillado de las ciudades reciben tratamiento” (P.1).

Cuando no ha existido un tratamiento para las aguas residuales, generalmente son desechadas en la superficie, haciendo un problema de salud pública, y riesgo ecológico. En Latinoamérica la mayoría de los cuerpos de agua son captadoras de estas aguas domésticas o industriales sin tratar, contaminando áreas tanto urbanas como rurales, produciendo todo tipo de contaminación a su paso. (Reynolds, K. A.,2002). En la región latinoamericana hay una clara brecha entre la población de altos recursos y la población de bajos recursos, al hablar de los recursos sanitarios, se estima que el 18% de las personas de bajos recursos tiene agua entubada en sus domicilios, en comparación a las personas de altos recursos donde el 80% tiene acceso a agua entubada en sus domicilios, lo que quiere decir que las personas de bajos recursos son más propensas a enfermedades y no se encuentran en condiciones ideales de limpieza y salud (Reynolds, K. A.,2002).

3.6 Planta de tratamiento de aguas residuales

“Las plantas de aguas residuales son sistemas de ingeniería que se encargan de tratar el agua para que pueda ser usada, para distintos fines” (HLC,2019). En este proceso se capta las aguas residuales de la población o sector industrial donde se hace uso de sistemas y procesos tanto biológicos, químicos y físicos cuyo fin es el de exterminar o mitigar la contaminación hídrica, devolviendo el agua a su cauce natural para que sea apta su reutilización en otros campos. La creencia popular se limita a la purificación del agua solo para consumo, pero lo que no se piensa es en el proceso de depuración del agua después de su uso, por eso es importante saber para qué y cómo funciona una planta de tratamiento de agua residuales o (PTAR).

3.6.1 Pretratamiento

Durante este proceso el fin es eliminar todas las partículas de sólidos que se encuentren presentes en el caudal, comúnmente llevadas por la afluyente de descarga., se incluyen mallas de distintos tamaños para poder filtrar los objetos de mayor tamaño como botellas, mientras que las más finas filtran arena o partículas más pequeñas.

3.6.2 Tratamiento Primario

“Este procedimiento se hace en tanques de sedimentación que cuentan con un sistema de bombeo” (HLC,2019), en esta parte del proceso se depuran los sólidos que han quedado suspendidos y partículas que se pueden sedimentar, de igual manera la materia orgánica suspendida, para este tipo de procesos (Ramalho, R. S.,2021) nos da el siguiente listado con técnicas que se emplean:

- Sedimentación
- Flotación
- Homogenización
- Neutralización
- Separación de aceites

3.6.3 Tratamiento Secundario

A pesar de que se han removido los sólidos suspendidos en el proceso anterior todavía el agua está contaminada con virus y bacterias por eso se necesita realizar un proceso continuo con procedimientos biológicos para eliminar el restante de bacterias, pasando por un tanque de aireación para que el agua sea agitada y aireada, de esa forma los microorganismos pueden descomponer el resto de material orgánico sobrante, dejando el agua de este proceso con una pureza del 90%. (Teamb,2021). Al hablar del tratamiento secundario algunas de las técnicas empleadas pueden ser las que expresa (Ramalho, R. S.,2021) en el listado a continuación:

- Aireación prolongada
- Estabilización por contacto
- Filtros biológicos (percoladores)
- Tratamientos anaerobios: procesos de contacto, filtros (sumergidos)

3.6.4 Tratamiento Terciario

Ya seguidos dos tratamientos quedan un último paso para dejar el agua residual completamente tratada, también denominado tratamiento avanzado, para eliminar el residual “Durante el tratamiento terciario o químico se busca aumentar la calidad final del agua para

poder devolverla al medio ambiente (mar, ríos, lagos y demás cuencas hidrográficas) y, en algunos casos, emplearla para la actividad humana” (IDRICA,2022). Para lograr este objetivo se emplean procesos para eliminar agentes patógenos, por ejemplo, materia fecal. Mediante una serie de tanques con procesos donde se filtran y se desinfectan ya sea mediante cloro o arena, hasta con luz ultra violeta para hacerla segura en su reinscripción al caudal natural. Para este tratamiento avanzado (Ramalho, R. S.,2021) expone un listado con técnicas que se pueden emplear:

- Micro tamizado
- Filtración (lecho de arena, antracita, diatomeas...)
- Adsorción (carbón activado)
- Intercambio iónico
- Osmosis inversa
- Cloración y ozonización

3.6.5 Eliminación de biosólidos

Resultante del proceso de tratamiento de aguas residuales se da un subproducto, generalmente los denominados lodos activados o biosólidos, provenientes de los procesos primarios y secundarios, los mismos que se espesan, y se secan para su posterior disposición o eliminación. (IDRICA,2022). Dependiendo de la fase donde los lodos han sido generados, los biosólidos se pueden clasificar en primarios, secundarios y por último terciarios (Girovich, 1996).

Al hablar de la eliminación de biosólidos se refiere al tipo de tratamiento y la disposición final de los residuos orgánicos que se generan de la actividad microbiana y materia orgánica como resultante del proceso de las plantas de tratamiento de aguas residuales; estos residuos pueden contener metales pesados, agentes patógenos y sustancias tóxicas en su composición Zuluaga J. (2007), además el autor anteriormente mencionado también nos presenta una lista de las técnicas que se usan para la eliminación de biosólidos:

- Vertido controlado: El siguiente método se basa en la la aplicación de biosólidos en terrenos de cultivo, pastos o áreas de reclamación de minas a cielo abierto.

- Incineración: Los biosólidos también se pueden eliminar mediante la combustión en instalaciones especializadas, aunque esta opción puede generar emisiones de contaminantes al aire.
- Vertimiento en el mar: El siguiente método dicta que los biosólidos se pueden disponer en el mar, sin embargo, esta práctica puede poner en riesgo la biodiversidad marina.

3.7 Biosólido

Los biosólidos se clasifican como residuos sólidos orgánicos provenientes de un proceso de tratamiento de aguas residuales cuya fuente puede ser: industrial, doméstica o municipal (NIOSH, 2002).

“La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) ha establecido dos categorías de biosólidos” (NIOSH, 2002), los biosólidos clasificados con la letra A han sido tratados de forma que la concentración de agentes patógenos o dañinos para la salud se ha reducido significativamente y en ese punto no se necesita de mayor cuidado para su disposición por parte de las entidades gubernamentales especializadas.

Para la clasificación B de los biosólidos son de los que no se han eliminado por completo los agentes patógenos, por ende, las autoridades deberán utilizar medidas adicionales para la disposición de estos y restringir el acceso público a las áreas donde estos se encuentren.

3.7.1 Características de los Biosólidos

“los biosólidos contienen alto porcentaje de humedad, materia orgánica y nutrimentos para las plantas como N y P; sin embargo, su composición varía diario y de manera estacional, aún dentro de una misma planta de tratamiento” (Huarcaya A., 2012, p.16).

En un estudio realizado por Dáguer (2003) en Colombia, menciona que las características químicas, principalmente los metales pesados, sus valores están menores a los límites permisibles asignados por las entidades reguladoras internacionales, haciendo cuenta los demás parámetros también se encuentran dentro de los límites permisibles. Ahora en el ámbito

agropecuario, este tipo de biosólidos tienen valores de concentraciones normales o típicas de N, P y K, además con un pH entre 6.05-7.9, lo que nos dice que este biosólido es apto para ser usado en actividades agropecuarias y también en actividades que no impliquen siembra.

En lo que respecta al contenido microbiológico de estos lodos, la concentración de los denominados coliformes va a variar dependiendo del tipo de lodo, pero para la mayoría de las PTAR el contenido de coliformes fecales son normales para biosólidos de tipo B Dágner (2003).

3.7.1.1 Características físicas

Las características físicas de los biosólidos de orden primario y secundario en estado líquido pueden contener partículas heterogéneas en suspensión, cuyo volumen representa entre el 0.05-0.5% de agua ya tratada en lodos frescos, haciéndolos poco inferior en lodos activados. La coloración que se presenta en los biosólidos varía entre el gris y el pardo, normalmente el olor de los mismos es desagradable debido a que obviamente son residuos en descomposición y en estado de fermentación, conteniendo estos principalmente: materia orgánica, que dependen poder calórico y son volátiles (Santoyo. E., 2012).

3.7.1.2 Características químicas

Dependiendo del tipo de tratamiento que se utilizó y el origen del biosólido según (Girovich, 1996) los más relevantes parámetros son:

- **Materia orgánica:** Corresponde a la materia volátil, y varía de 60 a 85% de la materia seca.
- **Elementos nutrientes:** Se basa netamente en el contenido de nitrógeno total, fósforo y potasio. Estas son sustancias que favorecen el crecimiento de las plantas y que son de suma importancia para la utilización agrícola de los biosólidos
- **Micro contaminantes orgánicos:** Son sustancias que pueden tener una acción negativa sobre el tratamiento de los lodos y sobre su utilización en la agricultura. Se trata generalmente de productos de síntesis química que se utilizan comúnmente y que se encuentran en las aguas de desecho domésticas e

industriales. Se hallan particularmente contenidos importantes de detergentes y medicinas (especialmente antibióticos que actúan sobre la flora de los lodos).

- **Micro contaminantes minerales:** Los biosólidos contienen numerosos elementos minerales, algunos de ellos tienen una acción positiva sobre las plantas o sobre los animales (Fe, Cu, Mn, Zn), sin embargo, otros tienen una acción negativa sobre el uso posterior de las aguas negras (Pb, Cd, Hg y Ni). Resulta pues, indispensable conocer el contenido mineral de los lodos antes de su utilización en la agricultura.

3.7.1.3 Características biológicas

Santoyo (2012), especifica que todas las aguas residuales cuentan con una fauna y flora diferente y variada debido a su proveniencia que se encuentran en los biosólidos. También presentando los principales componentes de organismos en el siguiente listado:

- **Bacterias:** Residen muchos tipos de organismos bacterianos en los biosólidos, una fracción de las bacterias es de tipo fecal que son portadoras de gérmenes, por eso mismo tienden a ser patógenas, las cuales se dividen en cuatro diferentes clases: aerobias facultativas, aerobias estrictas, por último, en anaerobias estrictas.
- **Virus y parásitos:** Los biosólidos tienen enterovirus, adenovirus y reovirus los mismos que se adhieren a la materia sólida. En lo que se refiere a los parásitos, hay diversos tipos, algunos provienen origen fecal o telúrico, como los huevos de áscaris, tricocéfalos, helmintos, tenias o fasciolas hepáticas, de igual manera como formas enquistadas de Giardia o tricomonas. La depuración de estos parásitos es difícil debido a su capacidad de adoptar una forma vegetativa en condiciones desfavorables, mientras que se desarrollan cuando están en animales de sangre caliente o en seres humanos.
- **Hongos y algas:** AL hablar con los hongos, se refiere en primera instancia a las levaduras y a los saprófitos que generalmente pueden encontrarse en el aire. Por lo general, no son patógenos para humanos y animales, a no ser que algunas condiciones específicas favorables permitan que ciertos hongos oportunistas obtengan esa capacidad. En relación, ciertos mohos, como los del género

Fusarium, pueden ser fitopatógenos y deben depurarse antes de utilizar los lodos en la agricultura. Los lodos de origen primarios y secundarios generalmente no contienen gran cantidad de algas, pero en las lagunas naturales, una parte significativa de los lodos está compuesta por restos de algas.

- Macrofauna: En los biosólidos o en los lechos bacterianos, junto con los patógenos previamente mencionados, se pueden hallar lombrices, larvas de insectos, crustáceos y arañas de pequeño tamaño.

3.7.2 Clasificación de Biosólidos

De acuerdo a su contenido microbiano los lodos se clasifican de la siguiente forma:

- Biosólido tipo A: Este tipo de biosólido se clasifica de esta forma debido a que su contenido de agentes patógenos se encuentra menor a los niveles permisibles, por ende, es apto para ser destinado a uso del suelo sin contener restricciones de agentes patógenos, tiene que contener una densidad de coliformes fecales menor a 1000 probable en gramo de sólidos totales, o la densidad de la Salmonella (bacteria), puede contener una concentración menor a 3NPM/4 de sólidos totales en su base seca.
- Biosólido tipo B: En este tipo de lodo contiene agentes patógenos, sin embargo, la concentración de estos se puede mitigar hasta un nivel aceptable, en ciertas condiciones apropiadas donde no se trate de minimizar el posible contacto de los agentes patógenos hacia animales y seres humanos. (EPA,1999).

3.7.3 Uso de Biosólido como abono

Santoyo tomando referencia del trabajo de (Magnarelli, 2002), afirma que “En América Latina se iniciaron investigaciones en 1995 para ver la posibilidad de su uso en agricultura y, en 1996 surgieron prácticas específicas sobre el reciclaje de lodos y uso agrícola, ya que ofrecen una alternativa ambientalmente aceptable” (2012, p.30). Al realizar estos estudios se puede dar un buen uso a un compuesto que relativamente se lo tomaba solo como un desecho, favoreciendo el reciclaje y ayudando al ambiente y al ámbito de la agricultura siendo practicas favorables.

Cuando no se llevan a cabo procesos adecuados para la disposición final de estos lodos, tienden a ser agentes contaminantes del medio ambiente, a su vez siendo un riesgo para la población, además someterlo a procesos de reciclaje para llevarlo a rellenos sanitarios conlleva un incremento de costos (Bettioli y Camargo, 2000). Así siendo la disposición final más común y viable la utilización de estos lodos en aplicación agrícola y de suelos, debido a su alto contenido en materia orgánica y nutrientes necesarios como fósforo, nitrógeno y potasio, siendo esenciales para el crecimiento de especies vegetales, lo que lo hace ideal para este campo.

Es fundamental entender que los biosólidos que no han sido sometidos a un proceso de estabilización tienden a mostrar algunas características perjudiciales que, generalmente, determinan la calidad de estos para su potencial reutilización en el ámbito agrícola. Este conocimiento tiene especial importancia en la evaluación de la idoneidad de los biosólidos en el contexto de la actividad agrícola, ya que estas características pueden influir grandemente en la eficacia y seguridad de su utilización. Explorar a fondo las propiedades y tal vez presentes riesgos que conlleva el uso de los biosólidos sin tratamiento es muy importante en la toma de decisiones informadas sobre su gestión y aprovechamiento en prácticas agrícolas sostenibles. (Builes B, 2010)

FIGURA 2:

APROVECHAMIENTO DE BIOSÓLIDOS

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	<ul style="list-style-type: none"> • Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación. • Los establecidos para clase B y C.
Excelente o bueno	B	<ul style="list-style-type: none"> • Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación. • Los establecidos para clase C.
Excelente o bueno	C	<ul style="list-style-type: none"> • Usos forestales. • Mejoramiento de suelos. • Usos agrícolas.

Nota: Esta figura clasifica los biosólidos y según su tipo nos da el aprovechamiento que se los puede dar. Tomado de Santoyo (p.11), 2012.

3.7.4 Estudios realizados acerca del biosólido como abono

El uso de biosólidos como fertilizante en la agricultura ha sido objeto de investigación debido a su potencial como fuente de nutrientes orgánicos y minerales para las plantas. Se han realizado estudios sobre el efecto de los biosólidos en especies vegetales de ciclo corto, como la lechuga, col, nabo y remolacha. A continuación, se presenta un resumen de algunas investigaciones relevantes sobre este tema; en el estudio denominado “USO DE BIOSÓLIDOS EN PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS” realizado por: Ozores-Hampton, M. y Méndez, J. (2010). Este estudio evaluó los efectos de los biosólidos en diferentes dosis a aplicar para el crecimiento, rendimiento y calidad de las hortalizas, en especial la lechuga. Se encontró que la adición de biosólidos mejoró el crecimiento de la planta, aumentó el rendimiento de las hojas y no tuvo un impacto negativo en la calidad nutricional de la misma.

Otro estudio realizado por: Valeriano Mudarra Cano. (2013) es el “EFECTO DE ENMIENDAS ORGÁNICAS A BASE DE LODOS DE DEPURADORA, SOBRE LA LIXIVIACIÓN Y BIODISPONIBILIDAD DE ELEMENTOS TRAZA, PROCEDENTE DE SUELOS CONTAMINADOS EN CULTIVO EN BANDEJAS DE LECHUGA”. En el mismo se evaluó los efectos del compost de lodos de depuradora en el crecimiento, contenido de nutrientes y acumulación de metales pesados en la lechuga. Los resultados mostraron que la aplicación de compost de lodos de depuradora mejoró el crecimiento de la planta y aumentó los niveles de nutrientes, mientras que la acumulación de metales pesados se mantuvo dentro de los límites máximos permisibles de concentración de contaminantes en los biosólidos según la Normativa Oficial Mexicana.

Estos estudios han demostrado que el uso de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales como fertilizante puede tener un efecto beneficioso en el crecimiento de las hortalizas de hoja. Los biosólidos proporcionan nutrientes esenciales, mejoran la fertilidad del suelo y mejoran el desarrollo general de la planta. Es importante tener en cuenta que se deben seguir las tasas de aplicación adecuadas y el cumplimiento de las pautas reglamentarias para garantizar la utilización segura y eficaz de los biosólidos en la agricultura.

3.7.5 Impacto ambiental del uso de biosólidos como abono

Las evaluaciones del impacto ambiental del uso de biosólidos como fertilizante en cultivos de ciclo corto son cruciales para las prácticas agrícolas sostenibles. Exploremos algunos aspectos clave: en el ciclo de nutrientes “Los biosólidos contienen un valor nutrimental que mejora la fertilidad de los suelos y la producción de los cultivos” (Potisek, et al.,2010). Cuando se usan como fertilizantes, los biosólidos ayudan a reponer los nutrientes en el suelo, minimizando la necesidad de fertilizantes sintéticos. Este reciclaje de nutrientes reduce los impactos ambientales potenciales asociados con la producción y aplicación de fertilizantes químicos; al hablar de la salud del suelo se dice que gracias a todos los nutrientes con los que cuenta el biosólido como: nitrógeno, fósforo y potasio, en cantidades en las que lo podemos aprovechar, se recalca que esto lleva a mejorar la estructura del suelo, la capacidad de retención de nutrientes y la capacidad de retención de agua, que son ventajosas para la producción de cultivos de ciclo corto. Los suelos saludables contribuyen a aumentar la productividad de los cultivos y reducen los riesgos de erosión del suelo (Torres, et al., 2015).

En general, es crucial seguir prácticas de manejo adecuadas, cumplir con las pautas regulatorias y realizar un monitoreo continuo para evaluar y mitigar el impacto ambiental del uso de biosólidos como fertilizante en cultivos de ciclo corto. Al garantizar el manejo, la aplicación y el control adecuados, la utilización de biosólidos puede contribuir a la agricultura sostenible al reducir la dependencia de los fertilizantes sintéticos y conservar los recursos naturales.

3.7.6 Aspectos positivos del uso de biosólido como abono

La aplicación de biosólidos puede mejorar la salud del suelo en la producción de cultivos de ciclo corto a través de varios mecanismos, existen varias formas en que los biosólidos pueden tener un impacto positivo en la salud del suelo como, por ejemplo:

- **Enriquecimiento de materia orgánica:** los biosólidos son ricos en materia orgánica, que es crucial para mejorar la salud del suelo. Cuando se aplican al suelo, los biosólidos aumentan el contenido de materia orgánica, mejorando la estructura del suelo y la capacidad de retención de nutrientes. Esto promueve una mejor aireación e infiltración

del agua, así como una mejor disponibilidad de nutrientes para cultivos de ciclo corto. (Silva, et al.,2013)

- “Los biosólidos contienen materia orgánica y nutrientes, como nitrógeno, fósforo y potasio, en niveles que los hacen potencialmente aprovechables” (Torres, et al.,2015). La disponibilidad de estos nutrientes favorece el crecimiento saludable de las plantas y el rendimiento óptimo en cultivos de ciclo corto.
- Prevención de la erosión: la aplicación de biosólidos ayuda a reducir la erosión del suelo al mejorar la estructura del suelo y promover la cobertura vegetal. “Los biosólidos pueden incrementar la fertilidad del suelo y mejorar las características de textura del suelo, lo que contribuye a la cadena de reciclaje y enriquece el suelo” (Castro Ruiz J,2005, p.12) El mayor contenido de materia orgánica mejora la estabilidad del suelo y reduce el riesgo de erosión del suelo causada por el agua o el viento. Esto es particularmente importante en la producción de cultivos de ciclo corto, donde mantener la integridad del suelo es fundamental para un rendimiento exitoso.

En resumen, la aplicación de biosólidos mejora la salud del suelo en la producción de cultivos de ciclo corto al enriquecer la materia orgánica, proporcionar nutrientes esenciales, promover la actividad microbiana, mejorar la estructura del suelo y prevenir la erosión. Estos efectos combinados crean un entorno favorable para el crecimiento y desarrollo de los cultivos de ciclo corto, lo que conduce a una mayor productividad y sostenibilidad. Los biosólidos tienen alto potencial de aprovechamiento en el sector agrícola debido a su contenido de materia orgánica y nutrientes, y su reutilización mejora la productividad de la tierra agrícola al incorporar materia orgánica y nutrientes al suelo. Además, los biosólidos pueden incrementar la fertilidad del suelo, contribuir a la cadena de reciclaje y mejorar las características de textura del suelo.

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Fase de Campo

4.1.1 Materiales

- a) Plántulas de lechuga (*Lactuca sativa*) variedad crespa
- b) Tierra suelta
- c) Fundas de siembra
- d) Biosólido proveniente de la PTAR Ibarra

4.1.2 Método Descriptivo

4.1.2.1 Obtención de la muestra

Para obtener la muestra de biosólido se realizó por el método de cuarteo en el mismo invernadero de la PTAR de Ibarra, donde se almacenan los mismos, realizando cuarteo de montículos del lodo y así tomando con una pala desde el centro para almacenarlo en bolsas ziploc herméticas y transportarlo en una hielera con hielo químico para su conservación y almacenamiento en la refrigeradora de la PUCE-SI, así determinado por la norma técnica Ecuatoriana INEN 688 (1982).

4.1.2.2 Obtención de plántulas

Se ha realizado la compra de las plántulas en el almacén agrícola de nombre “La Granja”, ubicado en la calle Cristóbal Colón y Av. Eugenio Espejo, en donde se han obtenido 150 plántulas de lechuga (*Lactuca sativa*) variedad crespa para su posterior siembra.

4.1.2.3 Preparación para la siembra

Para la siembra se obtuvieron también las bolsas para siembra de tamaño pequeño en las que se agregaron 300 gramos de tierra suelta previamente obtenida, separándolas en grupos por tratamientos de unidades experimentales.

4.1.2.4 Adición de Lodo

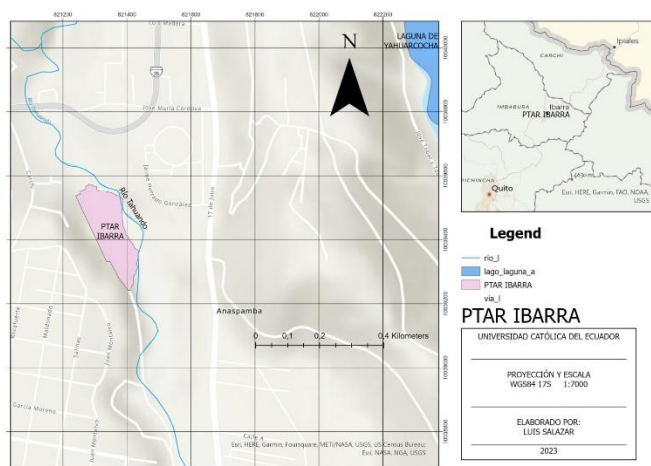
Una vez obtenido el lodo del invernadero donde se almacena, el mismo se tritura para mezclar conjuntamente con la tierra en las dosis planteadas y posteriormente sembrar la plántula de la especie vegetal.

4.1.3 Ubicación gráfica de campo

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la PTAR de Ibarra; Ubicada en el sector de la “Piedra Chapetona”.

FIGURA 3:

INSTALACIONES DE LA PTAR IBARRA



Nota: En esta imagen se muestra la ubicación y forma de la planta de tratamiento de aguas de residuales de la ciudad de Ibarra, donde se realizó la siembra. Elaborado por el autor

4.2. Fase Experimental

4.2.1 Equipos

- Potenciómetro marca HORIBA de modelo LAQUA
- Conductímetro marca HANNA Instruments
- Espectrofotómetro LaMotte SMART3

- d) Equipo de espectrofotometría de absorción atómica con la marca SensAA GBC módulo de llama.
- e) Agitadores magnéticos
- f) Estufa de marca VWR modelo 1305U
- g) Balanza analítica de marca ADAM modelo PGL 4001

4.2.2 Reactivos

- a) Ácido nítrico (HNO_3) grado analítico 10ml x4
- b) Solución de ácido sulfúrico 1N 98%
- c) Solución de cloruro de potasio 1N
- d) Kits La Motte

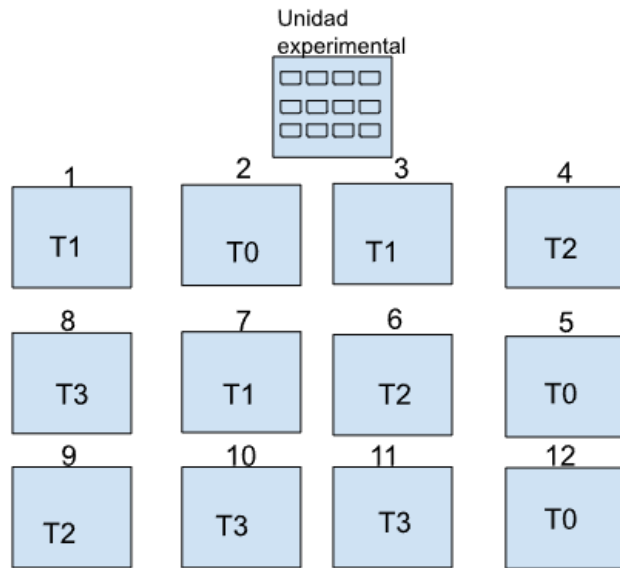
4.2.3 Diseño experimental

Se puso en marcha, como análisis estadístico un diseño experimental completamente al azar (DCA) por lo mismo se realizaron 3 réplicas por tratamiento siendo el tratamiento T0 biosólido con concentración 0% de lodo, el tratamiento T1 con nivel de concentración del biosólido de 5%, tratamiento T2 biosólido con 10% y el tratamiento T3 que contiene 15% de concentración de biosólido. En el caso del presente estudio se ha dejado un testigo el mismo que no contendrá el biosólido (T0), así podríamos realizar el diseño de una matriz para la especie vegetal

Para el caso de la especie (lechuga/ *Lactuca sativa*) se daría de la siguiente manera:

FIGURA 4:

MATRIZ DE DISEÑO EXPERIMENTAL DCA



Nota: esta imagen muestra el modelo experimental y la disposición en campo de las unidades experimentales por tratamientos. Elaboración por el autor

4.2.4 pH

Para la determinación del pH, primero se realizó la preparación de la muestra de la siguiente manera: se realizó una dilución 1:1 del suelo en agua destilada, después se agitó con un agitador magnético y se dejó decantar por 24 horas, pasado el tiempo se procedió a usar el potenciómetro para la determinación del pH.

4.2.5 Conductividad eléctrica

Para la conductividad eléctrica se siguió la misma técnica para la preparación de la muestra empleada para el pH, de misma forma se agitó y se dejó decantar para luego proceder a medir con el conductímetro.

4.2.6 Determinación de macronutrientes

Para la determinación de potasio (K), fósforo (P) y amonio (NH₄), se utilizó el espectrofotómetro “La Motte SMART3”, con los kits de reactivos para cada uno de los nutrientes presentados y procedimientos realizados a continuación.

4.2.6.1 Potasio (K)

- En primera instancia se realizó la preparación de la muestra vertiendo agua destilada en la muestra en relación 1:50, se agitó, se deja decantar y se filtró
- Se colocó la muestra en un recipiente aforado de 10 ml y se adicionó 4 gotas de la solución de hidróxido de sodio 1N de código (4004WT-G)
- Se agitó bien hasta homogenizar y se adicionó 0.05g del polvo de tetraphenylboron de código (6364-C)
- Se agitó la mezcla durante 5 minutos para que se disuelva bien la solución
- Se colocó en el colorímetro y se seleccionó el código respectivo, se escaneó el blanco y seguidamente se leyó el resultado
- Ya que el resultado se leyó en forma de óxido de potasio se siguió el cálculo de factores de conversión para obtener el potasio total.

4.2.6.2 Fósforo (P)

- Primero se realizó la preparación de la muestra donde se vertió cloruro de potasio en la muestra en relación 1:50, se agitó se dejó decantar para posteriormente ser filtrada.
- Se colocó la muestra en un recipiente aforado de 10 ml y se añadió 1ml del agente reactivo de ácido de fosfato (V-6282), se tapó y se mezcló
- Seguido se usó la cuchara de 0.1g (0699) para añadir el reactivo reductor de fosfato (V-6283), se tapó y se agitó muy bien durante 5 minutos.
- Se colocó en el colorímetro y se seleccionó el código respectivo, se escaneó el blanco y seguidamente se leyó el resultado

- Ya que el resultado se leyó en forma de fosfato se siguió el cálculo de factores de conversión para obtener el fósforo total

4.2.6.3 Amonio (NH₄)

- Se realizó la preparación de la muestra vertiendo ácido sulfúrico en la muestra en relación 1:50, se agitó y se dejó decantar para posteriormente ser filtrada
- Se colocó la muestra de en un recipiente aforado de 10ml
- Se adicionó un sobre del reactivo salicilato de amoníaco de la marca “HACH”, se agitó bien durante 5 minutos hasta que se disolvió el reactivo
- Se colocó en el colorímetro y se seleccionó el código respectivo, se escaneó el blanco y seguidamente se leyó el resultado

4.2.7 Metales pesados en el suelo

Para el análisis del suelo con la concentración de lodo mezclado, primero se realizó la digestión ácida del suelo en la cual se adiciono 10ml de ácido nítrico en 5gramos de muestra del suelo seco y tamizado, por siguiente se lleva a la estufa a 120°C durante 24 horas, consecuentemente para determinar la concentración de metales pesados se ha utilizado la absorción atómica para determinar la cantidad de metales pesados presentes en el suelo, siendo Pb, Cd y Hg realizando diluciones de las muestras y en el equipo de espectrofotometría de absorción atómica con la marca GBC módulo de llama.

4.2.8 Metales pesados en la planta

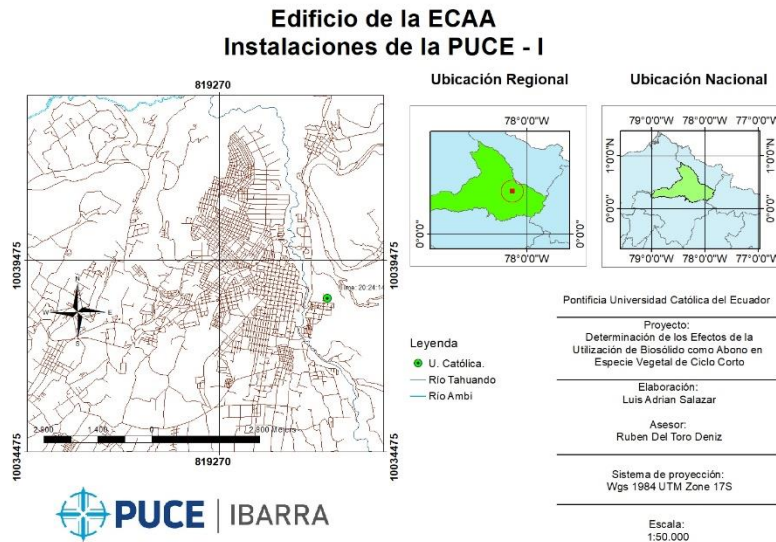
Para el análisis de metales pesados presentes en la planta, primero se tomaron muestras de hojas de la planta, seguido eso se dejó secar en el horno las muestras durante 2 días, una vez la muestra este seca se realizó la trituración para obtener 5 gramos de muestra seca y triturada, con la muestra lista se añadió 10ml de ácido nítrico perclórico en relación 1:5, seguido se dejó las muestras en la estufa a 120°C durante 24 horas y se analizó el contenido de metales pesados por el método de espectrofotometría de absorción atómica con el equipo: Espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer AAnalyst 400

4.2.8 Ubicación grafica experimental

Los análisis de laboratorio respectivos se han realizado en las instalaciones de la PUCE-I, en los laboratorios ubicados en el edificio de la ECAA

FIGURA 5:

EDIFICIO DE LA ECAA, INSTALACIONES DE LA PUCE-SI



Nota: Los laboratorios se encuentran el edificio 4 de la PUCE-SI donde se han realizado los análisis. Elaborado por el Autor

Variables

Variable/s Independiente/s

Concentración de biosólido (0%, 5%, 10%, 15%), además la especie vegetal (*Lactuca sativa*) que es una especie indicadora en la que se aplicará el biosólido como abono

Variable/s dependiente/s

La presencia de sustancias tóxicas en las especies vegetales al culminar su desarrollo presentando toxicidad (metales pesados: cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg)).

CAPÍTULO V





RESULTADOS Y DISCUSIÓN






5.1. Resultados fase de campo

5.1.1 Observaciones

TABLA 1:

OBSERVACIONES SEMANA A SEMANA

SEMANA	OBSERVACIONES	ANEXOS
1	En la primera semana se evidencio como las plántulas se habían acolado bien y comenzaron a crecer	
2	Para la segunda semana ya se pudieron ver más grandes, pero no se evidenciaba una diferencia significativa en cuanto tamaño.	
3	En esta semana ya se puede evidenciar que las plantas comenzaron a crecer, bien, pero se puede apreciar ahora si una diferencia en cuanto al tamaño, notando que algunas plántulas no crecieron, y que las plantas con el T3 se ven más grandes	
4	Para esta semana se evidencia claramente ya la diferencia entre tratamientos, siendo T2 en las que las plantas se ven mas grandes.	

5	En la semana 5 se puede ver, ya casi en su punto máximo las plantas ya crecidas, donde sigue siendo T2 el tratamiento donde las plantas han crecido mas	
6	En la semana 6 se ve como las condiciones climáticas afectaron un poco las especies, pero siguen creciendo bien, siendo T2 todavía el predominante.	
7	En la semana 7 ya se evidencia el crecimiento exponencial que ha tenido la especie, donde todos los tratamientos ya se encuentran a punto de culminar su etapa de desarrollo	
8	En la semana número 8 el experimento estuvo en su punto máximo donde la especie vegetal termino su etapa de desarrollo y están listas para ser analizadas.	
9	En esta semana se realizo la toma de muestras ya que la planta termino su etapa de desarrollo a tal punto que se observa su tamaño y color.	

Nota: En esta tabla se observa el crecimiento de las plantas y sus diferencias semana a semana. Elaborado por el autor.

Se evidencia semana a semana en el crecimiento de las plantas que T2 es el tratamiento con más crecimiento en comparación a los demás tratamientos, aunque todos están en buen estado, este ha crecido de mejor manera, en segunda instancia se encuentra T3 y por último T0, esto se debe gracias a los nutrientes que aporta el biosólido, siendo visualmente la mejor dosis T2 con el 10% de biosólido. Al final del desarrollo difícilmente se podría diferenciar visualmente cual es el tratamiento que más ha crecido ya que todos se ven muy frondosos y de similar tamaño y color.

5.2. Resultados fase experimental

5.2.1. Caracterización del biosólido

TABLA 2:

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL BIOSÓLIDO

Parámetro	unidad	T0	T1	T2	T3
pH		6.338	6.610	6.730	6.812
Conductividad	μS	366	395	828	866
Materia Orgánica	%C orgánico	16.51	17.08	17.09	19.08
Potasio	mg/l	23.1	23.4	26.8	28.9
Amonio	mg/l	1.99	2.21	3.00	3.60
Fósforo	mg/l	14.30	20.88	22.72	23.89
Mercurio	μg/Kg	0.0642	0.0915	0.183	0.2745
Plomo	μg/Kg	3.2	4.8	9.6	14.4
Cadmio	μg/Kg	0.00258	0.00465	0.0093	0.01395

Nota: En esta tabla se detalla los resultados de los análisis realizados al biosólido por tratamientos en laboratorio. Elaborado por el autor.

De acuerdo a la tabla anterior se evidencia que el pH del biosólido se encuentra dentro del rango normal para no afectar las condiciones de vida del suelo y tampoco afectar a la planta, en cuanto a la conductividad eléctrica se puede deducir que este mismo es un elemento que se encuentra en el rango entre ligeramente llegando a ser hasta muy ligeramente salino, por lo mismo se puede usar en el área del suelo determinado, en cuanto al contenido de materia orgánica la NOM, este mismo se cataloga como bueno. Pasando de parámetro al de los metales

pesados, estos mismos se encuentran muy por debajo de los límites máximos permitidos establecidos por la normativa mexicana (NOM-004-SEMARNAT-2002) especificado en la tabla 1. En cuanto a los elementos traza añadidos se puede evidenciar que efectivamente a mayor concentración de biosólido mayor es la concentración de estos elementos, evidenciando un mejoramiento de suelo.

5.2.2 Caracterización de la planta

TABLA 3:

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA PLANTA

Parámetro	Unidad	T0	T1	T2	T3	LMP (mg/kg)
Hg	ng/kg	2.356×10^{-6}	3.471×10^{-6}	5.489×10^{-6}	6.786×10^{-6}	0,02
Pb	µg/Kg	2.464×10^{-3}	3.165×10^{-3}	3.263×10^{-3}	3.894×10^{-3}	0,3
Cd	µg/Kg	5.7×10^{-5}	1.48×10^{-4}	1.57×10^{-4}	2.99×10^{-4}	0,05

Nota: En esta tabla se evidencia los resultados de los análisis de laboratorio realizados a la planta en comparación con los límites máximos permisibles. Elaborado por el autor.

En la siguiente tabla se puede evidenciar que las concentraciones de metales pesados en la planta son muy pequeñas, de tal manera que hasta la unidad se mide en microgramos sobre litro, debido a que la máquina se estableció con un rango lineal de trabajo de 0.008-0.08 para el mercurio, para cadmio es de 0,0005-0,004 y para plomo de 0,005-0,04, resultados obtenidos gracias al apoyo en el análisis de las muestras del laboratorio CESAQ de la PUCE Quito. Evidenciando de la presencia de estos contaminantes se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la Unión Europea siendo los límites Hg:0.02 mg/kg; Pb:0.30 mg/kg y Cd:0.05 mg/kg como lo detalla (Díaz,2014).

5.3 Discusión

Basándonos en la tabla 2 donde se ha realizado la caracterización correspondiente a los biosólidos, se evidencia que la concentración de los metales pesados está por debajo de los

límites máximos permisibles en lodos (LMPL) según la normativa mexicana (NOM-004-SEMARNAT-2002), dando la categorización clase “A” de tipo “excelente” a estos biosólidos asegurando como uno de su aprovechamiento en el uso agrícola, de tal manera que al hacer la mezcla de las diferentes dosis de biosólido con la tierra correspondiente lo que se logra es añadir elementos traza y metales pesados, lo que se evidencia en la tabla 2 que a medida que más se incrementa la concentración de biosólido de igual forma se incrementa los nutrimentos y metales pesados (que están inmediatamente presentes) para la planta. De igual manera se evidencia en la misma tabla que los elementos traza tuvieron un notable crecimiento por tratamientos dando una curva exponencial de concentraciones de los mismos, destacando el fósforo como el elemento traza más concentrado en los mismo, haciéndose más notable en los tratamientos T2 y T3, de materia orgánica también se nota un incremento en cada tratamiento, todos estos parámetros se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles de la normativa oficial mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis NOM-021-SEMARNAT-2000. Los resultados obtenidos en esta investigación son similares a los del trabajo de (Ortiz González, M. T., Tamariz Flores, J. V., Lazcano Herrero, M. E., & Castelán Vega, R. del C, 2013) denominado “EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS BIOSÓLIDOS SOBRE EL CULTIVO DE LA LECHUGA (*Lactuca sativa* L.)”, quienes evaluaron metales pesados y caracterizaron el biosólido, obteniendo resultados similares, y guiándose igualmente en la norma oficial mexicana, los mismos que determinaron que el lodo es apto para el uso agrícola y aprovechamiento de este criterio, determinando que a medida que se incrementa la concentración por tratamiento, los elementos traza y metales de igual forma aumentan, pero de igual manera estando por debajo de los límites máximos permitidos en la norma.

Como se puede observar en la tabla número 3 los valores obtenidos de los análisis realizados a la planta no suponen un riesgo de toxicidad para la planta, ya que se encuentran muy por debajo de los límites máximos permisibles según la normativa de la Unión Europea que explica (Díaz,2014). Según los resultados obtenidos se puede decir que el metal con más concentración en las plantas es el plomo con sus valores más altos en T2 y T3, siguiéndolo el cadmio y por último en ínfimas cantidades el mercurio, resultados obtenidos gracias al análisis de los laboratorios CESAQ de la PUCE Quito. De igual manera con lo anterior se puede decir que a medida que aumenta la concentración de biosólido aumenta la cantidad de metales por

tratamiento siendo exponencial. Comparando nuevamente con el trabajo de (Ortiz González, M. T., Tamariz Flores, J. V., Lazcano Herrero, M. E., & Castelán Vega, R. del C, 2013) denominado “EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS BIOSÓLIDOS SOBRE EL CULTIVO DE LA LECHUGA (*Lactuca sativa L.*)”, ya que no hay tantos trabajos que estudien el mismo efecto de metales pesados a través de biosólido en lechugas, obtuvieron un resultado positivo, siendo que de igual manera al estudio realizado la concentración de metales pesados es muy poca, demostrando que no supondría un efecto tóxico ni nocivo, además de no contener acumulación de plomo haciendo el uso del biosólido factible para su implementación en este tipo de especies vegetales.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

Al terminar la presente investigación se pueden añadir las siguientes conclusiones:

- Los tratamientos demuestran que la aplicación de biosólidos mejora las propiedades de materia orgánica, elementos traza (N y P) y en cuanto a micronutrientes (K), indicando que a mayor concentración de dosis de biosólidos los nutrientes aumentan.
- Las concentraciones de biosólido que aportaron un mejor resultado en cuanto visualmente y a nivel de elementos traza fue al adicionar 10% y 15% por la mayor cantidad de N, P y K, evidenciando un aumento de manera exponencial, además de presentar bajos valores de metales pesados como Hg y As, evidenciado en la tabla 2 y 3.
- La evaluación de los ensayos preliminares realizados determinó que el lodo generado en la planta de tratamiento de aguas residuales de Ibarra cumple las exigencias sanitarias y ambientales permitiendo su utilización con fines agrícolas.
- La concentración de metales pesados en la planta no supone un riesgo en toxicidad, debido a que estos datos se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la Unión Europea.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- Para obtener un resultado acertado se recomienda mantener las condiciones ambientales ideales y necesarias para el crecimiento de la especie vegetal *Lactuca sativa*, como mantener una temperatura entre los 15° a 20° °C, y con un riego respectivo de cada 3 días debido a que necesita una alta humedad, pero no en exceso, evitando cambios bruscos medioambientales, y recibiendo agua como necesite el tipo de cultivo.
- Realizar la limpieza de hierbas constante en el espacio que se encuentre la *Lactuca sativa* para evitar que exista una competencia hídrica y/o presencia de plagas.
- Al momento de manipular los biosólidos se recomienda usar el equipo de protección personal adecuado, ya que contienen sustancias perjudiciales para los seres humanos, como materia fecal.
- Se recomienda para la trituración de biosólidos usar material de cerámica para que no se añadan materiales ajenos a la composición de este elemento.
- Para realizar este tipo de experimento se recomienda usar una funda o maceta para tener control total de los factores como el tipo de tierra y cantidad de biosólido que se aplica sobre cada unidad experimental.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bettioli, W.; De Camargo, O.A. 2005. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. In: Seminário Internacional Sobre Microbiologia Aplicada ao Meio Ambiente: Antecedentes Históricos e Perspectivas. USP. Sao Paulo, Brasil. pp. 1-19
- Builes B, S. (2010). Tratamiento Y Adecuada Disposición De Lodos Domésticos E Industriales, 36–37. Retrieved from <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1835/1/62839B932.pdf>
- Castro Ruíz, J. C. (2005). *Estudio preliminar de aplicación de biosólidos en suelos para control de erosión y estabilidad de taludes*. Universidad de los Andes- Facultad de Ingeniería. Bogotá DC
- Dáguer, G (2003). *Gestión de biosólidos en Colombia*. <http://www.geocities.com/ptarcolombia/gestion.htm>
- DHHS (NIOSH). (julio del 2002), *Indicaciones para controlar los riesgos potenciales que corren los trabajadores expuestos a los biosólidos de clase B*, publicación N.^a 2002-149. [https://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/2002149_sp/default.html#:~:text=Los%20bios%C3%B3lidos%20son%20los%20residuos,\(tambi%C3%A9n%20conocidos%20como%20pat%C3%B3genos\).](https://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/2002149_sp/default.html#:~:text=Los%20bios%C3%B3lidos%20son%20los%20residuos,(tambi%C3%A9n%20conocidos%20como%20pat%C3%B3genos).)
- Díaz, A. A (2014). *Metales Pesados*. <http://plaguicidas.comercio.es/MetalPesa.pdf>
- ESTADOS UNIDOS. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (Septiembre de 1999). *Biosolids generation, use and disposal in the United States*. Washington. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-12/documents/biosolids-generation-use-disposal-us.pdf>

- EROSKI CONSUMER. (s.f.). *lechuga*.
<https://verduras.consumer.es/lechuga/introduccion>
- Girovich, M. J. (Ed). (1996). *Biosolids treatment and management: processes for beneficial use*. Marcel Dekker. New York, USA.
- Guadarrama-Tejas, R., Kido Miranda, J., Roldan Antunez, G., Salas Salgado, M., Mata-García, M., & Vázquez-Briones, M. D. C. (2016). Contaminación del agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(5).
- HLC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN. (29 de octubre de 2019). *¿Cómo funciona una planta de aguas residuales?* <https://www.hlcsac.com/noticias/como-funcionan-plantas-aguas-residuales/>
- HUARCAYA, A. (2012). *"Efecto del abonamiento con biosólidos primarios generados en la PTAR "La Totora" en el rendimiento y calidad sanitaria de lechuga (Lactuca sativa L.) variedad Great Lakes .. Ayacucho 2009-201 O"* (Tesis de Grado, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA).
- IDRICA. (3 de agosto de 2022). *Las 4 etapas de las plantas de tratamiento de aguas residuales*. <https://www.idrica.com/es/blog/plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-etapas/>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (1982). *Norma Técnica INEN 688. MECANICA DE SUELOS.PREPARACIÓN DE MUESTRAS ALTERADAS PARA ENSAYOS*.
- Jhosymar Sifontes. (s.f). *Estructura Vertical de los Cultivos de Ciclo Corto*. <https://sofoscorp.com/2015/11/estructura-vertical-de-los-cultivos-de-ciclo-corto/#:~:text=Alejandro%20Anzola%2C%20experto%20en%20industrias,en%20menos%20de%20365%20d%C3%ADas.>

LA ROSA VILLARREAL OSCAR JIMMY. (2015) *CULTIVO DE LECHUGA (Lactuca saliva) BAJO CONDICIONES DEL VALLE DEL RÍMAC, LIMA* [Tesis de grado, Universidad Agraria La Molina, Perú]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/948/T007353.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=2.4%20CLASIFICACI%C3%93N%20TAXON%C3%93MICA%20La%20lechuga,et%20al.%2C%201999>).

MARÍA DOLORES ENCINAS MALAGÓN. (2011). *MEDIO AMBIENTE Y CONTAMIANCIÓN. PRINCIPIOS BÁSICOS*. 1ª edición ISBN: 978-84-615-1145-7.

<https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/Medio%20Ambiente%20y%20Contaminaci%C3%B3n.%20Principios%20b%C3%A1sicos.pdf?sequence=6#:~:text=Se%20entiende%20por%20contaminaci%C3%B3n%20la,lo%20que%20ha%20sido%20contaminado>.

NOM-021-SEMARNAT-2000. (2000). *Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis*.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNAT-2002. (2002). *PROTECCION AMBIENTAL-LODOS Y BIOSOLIDOS-ESPECIFICACIONES Y LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA SU APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL*.

Ortiz González, M. T., Tamariz Flores, J. V., Lazcano Herrero, M. E., & Castelán Vega, R. del C. (2013). *EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS BIOSÓLIDOS SOBRE EL CULTIVO DE LA LECHUGA (Lactuca sativa L.)*. *Revista AIDIS De Ingeniería Y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo Y práctica*, 6(1), 100–109. <https://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/36969>

Potisek-Talavera, M. D. C., Figueroa-Viramontes, U., González-Cervantes, G., Jasso-Ibarra, R., & Orona-Castillo, I. (2010). *Aplicación de biosólidos al suelo y su*

efecto sobre contenido de materia orgánica y nutrimentos. Terra Latinoamericana, 28(4), 327-333.

Ramalho, R. S. (2021). *Tratamiento de aguas residuales.* Reverté.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (2022). *Diccionario de la lengua española* (23a ed.). [versión 23.6 en línea]. <https://dle.rae.es>

Reynolds, K. A. (2002). *Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica.* Agua Latinoamérica. https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/documentos_nuevos/DeLaLaveSepOct02.pdf

Santoyo Edmundo Roberto (2012) *Manejo y Uso de Biosólidos en Suelos Agrícolas* [Tesis de Doctorado, Colegio de Post Graduados, México]

Silva-Leal, J. A., Bedoya, D. F., & Torres-Lozada, P. (2013). Evaluación del potencial de aplicación de biosólidos higienizados en el cultivo de rábano. *Acta Agronómica*, 62(2), 155-164.

Teamb. (4 de diciembre de 2021). *¿Cómo funciona una planta de tratamiento de aguas residuales?*. <https://teamb.com.mx/como-funciona-una-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales/>

Torres-Lozada, P., Silva-Leal, J. A., Parra-Orobio, B. A., Cerón-Castro, V., & Madera-Parra, C. A. (2015). *Influencia de la Aplicación de Biosólidos sobre el suelo, la morfología y productividad del cultivo de caña de azúcar.* *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 18(1), 69-79.

VEGA ORTIZ, AX. (2013) *Efecto del Ácido Salicílico y Estrés Hídrico en la Calidad de Lechugas (Lactuca Sativa L.) Producidas en Invernadero.* [Tesis de grado, Santiago de Querétaro, Querétaro, MX, UAQ.

Zuluaga Juan Alberto Vélez. (2007). Los biosólidos: ¿una solución o un problema?. *Producción + Limpia*, Vol 2 No 2

ANEXOS



FOTOGRAFÍA 1: ADICIÓN DE LODO Y SIEMBRA DE LAS ESPECIES EN LAS FUNDAS



FOTOGRAFÍA 2: AGRUPACIÓN DE LAS ESPECIES POR TRATAMIENTO EN LAS PARCELAS



FOTOGRAFÍA 3: SEMANA 2 SE COLOCÓ PLÁSTICO PARA EVITAR LAS MALEZAS Y SE HIZO EL SEGUIMIENTO SEMANAL



FOTOGRAFÍA 4: SEMANA 9 DONDE LA ESPECIE ESTÁ YA EN PUNTO DE COSECHA AL FINAL DEL EXPERIMENTO



FOTOGRAFÍA 5: TOMA DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS



FOTOGRAFÍA 6: SECADO DE LA MUESTRA



FOTOGRAFÍA 7: MEDICIÓN DE PH Y CONDUCTIVIDAD EN LAS MUESTRAS DE BIOSÓLIDO MEZCLADO CON TIERRA



FOTOGRAFÍA 8: MEDICIÓN DE ELEMENTOS TRAZA N.P.K