

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO



Evaluación De Fertilizante Líquido Orgánico Obtenido A Través Del Proceso De  
Lombricultura, Utilizando Desechos Sólidos Resultantes De Actividades  
Agropecuarias, Con Ayuda De *Eisenia foetida*.

Por:

**GERARDO GARCIA MARTINEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL**

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

Evaluación de fertilizante líquido orgánico obtenido a través del proceso de lombricultura, utilizando desechos sólidos resultantes de actividades agropecuarias, con ayuda de *Eisenia foetida*.

POR:

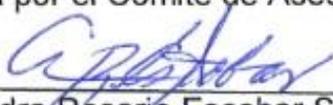
**GERARDO GARCIA MARTINEZ**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
M.C. Alejandra Rosario Escobar Sánchez

Asesor Principal Interno

  
Dra. Liliana Margarita Garza Rodríguez

Asesor Principal externo

  
Dr. Arturo Gallegos del Tejo

Coasesor

  
Edith Madai Colunga Urbina

Coasesor

  
MC. Sergio Sánchez Martínez

Coordinador de la División de Ingeniería.



Saltillo, Coahuila, México.

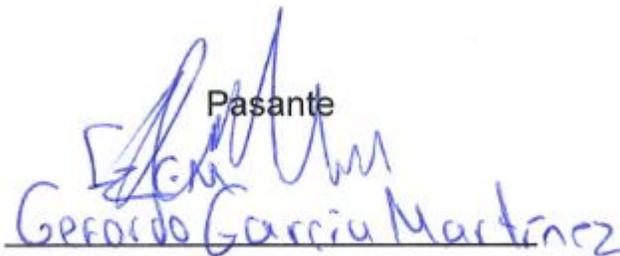
Junio 2021.

## Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir la verdad que no se incurrió en el plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (autoplagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente; así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante  
  
Gerardo Garcia Martinez

Firma y Nombre

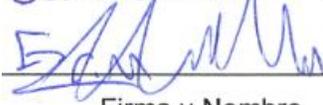
## Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir la verdad que no se incurrió en el plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

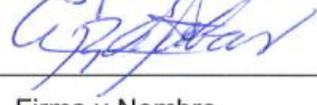
Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (autoplagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente; así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante

Gerardo Garcia Martínez  
  
Firma y Nombre

Asesor Principal

Mc. Alejandra Prozarío Escobas.  
  
Firma y Nombre

## **AGRADECIMIENTOS**

### ***Al Sr, Luis Manuel Gonzales Mancha, dueño del Rancho la presita de Gonzales***

*Por brindarnos el apoyo, y prestar las instalaciones del rancho para llevar a cabo el proyecto de investigación.*

### ***A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro***

*A mi vendita Alma Terra Mater, por que albergó las ilusiones y sueños que encomendé a ella, al momento de mí llegada a esta casa de estudios, y más aún, por brindarme oportunidades y experiencias que cambiaron mi vida de una manera positiva y ayudaron a forjar superación tanto intelectual como personal, gracias por el gran sueño de permitirme pertenecer a tu legado.*

### ***Al Laboratorio de Química Analítica Ambiental***

*Gracias, ya que en sus instalaciones se realizaron los análisis de metales pesados para suelo, agua, estiércol y lixiviados, así como los análisis estadísticos.*

### ***A MC. Alejandra Rosario Escobar Sánchez***

*Por su apoyo incondicional, durante la estancia de estudios dentro de la universidad, puesto que ella supo aconsejar, orientar, y guiarme en los momentos de dudas en el transcurso de la carrera, aún más por su apoyo infranqueable de creer en mí, siendo de vital importancia para cumplir una de mis metas, la cual fue el intercambio estudiantil al extranjero, gracias de todo corazón.*

### ***Dra. Iliana de la Garza.***

*Muchas gracias por su apoyo incondicional en el transcurso de este proyecto, gracias por la asesoría en la investigación, que ahora culmina, gracias por el apoyo intelectual y el tiempo que tomo de sus actividades para dedicármelos a mí y llevar a buen puerto este proyecto.*

### ***Al Dr. Arturo Gallegos del Tejo***

*Por el apoyo y participación en el proyecto de investigación, así como la orientación brindada, en el transcurso de los deberes universitarios siendo una fuente de inspiración para realizar la movilidad estudiantil al extranjero.*

***M.C. Mara Sarahí Florencio Martínez***

*Gracias por la asesoría brindada en durante el desarrollo del proyecto, así como el apoyo que me brindaste en correcciones y formatos del documento escrito.*

***A LA VIRGEN DE GUADALUPE***

*El filósofo alemán Nietzsche dijo alguna vez: “El hombre necesita creer en algo superior a su conocimiento es un ser débil que no es capaz de vivir su propia vida y tomar las riendas de esta”.*

*Por esta razón agradezco a la virgen de Guadalupe, por guiarme en este camino, que ha costado mucho recorrer y en momentos de incertidumbre e inseguridad ha sido de mucha ayuda a la hora de tomar decisiones por no dejarme solo.*

## ***DEDICATORIAS***

### ***A MI MADRE***

#### ***Bernarda Martínez Silverio***

*Esta persona es muy especial en mi vida, ya que por ella aprendí a no rendirme, puesto que sus enseñanzas y acciones me guiaron a seguir soñando, ella me demostró que cada situación personal, laboral y emocional, puede resolverse de varias maneras y salir delante de la mejor forma posible, todo el esfuerzo culmina con este trabajo de investigación es para decirte gracias por tu apoyo incondicional de madre y gracias a tus sacrificios hoy culmino un logro en mi vida y es gracias a ti.*

### ***A MÍ PADRE.***

#### ***Isidro García Vera.***

*Fuiste una pieza fundamental en el desarrollo de mi crecimiento, tal vez cuando era niño no entendía muchas cosas, pero al momento de crecer y madurar aprendí a valorar, y entendí que es estar lejos de tu familia para que ellos puedan cumplir sus metas, es un sacrificio muy grande, siempre fuiste infranqueable en tu forma de pensar haciéndonos saber que la educación es más importante que los lujos y comodidades, esto es para ti, recuerdo una anécdota en la cual mi madre comento que tu sueño era, que alguno de tus hijos fuera profesionista, me alegró mucho el ver como se cumplía tu sueño, ahora quiero decirte que no solo fue uno sino 4 de ellos, que te dieron esa dicha, te agradezco papá, sé que desde el cielo velas por todos nosotros.*

### ***A mis hermanos***

***René García M.*** *Creo que fuiste y eres una figura de inspiración para todos los hermanos menores, gracias por tu apoyo en todos los sentidos quiero agradecerte de la manera más emotiva al decirte que tu apoyo rindió frutos y ahora se ve reflejado en la culminación de esta etapa de mi vida profesional.*

***Lizeth García M.***

*Hermana contigo tuve la oportunidad de convivir más tiempo, quiero agradecerte el sacrificio que hiciste por mí en la etapa de preparatoria, por ti estoy aquí terminando una meta, pero es gracias a tu apoyo, no tengo palabras para decirte lo que significas para mí, muchas gracias.*

**Wendy García M.**

*Hermana te agradezco el apoyo y sacrificio, te admiro porque nunca te rindes y a pesar de las adversidades siempre luchas por hacer realidad tus sueños, agradezco el apoyo y la inversión que hiciste en mí, hoy felizmente te digo que rindieron frutos y que no fueron en vano, gracias.*

**Bianca García M.**

*Creo que fuiste con quien conviví más, en nuestra etapa escolar y familiar, te agradezco por tu compañía y ánimos que siempre fueron bien recibidos, los jalones de orejas que varias veces me dabas, eres parte fundamental en todo este logro, gracias por todo.*

**Amarissa García M.**

*Te agradezco por tu compañía hermana, me hubiese gustado haber convivido más contigo, pero el tiempo que estuvimos juntos lo atesoro con gran cariño y siempre ocupa un lugar en mi corazón te agradezco por el apoyo que me brindaste y por ser parte y cómplice de mi locuras y travesuras te quiero mucho.*

**A mi novia.**

**Yairth Francisco Martínez**

*Te agradezco por el apoyo brindado por tus palabras por tu compañía y los buenos ánimos que siempre recibía de tu parte, fuiste parte fundamental en mi formación ya que por ti aprendí a ser más responsable y esa responsabilidad me abrió muchas puertas y me hizo que crecer personalmente, gracias.*

**A mis amigos**

**Jesús A. Gaitán Peña, Laura L. Hernández Bautista, Hugo C. Hernández**

*Con ustedes pase infinidad de momentos muy gratos para mí, fueron parte fundamental para el desarrollo profesional, les agradezco de todo corazón el haberme acompañado en el trayecto de nuestra formación, gracias por el apoyo*

*que alguna vez cada uno de ustedes me brindo, nunca los olvidare siempre estarán presentes en mi corazón los quiero, sé que en el transcurso de nuestro andar surgieron diferencias, y siempre las resolvíamos, porque la amistad siempre es más importante, agradezco el apoyo que siempre me brindaron, Chuy te agradezco por brindarme una familia, en ellos encontré la calidez de una madre, el cariño de unos hermanos, la sabiduría de un padre, y sobre todo el amor de seres queridos.*

*Lau, te agradezco infinitamente, siempre fuiste las más responsable, y realmente te admiro te quiero y te respeto, sé que en ti siempre encontré apoyo, siempre me ayudaste de infinitas maneras, gracias.*

***María Guadalupe Castillo Nieto, Jorge L. Avilés Alvarado, Eliud Charles Lira Adán Salvador Ignacio, Alejandro Abeldaño M.***

*Ustedes me adoptaron en su clan, cuando el mío estaba de viaje, con ustedes viví infinidad de aventuras, locuras que recordare siempre, gracias por los momentos divertidos y de fiesta por supuesto. Lo quiero y siempre los recordare.*

***A mis Romés***

***Jorge Luis Avilés Alvarado, Graciela Flores Suarez, Yairith Francisco Martínez, Wilber Hernández Aguilar.***

*Agradezco su compañía y las experiencias vividas como familia al compartir momentos de alegría, tristezas y enojos, este logro también es parte ustedes gracias amigos familia, aprecié mucho el tiempo que compartí con ustedes.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
RESUMEN .....	xv
CAPÍTULO I .....	16
INTRODUCCIÓN .....	16
CAPÍTULO II .....	18
ANTECEDENTES .....	18
II.1. Contaminación del Medio Ambiente. ....	18
II.1.1 Actividades antropogénicas de contaminantes. ....	19
II.1.2. Metales pesados como fuente de contaminación. ....	20
II.1.3. Contaminación por la Industria Agraria. ....	20
II.1.4 Suelo.....	22
II.1.5. Comportamiento de los contaminantes en el sistema suelo-planta. ....	25
II.2. Pastizales. ....	26
II.2.1. Desarrollo de pastizales con influencia de contaminantes. ....	27
II.2.2. Biodisponibilidad de metales en la planta. ....	28
II.2.3. Absorción. ....	28
II.2.4. Acumulación de metales en la planta.....	29
II.3. Pastoreo de ganado. ....	29
II.3.1. Sistema Digestivo en Rumiantes. ....	30
II.3.2. Asimilación de nutrientes en rumiantes.....	30
II.3.3. Estiércol como contaminante ambiental.....	32
II.4. Organismos Superiores o Macro Organismos. ....	33
II.4.1. Lombriz. ....	34

II.5. Compostaje .....	40
II.6. Lombricultura.....	41
II.6.1. Lixiviado de lombriz como fertilizante.....	42
CAPITULO III.....	44
JUSTIFICACIÓN .....	44
CAPITULO IV.....	45
HIPÓTESIS .....	45
CAPITULO V.....	45
OBJETIVO GENERAL.....	45
V.1. Objetivos específicos.....	45
CAPITULO VI.....	46
PARTE EXPERIMENTAL.....	46
VI.1. Equipos, materiales y reactivos:.....	46
VI.2. Muestreo .....	46
VI.2.1. Obtención de lixiviados de la lombricultura.....	47
VI.2.2. Caracterización química de los lixiviados .....	48
VI.2.2.1. Determinación de pH en lixiviados.....	48
VI.2.2.2. Determinación de Conductividad eléctrica (C.E.).....	48
VI.2.2.3. Determinación de Densidad aparente (Da).....	48
VI.2.2.4. Determinación de Materia orgánica (M.O.) y Carbón Orgánico (C.O) en muestras acuosas.....	49
VI.2.2.5. Determinación Espectrofotométrica de Absorción Atómica con Flama (EAAF) de metales pesados en muestras acuosas y sólidas.....	49
VI.2.2.5.1. Pre-tratamiento de los lixiviados .....	49
CAPITULO VII.....	51

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
CAPITULO VIII.....	59
AGRADECIMIENTOS .....	59
CAPITULO IX.....	60
CONCLUSIONES.....	60
CAPITULO X.....	61
REFERENCIAS.....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Formas químicas de los metales en el suelo y su disponibilidad relativa para las plantas. Fuente: <a href="http://www.infoagro.com">www.infoagro.com</a> .....	24
Tabla 2. Taxonomía de <i>Eisenia foetida</i> . <a href="https://agrotendencia.tv/agropedia/lombricultura/">https://agrotendencia.tv/agropedia/lombricultura/</a> .....	36
Tabla 3. Composta de los siete tratamientos .....	48
Tabla 4 Porcentajes de varianza acumulada de cada componente. ....	53
Tabla 5 Loadings o variables correlacionadas al CP1 y CP2.....	54
Tabla 6 Scores o lixiviados correlacionadas al CP1 y CP2. ....	55
Tabla 7 Promedio de las variables de estudio.....	57
Tabla 8 Especificaciones Fisicoquímicas de Humus de Lombriz (NMX-AA-180-SCFI,2018).....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dinámica de los metales pesados en el sistema suelo-planta. <a href="http://www.infoagro.com">www.infoagro.com</a> .....	26
Figura 2. Pasto (a) Banderita y (b) Navajita. Fuente: <a href="http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/998.pdf">http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/998.pdf</a> .....	27
Figura 3. Cuerpo de una Lombriz. <i>Eisenia foetida</i> . <a href="https://es.slideshare.net">https://es.slideshare.net</a> .....	36
Figura 4. Cuerpo Anillado <i>E. foetida</i> . <a href="https://planetavivo.cienradios.com/la-lombriz-de-tierra-el-animal-que-tiene-10-corazones-entre-sus-anillos/">https://planetavivo.cienradios.com/la-lombriz-de-tierra-el-animal-que-tiene-10-corazones-entre-sus-anillos/</a> .....	37
Figura 5. Aparato Digestivo <i>E. foetida</i> . <a href="https://www.pinterest.es/pin/753227106403561842/">https://www.pinterest.es/pin/753227106403561842/</a> .....	38
Figura 6. Órganos de <i>E. foetida</i> . <a href="https://www.pinterest.es/pin/753227106403561842/">https://www.pinterest.es/pin/753227106403561842/</a> .....	39
Figura 7. Órganos excretores de <i>E. foetida</i> . (Vázquez. P., 2020) .....	39
Figura 8. Apareamiento de Lombriz. (Rivas.R., 2021) .....	40
Figura 9. Punto de muestreo. (google.mps) .....	47
Figura 10. Determinación de M.O C.O. POR Cenizas. ....	49
Figura 11 Resultados obtenidos del contenido de M.O., C.O.; Na y K. Presente en los lixiviados .....	51

Figura 12 Resultados obtenidos del contenido de pHfinal, pHinicial y C.E. Presente en los lixiviados.....	51
Figura 13 Resultados obtenidos del contenido de Cu, Zn, Ni, Pb y Da. Presente en los lixiviados .....	52
Figura 14 Matriz de datos sin autoescalado.....	52
Figura 15 Matriz de datos con autoescalado.....	53
Figura 16 Correlación de las variables al CP1 (línea roja) y CP2 (línea azul).....	55
Figura 17 Correlacion de los lixiviados al CP1 (línea roja) y CP2 (línea azul).....	56

## RESUMEN

Uno de los problemas más graves que genera la actividad del hombre es la destrucción del equilibrio de los ecosistemas, debido al afán de progreso y desarrollo, generando residuos sólidos y que al ser degradados provocan la contaminación en regiones donde los recursos naturales se ven alterados. Las actividades agrícolas generan una gran cantidad de residuos sólidos como los estiércoles del ganado y es uno de los problemas a enfrentar para evitar la creciente contaminación ambiental debido a la diversidad en su composición y su mal aprovechamiento. Para poder utilizar estiércol como fertilizante es necesario aplicarle un tratamiento que estabilice sus propiedades con ayuda de procesos de bio-fermentación o sistemas de compostaje para obtener humus de lombriz. El humus de lombriz es un producto con gran contenido orgánico altamente humificado, ya que presenta un elevado contenido de nitrógeno, fosforo, potasio, oligoelementos y lo que es más importante cientos de millones de microorganismos saprofitos activos que al ser incorporados al suelo contribuyen al equilibrio ecológico y a la transformación de los minerales del suelo, liberando en forma soluble elementos inorgánicos requeridos como nutrientes para las plantas. El objetivo de este trabajo fue Obtener lixiviados a partir de estiércol de bovino y caprino mediante el proceso de lombricultura utilizando lombriz californiana (*Eisenia foetida*) y evaluar sus características fisicoquímicas para determinar si son aptos como fertilizante para suelos de pastoreo. Para ello se realizaron 7 tratamientos con 4 réplicas cada uno y a cada lixiviado obtenido se determinaron 6 parámetros fisicoquímicos (M.O., C.O., C.E. Da, pH inicial y final y 8 parámetros químicos (Cu, Zn, Ni, Cd, Cr, Pb, K y Na). Encontrando que el lixiviado 1 a y b presentan las concentraciones más altas de K (0.305 y 0.263 mg/L respectivamente), Zn (0.684 y 0.561 mg/L respectivamente), Ni (0.094 y 0.81 mg/L respectivamente), pH inicial (8.72 en ambos), pH final (8.16 en ambos), Na (62.9 y 57.2 mg/L respectivamente) y K (167.2 y 133.8 mg/100 ml respectivamente).

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más graves que genera la actividad del hombre es la destrucción del equilibrio de los ecosistemas, debido al afán de progreso y desarrollo, generando residuos sólidos y que al ser degradados provocan la contaminación en regiones donde los recursos naturales (flora y fauna) se ven alterados (Aquino.G., 2016). Existen numerosas evidencias de biomagnificación o reforzamiento de la contaminación en los ciclos biogeoquímicos producida por la actividad económica del hombre (Rivas.R., 2021).

La disposición de los residuos sólidos producidos por las actividades agrícolas es uno de los problemas a enfrentar para evitar la creciente contaminación ambiental debido a la diversidad en su composición y el mal aprovechamiento de estos, ya que en algunos casos van a parar a tiraderos clandestinos, generándose un problema sanitario para la población, en el traslado de los residuos se pueden contaminar con otros materiales, generando un medio de cultivo para microorganismos, siendo la disposición final el suelo, estos contaminantes se incorporan a los ciclos biogeoquímicos, afectando entre otras cosas la fertilidad del suelo, la calidad de agua, y la vida en el medio (Cuadros.A., 2005).

El uso del estiércol como fertilizante es una de las practicas más antiguas en la agricultura; sin embargo, la aplicación continua incrementa el riesgo de contaminación. El suelo puede ser seriamente afectado por el estiércol si contiene concentraciones altas de (nitrógeno y fosforo), microorganismos patógenos (*E. coli*), antibióticos y compuestos que interactúan con el sistema endocrino, (hormonas esteroides, fitoestrógenos, plaguicidas y herbicidas (Powers. W., 2009). El estiércol normalmente se ha considerado como un producto de desecho de la producción ganadera; sin embargo, este residuo puede tener una segunda oportunidad para utilizar los nutrientes que no han sido utilizados por el animal.

Para poder utilizar estiércol como fertilizante es necesario aplicarle un tratamiento que estabilice sus propiedades con ayuda de procesos de bio-fermentación o sistemas de compostaje donde los microorganismos tienen un papel fundamental para su estabilización.

Los invertebrados del suelo y en particular las lombrices de tierra son buenas para la degradación de los residuos y sustancias tóxicas, siendo además filtros biológicos de metales pesados. También son buenos indicadores de contaminación ya que son empleadas para pruebas ecotoxicológicas (Compagnoni.L. et al., 2018).

La lombriz de tierra es un invertebrado excepcionalmente prolífero, resistente, vivaz, de carne sólida y de un insaciable apetito, capaz de digerir cualquier residuo que contenga materia orgánica en estado de putrefacción, fermentada o en estado fresco, tales como estiércoles, residuos de cosechas, basura doméstica, lodos, celulosa, entre otros, transformándolo en humus.

El humus de lombriz es un producto con gran contenido orgánico altamente humificado, ya que presenta un elevado contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, oligoelementos y lo que es más importante cientos de millones de microorganismos saprofitos activos que al ser incorporados al suelo contribuyen al equilibrio ecológico y a la transformación de los minerales del suelo, liberando en forma soluble elementos inorgánicos requeridos como nutrientes para las plantas (nitrógeno y fósforo, tiene buena estructura, bajos niveles de metales pesados, baja conductividad, alto contenido de ácidos húmicos y buena estabilización y maduración) (Zapata.I., 2016).

Dados sus requerimientos nutricionales y reproductividad biológica, las especies de lombriz *Eisenia foétida* son ampliamente empleadas. Su modelo de desarrollo y reproducción está ampliamente documentado, demostrando su eficiencia en el proceso de lombricultura, o vermicultura (LLamas.J., 2007)

## CAPÍTULO II

### ANTECEDENTES

#### II.1. Contaminación del Medio Ambiente.

La contaminación ambiental se define, como la introducción en el medio natural de agentes con características físicas, químicas y biológicas, que perturban las condiciones del medio natural, trayendo consigo consecuencias para la salud, el bienestar y la proliferación de la flora y fauna (Quintero.M., 2006).

La contaminación en el medio ambiente es causada por diferentes procesos naturales y antropogénicos.

Los procesos naturales que causan contaminación están asociados principalmente por desastres naturales (Solis.L. *et al.*, 2003).

Los distintos tipos de desastres naturales que existen pueden clasificarse en cuatro grupos.

- Hidrológicos: son todos aquellos que se originan por la acción del agua, en mares, océanos, lagos, presas y ríos del mundo. Es la consecuencia de la acción de las aguas, como tsunamis, inundaciones u oleajes tempestuosos.
- Meteorológicos: son todas aquellas que están relacionadas con el clima tenemos por ejemplo a los Tifones, frentes fríos y cálidos, el efecto del niño y la niña, tornados, tormentas tropicales, huracanes, nevadas, granizo, sequias, e inundaciones por lluvia.
- Geofísicos: son todos aquellos que se forman o surgen de las profundidades de la tierra o la superficie terrestre, como avalanchas, derrumbes, tormentas solares, terremotos erupciones volcánicas, incendios y hundimientos de tierra entre otros.
- Biológicos: estos son provocados por alguna circunstancia dentro del reino animal que de algún modo afecta al ambiente y la humanidad, como pestes,

epidemias, e infecciones como, la fiebre porcina, gripe aviar y covid-19 (Solis.L. *et al.*, 2003)

### **II.1.1 Actividades antropogénicas de contaminantes.**

(Saskia.C. *et al.*, 1998)mencionan que las actividades industriales y el parque vehicular de las ciudades, juegan un papel importante, en la formación de partículas contaminantes con metales pesados (Pb, Cu, Ni, Cr, Cd y Fe), generadas en las zonas urbanas, provocando problemas en sitios ajenos a las fuentes de origen.

Entre las industrias podemos encontrar las siguientes.

- Agrícolas
- Grandes Instalaciones de Combustión
- Transporte
- Cementeras
- Instalaciones de incineración de residuos
- Industria del tabaco
- Industria del papel
- Tenerías
- Talleres mecánicos y de carrocerías
- Fabricación de maquinaria
- Tratamiento de superficies
- Gasolineras y lavaderos de vehículos
- Laboratorios fotográficos
- Clínicas dentistas
- Tintorerías y lavanderías
- Artes gráficas
- Farmacéuticas
- Hospitales y clínicas
- Industrias agroalimentarias
- Aguas residuales

### **II.1.2. Metales pesados como fuente de contaminación.**

Existen varias formas para definir a los metales pesados, una de ellas es referida al peso atómico y se define como un elemento químico comprendido entre 63.55 (Cu) y 200 (Hg) de peso atómico, otra definición hace referencia a metales con una densidad entre 4 g/cm<sup>3</sup> hasta 7 g/cm<sup>3</sup>. No todos los metales con densidad alta son especialmente tóxicos en concentraciones normales, pero hay una serie de metales pesados más conocidos por su tendencia a causar serios problemas medio ambientales, ejemplo de estos tenemos; al mercurio (Hg), el plomo (Pb), el cadmio (Cd) y el talio (Tl), así como el cobre (Cu), zinc (Zn) y cromo (Cr). En ocasiones se incluye a otros elementos tóxicos ligeros como el berilio (Be) o el aluminio (Al), o algún semimetal como el arsénico (As).

El peligro de los metales pesados reside en que no pueden ser degradados (ni químicamente ni biológicamente), además tienen la característica de bioacumularse y biomagnificarse (se refiere a la acumulación en organismos vivos alcanzando concentraciones significativas y esta acumulación sigue en aumento a medida que ascendemos en la cadena trófica), provocando efectos tóxicos en el medio ambiente (Barcelo.J. *et al.*, 1992)

Uno de los sectores más preocupantes por la contaminación con metales es el Sector agrícola ya que los fertilizantes son aplicados directamente al suelo y la mayoría de ellos contienen un porcentaje de algún mineral que en exceso que contiene metales pesados.

### **II.1.3. Contaminación por la Industria Agraria.**

Desde los años cuarenta el uso de agroquímicos ha ido en aumento de manera continua, según la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Bienes.A. *et al.*, 2014) se han utilizado más 3,013x10<sup>6</sup> toneladas de agroquímicos para la producción agrícola mundial. También se ha observado una tendencia de disminución por parte de países desarrollados, sin embargo, en países subdesarrollados el uso sigue siendo alto. Se estima que solo el 0.1% de los

agroquímicos son aprovechados debido a la mala práctica en la aplicación y el resto de los agroquímicos, son arrastrados por aguas de riego a través de la geósfera hasta llegar a los mantos acuíferos superficiales y subterráneos, contaminando los ecosistemas (Horto,E., 2017). China ocupa el primer lugar en consumo de agroquímicos, seguido por Argentina y México (Aguilar.A. *et al.*, 2007)

Dentro de los contaminantes presentes en los agroquímicos se encuentran los compuestos orgánicos (fosfatos, fosfonatos, tiofosfatos y tiofosfonatos e inorgánicos (cromo, cobalto, plomo, níquel, nitratos, compuestos clorados, amonio) generalmente estos contaminantes se terminan acumulando en el suelo y las fuentes de agua.

#### **II.1.3.1. Contaminación de aguas subterráneas**

Los contaminantes pueden acumularse inicialmente por encima de los niveles del suelo agrícola, con el tiempo la aplicación continua de agroquímicos que contienen varios metales pesados potencialmente tóxicos, pasará a emigrar a suelos más profundos a causa de lixiviados generados por las lluvias o riegos en el suelo (Ordoñez.J., 2011).

El uso de aguas subterráneas hace que este recurso sea fundamental para las actividades humanas. La agricultura tiene efectos directos e indirectos sobre la química de aguas subterráneas en los pozos (Jalali,F., 2009).

La contaminación de las aguas subterráneas puede ser por diversos factores y fuentes como percolación en campos agrícolas o una fuente puntual como sitios de disposición de residuos factores en los que se incluye la naturaleza de la recarga, gradiente hidrológico, tiempo de residencia del agua subterránea en el acuífero y las interacciones roca-agua debajo de la superficie afectando la química del este recurso (Kouping, *et al.* 2007).

### **II.1.3.2. Agua de riego agrícola.**

El desarrollo y crecimiento de las civilizaciones hasta la actualidad han estado asociados al uso del agua y su consumo, el aumento en el uso de este recurso ha sido exponencial, acarreado consigo problemas de contaminación causadas por las actividades antropogénicas. La contaminación tiene diferentes causas, pero cuando esta afecta las aguas dulces se debe a la descarga de materiales hacia un cuerpo de agua natural, el cual sufre efectos adversos en la calidad de vida animal y vegetal presente en el sitio (Mohammad H, 2005).

En el afán de obtener mejores rendimientos en la producción de alimentos para el consumo humano, el hombre ha utilizado sustancias para el control de plagas y malezas en los cultivos, así como la sobre explotación de los recursos hídricos, tales como lagunas, estanques, ríos, pozos y aguas subterráneas, gracias a esto se ha logrado ampliar el horizonte agrícola, con forme a la demanda de alimentos para la población en constante crecimiento (Mohammadi.H. *et al.*, 2011).

La presencia de metales pesados, como plomo, níquel, cadmio, mercurio, arsénico, cromo y manganeso, presentes en aguas residuales para riego tiene la problemática de que estos metales pueden ser acumulados en los suelos agrícolas y resultan peligrosos por su carácter no biodegradable, ejerciendo fitotoxicidad en diferentes cultivos y su biodisponibilidad para la vida terrestre en plantas, animales y el suelo (García.M. *et al.*, 2012).

### **II.1.4 Suelo.**

En su significado tradicional, el suelo es el medio natural para el desarrollo de plantas terrestres, ya sea que tenga o no horizontes discernibles (Rucks.L. *et al.*, 2004). Algunos suelos son formados por medio de técnicas, de conservación como: terrazas o curvas a nivel que tienen como principal objetivo, la conservación y recuperación de los suelos a causa del deterioro por erosión de aire, agua o viento, estos suelos por sus características no tienen un origen natural y se clasifican como suelos antropogénicos, que dependiendo de sus características fisicoquímicas se

pueden clasificar, y caracterizar en funcionamiento de las concentraciones de arena, limo y arcilla.

El suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua. Las plantas y animales que crecen y mueren dentro y sobre el suelo son descompuestos por los microorganismos, transformados en materia orgánica y mezclados con el suelo.

El tamaño de las partículas minerales que forman el suelo determina sus propiedades físicas: textura, estructura, porosidad y el color. Según su textura podemos distinguir tres tipos de suelos: arena, limo y arcilla. La arena es la que existe en los diversos ríos. Los suelos arenosos, como son más sueltos son fáciles de trabajar, pero tienen pocas reservas de nutrientes aprovechables por las plantas (Fernandez.R., 2005). Los suelos limosos tienen gránulos de tamaño intermedio son fértiles y fáciles de trabajar. Forman terrones fáciles de desagregar cuando están secos. La arcilla son partículas muy finas y forman barro cuando están saturadas de agua. Los suelos arcillosos son pesados, no drenan ni se desecan fácilmente y contienen buenas reservas de nutrientes. Son fértiles, pero difíciles de trabajar cuando están muy secos.

Cada textura de un suelo describe el comportamiento en cuanto a su fertilidad, retención de humedad y grado de contaminación, ya que algunos retienen o infiltran mayor cantidad de contaminantes ya sea hidrocarburos, fertilizantes o metales (Matus.F. *et al.*, 2000).

#### **II.1.4.1. Formas de Retención y Disponibilidad de los Metales en el Suelo.**

Los metales pesados pueden presentarse en el suelo bajo diferentes formas:

- Solubles en la solución de suelo.
- Como iones intercambiables de los coloides que integran el complejo de cambio.
- Formando complejos con la materia Orgánica.
- Absorción en los óxidos e hidróxidos de Fe, Mg y Al, sulfuros y fosfatos.

- Como constituyentes de los minerales secundarios de los suelos. (Pérez-Martínez I., 2019)

Los metales pesados pueden ser retenidos en los suelos de distinta forma, cada una de las formas de retención representan el grado de disponibilidad relativa para las plantas (ver tabla 1).

**Tabla 1 Formas químicas de los metales en el suelo y su disponibilidad relativa para las plantas. Fuente: [www.infoagro.com](http://www.infoagro.com)**

Formas de retención en el suelo	Disponibilidad relativa
Ión en la disolución del suelo	Fácilmente disponible
Ión en complejo de intercambio orgánico o inorgánico	Disponible
Metales complejados o quelatados por compuestos orgánicos	Menos disponible
Metal precipitado o coprecipitado	Disponible sólo si ocurre un alteración química
Incorporado en la matriz biológica	Disponible después de la descomposición
Metal en la estructura mineral	Disponible después de la alteración mineral

Existen factores que afectan la disponibilidad de los metales en el suelo entre las cuales se encontramos propiedades físicoquímicas presentes en este recurso, como el pH, textura, las condiciones de óxido reducción, el contenido de materia

orgánica, la capacidad de intercambio catiónico entre otros elementos (Francisco.L., 2008).

### **II.1.5. Comportamiento de los contaminantes en el sistema suelo-planta.**

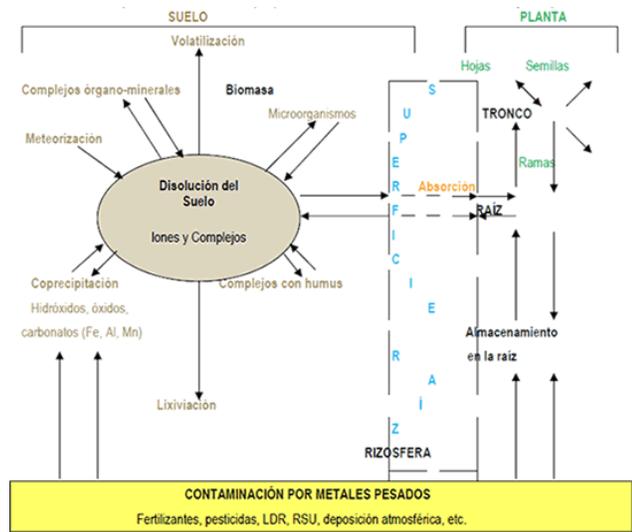
El sistema suelo-planta se considera un sistema abierto, que se encuentra sujeto a contaminantes, fertilizantes y pesticidas, y también a pérdidas, mediante lixiviación, erosión o volatilización.

Ordoñez R. *et al.*, en 2005 Clasifica la movilidad de los metales contaminantes, en cuatro diferentes vías (Ordoñez.R. *et al.*, 2005):

1. Quedar retenidos en la solución del suelo o bien, fijos por la adsorción, complejación y/o precipitación con los componentes del suelo.
2. Ser absorbidos por las plantas e incorporarse a las cadenas tróficas.
3. Pasar a la atmósfera por volatilización.
4. Movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas.

Cuando un contaminante se incorpora al suelo puede desencadenarse una serie de procesos físicos, químicos o biológicos que condicionan los efectos que éste puede causar no sólo sobre el sistema suelo sino también sobre el resto de compartimentos ambientales y, sobre la cadena trófica, por ejemplo: si se tiene un suelo contaminado con metales y se encuentran las propiedades fisicoquímicas adecuadas este metal pesados puede ser absorbido por las plantas que crecen en ese suelo ya sea como pastos, arbustos o árboles, que posteriormente servirán de alimento para los animales.

En la producción de ganado, algunos animales (bovino y caprino) al realizar el pastoreo pueden consumir pastos contaminados con metales pesados que se acumulan en su organismo y estos animales son utilizados para el consumo de su carne, iniciando así el ciclo de la cadena trófica (ver figura 1).



**Figura 1. Dinámica de los metales pesados en el sistema suelo-planta.** [www.infoagro.com](http://www.infoagro.com)

## II.2. Pastizales.

En México la ganadería extensiva se realiza principalmente en el centro y norte del país, donde el ecosistema predominante para estas regiones son el árido y semi árido, el cual abarca principalmente los estados de Chihuahua, Durango, Coahuila, Zacatecas, San Luis Potosí y Nuevo León. Los pastos nativos de México son: Banderita (*Bouteloua curtipendula*) y Navajita (*Bouteloua gracilis*) existiendo una gran diversidad. Los pastos Banderita y Navajita son la principal fuente de alimento para el ganado de pastoreo, estos pastos aun senescentes, tienen la característica de tener buena calidad forrajera respecto a pastos de origen africano (ver figura 2). Pasto Banderita Diana y Navajita Cecilia, variedades de temporal para zonas semiáridas.



**Figura 2. Pasto (a) Banderita y (b) Navajita.** Fuente: <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/998.pdf>

### **II.2.1. Desarrollo de pastizales con influencia de contaminantes.**

Villa en 2011, menciona que el desarrollo de pastizales no se ve afectado por los contaminantes que estén presentes en los suelos, para el crecimiento de los pastos (*Bouteloua curtipendula*) y (*Bouteloua gracilis*) la presencia de metales tiene un efecto positivo en la producción de biomasa, y cobertura vegetal, pero se produce un efecto negativo en la riqueza de las especies, así como las propiedades nutricionales de los pastos. El contenido de metales pesados puede inhibir la actividad microbiana en el suelo y producir cambios en la composición de los pastos (Abaye O., *et al.*, 2005 y Bhattacharyya G., *et al.*, 2008).

Los elementos traza esenciales como Cu, Ni, Zn pueden alcanzar niveles fitotóxicos, si están altamente disponibles en el suelo. La toxicidad depende del pH, factores ambientales como la temperatura y la humedad del suelo (Epstein R., 2003), concentración de metales. Por ejemplo, el Cu, Ni y Zn retardan el crecimiento de la planta e inhiben la translocación del hierro, causando deficiencia de hierro y se presenta clorosis en la planta. Solo los metales en solución están disponibles para las plantas ya sea como iones libres, pares iónicos inorgánicos o complejos orgánicos disueltos (Villa.M., 2011).

### **II.2.2. Biodisponibilidad de metales en la planta.**

Los metales pueden entrar a la planta por las raíces por diferentes mecanismos (Niye.D. *et al.*, 1977):

- Intersección del metal por contacto de la raíz con la fase sólida del suelo.
- Movimiento pasivo de metales por flujo de masa promovido por la transpiración.
- Absorción activa del metal contra un gradiente electroquímico.
- Transferencia simbiótica entre la raíz y los microorganismos asociados, principalmente hongos.

Las asociaciones simbióticas con hongos (micorrizas) no han sido suficientemente estudiadas pese a su presencia en el 92% de las plantas terrestres; su papel funcional en la absorción de metales pesados es poco conocido (Finlay, F., 2008). Por lo tanto, los mecanismos más importantes en la absorción de metales en las plantas son a través de la difusión, quelatación y complejación lo cual distingue al transporte pasivo del activo (Barber, H., 1995).

### **II.2.3. Absorción.**

La biodisponibilidad o toxicidad de un metal se relaciona a la actividad de ion libre en solución. La tasa de absorción de un metal se ajusta a la ya conocida cinética enzimática de Michaelis Menten, de acuerdo al modelo a baja concentración la absorción del metal por las plantas es generalmente lineal, al aumentar la concentración la tasa de absorción decrece debido a la saturación, de los sistemas celulares (Brownt.T., *et al*, 1998). Por otra parte, el control de la absorción depende de la fisiología de la planta y la capacidad adsorptiva del suelo, por lo tanto, de los factores que controlan las propiedades del suelo (Logan.P., *et al*, 1997. La temperatura y la humedad del suelo afectan el flujo de masa hacia la raíz y, con ello la absorción de metales. (Antobiadis.A., 2001,) mostraron que la absorción de Cd, Ni y Zn utilizando como cultivo *Lolium perenne* fue mayor a 25°C que a 15°C ya sea debido a mayores coeficientes de transferencia (Ca, Zn, Ni) o debido a una mayor descomposición de materia orgánica. Al irse secando el suelo, los metales en

solución se concentran y precipitan o son adsorbidos por los coloides del suelo reduciendo su absorción (Behra.C., *et al*, 1999).

(Chaney.X., 1980), señala que debido a que cada metal tiene solubilidad diferente en la solución del suelo, y diferente capacidad de ligamento en la fase sólida, no son, digeridos ni traslocados de igual manera por las plantas.

#### **II.2.4. Acumulación de metales en la planta.**

En suelos contaminados, una alta concentración de metales llega a la raíz desde la solución del suelo por flujo de masa. Por ejemplo, la biodisponibilidad y acumulación de Cd es posible por un efecto competitivo con el Zn, o por complejación con la materia orgánica disuelta (McLaughin, S., *et al*, 2006).

(Villa.M., 2011), menciona que la acumulación de metal en la planta suele ser más común en raíces u hojas que en los frutos o granos. La acumulación de cadmio en 12 especies comestibles seleccionadas cultivadas en varios suelos tratados con biosólidos, presentaron variación con las especies y el tejido de cereales y leguminosas acumulan menos cadmio en follaje que vegetales de hoja como la lechuga

La mayoría de estos cereales y vegetales son para consumo humano y forraje para la industria ganadera, hoy en día la producción agrícola contiene un porcentaje mínimo de metales que son absorbidos por las plantas ya sean frutos, verduras y forrajes que consumen animales y humanos, formando parte de la cadena trófica.

#### **II.3. Pastoreo de ganado.**

En los sistemas de producción ganadera en zonas áridas y semi áridas de los estados de San Luis Potosí, Durango, Zacatecas, Coahuila y Nuevo León, la alimentación del bovino se basa en el pastoreo en zonas de pastizal o agostadero el cual constituye el principal recurso con el que cuenta el productor pecuario pues de él depende la alimentación y subsistencia de su ganado (Cervantes.F. *et al.*, 2014).

Por lo general la disponibilidad del forraje es cambiante durante el transcurso del año, lo que provoca que los rumiantes, tengan variaciones en la calidad y cantidad de su alimentación, esto trae como resultado el cambio constante de la nutrición del animal. En los agostaderos la disponibilidad de forraje suele ser adecuada durante pocos meses del año generalmente entre los meses de lluvia que corresponden entre junio y noviembre, mientras que el resto del año la disponibilidad de forraje es baja (Hidalgo.G., 1991).

### **II.3.1. Sistema Digestivo en Rumiantes.**

Los rumiantes son animales, que tienen un sistema digestivo muy curioso y único, su sistema es muy especializado y gracias a ello consiguen extraer la mayor cantidad de energía de los vegetales en una alimentación totalmente herbívora. Las vacas, ovejas y cabras forman parte del grupo denominados rumiantes, que se caracteriza por fermentar las fibras de vegetales para obtener los precursores de energía (Reyes.A. *et al.*, 1995). La anatomía del sistema digestivo de rumiantes está compuesta de principio a fin por la boca; la lengua; las glándulas salivales, que producen saliva para regular el pH de la panza; el esófago; el estómago que tiene cuatro compartimientos (los cuales son el rumen, retículo, el omaso y el abomaso); el páncreas; la vesícula biliar; el intestino delgado y el intestino grueso.

Un rumiante puede dar entre 25000 y 40000 mordidas diarias a su alimento en la cavidad bucal. La saliva ayuda a masticar y tragar, además esta se compone de enzimas que ayudan a la descomposición de la grasa (lipasa salival) y el almidón (amilasa salival). Las funciones más importantes de la saliva es amortiguar el pH en el retículo y el rumen (Reyes.A. *et al.*, 1995).

### **II.3.2. Asimilación de nutrientes en rumiantes.**

La producción ganadera depende de factores exógenos (dieta, clima, etc.) y endógenos (aspectos fisiológicos y metabólicos.) Los procesos que se generan en el sistema rumial otorga al animal más del 60% de la energía que el animal utilizara para su mantenimiento y producción, y entre el 60 al 80% de la proteína necesaria para el crecimiento y producción (García.J. *et al.*, 1969).

Todo alimento (forraje o concentrado) está constituido por distintas fracciones: los carbohidratos, las proteínas, los lípidos, vitaminas, minerales y agua (Blanco.M., 1999).

Los carbohidratos se dividen en dos grandes grupos: estructurales (celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina) y no estructurales (almidón, carbohidratos solubles, etc.)

La celulosa digestible que puede ser fermentada en el ciego y colon varia de un mínimo de 5% a un máximo de 29% (Danelon.L. *et al.*, 1988) dependiendo del tipo de forraje, procesamiento, nivel de consumo.

La hemicelulosa es otro componente de la pared vegetal, está constituida por cadenas de xilano unidad a moléculas de glucosa, fructosa, galactosa y arabinosa. Este complejo químico no es soluble en agua y constituye el 30 al 40% del total de los hidratos de carbono totales (Rinehart.L., 2008).

La pectina representa menos del 10% de los constituyentes de la pared celular, es totalmente digestible, y está formada por cadenas ramificadas de ácido galacturónico.

La lignina es un polímero, es indigestible y altamente resistente a la mayoría de los agentes químicos. Las leguminosas se caracterizan por tener mayor proporción de lignina que las gramíneas (Fernández M., 1998). Los microorganismos que atacan la lignina son aeróbicos, siendo el ambiente ruminal eminentemente anaerobio. Por lo tanto, la fermentación de la lignina es extremadamente baja, y su presencia constituye una especie de barrera física para la fermentación microbiana de la celulosa y hemicelulosa.

El almidón es el principal constituyente del endospermo de los granos, variando su proporción de acuerdo al tipo de grano y a otros factores de la planta. El almidón puede ser degradado tanto a nivel ruminal transformándolo en Ácidos Grasos Volátiles o en el intestino delgado por acción de las enzimas del animal, siendo el producto absorbido, glucosa. El sitio de digestión del almidón varía en función del

tipo de almidón que se proporciona en la dieta, nivel de consumo, edad del animal (Armstrong. S., 1979). Por las propiedades y contenido de materia orgánica (M.O.) los desechos digestivos de los rumiantes (estiércol), pueden ser utilizados como fertilizante en producciones agrícolas, después de una serie de tratamientos, con microorganismos, que ayuden a estabilizar, las propiedades de los desechos y sean aptos para los cultivos.

### **II.3.3. Estiércol como contaminante ambiental.**

El estiércol se define como una mezcla de materias orgánicas descompuestas que se utiliza como abono para la tierra, resultante de los desechos digestivo del animal (Botlle. E., 2021).

El estiércol en las granjas disemina patógenos, en el ambiente por diferentes rutas mediante la aplicación de tierra como fertilizante, por las corrientes de agua que lo arrastran durante las tormentas o mediante el viento y por derrames de las lagunas o estanques de almacenamiento. Los granjeros producen más desechos de los que pueden aplicar al campo y una vez alcanzado el punto de saturación en el suelo, los desechos fluyen en corriente alcanzando los cuerpos de agua, pudiendo conducir a un serio daño ambiental y peligro para la salud humana (Acevedo.I. et al., 2017).

El uso del estiércol como fertilizante es una de las practicas más antiguas en la agricultura; sin embargo, la aplicación continua incrementa el riesgo de contaminación. Su aplicación es principalmente empírica y combina trabajo de campo con las regulaciones del marco regulatorio de México. Se encontró que una práctica común en la comarca lagunera es la aplicación de hasta 150 ton/ha de estiércol al suelo, sin un tratamiento previo.

El estiércol normalmente se ha considerado como un producto de desecho de la producción ganadera; sin embargo, este residuo puede tener una segunda oportunidad para utilizar los nutrientes que no han sido utilizados por el animal. Siempre y cuando haciendo una correcta aplicación de este material ya que el uso

inadecuado puede tener consecuencias ambientales nefastas, que ponen el aire, el agua y los recursos de suelo en situación de riesgo (Lincoln. N., 2009).

La digestión anaerobia del estiércol produce gases en su mayoría metano (60%), bióxido de carbono (39%) y trazas de óxido nitroso (0.2%) (Bekkering.J. *et al.*, 2010)

El suelo puede ser seriamente afectado por el estiércol si contiene concentraciones altas de (nitrógeno y fósforo), microorganismos patógenos (*E. coli*), antibióticos y compuestos que interactúan con el sistema endocrino, (hormonas esteroides, fitoestrógenos, plaguicidas y herbicidas (Powers. W., 2009).

Para poder utilizar estiércol como fertilizante es necesario aplicarle un tratamiento que estabilice sus propiedades con ayuda de procesos de bio-fermentación o sistemas de compostaje donde los microorganismos tienen un papel fundamental para su estabilización.

#### **II.4. Organismos Superiores o Macro Organismos.**

Existen microorganismos que desempeñan un papel muy importante para el medio ambiente, estos seres vivos están clasificados por su tamaño y se les denomina, organismos de tamaño medio a los escarabajos, arañas, lombrices, hormigas, moscas e insectos y organismos grandes a los mamíferos, peces, aves, reptiles entre otros. Estos individuos tienen como principal propósito el degradar compuestos contaminantes a compuestos simples, su aplicabilidad es de amplia gama considerando como objeto de trabajo cada uno de los estados de la materia, abarcando todo tipo de contaminante (Pedraza.R. *et al.*, 2010).

La acción que ejercen los animales al incorporar los contaminantes que se encuentran en los alimentos que consumen, forman parte de la cadena trófica, y crean procesos de interacción llevándose a cabo la descomposición de material vegetal dentro de los aparatos digestivos, a su vez los desechos fecales de la fauna estimulan la interacción de organismos trayendo como resultado la degradación de los materiales tóxicos que puedan estar presentes en el sitio.

La macrofauna cumple diversas funciones en los procesos del suelo tales como:

- La utilización de cantidades significativas de materia orgánica del suelo (MOS) para producir estructuras biogénicas (Lavelle. M. *et al.*, 2001).
- La regulación de la actividad de microorganismos y otros pequeños invertebrados incluidos en sus “dominios funcionales” (conjunto de estructuras biogénicas que la macrofauna crea en el suelo y los organismos que allí habitan) (Lavelle. M. *et al.*, 2001).
- Mantenimiento de las propiedades físicas del suelo, (Mangurran *et al.*, 1999; Blanchart. O. *et al.*, 1997).
- Regulación de la dinámica de la MOS en diferentes vías en una escala de tiempo, desde horas y días hasta meses, años y décadas (Martín, 1986; Parmelee. A. *et al.*, 1998).
- Acelera el proceso de mineralización durante el tránsito por su intestino y a menudo estimula la producción de plantas a través de la liberación y asimilación de nutrientes y a través de numerosas interacciones (Elvira. B. *et al.*, 1998).

#### **II.4.1. Lombriz.**

Las lombrices por sus características fisiológicas son consideradas aptas para procesos de degradación de contaminantes en material vegetal y regeneradoras de suelos, entre ellas encontramos, *Allopora Caliginosa* (lombriz de campo) la cual es útil en la agricultura, pero su reproducción es muy escasa, también tenemos a *Dendrobaena alpina* (lombriz de lodo) esta vive asociada con la *Eisenia foetida* (lombriz roja Californiana) conocida como lombriz de lodo y tiene una característica muy peculiar por su alto índice de reproducción, por eso es considerada una de las especies con más valor agropecuario.

Ccasani en 2012 define a la lombriz *Eisenia foetida* (Ccasani. M. *et al.*, 2012) como una especie epigea, vive en la superficie del suelo y se alimenta de materia orgánica en proceso de descomposición (restos vegetales, heces de animales, etcétera); esta especie tiene un tamaño de 1 mm hasta 12 cm de longitud, posee un gran

aparato digestivo que puede consumir, digerir y asimilar la materia orgánica, lo que le permiten adaptarse a diversas condiciones del suelo. Las temperaturas para su óptimo desarrollo oscilan entre 15° C y 26° C, con una humedad entre 70% y 85 %, puede llegar a vivir hasta 16 años; esta variedad es hermafrodita y necesita al menos otra lombriz para reproducirse generando un huevecillo cada 21 días con un número de crías de entre 6 hasta 12 lombrices por cocón (huevecillo).

Todo su cuerpo es un intestino donde se mezclan los componentes orgánicos y los minerales del suelo con los jugos gástricos hasta producir agregados estables. Así se origina el conocido complejo arcillo-húmico (Kokta. G., 1992).

Zapata. I., 2016 menciona que el procesamiento de contaminantes se lleva a cabo a través de las secreciones mucilaginosas y la transformación de materia orgánica, las lombrices incrementan la actividad microbial y la disponibilidad de nutrientes, de igual manera se sabe que las lombrices estimulan a las bacterias, hongos y especies relacionadas con la degradación del pentaclorofenol.

La lombriz tiene la capacidad de asimilar elevadas concentraciones de algunos compuestos protóxicos y metales (Cu, Fe, Cd, Pb y Zn) sin observarse síntomas aparentes de intoxicación a corto plazo (Martínez. L. et al., 2017), la interacción de lombrices en conjunto con hongos, bacterias y levaduras en un suelo contaminado con mercurio demostró un crecimiento exponencial de la población de los microorganismos, así como la degradación y asimilación de (Hg) demostrando una importancia simbiótica entre *Eisenia foetida* y los microorganismos (Cuevas. M. et al., 2012).

Las lombrices juegan un papel importante en el ambiente, más específico en el suelo ya que ayudan en procesos de formación de suelo e infiltración de agua, asimilan materia orgánica y minerales dejándolo disponible para la absorción de plantas. Se ha descubierto que las especies de lombrices de tierra, como *Eisenia foetida*, *Lumbricus terrestris*, y *Allobophora chlorotica*, estas variedades eliminan contaminantes del suelo, como metales pesados, plaguicidas e hidrocarburos

policíclicos aromáticos (Tejada.M. *et al.*, 2011), en la tabla 2 se presenta la taxonomía de la lombriz utilizada en este trabajo (ver figura 3).

**Tabla 2. Taxonomía de *Eisenia foetida*.** <https://agrotendencia.tv/agropedia/lombricultura/>

Reino	Animal
Subreino	Metazoos
Phyllum	Protostomados
Grupo	Anélidos
Orden	Oligoquetos
Familia	Lumbricidos
Genero	<i>Lumbricus, Eisenia</i>
Especies	<i>Lumbricus terrestres</i> (Lombriz de tierra común) <i>Eisenia foetida</i> (Lombriz roja Californiana) <i>Eudrillus eugnie</i> (Lombriz Africana)

#### II.4.2. Cabeza de *Eisenia foetida*.

En la cabeza de esta lombriz se encuentra la boca que utiliza para ingerir sus alimentos, comen alrededor del 90% de su peso diario cabe mencionar que la lombriz carece de dientes e ingiere sus alimentos movilizándolo directamente la materia por la faringe para posteriormente pasar al esófago (ver figura 3), según como todo sistema digestivo, los alimentos que no son procesados y que están mezclados con el fango o pantano son excretadas a través del ano, que es cuando expulsan el llamado humus (mezcla de fango con materia orgánica) (Compagnoni.L. *et al.*, 2018).



**Figura 3. Cuerpo de una Lombriz. *Eisenia foetida*.** <https://es.slideshare.net.>

### II.4.3. Anillos *Eisenia foetida*.

Las lombrices están formadas por una serie de anillos tanto en su exterior como en su interior (ver figura 4), algunos rodean su cuerpo y otros se encuentran de manera longitudinal por todo el cuerpo estos anillos tienen diferentes funciones, como ejemplo es la reproducción, esta se da por la interacción de dos especímenes, ya que las lombrices son hermafroditas. Los anillos son externos y tienen la finalidad de poder brindar la movilidad además de que la piel que los rodea es un medio para respirar, los anillos internos están compuestos de músculos y estos están a lo largo del cuerpo de la lombriz y forma parte de la estructura interna del cuerpo.



**Figura 4. Cuerpo Anillado *E. foetida*.** <https://planetavivo.cienradios.com/la-lombriz-de-tierra-el-animales-que-tiene-10-corazones-entre-sus-anillos/>

### II.4.4. Aparato digestivo de *Eisenia foetida*

La lombriz posee un aparato digestivo sumamente complejo para un animal de su tipo. Los alimentos entran por la boca para luego pasar a la faringe que mediante los músculos son movidos al resto del sistema. Putzulu L. en 2018, menciona que el aparato digestivo cruza todo el cuerpo longitudinalmente, en la parte anterior existen zonas diferenciadas como el buche y la molleja esta última muy musculada la cuales son las zonas de mayor importancia en la digestión de alimentos.

Una de las principales características de la lombriz es que absorben alimento muy poco nutritivo e incluso absorben la tierra para utilizar las partículas alimenticias que esta pueda contener. Aristóteles definió a este animal como “el barrendero del mundo” su función principal es la transformación de las proteínas de los vegetales, animales y excrementos en nutrientes que enriquecen al suelo. Hay que tener en

cuenta que los animales no asimilan por lo general más del 20%-40% de las proteínas ingeridas. Putzulu L. también menciona que el aparato excretor de la lombriz está formado por un par de nefridios en cada segmento, que son unos simples tubos comunicados con el exterior cuyo cometido es eliminar los productos de desecho (ver figura 5) (Putzulu. L. *et al.*, 2018).



**Figura 5. Aparato Digestivo *E. foetida*.**  
<https://www.pinterest.es/pin/753227106403561842/>

#### II.4.5. Sistema Nervioso *Eisenia foetida*.

El sistema nervioso de este animal invertebrado se compone por los ganglios supra faríngeos los cuales funcionan como una especie de cerebro y el cordón ventral también compuesto por ganglios que pasa por debajo de la porción digestiva (ver figura 6). Melendez M. en 2002, menciona que las lombrices solo poseen el sentido del tacto y, si bien su sistema nervioso es bastante simple, su funcionamiento y capacidad depende de cada especie. Aunado a esto se sabe que la lombriz es fotofóbica, es decir huye de la luz, aunque carece de ojos puede percibir la más leve luminosidad (Meléndez. M., 2002).

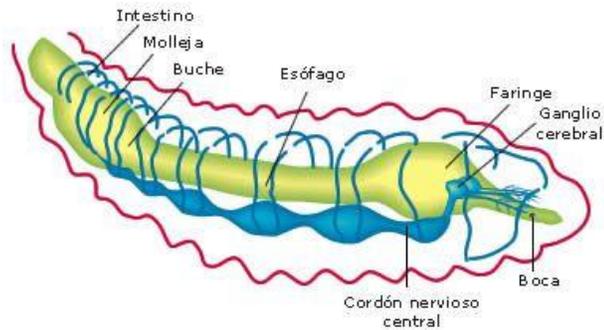


Figura 6. Órganos de *E. foetida*. <https://www.pinterest.es/pin/753227106403561842/>

#### II.4.6. Sistema circulatorio *Eisenia foetida*.

El cuerpo de la lombriz es recorrido por completo por un sistema circulatorio compuesto por diferentes tipos de vasos sanguíneos que se conectan entre sí de manera transversal estos vasos pueden ser dorsales o ventrales.

El vaso sanguíneo dorsal es el verdadero corazón de la lombriz, mientras que los ventrales que son cuatro se encargan de llevar y distribuir la sangre. La sangre de la lombriz se enriquece con el oxígeno que adquieren de la humedad por medio de la piel que recubre el cuerpo, además de las partes ya señaladas, hay membranas protectoras y lubricantes (ver figura 7).

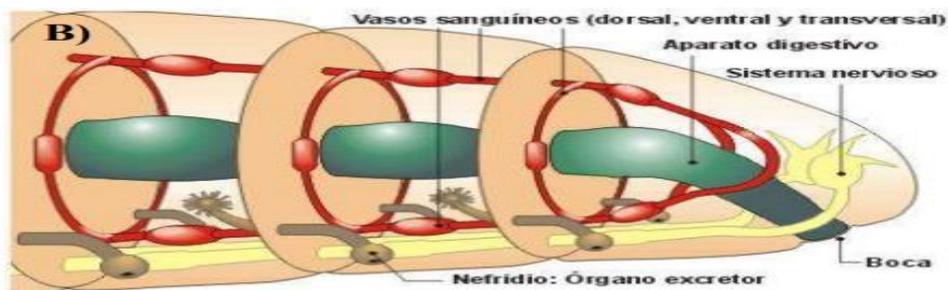


Figura 7. Órganos excretor de *E. foetida*. (Vázquez. P., 2020)

#### II.4.7. Reproducción de *Eisenia foetida*.

Como es hermafrodita incompleta, la lombriz no puede auto fecundarse y debe realizar un apareamiento con otra lombriz para reproducirse dando como resultado dos huevecillos (cocones) una por cada lombriz (ver figura 8), Rivas R. 2021

menciona que cada cocón o capsula puede llegar a tener de 2 a 20 lombrices, y eclosionaran de 12 a 20 días según las temperaturas del medio donde se ubiquen (Rivas.R., 2021), la fecundación se lleva a cabo a través del clitelo, cuyas glándulas producen el capullo o capsula de color amarillo, de 3 a 4 milímetros. La actividad sexual de la lombriz disminuye con altas temperaturas superiores a 30°C o a temperaturas menores de 20°C siendo las temporadas de lluvia más favorables para la reproducción, la lombriz logra su madures sexual a los tres meses, llegando a ser considerada adulta a los siete meses de vida. La actividad de digestión y procesamiento de material vegetal o materia orgánica es un complejo sistema de compostaje biológico, con excelentes resultados.



**Figura 8. Apareamiento de Lombriz. (Rivas.R., 2021)**

## **II.5. Compostaje**

El compostaje es una técnica que resulta de la descomposición controlada de residuos, orgánicos, rastrojo, ramas, residuos de comida etc., así como residuos contaminados, esta técnica se lleva a través del proceso de fermentación a cargo de bacterias, hongos y otros microorganismos que convierten la materia orgánica en un producto estable y rico en nutrientes.

Para llevarse a cabo estos procesos intervienen diferentes agentes:

- Microscópicos: como bacterias, microorganismos y hongos.

- Macroscópicos: lombrices, hormigas, babosas, u otros animales que degradan el material vegetal.

## **II.6. Lombricultura.**

La lombricultura consiste en la crianza y el manejo de lombrices en condiciones de cautiverio y su finalidad primordial es la de obtener el producto de sus excretas comúnmente llamado humus de lombriz y las lombrices como fuente de proteína (Fragoso.C. *et al.*, 2009).

La lombricultura es un proceso biotecnología que utiliza, especies domesticadas de lombrices, como herramienta de trabajo, recicla todo tipo de materia orgánica obteniendo humus y harina de lombriz (de la carne de la lombriz) (Schuldt. M., 2006).

La Lombricultura en la producción agrícola, comenzó a desarrollarse a principios de la década de los 80`s en México, con la finalidad de incrementar la calidad de muchos suelos agrícolas o recuperar zonas degradadas, ésta también disminuye la contaminación de las aguas que provocan los vertidos indiscriminados de materia orgánica, la adopción de esta técnica de crianza y domesticación de la lombriz se aprovechó por la necesidad de obtener fertilizantes a un costo bajo en áreas rurales, en comparación con los fertilizantes químicos (Tiznado.M., 2016).

La implementación de un centro de lombricultura o lombricomposta, se lleva a cabo a través de varios procesos, como primer paso tenemos que verificar que se cuenten con los materiales necesarios, posterior a esto se establecerá la cama, cajón o recipiente donde se almacenara la composta, este soporte debe contar con un sistema recolector de líquidos, se procede a colocar, una pequeña cama de estiércol dentro del recipiente, se agrega agua para humedecer el estiércol, después se colocan las lombrices en la cama previamente humedecida y se cubre con otra porción de estiércol húmedo, es importante mantener la humedad constante, y regar la cama de estiércol para asegurar que las lombrices estén a condiciones adecuadas de humedad, el agua sobrante caerá dentro del recipiente

de recolección, después de recircular los lixiviados durante el proceso que dure el centro de compostaje que puede ser de 16 días a 90 días, se obtendrá el fertilizante y la composta se podrá utilizar como abono en los cultivos, cuando las lombrices hayan procesado todo el material, el cual presentará características físico-químicas específicas como pH, que tiene que estar en un rango de 6.5 a 8.3, conductividad eléctrica en rangos de 0.5 dS/m a 12 dS/m, materia orgánica en  $\geq 20\%$ , carbón orgánico mínimo al 10% entre otras características (NMX-AA-180-SCFI, 2018).

El fertilizante y el abono se pueden obtener con diferentes residuos orgánicos, su producción tiene un gasto económico muy bajo, y el producto final lo tendremos listo en poco tiempo, en un rango de 16 días a 90 días.

Los residuos orgánicos frescos como plantas verdes (o inmaduras) se pueden incluir como la poda de árboles y hierba. Así mismo se incluyen desperdicios de cocina. También se puede pensar en alfalfa y otros pastos, el estiércol está considerado como materia fresca, es un fertilizante orgánico por excelencia debido a su alto contenido en nitrógeno y en materia orgánica. Se ha utilizado desde la antigüedad para aprovechar los residuos del ganado y también, restaurar los niveles de nutrientes de los suelos agrícolas. Antes de usar el estiércol como fertilizante, hay que tener en cuenta una serie de cosas (Tortosa.G., 2014).

La materia seca como plantas secas (o maduras) como lo son cereales granos y paja también son aptos para la preparación de compostas, el suelo también es constituyente en la preparación de composta por el contenido de microorganismos nativos que se encuentran en él. Por último, tenemos al agua que nos ayuda a mantener la humedad.

### **II.6.1. Lixiviado de lombriz como fertilizante.**

La materia orgánica resultante de las excretas de lombrices mezclada con agua, dan origen al lixiviado de humus de lombriz (humus líquido) que al aplicarse al suelo o a la planta actúa como fertilizante y mejorador de propiedades fisiológicas en producción de pastos, como mejorador y restaurador de suelos y microorganismos presentes en los suelos.

Es importante mencionar que el uso de este fertilizante, aporta una gran cantidad de beneficios a la hora de cultivar, ya que ayuda a mejorar la estructura del suelo debido a que permite aumentar la retención de líquidos y la aireación, además aporta una gran cantidad de nutrientes y favorece su asimilación, por lo tanto, enriquece el medio de cultivo con microorganismos benéficos que permiten obtener un mayor rendimiento en la producción de pastizales, plantas más fuertes y frutos con mayor uniformidad (Velasquez.J., 2018)

Cabe destacar que este fertilizante no es tóxico debido a que su origen es 100 % natural, por lo tanto, no afecta a las personas, ni a los animales y se degrada fácilmente, esto permite disminuir la contaminación y proteger al medio ambiente. Por otra parte, con éste también es posible generar un ahorro significativo que se ve reflejado en la economía, ya que permite sustituir el uso de los fertilizantes convencionales.

En cuanto a su contenido nutritivo, el lixiviado de lombriz está compuesto por una cantidad importante de minerales como: Azufre, Boro, Calcio, Fósforo, Nitrógeno, Manganeso, Magnesio, Potasio, Sodio y Zinc, algunos en menores cantidades que otros, lo cual ayuda cubrir cualquier tipo de carencia que tengan las plantas, a complementar los nutrientes que ya existen y a evitar la concentración de las sales (Sanchez.A. *et al.*, 2014).

Para su uso se recomienda hacer una dilución, para esto sólo hay que añadir agua al lixiviado para evitar que su alto nivel de concentración quemee a las plantas. Esta fórmula se puede aplicar con ayuda de un atomizador para hacer una mejor distribución del producto, además se puede ocupar para cualquier tipo de hortaliza y en distintas técnicas ya sea cultivo en sustrato por hidroponía o de forma tradicional en tierra (Vázques. P., 2020).

## CAPITULO III.

### JUSTIFICACIÓN

Se han realizado recientes investigaciones a nivel internacional sobre el tratamiento de desechos agrícolas como el estiércol debido a sus propiedades fisicoquímicas que representan una fuente potencial de contaminación, si este se integra al suelo estando fresco genera problemas de almacenamiento en establos o industrias agropecuarias, debido a las grandes cantidades de desechos que generan los animales en la producción ganadera, estos desechos generan gases de efecto invernadero como el metano. Sin embargo, se han utilizado varios métodos de composteo para estabilizar sus propiedades y así no representen una fuente de contaminación al suelo, agua y aire, se han realizado diversos experimentos implementado la técnica de lombricultura que consiste en la crianza y el manejo de lombrices en condiciones de cautiverio y su finalidad primordial es la de obtener el producto de sus excretas comúnmente llamado humus de lombriz y también se pueden utilizar las lombrices como fuente de proteínas.

Otra de las principales características de la lombriz es que absorben alimento poco nutritivo e incluso absorben tierra para utilizar las partículas alimenticias que ésta pueda contener. Aristóteles definió a este animal como “el barreadero del mundo” su función principal es la transformación de las proteínas de los vegetales, animales y excrementos en minerales que enriquecen al suelo.

La producción de composta se puede realizar con diferentes materiales, su producción tiene un gasto económico muy bajo, y el producto final como la composta y el lixiviado se obtiene en poco tiempo y se tendrá disponible para la aplicación en cultivos.

## **CAPITULO IV.**

### **HIPÓTESIS**

Al realizar el tratamiento con la técnica de lombricultura de estiércol caprino y bovino se espera obtener un fertilizante líquido orgánico, que cumpla con las características fisicoquímicas, y pueda ser utilizado en la producción agrícola, para producción de cultivos vegetales.

## **CAPITULO V.**

### **OBJETIVO GENERAL.**

Obtener lixiviados a partir de estiércol de bovino y caprino mediante el proceso de lombricultura utilizando lombriz californiana (*Eisenia foetida*) y evaluar sus características fisicoquímicas para determinar si son aptos como fertilizante para suelos de pastoreo

#### **V.1. Objetivos específicos.**

- Realizar el tratamiento de lombricultura utilizando *Eisenia foetida*
- Obtener el lixiviado de la lombricultura
- Realizar la caracterización físicoquímica del lixiviado.
- Realizar el tratamiento de datos utilizando el software DATAN.

## CAPITULO VI.

### PARTE EXPERIMENTAL

#### VI.1. Equipos, materiales y reactivos:

250 lombrices *Eisenia foetida*, Oxalato de sodio, Ortofenantrolina, Metalisilicato de sodio, Hexametáfosfato de Sodio, H<sub>2</sub>O destilada, H<sub>2</sub>O desionizada E-pure Branstead, HNO<sub>3</sub>, HCl 12M J.T. Baker, Disoluciones buffer de pH 7 y 10, Estándares certificados de Cu, Zn, Ni, Pb, Cr, Cd, Na y K Accu/Stanadr/Accu Trace, Recipiente de unicel capacidad 2 lt., Vasos de precipitado 100, 250 y 500 ml, Vidrios de reloj, Pipetas volumétricas, Pipetas automáticas, Matraces de aforación de 50 y 100 mL, Probeta 50 y 100 ml., Agitador magnético, Pizeta 0.5L, Recipiente de plástico de 1l., Matraz de Kitazato, Espátula, Barilla de vidrio, Embudo Buchner, Papel filtro, Crisol de porcelana, Desecador, Recipientes de aluminio, Termómetro de mercurio, Parrilla de calentamiento y agitación magnética ThermoScientific, Mufla Lindberg-blue, Hidrómetro de Bouyucos escala de, pHmetro HANNA, Balanza OHAUS, Bomba de vacío, Conductímetro, Estufa MAPSA.

#### VI.2. Muestreo

El muestreo se realizó en el rancho La Presita ubicado en Ejido la Presa C.P.25350, en latitud norte 25.3504375, longitud este -100.7054375 en el municipio de Arteaga, Coahuila, México (ver figura 9).

El proceso que se llevó a cabo para la recolección de estiércol, fue el siguiente como primer paso se identificó el área de pastoreo del ganado, y se monitoreo hasta haberse cumplido su jornada de pasta, después de que el ganado termina de pastar se llevan a los establos y se les da agua, al siguiente día, muy temprano por la mañana se acudió al establo para recolectar las muestras de estiércol, del ganado bovino y caprino con las cuales se llevó a cabo del experimento.

Se procedió de acuerdo con las Normas Mexicanas: NMX-FF-109-SCFI-208 "Humus de lombriz (lombricomposta) Especificaciones y Métodos de prueba" y

NMX-AA-180-SCFI-2018, “Establece los métodos y Procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales”.



**Figura 9. Punto de muestreo. (google.mps)**

### **VI.2.1. Obtención de lixiviados de la lombricultura**

Para la obtención de los lixiviados se realizaron siete tratamientos, dos de los tratamientos se utilizaron como testigos (ver tabla 3) y se realizaron 4 repeticiones. Los tratamientos se efectuaron en el período junio – agosto de 2019.

En 28 recipientes de unicel con capacidad de 2 L, se colocó aproximadamente 2 kg de estiércol correspondiente a cada tratamiento (compostaje), posteriormente se saturó con 750 ml de agua para asegurar la humedad de 80% y después de 2 horas el lixiviado inicial que se recolectó se midió el pH inicial, cada recipiente es una pequeña área de lombricomposta de acuerdo a la NMX-FF-109-SCFI-208. La humedad se mantuvo constante a 80%.

**Tabla 3. Composta de los siete tratamientos**

<b>Tratamiento</b>	<b>Composta</b>
<b>1</b>	2 kg de estiércol Caprino al 80% agua, en maseta, con 50 <i>Eisenia foetida</i>
<b>2</b>	1.5 kg de estiércol Bovino y 500gr de Caprino al 80% agua, en maseta, con 50 <i>Eisenia foetida</i>
<b>3</b>	1kg estiércol Bovino y 1kg Caprino al 80% agua, en maseta, con 50 <i>Eisenia foetida</i> .
<b>4</b>	2 kg de estiércol Bovino al 80% agua, en maseta, con 50 <i>Eisenia foetida</i> .
<b>5</b>	1.5 kg de estiércol Caprino y 500gr de Bovino al 80% agua, en maseta, con 50 <i>Eisenia foetida</i> .
<b>6 (Testigo 1)</b>	2 kg de estiércol Caprino al 80 % agua sin <i>Eisenia foetida</i> .
<b>7 (Testigo 2)</b>	2 kg de estiércol Bovino al 80% agua sin <i>Eisenia foetida</i> .

El centro de compostaje se mantuvo durante 45 días, después se recolectaron los lixiviados y se hizo una muestra compuesta con las 4 repeticiones para cada tratamiento.

## **VI.2.2. Caracterización química de los lixiviados**

### **VI.2.2.1. Determinación de pH en lixiviados.**

Para determinar el pH de los lixiviados se utilizó un pHmetro el cual se calibró previamente utilizando dos estándares de pH 7 y 10

### **VI.2.2.2. Determinación de Conductividad eléctrica (C.E.).**

Para determinar la C.E. de los lixiviados se utilizó un conductímetro el cual se calibró previamente utilizando un estándar de KCl 0.1M

### **VI.2.2.3. Determinación de Densidad aparente (Da).**

Se vertió 1L de lixiviado en la probeta, se coloca en un agitador a 150 rpm durante 60 min, después se introduce el hidrómetro de Bouyoucos.

#### VI.2.2.4. Determinación de Materia orgánica (M.O.) y Carbón Orgánico (C.O) en muestras acuosas.

En crisoles de porcelana previamente tarados se pesó 2 mL del lixiviado. Se llevaron a la parrilla de calentamiento hasta sequedad y después a la mufla a 550 °C durante 2 horas. Se enfrían en un desecador y se pesaron en una balanza analítica.

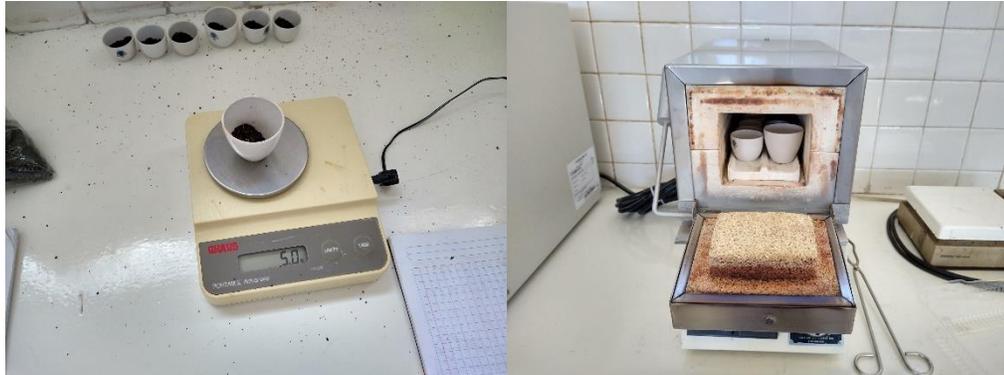


Figura 10. Determinación de M.O C.O. POR Cenizas.

Cálculos

% Cenizas= (peso de crisol con cenizas – peso del crisol tarado) /g de muestra

%M.O.= % de cenizas x 1.724 (Factor Van Benmelen).

$$\%CO = \frac{\% DE M.O.}{1.724}$$

#### VI.2.2.5. Determinación Espectrofotométrica de Absorción Atómica con Flama (EAAF) de metales pesados en muestras acuosas y sólidas.

##### VI.2.2.5.1. Pre-tratamiento de los lixiviados

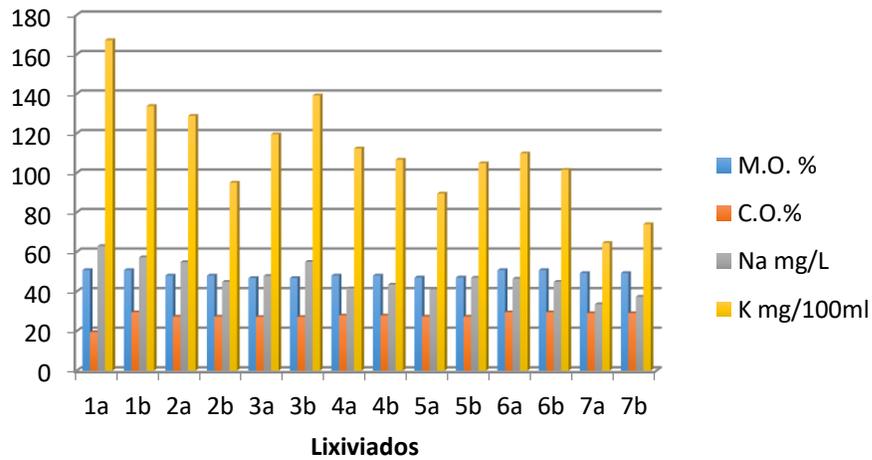
En un vaso de precipitado de 100 ml se colocó una alícuota de 50 ml de lixiviado, se le añadió 3 ml de HNO<sub>3</sub> 16M, se llevaron a la parrilla de calentamiento a reflujo constante hasta reducir su volumen aproximadamente a 15 ml, se añadió 3 ml de HNO<sub>3</sub> 16M y HCl 6M, se filtró y aforó a 50 ml de agua desionizada y se llevan a un Espectrofotómetro de Absorción Atómica con Flama (EAAF) para cuantificar Cu, Zn,

Ni, Cd, Pb, Cr, Na y K. Previo a la cuantificación de cada metal se realizó la curva de calibrado utilizando 5 estándares a partir de un estándar certificado. Se realizaron duplicados de cada lixiviado.

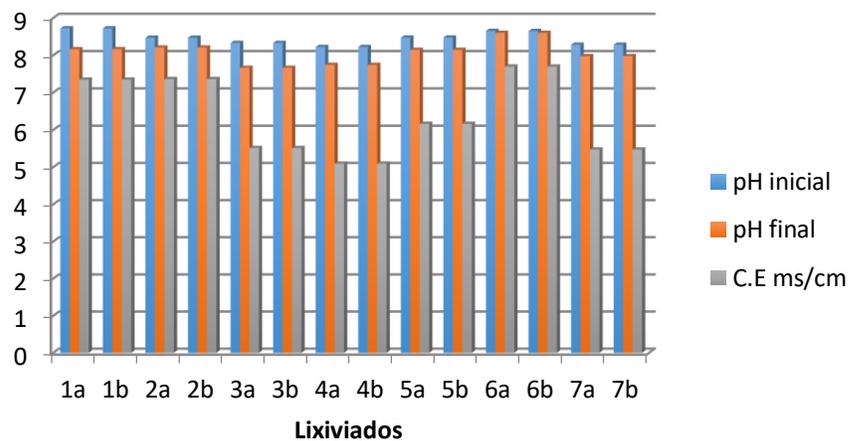
## CAPITULO VII.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

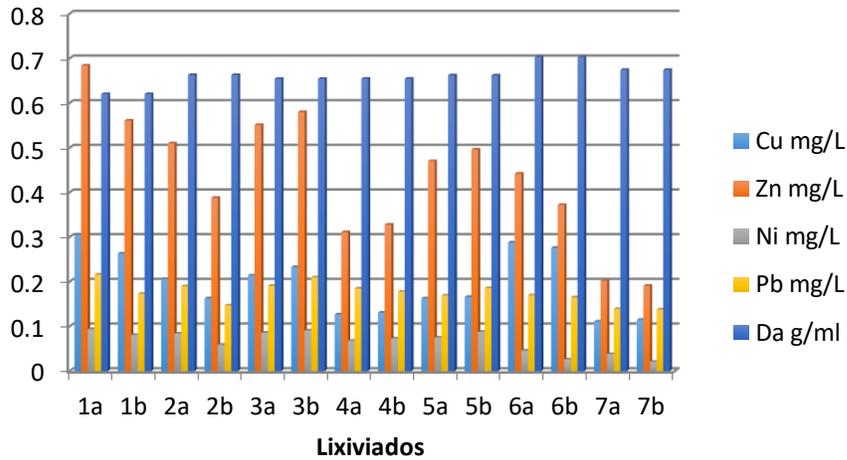
Los resultados de la caracterización química se presentan en las figuras de la 10 a la 12. La concentración de Cd y Cr, se encontró por debajo del límite de detección.



**Figura 11 Resultados obtenidos del contenido de M.O., C.O.; Na y K. Presente en los lixiviados**



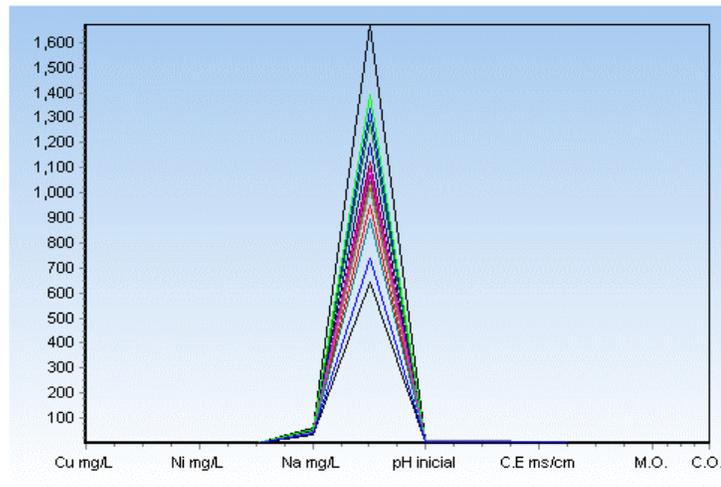
**Figura 12 Resultados obtenidos del contenido de pHfinal, pHinicial y C.E. Presente en los lixiviados**



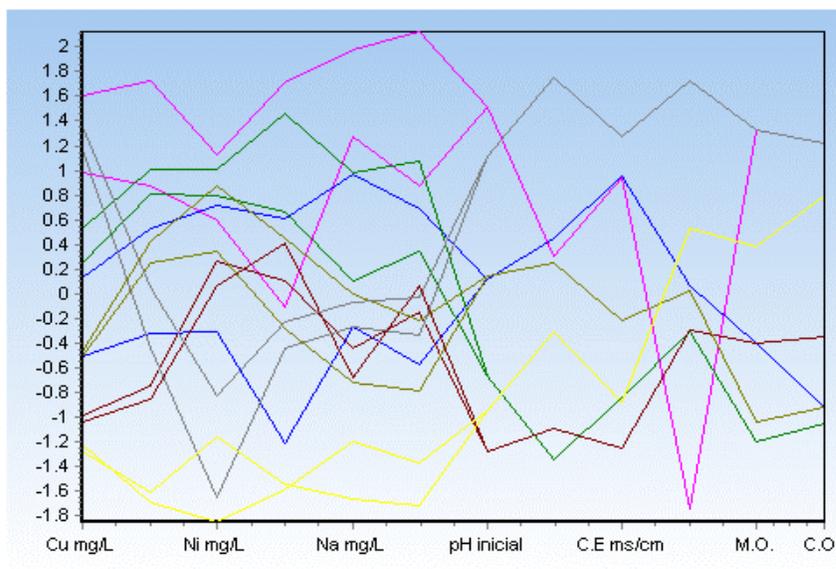
**Figura 13 Resultados obtenidos del contenido de Cu, Zn, Ni, Pb y Da. Presente en los lixiviados**

Con estos resultados se formó una matriz de datos de 168 datos (ver figura 13). Esta matriz de datos se cargó en el software DATAN de Multid Analyses AB, para realizar el análisis de componentes principales (ACP).

Previo al ACP se realizó el autoescalado de la matriz para darle la misma ponderación a los resultados (ver figura 14) y evitar que una variable tengas mayor peso estadístico.



**Figura 14 Matriz de datos sin autoescalado.**



**Figura 15 Matriz de datos con autoescalado.**

Después de relizar el autoescalado en la tabla 4 se presentan los porcentajes de varianza acumulada de las variables estudiadas.

**Tabla 4 Porcentajes de varianza acumulada de cada componente.**

No of PC's	Accounted variation
1	47.80%
2	83.53%
3	92.51%
4	97.07%
5	98.41%
6	99.48%
7	99.73%
8	99.92%
9	99.97%
10	99.99%
11	100.00%
12	100%

Con dos componentes principales podemos determinar el comportamiento de las variables de estudio ya que tenemos más del 80% de varianza acumulada.

En la tabla 5 se presentan las variables que están correlacionadas con cada componente principal 1 y 2 (CP1 y CP2) y el signo nos indica si está a concentraciones elevadas o bajas.

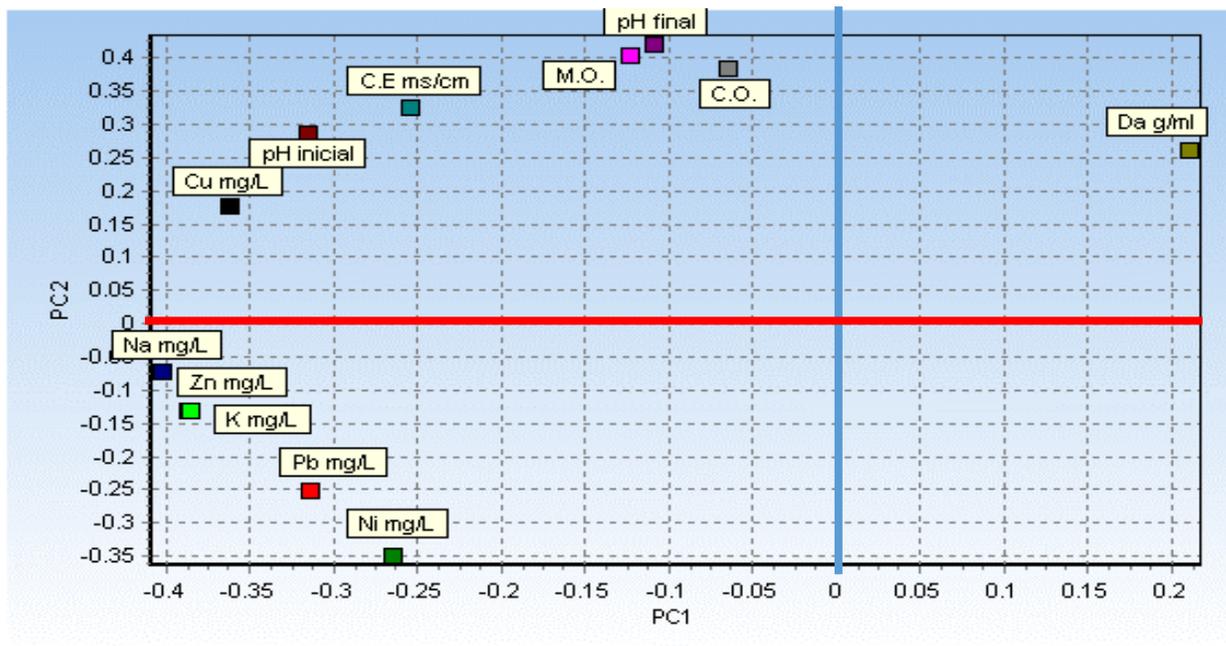
**Tabla 5 Loadings o variables correlacionadas al CP1 y CP2.**

	Loadings1	Loadings2
Cu mg/L	-0.362462721	0.177108256
Zn mg/L	-0.386840656	-0.132370082
Ni mg/L	-0.265247892	-0.349582274
Pb mg/L	-0.314163012	-0.252833072
Na mg/L	-0.402241635	-0.073524712
K mg/L	-0.385535277	-0.130336494
pH inicial	-0.314769455	0.287153768
pH final	-0.10875321	0.420696774
C.E ms/cm	-0.254412218	0.324455807
Da g/ml	0.210475846	0.25982171
M.O.	-0.123756782	0.404527938
C.O.	-0.065084471	0.383040737

Las variables sombreadas con amarillo están correlacionadas al CP1 y las variables sombreadas con verde están más correlacionadas al CP2, el signo negativo nos indica que la variable está correlacionada al componente con el valor más baja de los resultados de esa variable y el signo positivo nos indica que el valor es el más alto de los resultados de esa variable. Otra forma de visualizar estos resultados es utilizando la figura 15. Donde se observa las correlaciones de las variables con los CP's.

Por ejemplo, la variable del Cu presentó un valor de -0.36242721 esto nos indica que la variable de Cu está correlacionada al CP1 al observar la figura 15 encontramos que el Cu se ubica en el cuadrante II. Por lo tanto, todas las variables sombreadas en amarillo (Cu, Zn, Pb, Na, K y pH inicial) están correlacionadas al CP1 y se ubican entre el cuadrante II y III. Y las variables correlacionadas al CP2

se ubican entre el cuadrante I, II y III solo el Ni esta correlacionado a valores negativos.



**Figura 16 Correlación de las variables al CP1 (línea roja) y CP2 (línea azul).**

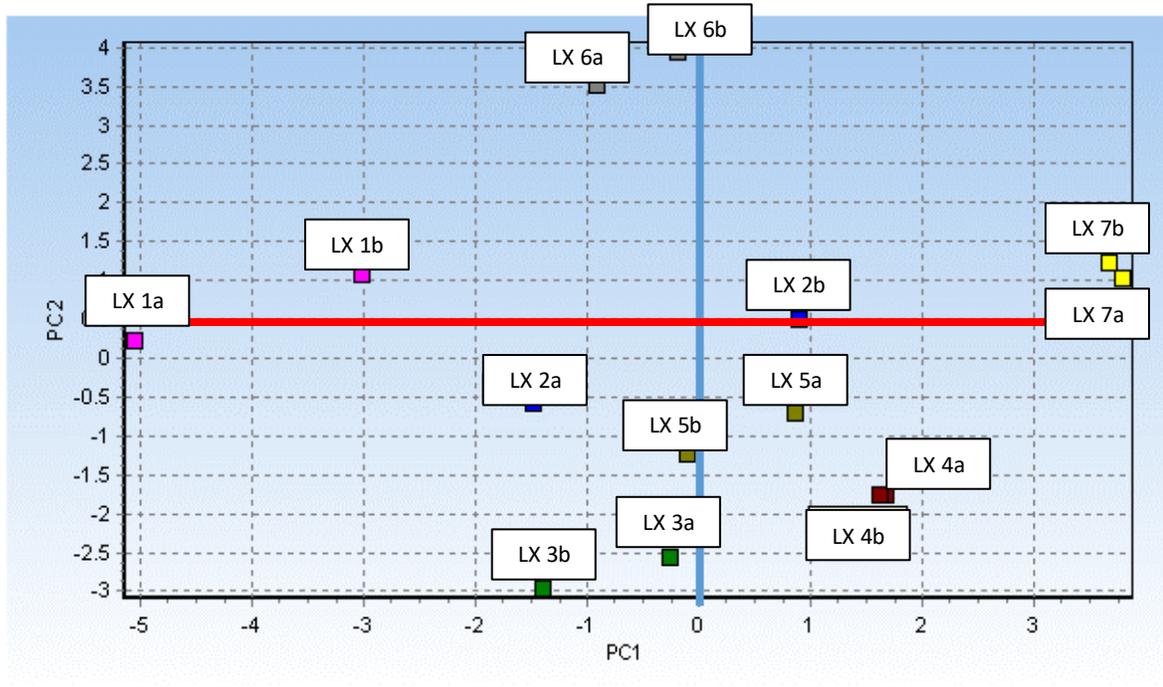
En la tabla 6 se presentan las correlaciones de los lixiviados con los CP's, esto nos indica que lixiviado esta correlacionado con CP1 o el CP2.

**Tabla 6 Scores o lixiviados correlacionadas al CP1 y CP2.**

	Scores1	Scores2
1a	-5.059660169	0.220791812
1b	-3.023706594	1.084303682
2a	-1.495809776	-0.580030331
2b	0.894259574	0.492495327
3a	-0.272873152	-2.551883264
3b	-1.398702644	-2.964294214
4a	1.659457066	-1.75581138
4b	1.618587156	-1.746702203
5a	0.854204058	-0.709889727
5b	-0.109667415	-1.221117364
6a	-0.925305536	3.515588277
6b	-0.189715135	3.942088765
7a	3.785370662	1.041013989
7b	3.663561906	1.23344663

Con la tabla de scores podemos determinar a que CP's esta correlacionado cada lixiviado y se puede observar que los lixiviados resaltados en amarillo presentan

una correlación al CP1 y los resaltados en verde presentan una correlación al CP2 y el signo nos indica si esta correlacionado a valores máximos o mínimos. Otra forma de ver estos resultados es utilizando la figura 16.



**Figura 17 Correlacion de los lixiviados al CP1 (línea roja) y CP2 (línea azul).**

Los lixiviados 7 a y b se encuentran en el cuadrante I esto nos indica que el CP1 es positivo y el CP2 también positivo, por lo tanto, las variables correlacionadas a estos CP's nos indican que estos lixiviados presentan las concentraciones más bajas de  $Cu < Zn < Pb < Ni < Na < K < pH_{inicial}$ , mientras que los valores de las siguientes variables están por arriba del valor promedio de dicha variable  $pH_{final} > M.O. > C.O. > C.E. > Da$ . El Lixiviado 2b nos indica que presenta valores promedio de Ni,  $pH_{final}$ , M.O., C.O., C.E. y Da ya que se ubica en el valor cero del CP2 (línea azul), además se observa que respecto al CP1 (línea roja) presenta valores por arriba del valor promedio. En la tabla 7 se presentan los valores promedio de las 12 variables estudiadas.

**Tabla 7 Promedio de las variables de estudio.**

	Promedios
Cu mg/L	0.1972
Zn mg/L	0.4347
Ni mg/L	0.0664
Pb mg/L	0.1755
Da g/ml	0.6616
pH inicial	8.4491
pH final	8.0689
C.E ms/cm	6.3769
M.O. %	48.643
C.O.%	27.480
Na mg/L	46.963
K mg/100ml	110.46

En el cuadrante II donde el CP1 es negativo y el CP2 es positivo, se encuentran los lixiviados 6 a y b indicándonos que presenta los valores más altos de pHfinal, M.O., C.O., C.E. y Da; las concentraciones de Cu, Zn, Pb, Na, K, pHinicial, se encuentran por arriba del valor promedio, mientras que la concentración de Ni es la más baja. El lixiviado 1b también se encuentra en el cuadrante II pero presenta una mayor correlación al CP1 (línea roja) esto nos indica que presenta las concentraciones elevadas de Cu, Zn, Pb, Na, K, pHinicial y los valores por arriba del promedio de pHfinal, M.O., C.O., C.E., y Da, mientras que la concentración de Ni apenas está por debajo del valor promedio.

En el cuadrante III donde ambos CP's son negativos, se encuentra el lixiviado 1a que al igual que el lixiviado 1b presentan una mayor correlación al CP1 indicándonos que presenta las concentraciones más altas de Cu, Zn, Pb, Ni, Na, K, pHinicial y los valores más bajos de pHfinal, M.O., C.O., C.E., y Da. El lixiviado 2a presenta concentraciones por arriba del valor promedio de Cu, Zn, Pb, Ni, Na, K,

pH<sub>inicial</sub>, pH<sub>final</sub>, M.O., C.O., C.E., y Da. El Lixiviado 5b presenta concentraciones por arriba del promedio de Cu, Zn, Pb, Ni, Na, K, pH<sub>inicial</sub>, pH<sub>final</sub>, M.O., C.O., C.E., y Da. Y los lixiviados 3 a y b presentan la concentración mayor de Ni y por arriba de la concentración promedio de Cu, Zn, Pb, Na, K, pH<sub>inicial</sub> y los valores más bajos de pH<sub>final</sub>, M.O., C.O., C.E., y Da.

Finalmente, en el cuadrante IV donde el CP1 es positivo y el CP2 es negativo se encuentra el lixiviado 5a el cual presenta las concentraciones por debajo del valor promedio de Cu, Zn, Pb, Na, K, pH<sub>inicial</sub>, pH<sub>final</sub>, M.O., C.O., C.E., y Da., con una concentración por arriba del valor promedio de Ni. Los lixiviados 4 a y b presentan las concentraciones por de bajo del valor promedio de Cu, Zn, Pb, Na, K, pH<sub>inicial</sub>, valores por debajo del promedio de pH<sub>final</sub>, M.O., C.O., C.E., y Da., mientras que la concentración de Ni es de las más altas.

Con estos resultados podemos deducir el contenido del Lixiviado de una forma rápida y determinar cuales son los lixiviados que pueden contribuir a una mayor estabilización o fertilización del suelo de pastoreo. Además, la concentración de los metales esta por debajo de las concentraciones permisibles

En la tabla 8 se presentan las especificaciones fisicoquímicas que establece la NOM-AA-180SCFI-2018 y al comparar los valores de las variables estudiadas en los lixiviados obtenidos con las especificaciones fisicoquimicas encontramos que se encuentran tres variables dentro de los parámetros establecidos. Sin embargo, la C.E. es mayor en los lixiviados, lo cual se puede atribuir a la presencia de sulfatos y cloruros presentes en los suelos donde crece el pastizal que consumió el ganado.

**Tabla 8 Especificaciones Fisicoquímicas de Humus de Lombriz (NMX-AA-180-SCFI,2018)**

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Nitrógeno total	De 1 % a 4 % (base seca)
Materia orgánica	De 20 % a 50 % (base seca)
Relación C/N	≤ 20
Humedad	De 20 % a 40 % (sobre materia húmeda)
pH	de 5.5 a 8.53
Conductividad eléctrica	≤ 4 dS m <sup>-1</sup>
Capacidad de intercambio catiónico	> 40 cmol kg <sup>-1</sup>
Densidad aparente sobre materia seca (peso volumétrico)	0.40 g mL <sup>-1</sup> a 0.90 g mL <sup>-1</sup>
Materiales adicionados	Ausente

## **CAPITULO VIII.**

### **AGRADECIMIENTOS**

Los análisis de laboratorio correspondiente a análisis de parámetros fisicoquímicos , se llevaron a cabo en el laboratorio de Edafología del Departamento de Ciencias del Suelo, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.

Los análisis de metales presentes en os lixiviados y el análisis de datos, se realizaron en el laboratorio de Química Analítica Ambiental, de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila.

## CAPITULO IX

### CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos podemos concluir que los lixiviados 1 a y b puede utilizarse como fuente de K, Cu y Zn con un pH y concentraciones por arriba del promedio de M.O., C.O. estos lixiviados se utilizó la lombriz californiana, mientras que el lixiviado 6 a y b pueden ser utilizados como fuente de M.O., C.O., y las concentraciones que presenta de K, Cu y Zn apenas están por arriba del promedio, esto probablemente se debe a que en el tratamiento testigo no se utilizaron lombrices. Estos lixiviados se podrían considerar como los mejores para una mayor estabilización y fertilización de los suelos de pastoreo del Rancho la Presita. Estos fertilizantes fueron los que se obtuvieron utilizando estiércol de caprino.

## CAPITULO X.

### REFERENCIAS

- Acevedo.I. et al. (2017). Política Ambiental: Uso de manejo de estiércol en la CAomarca lagunera. *scielo*, 10.
- Aguilar.A. et al. (2007). La contaminación Agrícola del agua en México: retos y perspectivas. *Scielo*, 1-8.
- Aquino.G. (2016). Control de los Costos Ambientales. *SCRIBD*, 1-12.
- Barcelo.J. et al. (1992). Respuestas a las Plantas por contaminación de Metañes Pesados. *Suelo y Planta.*, 1-5.
- Bargas.R. (2005). ELIMINACIÓN DE METALES PESADOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, MEDIANTE SISTEMAS DE LECHOS SUMERGIDOS: ESTUDIO MICROBIOLÓGICODE LAS BIOPÉLICULAS. *UNIVERSIDAD DE GRANADA*, 4.
- Bekkering.J. et al. (2010). Optimisation of a green gas supply chain. *Biores. Tachnol*, 450-456.
- Bienes.A. et al. (2014). *Contaminación Agraria Difusa.pdf*. Obtenido de Contaminación Agraria Difusa.pdf.: [https://www.researchgate.net/profile/Ramon-Bienes/publication/320880845\\_Contaminacion\\_de\\_suelos\\_agraria\\_difusa/links/5aa7fae40f7e9b0ea307a8b9/Contaminacion-de-suelos-agraria-difusa.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ramon-Bienes/publication/320880845_Contaminacion_de_suelos_agraria_difusa/links/5aa7fae40f7e9b0ea307a8b9/Contaminacion-de-suelos-agraria-difusa.pdf)
- Blanco.M. (1999). El alimento y los procesos de digestión en Rumen. *Producción Animal*, 1-10.
- Blanquer.G. et al. (2010). LA TEXTURA DE UN SUELO. *riunet.upv.es*.
- Blouin M., H. M. (2013). A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *European Journal of Soil Science*, 161-182.
- Bottle. E. (04 de Diciembre de 2021). <https://tryadd.mx/>. Obtenido de <https://tryadd.mx/>: <https://tryadd.mx/blog/digesti%C3%B3n-de>



- Cuadros.A. (2005). Tecnicas de Remediación Biologicas. *Microbiologia Ambiental.*, 21.
- Cuevas. M. et al. (2012). Monitoreo de suelos contaminados mediante pruebas ecotoxicológicas. *Tlatemoani: revista académica de investigación.*, (11), 7.
- Danelon.L. et al. (1988). Digestión Rumial y Metabolico. En J. L. Marcos., *Digestión Rumial y Metabolico.* (págs. 3-7). Argentina: Publicación Micelanea No. 38.
- Fernandez.R. (nov de 2005). La textura del suelo como fuente de eterogeneidad; sus efectos sobre la oferta de agua para las plantas. En R. F. J., *La textura del suelo como fuente de eterogeneidad; sus efectos sobre la oferta de agua para las plantas.* (págs. 4-9). Buenos Aires: Facultad de agronomia, Univerisidad de Buenos Aires. Obtenido de <http://www.fao.org/3/ah645s/AH645S04.htm>
- Fragoso.C. et al. (2009). Invasiones en el suelo: La lombriz de tierra *Pontoscolex corectrhurhux*, en los sistemas tropicales de México. En C. F. Rojas., *Invasiones en el suelo: La lombriz de tierra Pontoscolex corectrhurhux, en los sistemas tropicales de México.* (págs. 15-20). Puebla.: Bnemerita Universidad Autónoma de Puebla.
- Francisco.L. (2008). Fito corrección de suelos contaminados con metales pezados. *Universidad de Santiago de Compostela.*, 125-132.
- García.J. et al. (1969). Anatomía y Fisiología del Aparato Dijestivo de Rumiantes. . [www.producción-anamal.com.ar](http://www.producción-anamal.com.ar), 4-4.
- García.M. et al. (2012). METALES PESADOS TOTALES Y ARSÉNICO EN EL AGUA PARA RIEGO DE PUEBLA Y VERACRUZ MÉXICO. *SCIELO*, 39-48.
- Ginés.I. (2002). Insidencia de los Fertilizantes sobre el pH del Suelo. *Fertiberia S.A.*, 3-5.
- google.mps. (s.f.). *google .maps.* Obtenido de googlo.maps: <https://www.google.com.mx/maps/place/La+Presa,+Coah>.
- Hidalgo.G. (1991). PRODUCCIÓN DE CARNE EN GANADO BOVINO EN AGOSTADERO. <https://bibliotecadigital.fvet.edu.uy/>, 7-15.
- Hoepfel.R. et al. (1991). Bioventilación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo. *Microbiologia Industrial.*, 141-146.

- Horto,E. (07 de 12 de 2017). *Horto, Diario Digital de la Actulidad Horto Fruticula*.  
Obtenido de Horto, Diario Digital de la Actulidad Horto Fruticula.:  
[http://www.hortoinfo.es/index.php/5854-cons-mund-pest-120717#:~:text=Hortoinfo.,y%20la%20Agricultura%20\(FAO\).](http://www.hortoinfo.es/index.php/5854-cons-mund-pest-120717#:~:text=Hortoinfo.,y%20la%20Agricultura%20(FAO).)
- infoAgro. (2017). La Lombricultura. *infoAgro*, 18-20.
- Llamas. J. (2007). La lombriz de tierra *Esenia andrei*, como bioacumulador de metales pesados durante la transformación de desechos solidos Orgánicos de Guadalajara Jalisco México. *Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biologicas y Agropecuarias.*, 170.
- Manacorda. A. et al. (2005). Tecnicas de Remediación Biológica. *Microbiologia Ambiental.*, 7-8.
- Martínez. L. et al. (2017). *RESPUESTAS TOXICOLÓGICAS Y FISIOLÓGICAS DE Eisenia*. Tuxtla Gutierrez Chiapas: SEP.
- Matus. F. et al. (2000). *Interacción entre la amteria orgánica del suelo, la textura del suelo y las tazas de mineralización de carbono y nitrogeno*. Obtenido de Agricultura Tecnica: <https://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072000000200003>
- Meléndez. M. (2002). *Morfología de dos especies de Lombrices de Tierra, Eisenia foetida y Eudriluseugeniae*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Mohammad H, B. Z. (2005). Los Indicadores Biológicos en la Evaluación de la Contaminación por Agroquimicos en Ecosistemas Acuaticos y Asociados. *CULCyT*, 4.
- Mohammadi.H. et al. (2011). Effects of seed aging on subsequent seed reserve utilization and seedling growth in soybean. *International Journal of Plant Production, Vol. 5(1)*, 65-70.
- NMX-AA-180-SCFI. (2018). *Que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobico de la fracción organica de los residuos solidos urbanos y de manejo especial asi como la información especial de sus parametros de calidad de los productos finales*. México: Secretaria De Economía.
- Ordoñes.J. (2011). <https://www.gwp.org/>. Obtenido de <https://www.gwp.org/>:  
[https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/aguas\\_subterraneeas.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/aguas_subterraneeas.pdf)

- Ordoñez.R. et al. (2005). Influencia del encalado sobre la movilidad de metales en un suelo contaminado en el valle del río Guadamar (Sevilla). En D. K. R. Ordóñez, *Influencia del encalado sobre la movilidad de metales en un suelo contaminado en el valle del río Guadamar (Sevilla)*. (págs. 25-32). Sevilla: Universidad de Córdoba.
- Pedraza.R. et al. (2010). Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. *Corpoica Ciencia y Tecnología*, 45-52.
- Perez Martínez, I. (2019). Uso de parámetros indirectos para la evaluación de la contaminación de suelos por metales pesados en una zona minera de San Luis Potosí, México. *scielo.org.mx*, 2.
- Pineda H, R. (2004). Presencia de Hongos Micorrízicos Arbusculares y contribución de Glomus Intraradices en absorción y traslocación de zinc y cobre en Girasol (*Helianthus Annuu L*). Creciendo en un suelo contaminado con residuos de mina. . *Universidad de Colima*.
- Powers. W. (2009). Environmental Challenges ahead for the U. S. dairy industry. *Gainsville*, 13-24.
- Putzulu. L. et al. (2018). *Parkstone International*. Obtenido de Parkstone International.:  
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Ag9dDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT3&dq=funci%C3%B3n+de+anillos+de+la+lombriz&ots=Neh3-7QNdG&sig=cPII6KEC98D\\_X95MYU2jbSVFip4#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Ag9dDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT3&dq=funci%C3%B3n+de+anillos+de+la+lombriz&ots=Neh3-7QNdG&sig=cPII6KEC98D_X95MYU2jbSVFip4#v=onepage&q&f=false)
- Quintero.M. (2006). Contaminación y Medio Ambiente en Baja California. En M. Q. Nuñez, *Contaminación y Medio Ambiente en Baja California*. (págs. 44-45). Baja California.: Purrua.
- Rai.N. et al. (2014). Comparative Study of the Effect of Chemical Fertilizers and Organic Fertilizers on Eisenia Fetida. *International Journal of Innovative Research in Science*, 12991-12998.
- Reyes.A. et al. (1995). *Los microorganismos del rumen y su papel en la fisiología digestivas del rumiante*. Obtenido de Mataderogran Canaria.com: <http://monografias.umcc.cu/monos/2008/Agronomia/m082.pdf>

- Rinehart.L. (2008). Nutrición para Rumiantes en Pastoreo. <https://attra.ncat.org/>, 7-10.
- Rivas.R. (2021). *Estrategia perfecta para producir abono y una alternativa para consumir proteína de buena calidad*. Almería. Obtenido de Agrotendencia.tv: <https://agrotendencia.tv/agropedia/lombricultura/>
- Rucks.L. et al. (2004). Propiedades Físicas del Suelo. <http://bibliofagro.pbworks.com/>, 1-7.
- Sanchez.A. et al. (2014). *MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS Experiencias Campesinas en la Cuenca Amanalco Valle de Bravo*. MÉXICO: CCMSS.
- Saskia.C. et al. (1998). Characterization of particule air pollution in urban and non-urban in the Netherlands. *Atoms.*, 37.
- Schuldt. M. (2006). Lombricultura teoría y practica. En M. Schuldt, *Lombricultura teoría y practica*. (págs. 4-9). Barcelona : Mundi-Prensa.
- Shiklomanov.T. (1999). Recursos Hidricos Mundiales y el uso del agua: evaluación y perspectivas modernas para el siglo XXI.
- Solis.L. et al. (2003). Principios Basicos de Contaminación Ambiental. En L. M. Arriaga., *Principios Basicos de Contaminación Ambiental*. (págs. 1-2). México: UAEMEX.
- Tejada.M. et al. (2011). Application of organic wastes on a benzo(a)pyrene polluted soil. Response of soil biochemical properties and role of *Eisenia foetida*. *Ecotoxicology Environmental Safety*, 668.
- Tiznado.M. (2016). *La lombricultura como alternativa en la producción agrícola utilizando a la Lombriz roja californiana*. Torreón : Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro.
- Tortosa.G. (22 de AGOSTO de 2014). *COMPOSTANDO CIENCIA LAB*. Obtenido de COMPOSTANDO CIENCIA LAB.: <http://www.compostandociencia.com/2014/08/uso-estiercol-como-fertilizante/#:~:text=El%20esti%C3%A9rcol%20es%20el%20fertilizante,nutrientes%20de%20los%20suelos%20agr%C3%ADcolas>.

- Vázquez. P. (2020). Respuestas Toxicológicas Y Fisiológicas De Eisenia Fetida A Endosulfán Lactona. *Repositorio Dspace*, 16.
- Velasquez.J. (2018). Efecto del lixiviado de humus de lombriz y fertilizante químico en el desarrollo de Liliun Conca D Or con bulbos infectados con Erwinia sp. . En J. J. Velasquez, *Efecto del lixiviado de humus de lombriz y fertilizante químico en el desarrollo de Liliun Conca D Or con bulbos infectados con Erwinia sp.* (págs. 18-23). Toluca : Universidad Autonoma del Estado de México.
- Villa.M. (2011). Evaluación de Biosolidos Municipales como Mejoradores de Suelos de Agostadero Degradados en el Altiplano Potosino. *Instituto Potosino de la Investigación Científica y Tecnológica, A,C.*, 170.
- Vullo.D. (2003). MICROORGANISMOS Y METALES PESADOS: UNA INTERACCIÓN EN BENEFICIO DEL MEDIO AMBIENTE. *Química Viva.*, 93-94.
- Zamora. V. et al. (2017). Estudio de prefactibilidad para la producción intensiva de carne porcina en el recinto El Rosario, cantón Naranjito, provincia del Guayas. *Universidad Laica Vicente Roca Fuerte de guayaquil*, 18.
- Zapata.I., et. al. (2016). Efecto de la Lombriz Roja Californiana (Eisenia Fetida) Sobre el crecimiento de microorganismos en suelos contaminados con mercurios en Segovia Antioquia. *CIENCIA E INGENIERÍA NEOGRANADINA*, 79-85.