

**UNIVERSIDAD ESTATAL DE SONORA**

**UNIDAD ACADÉMICA HERMOSILLO**

**MAESTRÍA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN BIOSUSTENTABLES**



**“INERTIZACIÓN DE GALLINAZA EMPLEANDO ALUMINIO-SILICATO  
QUIMICAMENTE MODIFICADO”**

**TESIS**

**QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN BIOSUSTENTABLE**

**PRESENTA:**

**ING. ANA LAURA TÁNORI LOZANO**

**HERMOSILLO, SONORA**

**AGOSTO, 2019**

**UNIVERSIDAD ESTATAL DE SONORA**

**UNIDAD ACADÉMICA HERMOSILLO**

**MAESTRÍA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN BIOSUSTENTABLES**

**T É S I S**

**“INERTIZACIÓN DE GALLINAZA UTILIZANDO ALUMINIO SILICATOS  
QUIMICAMENTE MODIFICADOS”**

**COMITÉ REVISOR**

**Presidente**



---

**Dr. Rafael Jordán Hernández**

**Secretario**



---

**Dra. Carmen Isela Ortega Rosas**

**Vocal**



---

**Dr. Alberto Macías Duarte**

**Hermosillo, Sonora.**

**AGOSTO, 2019.**

## **Agradecimientos.**

“Yo hago lo que tú no puedes, y tú haces lo que yo no puedo. Juntos podemos hacer grandes cosas”.

Madre Teresa de Calcuta.

Siempre he sido partidaria de que trabajando en equipo se logran cosas extraordinarias, por ello quiero agradecer a todas las personas que estuvieron apoyándome durante la realización de esta investigación.

A mis padres Icela y Moisés, por su apoyo, su ejemplo de ponerme grandes retos y por enseñarme a trabajar tenazmente por algo.

A mi hermana Karina, mis amigos Pita, Gerardo, Ale, Yasser y a mis compañeros de clase Martín, Daniel y Alán, por su paciencia al leerme y escucharme hablar incontables veces sobre gallinaza, zeolita y rumiantes. Gracias por prestarme su tiempo.

A Sashally, MVZ Roberto Laguna, MVZ José Luis Avilés y a todo el personal de IMSA Sonora por facilitarme el uso de las instalaciones y recursos de la empresa.

A mi asistente de laboratorio Eraldo por su apoyo; les agradezco de todo corazón a Flor y Alejandro por enseñarme a trabajar en un laboratorio.

A la Universidad Estatal de Sonora por permitirme el uso de los laboratorios (aún en días inhábiles) y materiales requeridos para la fase experimental.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo brindado a mi programa de maestría.

Agradecimientos especiales a mí comité de tesis conformado por el Dr. Jordán, la Dra. Carmen, el Dr. Macías y la Dra. Burgos, por su apoyo incondicional, aporte de conocimientos y motivación para la culminación de esta investigación, les estaré eternamente agradecida.

Por último y no menos importante a Dios, por ponerme a las personas correctas en mí camino.

Dedicada a la memoria de mi abuela Petra, quien vio su sueño frustrado de realizarse como maestra, sin embargo dejó un legado de ellos en hijos y nietos.

## ÍNDICE.

RESUMEN .....	9
ABSTRACT .....	10
INTRODUCCIÓN. ....	11
CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ....	13
1.1 OBJETIVOS .....	15
1.1.1 Objetivo general. ....	15
1.1.2 Objetivos específicos. ....	15
1.2 JUSTIFICACIÓN. ....	16
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO. ....	17
2.1 PRODUCCIÓN AVÍCOLA. ....	17
2.1.1 Panorama a nivel mundial de la producción de huevo. ....	19
2.1.2 Contexto nacional de México de la producción de huevo. ....	21
2.2 RESIDUOS AVÍCOLAS. ....	25
2.2.1 La generación de gallinaza .....	25
2.3 USOS ALTERNATIVOS DE LA GALLINZA. ....	30
2.3.1 Uso como abono. ....	30
2.3.2 Uso como biogás. ....	33
2.3.3 Uso como ingrediente de las dietas para animales de granja. ....	34
2.4 ALIMENTACIÓN DE LOS RUMIANTES. ....	36
2.5 ZEOLITA. ....	38
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA. ....	41
3.1 TIPO Y ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN. ....	42
3.2 HIPÓTESIS. ....	42
3.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA. ....	43
3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA. ....	44
3.5 VARIABLES EVALUADAS. ....	45
3.7 METODOLOGÍA. ....	46
3.7.1 Obtención de la gallinaza. ....	46

3.7.2	Procesamiento de la gallinaza. ....	47
3.7.3	Modificación química de la zeolita.....	47
3.7.4	Preparación de la mezcla gallinaza-zeolita .....	49
3.7.5	Preparación de las pruebas de cultivo. ....	52
3.7.6	Medición de inocuidad mediante ausencia o presencia de bacterias.....	54
3.8	DISEÑO DE EXPERIMENTOS. ....	54
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN. ....		55
4.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	55
4.2	ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE ZINC EN LA ZEOLITA MODIFICADA.....	61
4.3	ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE LA GALLINAZA. ....	63
4.5	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	65
CONCLUSIONES.....		67
RECOMENDACIONES. ....		68
ANEXOS .....		69
BIBLIOGRAFÍA. ....		77

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Línea genética de las aves de postura y pollos de engorde .....	18
Figura 2. Comportamiento de la producción mundial de huevo . .....	20
Figura 3. Estados productores de huevo en México (Tomada de: Centro de Estadística Agropecuaria, 2000). .....	22
Figura 4. Gráfica de los principales consumidores de huevo a nivel mundial (kg/persona/año) (Tomada de: UNA, 2017) .....	24
Figura 5. Estimación del costo al medio ambiente derivado de la contaminación por el inadecuado manejo de la gallinaza (Manev, 2015). .....	27
Figura 6. Composición de la gallinaza al ser utilizada como abono (Estrada, 2005). .....	30
Figura 7. Umbral de muerte de algunos microorganismos presentes en el estiércol (Román et al, 2013).....	32
Figura 8. Esquema de las instalaciones de una planta generadora de biogás (Manev, 2015). .....	34
Figura 9. Aporte de nutrientes de las excretas de las aves (Ochoa & Urrutia, 2007). .....	35
Figura 10. Balance nutricional para vacas de doble propósito (Orozco Barrantes, 2005). .....	37
Figura 11. Estructura de una arcilla aluminosilicatada (Zeolita). (Duque Peñaloza, 2016). .....	39
Figura 12. Diseño metodológico general para la obtención del suplemento alimenticio para rumiantes. ....	41
Figura 13. Ubicación geográfica de las granjas reproductoras de IMSA Sonora (Google Earth).....	43
Figura 14. Diseño de toma de muestras de la gallinaza.....	45
Figura 15. Obtención de la gallinaza .....	46
Figura 16. Lavado de la zeolita. ....	48
Figura 17. Descationización parcial.....	49
Figura 18. Preparación del caldo lactosado. ....	50
Figura 19. Curva de crecimiento bacteriano. Fase 1: Latencia. Fase 2: Exponencial. Fase 3: Estacionaria. Fase 4: Muerte. (Granados & Villaverde, 2003).....	52
Figura 20. Preparación de las placas Petri.....	53
Figura 21. Respuesta de los tratamientos. ....	57
Figura 22. Pruebas de cultivo .....	58
Figura 23 Gráfica de respuestas de los tratamientos durante el período experimental .....	59
Figura 24. Resultados de la concentración de zinc en la zeolita utilizada. (Resultados de laboratorio, 2019) .....	62
Figura 25. Análisis Bromatológico de la Gallinaza (Análisis de Laboratorio, 2019)...	63

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Tratamientos del experimento 1.....	51
Tabla 2. Proporciones de gallinaza-zeolita.....	56

## RESUMEN

Esta investigación se centra en proponer una solución viable para la gestión de la gallinaza de la empresa Incubadora Mexicana (IMSA), dedicada a criar aves de postura. Las parvadas de IMSA generan al año aproximadamente 600 toneladas de gallinaza, la cual se almacena a la intemperie sin llevar tratamiento alguno, generando impactos negativos al medio ambiente.

El objetivo del proyecto fue diseñar un modelo para utilizar zeolita químicamente modificada (con cloruro de zinc) en conjunto con la gallinaza, para obtener un suplemento alimenticio inerte, inodoro y de igual o mayor calidad para la nutrición de rumiantes que la alimentación tradicional o el pastoreo extensivo en agostaderos. El uso de este modelo permitirá la producción sustentable y generación de ganancias económicas para la empresa al utilizar este residuo como subproducto.

El proceso de descationización parcial y recationización selectiva en la zeolita, permite que esta actúe como bactericida. Después de varios experimentos realizados, métodos de inoculación y dosificaciones de zeolita en la gallinaza, se tuvo como resultado que la mejor mezcla sea igual o mayor a 3:1 proporciones de zeolita-gallinaza para la obtención de un suplemento alimenticio inerte.

## **ABSTRACT**

The goal of this investigation is to find a chicken manure solution for Incubadora Mexicana (IMSA), whose principal activity is to produce laying hens. The flocks of IMSA generate approximate 600 tons of chicken manure, which is stored near the farms without any treatment, producing a negative impact to the environment.

The aim of this project is to propose a model for the use of chemically-modified zeolite with zinc chloride with the chicken manure, to obtain an inert and odorless food supplement for ruminants, with high quality standards than the traditional feeding system. The use of this model will allow a sustainable production and will generate economics benefits to IMSA.

The process of partial decationization and ionic exchange will act as a bactericide in the zeolite. The conclusions of this paper has reached that the best mix is up to 3:1 parts of zeolite-chicken manure.

## **INTRODUCCIÓN.**

El presente trabajo de investigación se realiza con el objetivo de evaluar la factibilidad de obtener un suplemento alimenticio inocuo para rumiantes derivado de la gallinaza que se genera en las granjas de producción avícola de Sonora.

Con respecto a lo anterior, se han revisado investigaciones culminadas donde se prueba la efectividad como agente bactericida, fungicida y microbicida de los aluminio silicatos (zeolita clinoptilolita). Simultáneamente se evalúan las propiedades y posibles usos que se le destinan a la gallinaza.

Cabe señalar que el propósito de este proyecto de investigación es resolver los problemas a los cuales se enfrenta la empresa IMSA con respecto a su inadecuado manejo de la gallinaza. Por ello, se contribuirá a que IMSA modifique sus manejos actuales de la gallinaza. Al realizar estos cambios, se colaborará a que la empresa comience a trabajar bajo un régimen sostenible. Aunado a lo anterior, se busca aportar alternativas del uso de la zeolita químicamente modificada.

Mencionado lo anterior, el trabajo de tesis se conforma de la siguiente manera:

En el Capítulo 1 se plantea el problema que conlleva un inadecuado manejo de gallinaza de manera detallada, se presentan los objetivos específicos y general, y la justificación del proyecto de investigación.

En el Capítulo 2, se presenta el marco de referencia donde se explica la ramificación de la producción avícola y se justifica el por qué el presente trabajo se enfoca en la producción de las aves de postura. Así mismo, se ubican las tendencias y situaciones avícolas tanto a nivel mundial como nacional y específicamente la situación en la que se encuentra el estado de Sonora. Seguido se mencionan cuales son los residuos avícolas resultantes del ciclo productivo, donde se hace énfasis en que la gallinaza es la de mayor volumen y provecho debido a sus alternativas de uso. Por último se habla sobre la alimentación de los rumiantes y las bondades de la zeolita.

En el Capítulo 3, se plantea la hipótesis del proyecto, así como también se habla sobre el objeto de la investigación, en este caso es el estudio de la zeolita

químicamente modificada como agente bactericida en el proceso de la inertización de la gallinaza. En este apartado también se explica porque esta investigación sigue una metodología de tipo exploratorio y experimental. Además se menciona la población, muestra y materiales que se utilizaron en el trabajo de campo y laboratorio. Por último, se muestra como a través de varios experimentos es que se obtiene el mejor resultado experimental obtenido, que garantiza el cumplimiento del objetivo de esta investigación.

En el Capítulo 4, se muestra la descripción y análisis de los resultados obtenidos de la experimentación y pruebas de laboratorio que se realizaron para darle cumplimiento a los objetivos establecidos. En una primera parte de este capítulo se presentan los tratamientos y proporciones de la mezcla de gallinaza-zeolita que fueron utilizadas en la parte experimental. Posteriormente se identifica la efectividad de cada uno y para finalizar, con base a los resultados conseguidos, se evalúa la factibilidad de utilizar la gallinaza tratada con zeolita químicamente modificada, como suplemento alimenticio para el consumo de rumiantes.

Para finalizar se presentan las recomendaciones que se derivan de este trabajo de investigación para que en conjunto con los resultados que se han obtenido, sirvan de fomento para futuros proyectos relacionados al desarrollo sustentable.

## CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Los lineamientos legales ambientales para las empresas de producción se han hecho cada vez más estrictos, debido al rápido avance del calentamiento global (IPCC, 2018). Así, la tendencia mundial es que las personas e industrias se preocupen por el cuidado del medio ambiente, llevándolos a contar con procesos productivos que generen el menor impacto ambiental negativo.

Un análisis de sustentabilidad de los productos de origen animal (proteína) que consumimos los humanos, revela que la producción de 1 kg de huevos tiene menor impacto ambiental que la producción de 1 kg de carne de res, basándose en 3 factores: la alimentación del animal, la emisión de metano de rumiantes vs animales mono- gástricos además de la reproducción de los mismos (De Boer y De Vries, 2009). Como resultado, se tiene una creciente demanda de huevo debido a que resulta ser la fuente de proteína de origen animal con menor impacto ambiental generado (Dreyer y Windhorst, 2011).

En los últimos años la producción mundial de carne aviar y huevo ha experimentado un constante aumento, lo cual se prevé como una tendencia que continuará en un futuro. Por ejemplo, la producción global de huevo se posicionó en el cuarto sitio entre los alimentos de origen animal durante el año 2015, con 71 millones de toneladas solo por debajo del pescado con 190.9 millones, la carne porcina con 110.4 millones, la carne aviar con 86.3 millones y la carne bovina con 59.2 millones (Miazzo & Pisani Claro, 2015).

Es evidente que al aumentar la obtención de productos aviares, se aumenta proporcionalmente la cantidad de residuos avícolas generados en este proceso. Por ejemplo las estimaciones de producción diaria de gallinaza por 1 000 aves, se sitúan en torno a 120 kg para las aves de postura y 80 kg para los pollos de engorda (Williams, 2012). Existe entonces el reto de cómo disponer adecuadamente de esta gran cantidad de residuos. En este aspecto existen estudios donde se aprovecha la gallinaza como suplemento proteínico en la alimentación de corderos-ceba, ayudando al crecimiento del animal (Stewart, 2004).

En este contexto, Incubadora Mexicana S.A. de C.V. (IMSA) es una empresa dedicada a la producción de pollitas ponedoras de un día para abastecer a las granjas de producción de huevo de mesa. Para ello, mantiene parvadas de aves reproductoras, que producen las pollitas para la venta, y parvadas de aves progenitoras, que abastecen y renuevan periódicamente a la parvada de aves reproductoras. La parvada promedio anual de IMSA en Sonora consta de 33 mil aves progenitoras y 110 mil aves reproductoras, las cuales llegan a producir anualmente 5.5 millones y 16 millones de huevo fértil respectivamente. Estas aves generan un aproximado anual de 70 y 200 toneladas de gallinaza<sup>1</sup> proveniente de las parvadas progenitoras y reproductoras respectivamente. Dicha producción generalmente se queda almacenada en los alrededores de las granjas. El inadecuado manejo de la gallinaza lleva a problemas consecuentes relacionados con la contaminación de suelo, aire y agua, además aumenta la posibilidad de provocar enfermedades en poblaciones de aves y humanos que se encuentren a los alrededores de estos residuos.

La cantidad del desecho es alta, esto sin tomar en cuenta otros residuos de las granjas como aves muertas, pollitos sacrificados y restos de incubación.

Quedando expuesta la problemática de esta investigación, se plantea la siguiente pregunta, ¿Qué acciones y recursos físicos serían propios a utilizar para garantizar el aprovechamiento de la gallinaza, de manera que sustente la reducción del impacto ambiental negativo que se está generando por su actual manejo y así mismo se obtenga un beneficio económico?

---

<sup>1</sup> Excremento o estiércol de las gallinas.

## 1.1 OBJETIVOS

A partir de la identificación del problema de investigación y en atención al cuestionamiento antes planteado, se han formulado los siguientes objetivos.

### 1.1.1 Objetivo general.

Obtener a partir de la gallinaza proveniente de aves reproductoras, un suplemento alimenticio, rico en proteína e inoculado con zeolita químicamente modificada, y evaluar su factibilidad para el consumo de rumiantes<sup>2</sup>.

### 1.1.2 Objetivos específicos.

- Obtener un suplemento alimenticio inocuo para rumiantes a partir de gallinaza.
- Evaluar la información nutrimental del suplemento alimenticio, a través de un análisis bromatológico de laboratorio.
- Evaluar la factibilidad del suplemento alimenticio para el consumo de rumiantes y proponer la dosificación adecuada.

---

<sup>2</sup> Mamífero del grupo de los artiodáctilos patihendidos que se alimentan de vegetales, carecen de incisivos en la mandíbula superior y tienen el estómago compuesto de 4 cavidades.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN.

Actualmente IMSA tiene un inadecuado manejo para la disposición de los residuos generados de la producción avícola, por lo que el propósito de la investigación es obtener un suplemento alimenticio para rumiantes derivado de la gallinaza generada en las granjas avícolas de Sonora. Es conocido que la gallinaza contiene una proporción alta de proteína que puede ser aprovechada por los rumiantes si se trata adecuadamente.

Con esta nueva práctica se pretende resolver el problema del sobre almacenamiento de gallinaza ya que en la región es difícil la movilidad de estos residuos, de esta manera, se busca prevenir enfermedades en aves y mitigar la contaminación en suelo, aire y alimento. Asimismo evitar posibles multas por diversas procuradurías, debido a la mala disposición de estos residuos. Por último se busca que este subproducto sea redituable económicamente para la empresa abriendo las puertas hacia un nuevo mercado. Aunado a esto, se aspira, que incubadora mexicana adopte trabajar bajo la filosofía del desarrollo sustentable considerando atacar los tres pilares de la sustentabilidad (económico, social y ambiental).

Además de los beneficios descritos anteriormente, con el aprovechamiento de este material orgánico, se podrían estar alimentando diversas especies de rumiantes en el estado, el cual podría brindar una alternativa al alimento tradicional o el pastoreo clásico. El contenido promedio de proteína cruda en diferentes especies de pastos y plantas varía entre 4.14% (correspondiente al zacate lobo) a 20.19% (correspondiente al Mezquite), quedando el zacate Buffel a la mitad con 10.72% (Caudillo, 1997), mientras que el porcentaje promedio de proteína cruda para la gallinaza es de aproximadamente 30% (Kaldman, 2016). Esto último pudiera generar un ingreso extra para la empresa.

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.

### 2.1 PRODUCCIÓN AVÍCOLA.

Analizando las tendencias de consumo, se ha visto que el sector avícola ha tenido un constante aumento en la demanda de sus productos. Este incremento se debe al crecimiento demográfico, la urbanización y al aumento de los ingresos de países en desarrollo. Además, consumir productos aviares es muy accesible, se enfrentan a pocas restricciones culturales o religiosas y es una buena fuente de proteína baja en grasas (Napolitano, s.f.).

La avicultura como actividad industrial se divide en: producción de pollos de engorde<sup>3</sup> y producción de aves de postura<sup>4</sup>. Ambas ramas cuentan con una línea genética que comienza con los “abuelos importados” los cuales son aves que están genéticamente modificadas, afinando así su rendimiento productivo. Su control está en manos de empresas transnacionales, especialmente ubicadas en Holanda, EUA y Canadá. Estas aves dan luz a las aves progenitoras, quienes son conocidas como las “abuelas” de las aves de postura (línea ligera) y los pollos de engorde (línea pesada). Las progenitoras son el cruce de hembras y machos genéticamente puros, esta línea genética cuenta con características deseables y su cruce da paso a la producción de huevo fértil para dar nacimiento a las Reproductoras, que como su nombre lo dice su propósito es reproducirse para poblar a las granjas de los pollos de engorde y las aves de postura (Figura 1) (Hernández, 2001; IMSA, 2017).

---

<sup>3</sup> Aves destinadas a la producción de carne para el consumo humano.

<sup>4</sup> Aves destinadas a la producción de huevos de mesa o plato.

# Línea genética.

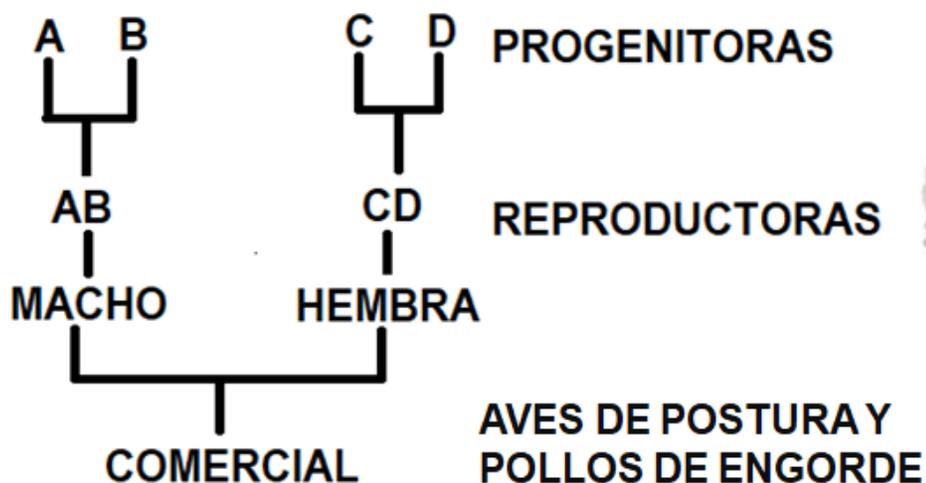


Figura 1. Línea genética de las aves de postura y pollos de engorde

La actividad de postura tiene ciclos productivos más largos que los productores de carne. Esto debido a que una gallina ponedora inicia su postura<sup>5</sup> hasta las 20 semanas de edad, cuando el ave alcanza su madurez. Su ciclo productivo puede extenderse hasta las 80 semanas o más si se decide practicar el pelechado, el cual es un proceso que consiste en retirar el alimento y agua por un tiempo determinado, obligando al ave a interrumpir su postura. Esto ocasiona que el ave renueve su plumaje y recupere nutrientes perdidos en la producción de huevo, de esta manera el ave puede comenzar con un segundo ciclo de producción. Al finalizar su vida, las gallinas son vendidas como carne o sepultadas. Por otra parte, el ciclo de producción de carne de pollo destinada para el consumo humano, tan solo dura un máximo de 8 semanas de edad, ya que es cuando el ave alcanza las condiciones de sacrificio. (Hernández, 2001).

Realizando una comparativa entre las aves de postura y los pollos de engorde, se ha llegado a la conclusión de que la crianza y producción de las primeras, resulta tener un mayor impacto ambiental debido a la cantidad de desechos generados y el

<sup>5</sup> Es el momento cuando las gallinas comienzan a poner huevo.

tiempo de vida de las aves. Ofreciendo una comparativa entre las aves de postura y los pollos de engorde, basta señalar que una progenitora pone aproximadamente 72 reproductoras al año, a su vez las reproductoras dan paso a 72 pollitas de postura quienes generan en promedio por ave un total de 250 huevos en un lapso de 365 días (Hernández, 2001).

Por lo mencionado en el párrafo anterior, a continuación se habla sobre la situación mundial de la producción huevo, derivado de las aves de postura.

### **2.1.1 Panorama a nivel mundial de la producción de huevo.**

La producción mundial de huevo ha mantenido un crecimiento más o menos constante desde la década de 1980, con un aumento promedio anual de 3.0% (WattAgNet, 2015). Así que de 1979 al 2015 se tiene un crecimiento en la producción de huevo de 44,262 millones de toneladas.

En 1979, la producción mundial de huevo era de 26,738 millones de toneladas, siendo Asia la región con mayor producción seguida de Europa, Norteamérica y Centroamérica, la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, Sudamérica, África y en último lugar Oceanía (Figuroa y Morán, 2006). En el año 2015, se alcanzaron 71 millones de toneladas de huevo, donde Asia continuó con el liderazgo mundial de producción seguido del continente americano, desplazando a Europa al tercer puesto. Este desplazamiento de Europa se debe a la salida de Alemania de los 10 primeros países productores, el estancamiento de Francia en su producción y las nuevas legislaciones de jaulas en la unión europea (Conway et al ., 2016).

## Producción mundial de huevo en millones de toneladas

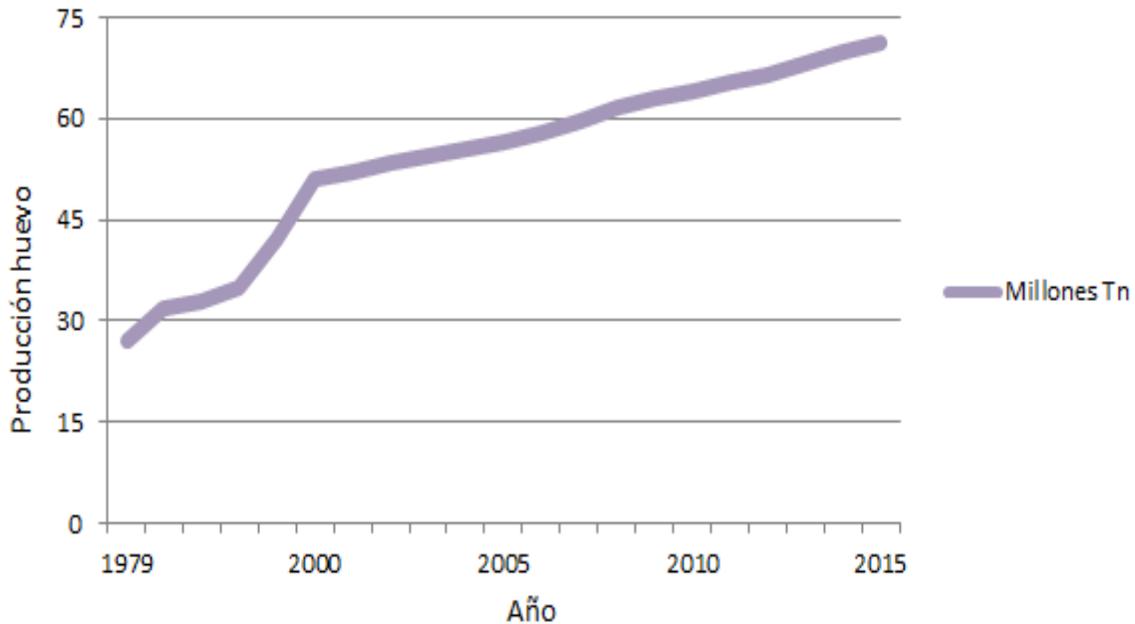


Figura 2. Comportamiento de la producción mundial de huevo.

La producción mundial de huevo en los últimos 36 años (Figura 2) incrementó más del doble. Por esta razón, la población de aves de corral aumentó, y consecuentemente la generación de desechos avícolas. Dado que el consumo de huevo seguirá creciendo exponencialmente en los próximos años (Figura 2), la generación de desechos avícolas continuará siendo un problema.

China lidera actualmente el mercado mundial de producción de huevo con 931.8 millones de cajas de huevo, seguida por Estados Unidos con 224.5 millones de cajas y en tercer puesto está la India con 208.8 millones, seguido por México, Rusia, Japón, Brasil, Turquía, Irán y Francia en décimo puesto (UNA, 2017). Esta producción de huevos proviene de una parvada mixta mundial de 7.3 billones de aves de postura (Conway, 2016).

Dentro del ranking mundial Proan (México) se encuentra como el segundo productor de huevo con 30 millones de aves de postura, Bachoco (México) está en el décimo segundo puesto con 12 millones, y El Calvario (México) en el décimo sexto puesto con 10 millones de aves de postura. Asimismo, PROAN se clasifica como el principal productor de huevo en México y Latinoamérica (Ruíz, 2017).

### **2.1.2 Contexto nacional de México de la producción de huevo.**

La avicultura mexicana utiliza material genético principalmente de Estados Unidos, Canadá y Holanda para poblar sus granjas de aves de postura que contribuyen a la producción de huevo del país. La importancia de esta producción en la economía nacional radica que hoy en día el huevo es la fuente de proteína más barata en el país. La producción nacional de huevo en 1970 era de 363,722 millones de toneladas y en 1980 la cifra subió a 644,427 millones de toneladas. Sin embargo, para la década de 1990, se alcanzó una producción de 1.2 millones de toneladas con una población 76.5 millones de aves de postura (Figuroa, 2006). En el año 2000, México producía 1.7 millones de toneladas y diez años más tarde se tuvo la cantidad de 2.5 millones de toneladas cerrando el 2016 con 2.76 millones de toneladas (FAO, 2016) y una parvada nacional de aves de postura mixtas de 154 millones (Pérez, 2016). El análisis de estos datos, muestra que en 45 años se han aumentado 2.2 millones de toneladas de huevo en la producción nacional, colocando a México como el segundo productor a nivel mundial y como el principal en Latinoamérica. En el periodo de 1999 a 2016, la parvada mexicana de aves de postura mixtas ha aumentado 10 millones de aves (Centro de Estadística Agropecuaria, 2000).

Los principales estados productores de la república son Jalisco, que ocupa el primer puesto con 1,414,161 toneladas, seguido de Puebla con 495,000 toneladas y Sonora con 131,189 toneladas (Sagarpa, 2016) (Figura 3). Dentro de estos estados, se encuentran empresas productoras como Bachoco, PROAN, El Calvario, Rancho Grande, Grupo Guadalupe, Avigrupo y Grupo Alpera.



Figura 3. Estados productores de huevo en México (Tomado de: Centro de Estadística Agropecuaria, 2000).

De esta manera, Jalisco carga con la mitad de la producción de huevo del país. En 17 años ha aumentado la producción de 471,912 a 1, 414,161 toneladas de huevo (aproximadamente 71 millones de aves de postura), teniendo antes un 28.9% de la producción del país (Centro de Estadística Agropecuaria, 2000).

En la alimentación del mexicano, el sector avícola juega un papel muy importante, ya que 6 de cada 10 personas consumen pollo o huevo, esto se debe en parte a que los precios de estos productos se han reducido en las últimas décadas, además de ser una fuente rica de proteínas y de fácil preparación (UNA, 2013). Las estadísticas de la Unión Nacional de Avicultores, sugieren que México se considera como el principal consumidor de huevo a nivel mundial, la figura 4 muestra que el promedio de consumo anual de huevo por persona al año es de 22.31 kg, lo cual equivale a un huevo al día, el consumo de hace 17 años era de 14.8 kg (UNA, 2017).

Según el INEGI (2017), la población de México se encuentra alrededor de los 123.5 millones de habitantes. En el año 2016 la población mexicana era de 121.1 millones de habitantes, se considera que el consumo fue de 2.76 toneladas de huevo anuales producido por una parvada mixta nacional de 154 millones de aves (Pérez, 2016). De esta forma, conforme al aumento de los habitantes mexicanos, proporcionalmente aumenta la población de aves para satisfacer la demanda del consumo mexicano de huevo. Se estima que para el 2020 se tengan aproximadamente 130.98 millones de habitantes, consumiendo 3 millones de toneladas de huevo anuales producidos por una parvada nacional de 166 millones de aves. Si 1000 aves deponen 120 kg de gallinaza al día, 166 millones de gallinas ponedoras producirían 7.27 millones de toneladas de gallinaza al año, no obstante se obtienen diversos tipos de desechos en la producción de huevo (i.e. mortalidad de aves, residuos de incubación, material de vacunación, etc.)

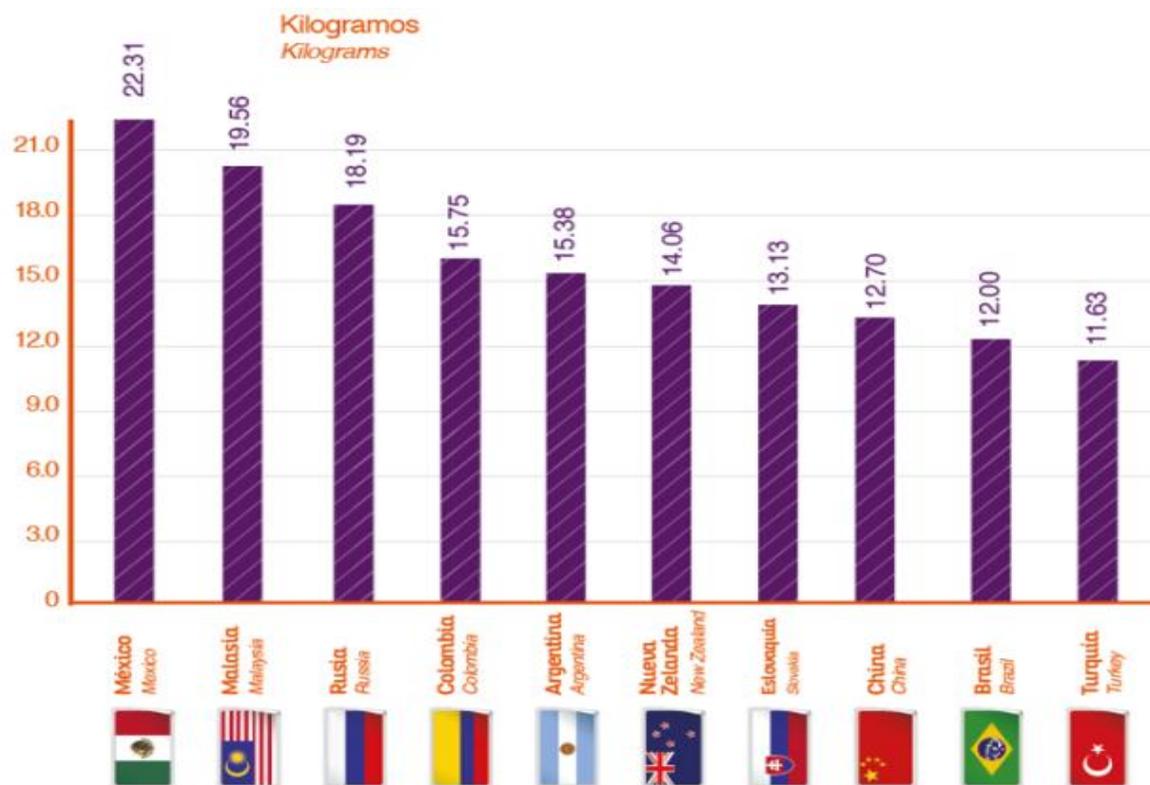


Figura 4. Gráfica de los principales consumidores de huevo a nivel mundial (kg/persona/año) (Tomado de: UNA, 2017)

En IMSA Sonora se manejan dos líneas genéticas de aves: Progenitoras y Reproductoras. En cifras, una granja de progenitoras maneja en promedio 10 mil aves, una reproductoras un poco más de 20 mil gallinas y a su vez las granjas de aves de postura comercial manejan parvadas de 40 a 45 mil individuos (IMSA, 2017).

## **2.2 RESIDUOS AVÍCOLAS.**

En la ganadería, los manejos de sus recursos juegan un papel muy importante para la protección del medio ambiente y el agotamiento de los mismos, esto debido a que la producción de productos de origen animal como son leche, carnes, huevos y lana, inevitablemente generan una gran cantidad de residuos que pueden resultar dañinos al medio ambiente si no son manejados adecuadamente (Lon Wo, 2003).

Estadísticamente, la producción avícola en general, no resulta ser la más contaminante de todas las industrias, sin embargo, esto no debe ser acto de satisfacción debido a que cualquier residuo orgánico, si se presenta en gran cantidad y lleva un manejo inadecuado, puede causar serias consecuencias ambientales (Lon Wo, 2003).

Con respecto a lo mencionado anteriormente, podemos identificar fácilmente que al incrementar la producción avícola proporcionalmente aumenta la cantidad de residuos generados a raíz de esta actividad. Los residuos orgánicos que existen en esta producción son aves muertas, gallinaza, restos de incubación como son pollitos sacrificados, cascarón y huevos infértiles o con muerte embrionaria. La mayoría de estos subproductos pueden proporcionar nutrientes ya sea inorgánicos u orgánicos de valor si son gestionados correctamente (Williams, s.f.).

La gallinaza resulta ser el residuo avícola de mayor volumen, por lo que se hará énfasis en los problemas derivados de un inadecuado manejo de este residuo.

### **2.2.1 La generación de gallinaza**

Existen cálculos para estimar la generación de gallinaza de una granja, esta es según el peso del ave y según la cantidad de alimento que el ave consume.

Según el peso, teóricamente un ave excreta al día el 8.7% de su peso vivo, si tenemos un ave de 1,600 g, esta deyectaría unos 140 g de gallinaza fresca al día (la composición de la gallinaza fresca va de 70% a 80% de humedad, para 140 g de gallinaza fresca serían 20 g de gallinaza seca aproximadamente) (Mullo, 2012). Las

aves de IMSA a partir de las 40 semanas llegan a un peso promedio de 1,640 g para las hembras y 2,000 g para los machos.

Mullo (2012) encontró que un ave de postura al consumir de 100 g a 110 g de alimento esta deyectaría de 20 g a 27 g de gallinaza seca por día. Las aves de IMSA consumen en promedio de 85 g a 95 g de alimento por día, esto sería que un ave reproductora generaría unos 19 g de excremento aproximadamente.

Con estos datos, se puede estimar que la producción de gallinaza de la sección 1 de reproductoras donde existe una población de 21,200 gallinas y 2,210 gallos, estos producen una cantidad de gallinaza aproximada de:

- **Según su peso:** promedio de las aves 1,600 g para las gallinas, 2,000 g para los machos:  $(1.6 \text{ kg animal/hembra} \times 0.087 \text{ kg de excremento/kg animal} \times 21,200 \text{ hembras}) + (2 \text{ kg animal/macho} \times 0.087 \text{ kg de excremento/kg animal} \times 2,210 \text{ macho}) = 2,951 \text{ kg} + 385 \text{ kg} = 3,335 \text{ kg de gallinaza fresca al día (667 kg de gallinaza seca)}$ .

- **Según la cantidad de alimento que consumen:** Las aves consumen alrededor de 2,400 kg de alimento al día =  $(2,400 \text{ kg} / 23,410 \text{ aves}) = 102 \text{ g de alimento por ave,} = (102 \text{ g} \times 20 \text{ g})/100 = 20.4 \text{ g de gallinaza multiplicada por la población de 23,410 aves} = 4,776 \text{ kg de gallinaza al día}$ .

Un estudio realizado en Europa reveló que los costos asociados a la contaminación producida por el inadecuado manejo de la gallinaza, se elevan a 262,279 millones de pesos al año aproximadamente (Figura 5) (Manev, 2015).

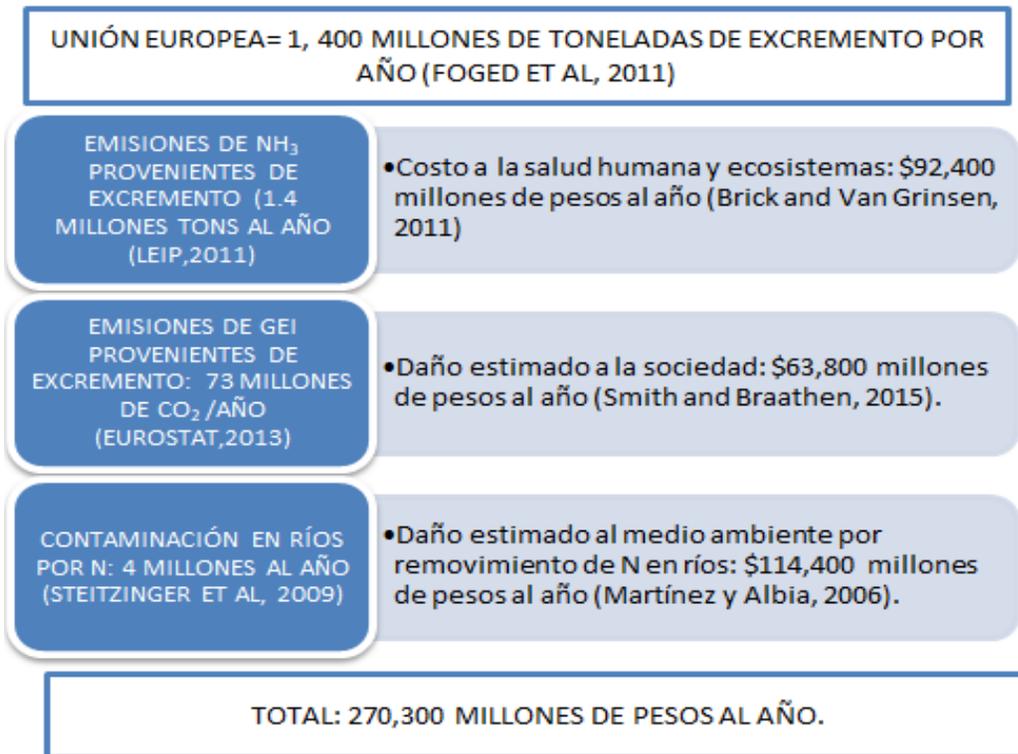


Figura 5. Estimación del costo al medio ambiente derivado de la contaminación por el inadecuado manejo de la gallinaza (Manev, 2015).

En Sonora, actualmente se desechan en las granjas reproductoras de IMSA, un aproximado de 600 toneladas de gallinaza al año (limpieza de tres casetas). La disposición de este residuo se almacena a la intemperie, a no más de 200 metros de las instalaciones de la granja, su gestión está relacionada con problemas de calidad de agua, aire y suelo (IMSA, 2017).

Entre los problemas específicos se encuentran la salinización del suelo, la degradación de las aguas superficiales y subterráneas cercanas y la emisión de amoníaco (NH<sub>3</sub>) de la gallinaza.

El principal problema asociado a la degradación de la calidad del agua es el aumento de la carga de nutrientes (i.e. nitrógeno [N], fósforo [P], zinc [Zn] y potasio [K]). Por ejemplo, una vez excretado el P que contiene la gallinaza, este es liberado

mediante la acción de las fitasas contenidas en los microorganismos del suelo, el cual es transportado directamente por las aguas subterráneas a ríos y lagos, dando lugar a los fenómenos de eutrofización<sup>6</sup> de las corrientes de agua y de los depósitos acuáticos. Por ende, debido al enriquecimiento de nutrientes en el ecosistema acuático, existe un crecimiento acelerado de algas y agotamiento del contenido de oxígeno (O<sub>2</sub>) del agua, lo cual provoca además de un aspecto de suciedad en las vertientes, la mortalidad de la fauna acuática (García et al, 2005).

Analizando las consecuencias en la calidad del aire, la problemática principal se centra en el destino y efectos del NH<sub>3</sub>, el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), la emisión de los gases de efecto invernadero (GEI), los compuestos orgánicos volátiles (COV) y la contaminación de alimentos o parvadas cercanas por el arrastre de partículas y polvo emitidas por las instalaciones de producción de aves de corral. Asimismo, los efectos sobre la salud incluyen los olores molestos a las poblaciones humanas que se encuentra en las proximidades de las explotaciones de aves de corral (Manev, 2015).

El mayor problema en la contaminación del aire son las emisiones de NH<sub>3</sub> que se producen en la degradación de la gallinaza. Es conocido que en las aves más del 50% del N de los alimentos se excreta como ácido úrico, el cuál se transforma en NH<sub>3</sub> y puede ocasionar problemas de salud pública (García et al, 2005)

Por ser rica en nutrientes, la gallinaza es comúnmente utilizada como fertilizante, sin embargo si la gallinaza no se encuentra tratada esta tiende a ocasionar sobre carga de nutrientes en los cultivos y por ende a acumularse en el suelo. Dentro de los elementos que se acumulan en el suelo está el N, el cual incluye formas inorgánicas (amonio [NH<sub>4</sub>+] ) y compuestos orgánicos que necesitan mineralizarse para que estén disponibles para las plantas (nitratos). El proceso de mineralización implica la transformación de formas orgánicas en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y nitrato por parte de los microorganismos. Al tener una sobre carga, existe una excesiva formación de N inorgánico (ya que excede los requisitos de las plantas), la cual puede causar la pérdida de N por volatilización como NH<sub>3</sub> (acumulación de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y pH alto del suelo)

---

<sup>6</sup> Enriquecimiento de nutrientes en un ecosistema acuático

o por lixiviación de nitratos, con el riesgo de la contaminación del agua (Sánchez & Mylavarapu, 2011).

Por otra parte, la sobre carga de materia orgánica puede causar anoxia en el suelo debido a el consumo de  $O_2$  y la generación de dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Consecuente, en condiciones anaeróbicas la degradación de la materia orgánica produce compuestos tóxicos (ácidos orgánicos) para los cultivos y contaminantes para la atmósfera. Con la combinación de la falta de  $O_2$  y los ácidos orgánicos, el suelo se ve afectado negativamente por el bloqueo de los poros, la limitación de la permeabilidad y la infiltración del agua, dando como resultado una pérdida de la fertilidad física de la tierra (Manev, 2015).

En cuanto a la carga de metales contenidos en la gallinaza se ha detectado partículas de cobre (Cu) y Zn, los cuales debido a su acumulación a largo plazo pueden llegar a ser perjudiciales para algunos cultivos (Williams, s.f.). De igual manera al no darle el tratamiento adecuado para obtener una gallinaza inocua, esta puede contener agentes patógenos como *Salmonella* spp., *Escherichia Coli*, coliformes totales y residuos de medicamentos veterinarios (Segarra, 2006).

## 2.3 USOS ALTERNATIVOS DE LA GALLINAZA.

Como se ha mencionado anteriormente, la gallinaza es el residuo avícola de mayor volumen, así mismo es el residuo que posee la mayor concentración de nutrientes y minerales, mismo que varía de acuerdo a su momento de recolección y tipo de almacenamiento (Estrada, 2005).

La búsqueda de métodos factibles para la utilización de estos residuos es un reto mayor, debido al inevitable incremento de la producción de gallinaza. Sin embargo, durante años se ha utilizado principalmente, como fertilizantes o abono, biogás e ingrediente de las dietas para animales de granja (García et al, 2005).

### 2.3.1 Uso como abono.

Desde tiempos remotos el ser humano ha almacenado y utilizado el estiércol animal para aplicarlo a cultivos y obtener mejores cosechas, enseguida, este conocimiento ha ido evolucionando al grado que se han establecido normas y procedimientos estandarizados para obtener mejores resultados del abono (Pérez et al, 2016). En la Figura 6, se muestra la variación en la composición de la gallinaza al ser esta utilizada como abono, basándonos en el tiempo que se almacena.

Tipo	Humedad %	Nitrógeno %	Ácido fosfórico %	Potasio %
Fresca	70 – 80	1.1 – 1.6	0.9 – 1.4	0.4 – 0.6
Acumulada unos meses	50 – 60	1.4 – 2.1	1.1 - 1.7	0.7 – 1
Almacenada en foso profundo	12 – 25	2.5 – 3.5	2 – 3	1.4 – 2
Desecada industrialmente	7 – 15	3.6 – 5.5	3.1 – 4.5	1.5 – 2.4

Figura 6. Composición de la gallinaza al ser utilizada como abono (Estrada, 2005).

Como podemos observar en la Figura 6, la gallinaza seca posee una mayor acumulación de N y P, los cuales aumentan el valor del abono, sin embargo en altas concentraciones estos mismos resultan ser contaminantes para el suelo. Lo anterior es debido a que una porción del N se convierte en amonio, el cual, se mineraliza o

volatiza. Si las condiciones ambientales favorecen la mineralización del N, este se convertirá en Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), el cual es aprovechado por las plantas si estas se encuentran en crecimiento, caso contrario, el  $\text{NO}_3^-$  excedente se acumula en aguas subterráneas o en conjunto con el P provoca la salinización del suelo (Sánchez & Mylavarapu, 2011) (Estrada, 2005). Por ello es necesario que la gallinaza lleve un previo procesamiento y que se conozcan las necesidades del cultivo al cual será aplicado el abono.

El manejo que se le da a la gallinaza es relativamente sencillo. Este consiste en apilar la gallinaza fresca en un lugar techado, aumentar su temperatura y dejarla secar para su fermentación, lo cual permite obtener un producto seco, manipulable y libre de patógenos (estos se destruyen durante el proceso de fermentación, tal como lo muestra la Figura 7) (Román et al, 2013) .

ORGANISMO	TEMPERATURA Y TIEMPO DE EXPOSICIÓN
<i>Salmonella typhosa</i>	Se elimina rápidamente en la pila de compost, son suficientes 30 minutos a 55-60°C para su eliminación.
<i>Salmonella sp.</i>	Se destruye al exponerse una hora a 55°C o 15-20 minutos a 60°C
<i>Shigella sp.</i>	Se destruye al exponerse una hora a 55°C.
<i>Escheirchia coli</i>	La mayoría muere con una exposición de 1 hora a 55°C o 15-20 minutos a 60°C
<i>Taennia saginata</i>	Se elimina en unos pocos minutos a 55°C
Larvas de <i>Trichinella spiralis</i>	Mueren rápidamente a 55°C e instantáneamente a 60°C
<i>Micrococcus pyogenes</i>	Muere después de 10 minutos de exposición a 54°C
Var. <i>Hominis</i>	Muere después de 15-20 minutos a 66°C e instantáneamente a 67°C
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	Se elimina por exposición a 55°C por un tiempo de 45 minutos
Huevos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	Muere en menos de 1 hora a temperaturas superiores a 55°C

Figura 7. Umbral de muerte de algunos microorganismos presentes en el estiércol (Román et al, 2013).

Desde el panorama nacional, en Jalisco, Compostamex es considerada como una de las principales empresas que manejan la gallinaza produciendo abono a partir de ella. En Puebla hace apenas unos años los agricultores comenzaron a promover el uso de este subproducto, PATSA por ejemplo inauguró la Planta Industrializadora de Pollinaza de Productos Agropecuarios de Tehuacán, cuya finalidad es recibir los desechos de las granjas y procesarlos para convertirlos en forraje. Además, a partir del año 2014, la Unión Nacional de Avicultores trabaja con el propósito de que los productores de pollo y huevo en Puebla logren que el 100 por ciento de la gallinaza se someta a un proceso para convertirla en composta y otros productos (Zambrano, 2014).

### **2.3.2 Uso como biogás.**

Al igual que cualquier materia orgánica, la gallinaza al fermentarse produce gases como el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (Estrada, 2005). Mediante la digestión anaeróbica del  $\text{CH}_4$  y el  $\text{CO}_2$  se produce un gas llamado "biogás". El biogás puede ser utilizado como fuente de energía para producir calor o como combustible para motores de combustión interna. Las cenizas y los sólidos post anaeróbicos que se producen al finalizar este proceso pueden ser utilizados como fertilizantes o como suplemento alimenticio animal (Bolan et al, 2010).

En un porvenir, se espera que las granjas cuenten con un sistema de circuito cerrado, donde los residuos generados de la producción avícola se reutilicen para beneficio de la misma granja. Un ejemplo es la empresa Deqingyuan, la cual es considerada como el principal productor de huevos en China, acaparando el 80% del mercado nacional chino, quien aprovecha la gallinaza y aguas residuales para la producción de energía eléctrica. Durante el 2009, China puso en funcionamiento la Central Eléctrica Deqingyuan de Gas Metano, con la cual genera anualmente 14 millones de kW y reduce la emisión de más de 90,000 toneladas de  $\text{CO}_2$ . Aunado a esto, de acuerdo con la Ley de Energía Renovable de China vigente desde 2006, las empresas que generan electricidad con recursos reciclables, aparte de obtener todo

el rendimiento de la venta de electricidad, reciben una subvención de €25 por cada kilovatio hora (Yayuan, 2009).

Actualmente no es una práctica común debido a que se requieren instalaciones costosas además de que el proceso es complejo y muy meticuloso (Figura 8) (Estrada, 2005).

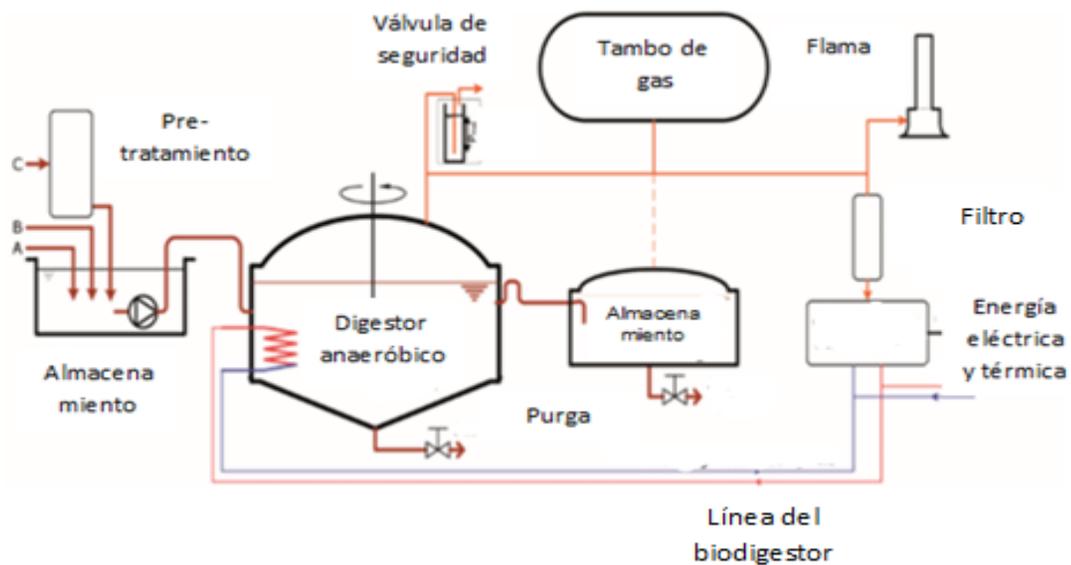


Figura 8. Esquema de las instalaciones de una planta generadora de biogás (Manev, 2015).

### 2.3.3 Uso como ingrediente de las dietas para animales de granja.

Existen amplias investigaciones donde se avalan las ventajas tanto económicas como zootécnicas del uso de la gallinaza en la alimentación de los rumiantes. Sin embargo para garantizar la salud del rumiante, es necesario procesar este subproducto para garantizar la eliminación de microorganismos patógenos que pudiera contener, facilitar su manejo y almacenaje (García et al, 2005).

Dentro de los métodos más comunes para procesar la gallinaza se conoce la deshidratación y la fermentación, dichos métodos garantizan la eliminación de microorganismos patógenos potenciales a provocar alguna enfermedad en los

animales. Aunque permanece la incertidumbre por parte de los ganaderos para utilizar la gallinaza como suplemento alimenticio, existen estudios que avalan la presencia de microorganismos beneficiosos (levaduras y *Lactobacillus*) que se encuentran en la gallinaza. Cabe mencionar que cuando se detecta la presencia de microorganismos patógenos en las camas avícolas, éstas no se pueden reutilizar y deben ser incineradas (García et al, 2005).

Una de las ventajas de utilizar la gallinaza como alimento para rumiantes reside en su elevado valor de N, el cuál equivale a un valor proteico de un 22 – 34% (Figura 9) que le asegura al animal un valor energético de calidad (Estrada, 2005). Por otra parte, la gallinaza es utilizada en la industria de engorde de corderos y becerros, además de ser un recurso alimenticio en épocas de sequía (Ochoa & Urrutia, 2007).

<b>Nutriente</b>	<b>Pollinaza</b>	<b>Gallinaza</b>
Materia seca, %	84.7	89.6
Proteína cruda, %	31.3	28
Proteína verdadera, %	16.7	11.3
Proteína digestible, %	23.3	14.4
Fibra cruda,%	16.8	12.7
Grasa cruda,%	3.3	2
Elementos libre de nitrógeno,%	29.5	28.7
Cenizas, %	15	28
Total de nutrientes digestibles,%	72.5	52
Energía digestible, Kcal/kg	2440	1911
Calcio, %	2.37	8.8
Fósforo, %	1.8	2.5
Magnesio,%	0.44	0.67
Manganeso, mg/Kg	225	4.6
Sodio,%	0.54	0.94
Potasio,%	1.7	2.33
Cobre, mg/Kg	98	150
Zinc, mg/Kg	235	463

Figura 9. Aporte de nutrientes de las excretas de las aves (Ochoa & Urrutia, 2007).

En México, Yucatán es uno de los escasos estados del país en donde se vende la gallinaza deshidratada, ya sea sola o incorporada hasta en un 60% en la formulación de alimentos balanceados para rumiantes, los cuales son de precio accesible y de calidad nutricional regular (Castellanos & Murgía, 2002)

En conclusión se afirma que el uso de la gallinaza en la alimentación de rumiantes, aumenta la rentabilidad en la producción avícola y reduce los costos en la alimentación animal.

## **2.4 ALIMENTACIÓN DE LOS RUMIANTES.**

Los rumiantes poseen una especial adaptación anatómica y fisiológica de su tracto digestivo, lo que les permite fermentar alimentos fibrosos para el aprovechamiento de los carbohidratos estructurales (como la celulosa) y compuestos nitrogenados no proteicos para satisfacer sus necesidades nutricionales (Mieres, 2004). Los 6 componentes básicos que deben estar presentes en las dietas de los rumiantes son: agua, energía, minerales, vitaminas, proteínas y fibra. Dichos elementos los podemos encontrar en la gallinaza.

Las pasturas y forrajes constituyen la mayor parte de la dieta de los rumiantes, sin embargo estas no les garantizan cubrir por completo las necesidades nutricionales del animal (Figura 10). Las pasturas muestran gran variación en sus aportes nutricionales en sus distintas etapas de crecimiento, partes de la planta (tallo, hojas, frutos), condiciones climáticas en las que se encuentra (especialmente las de clima templado), condiciones ambientales (suelo, fertilizantes, clima) y material genético. Así mismo, en el caso de los forrajes el manejo y almacenamiento que se les haya brindado (Mieres, 2004). Por ejemplo las brachiarias son pastos de calidad que reportan un contenido de proteína superior al 14% en verano y 16% en invierno a sus 21 días de crecimiento, sin embargo 20 días después su contenido baja hasta un 8% en verano y 9% en invierno (Orozco Barrantes, 2005).

<b>Nutrimiento</b>	<b>Requerimiento</b>	<b>Aporte del pasto</b>	<b>Diferencia</b>
Proteína	820 g por día	255 g por día	-565 g
Energía	14 Mcal por día	4.9 Mcal por día	-9.1 Mcal

Figura 10. Balance nutricional para vacas de doble propósito (Orozco Barrantes, 2005).

Los requerimientos nutricionales del animal dependen del proceso de producción que se encuentra, el tamaño, peso vivo y la ganancia de peso o producción de leche esperada. Dichos requerimientos pueden ser obtenidos de tablas internacionales que ya se encuentran preestablecidas y certificadas. Sin embargo es recomendable utilizarlas solo como guía, ya que existe variación si el animal se encuentra en jaula o en campo (Mieres, 2004).

Esto confirma la factibilidad del uso de la gallinaza como suplemento alimenticio para los rumiantes debido a su contenido nutrimental que resulta ser suficiente para cubrir las necesidades del ganado, así mismo, como se ha mencionado anteriormente, reduce los costos en la alimentación del animal.

## 2.5 ZEOLITA.

Las zeolitas son aluminio silicatos, cuya estructura forma cavidades ocupadas por iones grandes y moléculas de agua con gran libertad de movimiento, que permiten el intercambio iónico y la deshidratación reversible. Hay que mencionar también que las zeolitas constituyen un grupo de minerales provenientes de rocas volcánicas. Existen más de 50 especies de zeolitas, donde la clinoptilolita y la mordenita son las de mayor existencia en sus depósitos (Pérez et al, 2016).

Debido a la estructura tridimensional de las zeolitas (Figura 11), estas se caracterizan por tener la habilidad de retener y liberar agua, además de intercambiar iones sin modificar su estructura atómica e intercambiar cationes y diversos componentes de materia orgánica. Existen investigaciones donde se resaltan algunas de las ventajas que tiene la zeolita, una de ellas es su propiedad para retener nitratos al momento de ser aplicada en cultivos, por otra parte por su poder absorbente, este aluminio silicato ha demostrado funcionar con éxito en la descontaminación de medios edáficos y acuáticos (Chica Toro et al, 2006). Lo mencionado anteriormente es debido a que la zeolita es un mineral meso poroso, capaz de funcionar como un tamiz molecular, que además tiene la propiedad de absorción selectiva de moléculas y humedad (Nuñez, 2009).

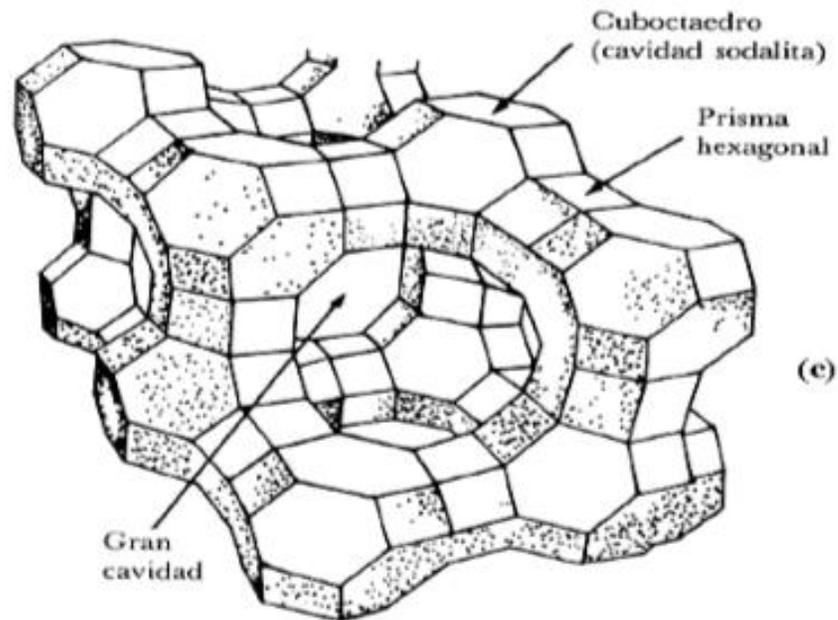


Figura 11. Estructura de una arcilla aluminosilicatada (Zeolita). (Duque Peñaloza, 2016).

Dentro de las tecnologías disponibles para el manejo de los desechos avícolas, destaca el adicionamiento de zeolita para el empleo eficiente de nutrientes, la suplementación a base de subproductos agropecuarios y la formación de composta a base de gallinaza. La zeolita se puede aprovechar en las industrias agropecuarias ya que ha demostrado obtener una mayor eficiencia metabólica y menor excreción de N en los residuos del animal al ser agregada en su dieta, además puede ser empleada para la absorción de malos olores, control de contaminación y disminución de la volatilización de  $\text{NH}_3$  en residuos orgánicos avícolas (Luna, et al ., 2016).

La zeolita tipo clinoptilolita, es la más empleada en la alimentación animal, ya que como se mencionó anteriormente, se ha demostrado que mejora la eficiencia en la utilización de los nutrientes de los alimentos, disminución de nitrógeno en las

excretas de aves y existe un efecto benéfico en la ganancia de peso del animal (Morales, 2012).

Cabe destacar que hay prácticas donde la clinoptilolita modificada se utiliza como absorbente para la eliminación de bacterias y hongos. De manera que existen estudios donde se ha probado que la presencia de interacciones por puentes de hidrógeno, así como las fuerzas de atracción electrostáticas superficiales de zeolitas modificadas con surfactantes aniónicos y catiónicos resultan efectivos en el proceso de eliminación de microorganismos (Mojica Sepúlveda et al, 2014). Por esta razón permite la absorción de elementos dañinos durante los procesos de digestión en el sistema gastrointestinal de los animales y la activación de enzimas bacterianas que evitan la irritación de las paredes digestivas y mejoras en la digestión de los alimentos lo que lleva a un incremento en la ganancia de peso y reduce el contenido amoniacal (Duque Peñaloza, 2016).

Adicional, la zeolita se emplea como bufferizante en la alimentación de los rumiantes en sustitución del  $\text{NaHCO}_3$  (bicarbonato) por su capacidad de absorber/adsorber cationes hidrógeno del jugo gástrico de los rumiantes (Jordán, 2010).

## CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.

El presente capítulo muestra el proceso que se siguió para alcanzar los objetivos planteados en el trabajo de investigación.

Dicho estudio se lleva a cabo en dos etapas seccionadas en trabajo de campo y trabajo de laboratorio.

A continuación se presenta el diseño metodológico general seguido para la obtención del suplemento alimenticio para rumiantes (Figura 12).

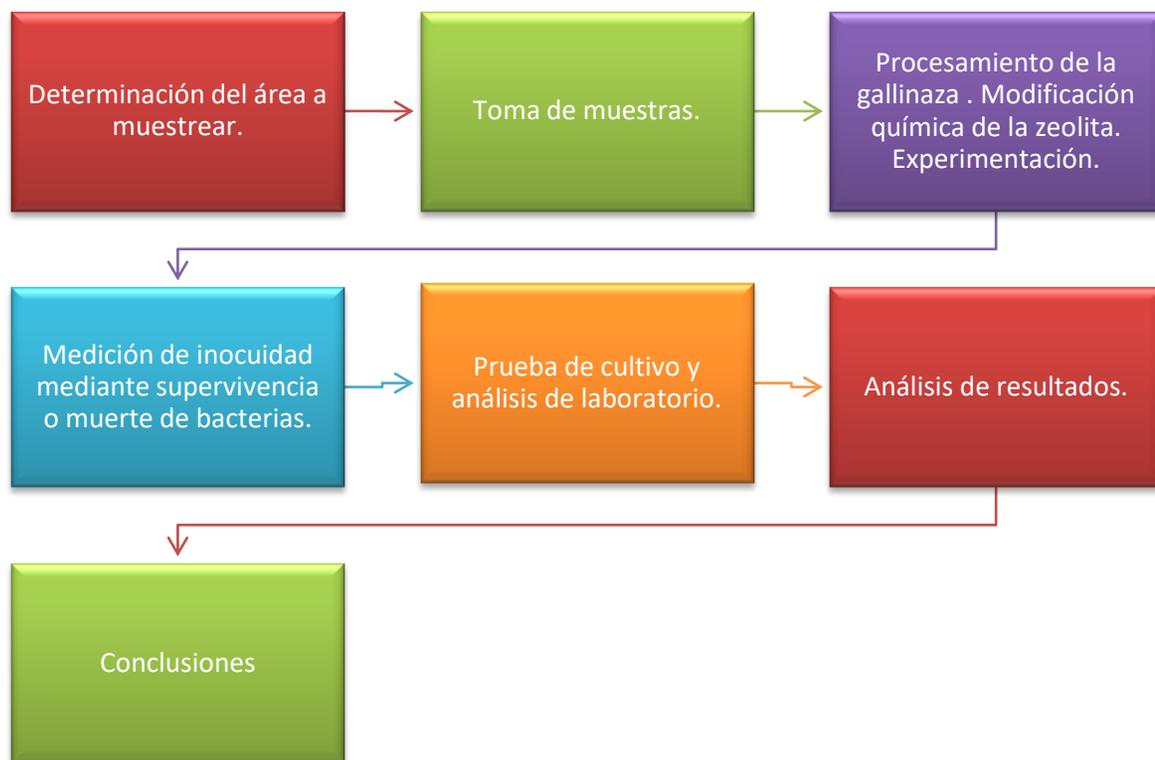


Figura 12. Diseño metodológico general para la obtención del suplemento alimenticio para rumiantes.

### **3.1 TIPO Y ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN.**

El tipo de investigación parte de una combinación del tipo experimental y exploratorio.

El problema de la investigación se aborda desde un punto de vista exploratorio debido a que ya existen estudios sobre el tratamiento de la gallinaza y la implementación de esta misma en la dieta de los rumiantes. Sin embargo, este trabajo de investigación indaga la inoculación de la gallinaza desde una perspectiva poco estudiada: el uso de zeolita químicamente modificada.

De acuerdo con Hernández Sampieri (2004) “experimentar” se refiere a la manipulación intencional o mezcla de dos sustancias y observar el efecto que se ha provocado de esta actividad. Es por ello que también se ubica este estudio como una investigación de tipo experimental debido a las diferentes combinaciones que se realizaron de gallinaza y zeolita químicamente modificada, con el fin de encontrar las proporciones la mejor mezcla posible para la obtención de un suplemento alimenticio inocuo y de calidad.

El enfoque del estudio es meramente cuantitativo, debido a la utilización del análisis de supervivencia tiempo evento. Dichas herramientas fueron claves para establecer los patrones de comportamiento existentes en la actividad microbiana presente o ausente del suplemento alimenticio.

### **3.2 HIPÓTESIS.**

Una vez que se ha planteado y definido el problema, los objetivos generales y específicos, justificado la importancia de la presente investigación y formulado la pregunta de investigación, se ha redactado la siguiente hipótesis:

*La utilización de zeolita químicamente modificada con cloruro de zinc, en conjunto con gallinaza, incide en la obtención de un suplemento alimenticio inerte, inodoro y de igual o mayor calidad para la nutrición de rumiantes que la alimentación de pastoreo clásica.*

### 3.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.

El trabajo de campo se lleva a cabo en las instalaciones de las granjas reproductoras de IMSA Sonora, ubicadas en el kilómetro 163 de la carretera a Santa Ana, Sonora. Las coordenadas son: 2,508 m 30°30'55"N 111°06'31"O 705 m (Figura 13).

El trabajo de laboratorio se realiza en los laboratorios de posgrado de la Universidad Estatal de Sonora, con dirección: Ave. Ley Federal del Trabajo, CP 83100, Hermosillo, Sonora.



Figura 13. Ubicación geográfica de las granjas reproductoras de IMSA Sonora (Google Earth).

### **3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA.**

Para este trabajo de investigación se considera como población la gallinaza que se genera en las diferentes casetas de producción de las granjas reproductoras de IMSA Sonora, lugar donde se lleva a cabo el trabajo de campo.

Las granjas reproductoras están constituidas por 4 casetas de producción donde cada caseta alberga un aproximado de 23, 000 aves de postura (el 10% son gallos). La edad de las aves oscila entre las 18 y 90 semanas de vida (tiempo productivo de un ave de postura).

Para tomar las muestras de gallinaza se selecciona la caseta de producción que garantiza la salubridad de la parvada.

Las dimensiones de cada caseta son: 130 m de largo por 12 m de ancho. Se consideraron dichas medidas para utilizar un tipo de muestreo aleatorio sistematizado, donde la primer muestra se recolecta en el punto (0,0), a 3 cm de la superficie. A partir de la coordenada inicial, el siguiente ejemplar fue tomado cada 4 m hasta cubrir los 12 m de ancho de la caseta. Se continúa cada 40 m a lo largo, finalizando en el punto (12,120).

Se reúne un total de 20 bolsas de 0.5 kg de gallinaza fresca. El esquema seguido se muestra en la Figura 14.

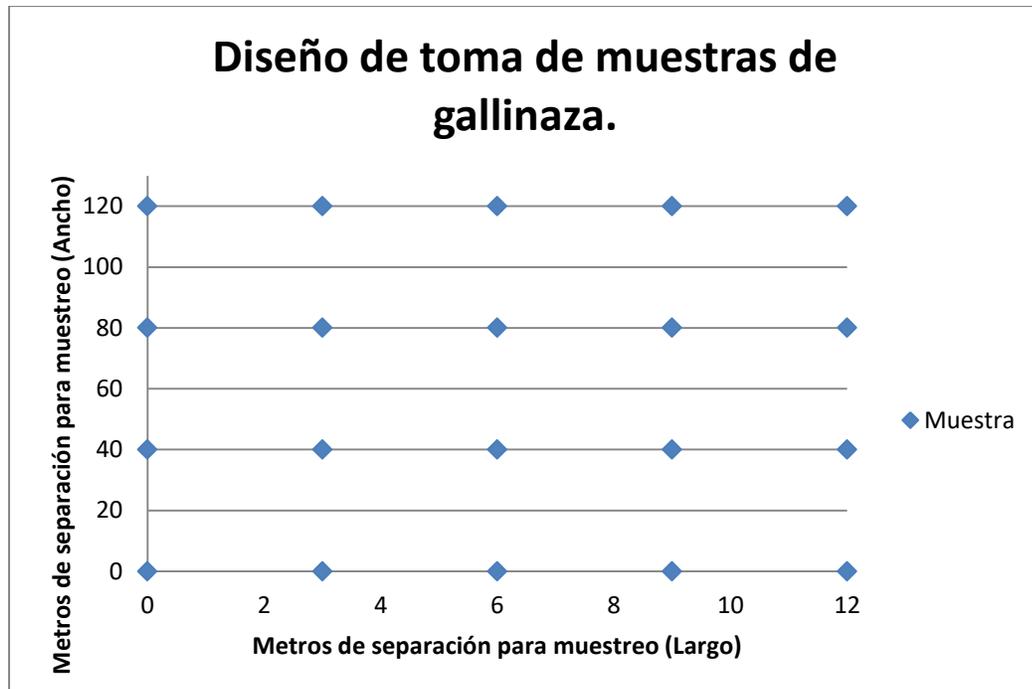


Figura 14. Diseño de toma de muestras de la gallinaza.

### 3.5 VARIABLES EVALUADAS.

La variable dependiente evaluada en esta investigación fue la presencia y proliferación de bacterias al paso del tiempo, dicha variable dependió de la cantidad de zeolita agregada a una porción constante de gallinaza (variables independientes). Ambas mezcladas en los tubos de ensayo preparados.

Los indicadores de esta variable fueron la turbidez del agua y la generación de gas en la campana Durham.

### 3.7 METODOLOGÍA.

#### 3.7.1 Obtención de la gallinaza.

La gallinaza se obtuvo de las granjas reproductoras de IMSA, ubicadas en el km 163 de la carretera a Santa Ana.

Se selecciona la sección uno de reproductoras, ya que esta garantiza la salubridad y plenitud de la parvada de 35 semanas de edad. Cada muestra se toma siguiendo el modelo de muestreo propuesto (Figura 14).

En total se reunieron 10 kg de gallinaza fresca divididos en 20 muestras de 0.5 kg cada una.



Figura 15. Obtención de la gallinaza

### **3.7.2 Procesamiento de la gallinaza.**

Se limpia la gallinaza de plumas u objetos no deseados que pudieran entorpecer el experimento. La gallinaza limpia se resguarda y se deja secar a temperatura ambiente durante 24 h.

### **3.7.3 Modificación química de la zeolita**

La modificación química que se le realiza a la zeolita fue mediante el proceso de descationización parcial, donde se busca sustituir sus cationes de compensación los cuales son:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$  y  $\text{K}^{+}$  (cuyo papel es estabilizar la carga del material), por los aniones del  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , los cuales, en el proceso de recationización selectiva son intercambiados por cationes de  $\text{ZnCl}_2$ , quienes son los encargados de actuar como bactericida (Jordan et al, 2014).

A continuación se detallan los pasos que se siguieron:

#### **Lavado de zeolita.**

Utilizando agua natural y un vaso precipitado de 2 L, se comienza lavando 1 kg de zeolita tipo clinoptilolita con un tamaño de grano de 2 a 3 mm. Cuando la zeolita se encuentra libre de polvo se enjuaga con agua destilada y se deja remojando durante 1 h en esta. Al finalizar el tiempo se escurre y se deja secar en una bandeja durante 24 h.

El fin de esta actividad es retirar el polvo del mineral. (Figura 16)



Figura 16. Lavado de la zeolita.

### **Descationización parcial de la zeolita.**

Para descationizar, se comienza preparando una mezcla de 1600 ml de agua destilada con 8.56 g de cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) teniendo de esta manera una concentración de 0.1 molar.

Para preparar la solución se calcularon los gramos del  $\text{NH}_4\text{Cl}$  que se necesitan en 1600 ml de agua destilada para tener una concentración de 0.1 molar, partiendo del peso molecular del  $\text{NH}_4\text{Cl}$  que es 53.5 g.

El siguiente paso fue agregar 150 g de zeolita a la solución antes mencionada, y colocarla por 2 h en un termo agitador magnético a  $40^\circ\text{C}$ . Al finalizar las 2 h, se deja reposar por 1 h a temperatura ambiente y posterior se lava con agua destilada. Este procedimiento se repite hasta descationizar 1kg de zeolita lavada (Figura 17).

Para terminar se deja secando la zeolita por 24 h a temperatura ambiente.

### **Recationización selectiva de la zeolita.**

Para recationizar, se comienza preparando una mezcla de 1000 ml de agua destilada con 68.14 g de cloruro de zinc ( $\text{ZnCl}_2$ ) teniendo de esta manera una concentración de 0.5 molar.

Para preparar la solución se calcularon los gramos del  $ZnCl_2$  que se necesitan en 1000 ml de agua destilada para tener una concentración de 0.5 molar, partiendo del peso molecular del  $ZnCl_2$  que es 136.28 g.

El siguiente paso fue mezclar en un vaso precipitado de 2 L, 100 g de zeolita con 400 ml de la solución antes mencionada, y colocarla en un termo agitador magnético a 40°C hasta casi evaporar toda la solución. Al finalizar, se deja reposar por 1 h a temperatura ambiente y posterior se lava con agua destilada. Este procedimiento se repite hasta recationizar 1kg de zeolita descationizada.

Para terminar, se deja secar la zeolita a temperatura ambiente por 24 h.



Figura 17. Descationización parcial.

#### **3.7.4 Preparación de la mezcla gallinaza-zeolita**

Para la determinación de las bacterias presentes en la gallinaza (en su mayoría coliformes fecales), se simula el método que se utilizará para su preparación a nivel industrial, el cual se fundamenta en la capacidad de los coliformes fecales para

fermentar la lactosa produciendo gas y ácido al ser incubados a 35°C +/- 1°C por un mínimo de 24 h.

### **Preparación del Caldo Lactosado (CL).**

En dos matraces de 1 000 ml se vierten 500 ml de agua destilada con 6.5 g de caldo lactosado, después de disolverlo completamente, se dividió en los tubos de ensayo (10 ml para cada tubo) con tapadera y campana Durham (Figura 18).

Posterior se utiliza una autoclave para esterilizar. Se calientan los tubos de ensayo a 121°C bajo 1 atmósfera de presión durante 15 minutos y se dejan reposar durante 24 h.

Al pasar las 24 h y no observar desplazamiento en la campana de Durham, se prosigue con la inoculación.

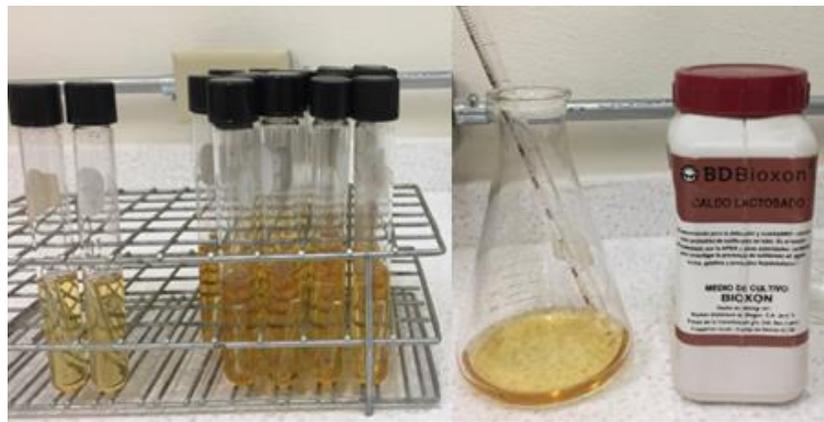


Figura 18. Preparación del caldo lactosado.

### **Preparación e inoculación de las mezclas de gallinaza-zeolita.**

A continuación se presenta la experimentación que se realiza para llegar a la mejor mezcla que permite obtener un suplemento inerte.

## Experimento 1.

En tubos de ensayo con un contenido de 10 ml de caldo lactosado se inocularon los tratamientos señalados en la Tabla 1.

Número de tratamiento	Nombre del tratamiento	Gallinaza (g)	Zeolita(g)	Número de repeticiones
T1	A	1	0.1	4
T2	B	1	0.2	4
T3	C	1	0.3	4
T4	D	1	0.4	4
T5	E	1	0.6	4
T6	F	1	0.8	4
T7	G	1	1	4
T8	H	1	1.4	4
T9	I	1	1.6	4
T10	J	1	2	4
T11	K	0.25	0.75	4
T12	L	0.25	1	4
T13	M	0.25	1.5	4
T14	N	0.25	2	4
T15	O	0.25	2.5	4

Tabla 1. Tratamientos del experimento 1.

Adicional, como control, se utilizaron 2 tubos de ensayo con 10 ml de caldo lactosado. El primero contenía 1 g de gallinaza y el segundo 1 g de zeolita.

Después de revolverlos, se dejan 15 minutos en reposo para asentar la mezcla.

Por último se introducen los tubos de ensayo a una incubadora con temperatura de 35 +/- 1°C, y se observan los cambios ocurridos a las 24 h, 48 h y 72 h. Esto para definir a la curva de crecimiento bacteriano (Figura 19)

Los resultados esperados son cambios de color, producción de gas y turbidez del líquido.

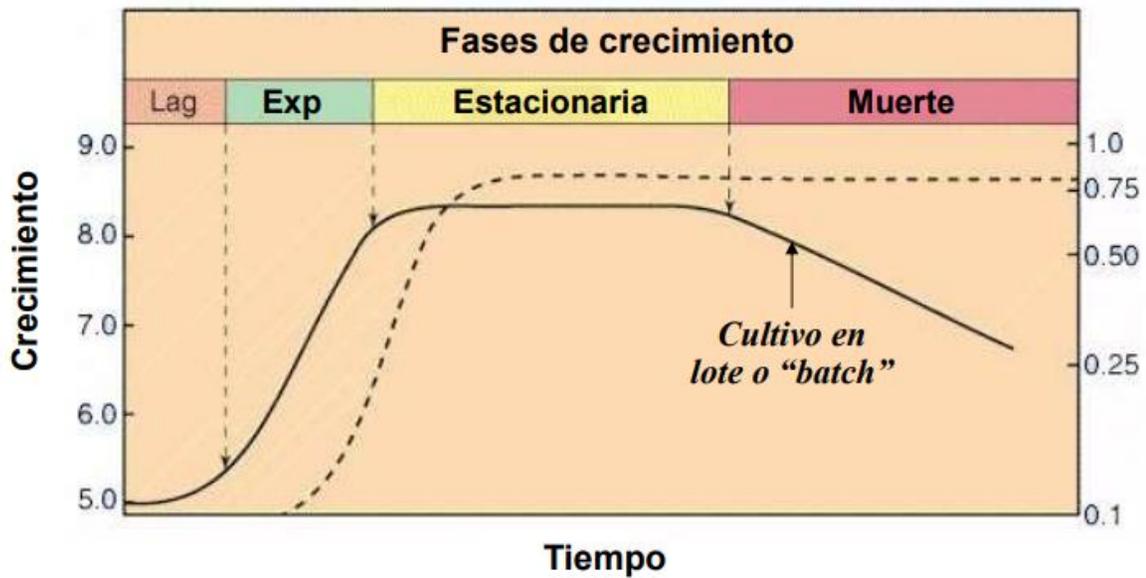


Figura 19. Curva de crecimiento bacteriano. Fase 1: Latencia. Fase 2: Exponencial. Fase 3: Estacionaria. Fase 4: Muerte. (Granados & Villaverde, 2003).

### 3.7.5 Preparación de las pruebas de cultivo.

#### Preparación de las placas Petri.

En un matraz de 500 ml se vierten 500 ml de agua destilada con 11.5 g de Agar nutritivo, después de disolverlo completamente, se deja reposar durante 15 minutos para después ser llevado hasta su punto de ebullición.

Posterior se utiliza una autoclave para esterilizar, donde se calienta el matraz con el agar a 121°C bajo 1 atmósfera de presión durante 15 minutos y trabajando en un medio esterilizado, se distribuye en placas Petri. Dichas placas se dejan enfriar y reposar cerradas durante 24 h (Figura 20).

Al pasar las 24 h y no observar crecimiento de bacterias, se prosigue con la siembra.



Figura 20. Preparación de las placas Petri.

## **Experimento 2.**

### **Siembra de cultivos.**

Trabajando en un área esterilizada, se sembró por medio de un asa bacteriológica<sup>7</sup>, el contenido de los tubos que resultaron negativos del experimento 1.

De igual manera, se introdujeron las cajas Petri a una incubadora con temperatura de  $35 \pm 1^\circ\text{C}$ , y se observaron los cambios ocurridos a las 24 h, 48 h y 72 h.

---

<sup>7</sup> Instrumento de laboratorio diseñado para la siembra de muestras líquidas en cajas Petri.

### **3.7.6 Medición de inocuidad mediante ausencia o presencia de bacterias.**

Durante el periodo experimental, se fueron registrando cada 24 h la ausencia o presencia de microorganismos de acuerdo a la generación de gas en la campana Durham o turbidez del líquido de cada tubo de ensayo. Además, cada 24 h se realizó una re inoculación<sup>8</sup> por cada tratamiento para descartar o comprobar (dependiendo de la respuesta del tratamiento) crecimiento bacteriológico en la muestra.

Los tubos que no mostraban desplazamiento en la campana Durham ni turbidez en el líquido (incluyendo la re inoculación) a las 24 h, 48 h y 72 h se tomaban como negativos. Dichos tratamientos fueron puestos a una segunda evaluación, la cual fue la prueba de cultivo para descartar el crecimiento bacteriológico de la muestra.

### **3.8 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.**

Se utilizó zeolita tipo clinoptilolita con un tamaño de grano de 2 a 3 mm. Los 60 tubos de ensayo fueron colocados en gravillas, a cada tubo de ensayo se le fue asignado un tratamiento, teniendo un total de 15 y 4 réplicas por tratamiento.

Cada período experimental fue de 6 días, para observar el aumento de la producción de gas y la turbidez del agua, de las cuales se fueron tomando las lecturas cada 24 horas comenzando en la hora 24 y culminando en la hora 72. Al finalizar el período experimental, se analizó cual mezcla fue la más óptima en cuanto a tiempo de eliminación de bacterias, proporciones utilizadas, así como la que eliminó la proliferación de estos microorganismos.

---

<sup>8</sup> Se tomaron 2 ml del líquido de un tratamiento y se vertieron en un nuevo tubo de ensayo con 10 ml de caldo lactosado. Posterior se introdujeron a la incubadora para observar sus cambios en 24 h.

## **CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

En el presente capítulo se muestran los datos y análisis obtenidos de esta investigación, así como la contribución de la zeolita químicamente modificada para el tratamiento de la gallinaza.

Para darle cumplimiento al primer objetivo, primeramente se realizaron dos experimentos con el propósito de evaluar la acción bactericida en diferentes proporciones de la zeolita cargada con zinc, sobre los microorganismos existentes en la gallinaza. El método que se utilizó para preparar las muestras, es el que más se asemeja al método que se usará para la futura producción industrial del suplemento alimenticio.

### **4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

A continuación se presentan los resultados obtenidos y el análisis que se utilizó para respaldar la información.

Se utilizaron diferentes proporciones para los tratamientos señalados, los cuales comenzaron en una relación  $1/20$  : 1, terminando en 10:1 zeolita-gallinaza respectivamente (Tabla 2).

Nombre del tratamiento	Gallinaza (g)	Zeolita(g)	Relación Z-G
A	1	0.1	1/20:1
B	1	0.2	1/5:1
C	1	0.3	3/10:1
D	1	0.4	2/5:1
E	1	0.6	3/5:1
F	1	0.8	4/5:1
G	1	1	1:1
H	1	1.4	7/5:1
I	1	1.6	8/5:1
J	1	2	2:1
K	0.25	0.75	3:1
L	0.25	1	4:1
M	0.25	1.5	6:1
N	0.25	2	8:1
O	0.25	2.5	10:1

Tabla 2. Proporciones de gallinaza-zeolita.

Donde dentro del periodo experimental se encontraron resultados positivos en cuanto a proliferación de bacterias (turbidez y gas) en los tratamientos de “A” a “I”, donde la relación de zeolita-gallinaza era menor a 2:1. Sin embargo, también se encontró que la proliferación de bacterias va disminuyendo conforme pasa el tiempo y conforme las proporciones de Zeolita-Gallinaza se acercan a 2:1 respectivamente (Figura 21). Estas respuestas se pueden observar a detalle en la tabla contenida en el Anexo 1 y las imágenes en el Anexo 5. En dicha tabla se muestran las respuestas obtenidas de todas las réplicas al pasar 24 h, 48 h y 72 h. La respuesta positiva indica que durante el período de tiempo correspondiente hubo turbidez en el líquido y gas en la campana de Durham contenida en los tubos de ensayo. Por lo tanto la respuesta negativa indica todo lo contrario.

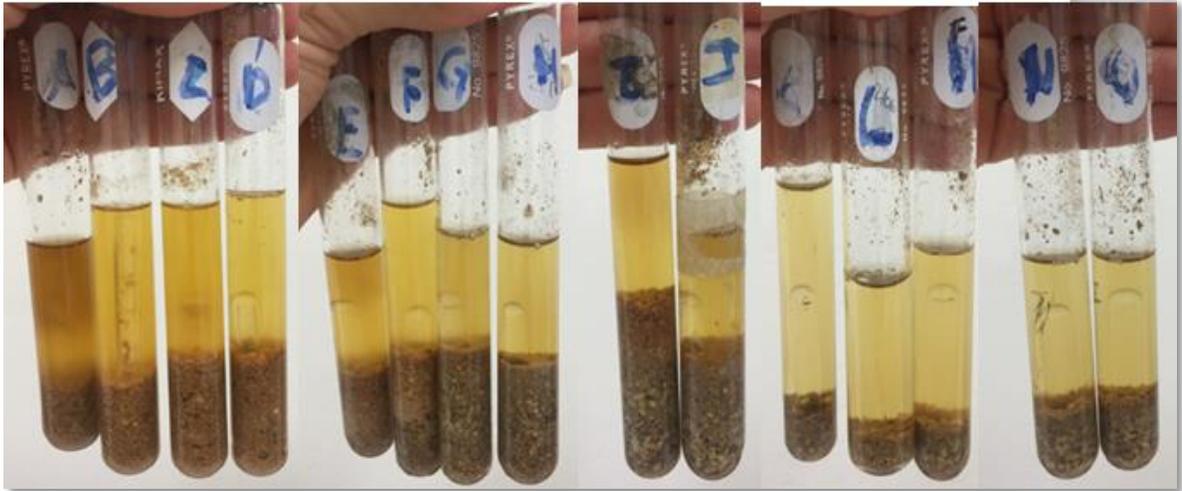


Figura 21. Respuesta de los tratamientos.

Los tratamientos que resultaron negativos en el experimento 1 fueron de “J” a “O”, donde claramente se observó que no había cambios en la turbidez del líquido así como tampoco hubo generación de gas. Como ya se mencionó anteriormente, las proporciones de zeolita-gallinaza eran igual o mayor a 2:1 (Tabla 1).

Los tubos con respuesta negativa del experimento 1 se sometieron a una segunda fase experimental: una prueba de cultivo. La tabla de resultados se observa a detalle en el Anexo 2. En dicha tabla la codificación de respuesta es “positiva” (crecimiento de colonias) y “negativo” (sin crecimiento de colonias o sin más crecimiento de las colonias existentes).

Aunque se obtuvo una respuesta negativa en los tratamientos del experimento 1, en el experimento 2, por lo menos 1 de las réplicas de cada tratamiento presentó crecimiento de colonias (Figura 22).



Figura 22. Pruebas de cultivo

Por lo tanto, se encuentra que aun reduciendo la carga bacteriológica de la gallinaza, utilizando zeolita químicamente modificada, es posible llegar a obtener un suplemento alimenticio inocuo y de calidad, sin embargo en el capítulo 4.2 se explica por qué no es una alternativa factible para tratar este subproducto.

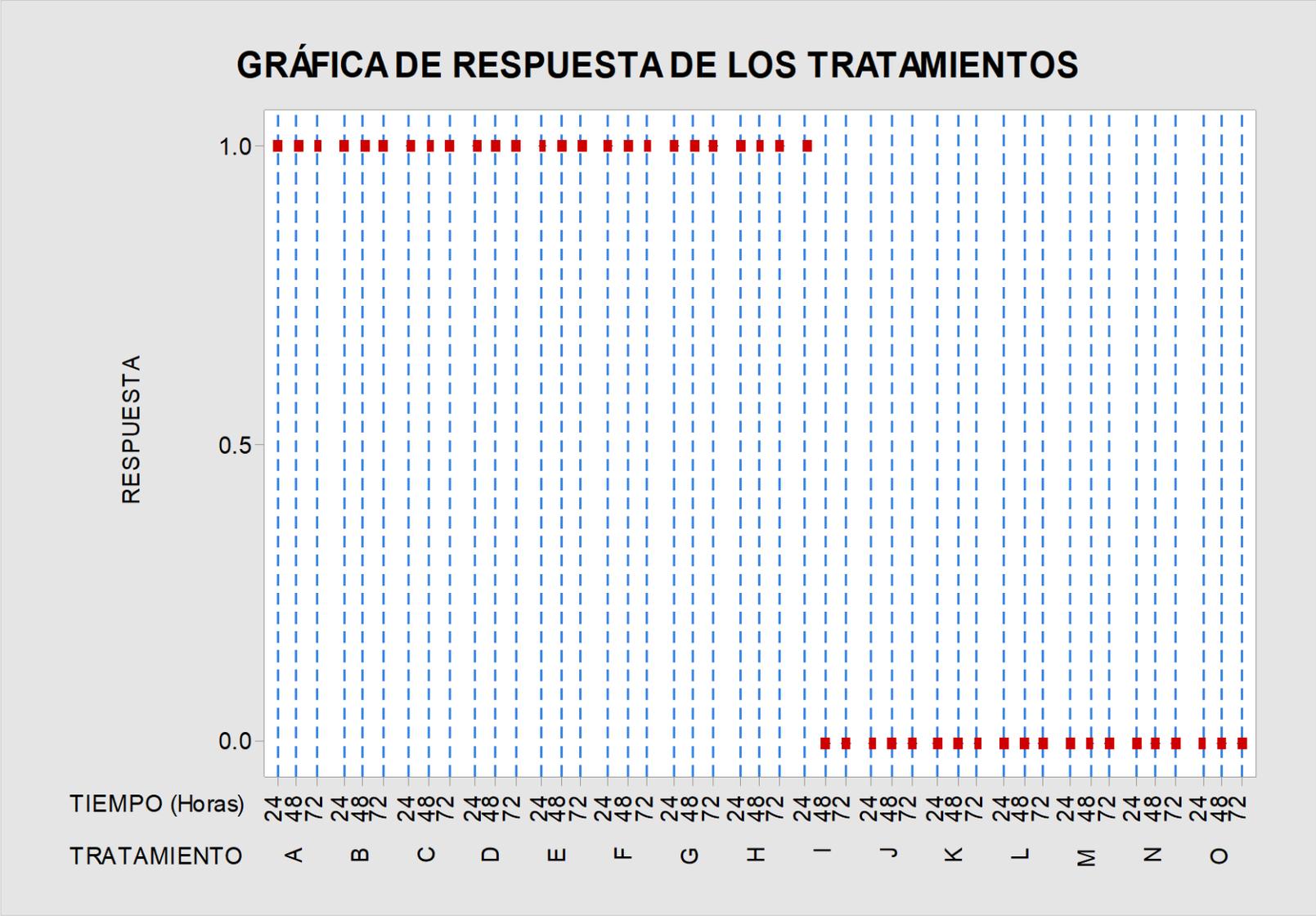


Figura 23 Gráfica de respuestas de los tratamientos durante el período experimental

En la gráfica de la Figura 23, en el eje X se observa el comportamiento de los tratamientos durante el período experimental (24 h, 48 h y 72 h), donde en el eje Y, 1 indica una respuesta positiva (presencia de bacterias) y 0 una respuesta negativa (ausencia de bacterias). Se puede constatar que hay presencia de bacterias donde las dosis de zeolita son menores a 2 g (“A” a “I”). Otro punto interesante es que en el tratamiento “I”, se observa el cambio de positivo a negativo hasta las 48 h. Esto señala que a la dosis 1.8:1 zeolita-gallinaza, le toma un tiempo mayor el disminuir o eliminar la presencia de bacterias en la mezcla.

Dados los resultados observados en la gráfica de respuestas (figura 23), se puede constatar que la hipótesis no se rechaza. Esto debido a los resultados obtenidos en la fase experimental, en donde se encontró que a partir de tener una relación de por lo menos 2:1 zeolita-gallinaza, la carga bacteriana se va reduciendo e incluso eliminando. Dicha reducción permite obtener un suplemento alimenticio inerte, inodoro y de calidad para la nutrición de rumiantes sin embargo, como ya se ha expuesto, este resulta ser poco viable para su uso.

## 4.2 ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE ZINC EN LA ZEOLITA MODIFICADA.

Los rumiantes requieren de al menos 17 macro y micro minerales en su dieta para llevar a cabo correctamente algunas funciones en su metabolismo. El zinc es un micro mineral que funciona como activador de algunas de las enzimas que están involucradas en el metabolismo de proteínas, ácidos nucleicos y carbohidratos. Además desarrolla y fortalece el sistema inmune del animal (NRC, 2000).

El requerimiento diario de zinc varía según la finalidad del animal, por ejemplo para ganado de carne: 30 ppm, para ganado lechero en producción: 50 a 70 ppm, para vacas secas: 60 a 80 ppm y en ovinos: 20 a 30 ppm. Como máximo el animal puede tolerar hasta 500 ppm de zinc en su dieta. Rebasando estos niveles se pueden presentar síntomas como disminución de peso, pérdida del apetito, convulsiones, extensión de miembros, infertilidad e incluso la muerte (NRC, 2000).

Se realizó un análisis de digestión ácida en laboratorio para determinar las concentraciones de zinc presentes en la zeolita químicamente modificada utilizada en esta investigación. Los resultados arrojaron una concentración de 34,900 ppm (Figura 24), la cual resulta sobreabundante de acuerdo a los requerimientos diarios de zinc recomendados. La razón de este resultado es por el proceso de recationización selectiva, donde se sustituyeron los cationes de compensación de la zeolita por los cationes del  $ZnCl_2$ , así mismo por las propiedades de absorción y adsorción de la zeolita, el mineral se saturó de zinc. Existe la posibilidad de que al reducir los valores de concentración del compuesto, se obtengan resultados más bajos de zinc en el producto final.

El resultado completo adjunta en el anexo 3.

PARAMETROS EN MUESTRA:	RESULTADOS	LIMITE DE CUANTIFICACIÓN	PROCESO ANALISTA	REFERENCIA
Zinc (Zn) ppm	34 900	N.A.	2019/07/08 JLMS	DIGESTION ACIDA EPA 6010 D
Ppm = partes por millón		EPA = Environmental Protection Agency		

Figura 24. Resultados de la concentración de zinc en la zeolita utilizada. (Resultados de laboratorio, 2019)

Para cubrir una parte de los requerimientos de zinc del rumiante, por ejemplo 300 mg, se necesitaría utilizar tan solo 9 g de zeolita cargada con zinc. Esto tomando en cuenta que en 1000 g de zeolita químicamente modificada hay 34 900 mg de zinc.

### 4.3 ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE LA GALLINAZA.

A continuación se presenta el análisis bromatológico realizado a las muestras de gallinaza obtenidas durante el trabajo de campo (Figura 25). El objetivo principal de este análisis fue conocer las cantidades de proteína cruda que contiene la gallinaza. Los resultados pueden variar un poco dependiendo de la edad de la parvada y el tiempo de almacenaje de la gallinaza.

El resultado completo se adjunta en el anexo 4.

PRUEBAS EN MUESTRA:	RESULTADOS	PROCESO ANALISTA	REFERENCIA
PROTEINA CRUDA (N x 6.25) %	21,7	2019/07/04 NIRM	AOAC 984.13
HUMEDAD %	11,4	2019/07/02 MVQ	AOAC 930.15
GRASA CRUDA %	0,82	2019/07/09 MLB	AOAC 920.39
CENIZAS TOTALES %	29,8	2019/07/03 MVQ	AOAC 942.05
CALCIO (Ca) %	9,38	2019/07/08 JLMS	DIGESTION ACIDA EPA 6010 D
FOSFORO (P) %	1,17	2019/07/08 JLMS	DIGESTION ACIDA EPA 6010 D
FIBRA CRUDA %	5,90	2019/07/03 MVQ	AOAC 962.09
% = Tanto por ciento		EPA = Environmental Protection Agency	
AOAC = Association of Official Agricultural Chemists, 16 Ed. 1997			

Figura 25. Análisis Bromatológico de la Gallinaza (Análisis de Laboratorio, 2019).

En la Figura 25, nos muestra un valor de 21.7% de proteína cruda (PC) (valores promedio de PC contenidos en la gallinaza. Ver figura 9), esto indica que por cada kilogramo de gallinaza hay aproximadamente 220 g de proteína cruda, el cual es un buen porcentaje en comparación con los valores de proteína cruda que contienen otros ingredientes (forrajes o pastas oleaginosas) que se utilizan en la alimentación de rumiantes (Caudillo, 1997).

Con estos resultados se encuentra la posibilidad de utilizar la gallinaza como un suplemento alimenticio para rumiantes, esto debido a sus altas concentraciones de

proteína cruda y por ser un ingrediente de bajo costo. No obstante, esta tiene ciertas restricciones de uso por si sola, debido a su contenido bacteriológico derivado de su naturaleza misma.

De acuerdo al capítulo 4.2, se refiere a emplear 9 g de zeolita químicamente modificada como una cantidad segura y que cumpla con los requerimientos diarios del animal, por lo tanto, tomando en cuenta la proporción 3:1 de zeolita-gallinaza (proporción que demuestra eliminar la carga bacteriana), se utilizarían 3 g de gallinaza, la cual contiene 0.65 g de proteína cruda. Esto tomando en cuenta que en 1000 g de gallinaza hay 220 g de proteína cruda.

#### 4.5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Esta investigación tuvo como propósito la obtención de un suplemento alimenticio a partir de la gallinaza de aves reproductoras, la cual sería tratada con zeolita cargada con zinc. Y en particular, evaluar su factibilidad para el consumo de rumiantes, de modo que facilitaría la movilización de este subproducto y permitiría a la empresa trabajar bajo un modelo de producción sostenible. Si bien se obtuvo el suplemento alimenticio, este resultó ser poco factible para su uso, debido a las excedentes concentraciones de zinc en la zeolita que sobre pasan el requerimiento diario del animal. Niveles de 700 ppm o 900 ppm han demostrado reducir la ganancia de peso en terneros y producción de leche en vacas lecheras, además de interferir en la absorción de ciertos nutrientes (Ott et al., 1966; Jenkins e Hiridoglou, 1991).

Adicional a lo mencionado anteriormente, la zeolita por si sola ha demostrado reducir las cargas de contaminación edáfica y mejorar el rendimiento de los fertilizantes debido a su habilidad para retener nitratos al momento de ser aplicada a cultivos, por lo tanto al encontrarse ésta cargada con zinc, puede interrumpir o retardar la actividad de microorganismos por ser este un agente bactericida, como lo demuestra Kaldman (2016), al realizar un trabajo similar a esta investigación, donde se demostró la inertización de gallinaza utilizando zeolita químicamente modificada con zinc.

Es importante agregar que aunque no se ha mencionado a detalle en este trabajo, durante el período experimental, al combinar la zeolita modificada con gallinaza, inmediatamente se eliminaban los malos olores, incluyendo los gases de amoníaco que expedían las heces de las aves. Esto es respaldado con la investigación de Martín (2012) donde la zeolita removió el olor a Xantato utilizado en la fase experimental de este trabajo. Esta práctica puede ser utilizada directamente en las casetas de producción donde debido a que la gallinaza se acumula durante todo el ciclo de vida de las aves in situ, los malos olores y concentraciones de amoníaco están presentes constantemente, los cuales a largo plazo pueden resultar dañinos para los trabajadores.

Se debe señalar la posibilidad de emplear zeolita por si sola o con una carga mínima de zinc, para tratar la gallinaza y que esta pueda utilizarse para el consumo de rumiantes. Esto último mencionado es por el hecho de que la zeolita por se agrega en las dietas de animales para mejorar su rendimiento productivo. Además, conviene resaltar que esta ha demostrado ser eficiente en la eliminación de bacterias (Mojica Sepúlveda et al, 2004). Más aún hay que agregar que los análisis bromatológicos realizados, prueban que la gallinaza tiene un alto valor proteínico para el consumo animal.

También es posible determinar, en nuevas experimentaciones con modificaciones químicas a diferentes concentraciones de la solución de  $ZnCl_2$ , conociendo el nivel permisivo de biota dañina que pueden asimilar los rumiantes y de esta manera incrementar la adición de la mezcla Zeolita-Gallinaza para la alimentación del ganado. Este trabajo llevó a 0 la carga de biota dañina en la mezcla.

Por último, se puede considerar a la zeolita químicamente modificada, como un agente importante para el tratamiento de aguas residuales, debido a que demostró su efectividad como reductor de cargas bacterianas contenidas en la gallinaza, esto concuerda con proyectos anteriores como es el caso de la descontaminación y remoción de metales pesados contenidos en aguas recogidas en el municipio de Medellín, Colombia (Chica Toro et al, 2006).

Por lo anterior se considera de suma relevancia este trabajo de investigación, ya que se estudia una alternativa para el tratamiento de la gallinaza, utilizando un producto que resulta tener impactos positivos en diferentes áreas de producción.

Si bien, esta alternativa estudiada resulta ser poco viable para su uso, claramente reta a la comunidad científica a buscar nuevas alternativas para el tratamiento de la gallinaza utilizando zeolita.

## CONCLUSIONES.

En el capítulo a continuación se muestran las conclusiones a las que se llegó en el presente trabajo de investigación, las cuales se encuentran organizadas en relación al cumplimiento de los objetivos y la hipótesis establecida.

1. Es posible tratar la gallinaza con zeolita químicamente modificada para eliminar la proliferación de bacterias contenidas en el residuo.
2. Se obtuvo el suplemento alimenticio a partir de la inertización de la gallinaza proveniente de las aves reproductoras, con zeolita químicamente modificada.
3. Con respecto al tratamiento propuesto de la gallinaza, las proporciones deben guardar una relación de por lo menos 2:1 Zeolita-Gallinaza, para garantizar la inocuidad del producto.
4. El suplemento alimenticio es rico en proteína (21.7%).
5. Debido a sus altas concentraciones de zinc (34,900 ppm), el suplemento alimenticio resulta ser poco viable para el consumo de rumiantes. Así mismo, hay que señalar que se encontró que la dosificación aceptable es 12 g del suplemento alimenticio, donde 9g son de Zeolita y 3 g de gallinaza. Esta mezcla aporta 300 mg de zinc y 0.70 g de proteína cruda.

## **RECOMENDACIONES.**

En este capítulo se presentan las recomendaciones para futuros trabajos de investigación con línea o temática relacionada.

Continuar buscando alternativas para el tratamiento (con zeolitas) de la gallinaza, por otra parte se recomienda explorar opciones para la modificación química de la zeolita, donde las concentraciones de zinc no excedan al requerimiento diario del rumiante.

De igual manera, se sugiere explorar diferentes alternativas para el uso de la zeolita cargada con zinc, donde esta actúe como bactericida o agente desinfectante.

Adicional es recomendable trabajar con diferentes métodos para evaluar la ausencia o presencia de bacterias en las mezclas, al que se ha propuesto en este trabajo de investigación.

Por último se aconseja buscar nuevas opciones para el tratamiento de la gallinaza y que esta pueda ser utilizada como un suplemento alimenticio de alta calidad y bajo costo para el consumo de rumiantes. Aunado, realizar pruebas in situ para evaluar el comportamiento productivo del animal al ser este alimentado con el subproducto propuesto.

## ANEXOS

### ANEXO 1: TABLA DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 1.

TRATAMIENTO	RÉPLICA	TIEMPO	RESPUESTA				
A	1	24	POSITIVA	D	1	72	POSITIVA
A	1	48	POSITIVA	D	2	24	POSITIVA
A	1	72	POSITIVA	D	2	48	POSITIVA
A	2	24	POSITIVA	D	2	72	POSITIVA
A	2	48	POSITIVA	D	3	24	POSITIVA
A	2	72	POSITIVA	D	3	48	POSITIVA
A	3	24	POSITIVA	D	3	72	POSITIVA
A	3	48	POSITIVA	D	4	24	POSITIVA
A	3	72	POSITIVA	D	4	48	POSITIVA
A	4	24	POSITIVA	D	4	72	POSITIVA
A	4	48	POSITIVA				
A	4	72	POSITIVA				
B	1	24	POSITIVA	E	1	24	POSITIVA
B	1	48	POSITIVA	E	1	48	POSITIVA
B	1	72	POSITIVA	E	1	72	POSITIVA
B	2	24	POSITIVA	E	2	24	POSITIVA
B	2	48	POSITIVA	E	2	48	POSITIVA
B	2	72	POSITIVA	E	2	72	POSITIVA
B	3	24	POSITIVA	E	3	24	POSITIVA
B	3	48	POSITIVA	E	3	48	POSITIVA
B	3	72	POSITIVA	E	3	72	POSITIVA
B	4	24	POSITIVA	E	4	24	POSITIVA
B	4	48	POSITIVA	E	4	48	POSITIVA
B	4	72	POSITIVA	E	4	72	POSITIVA
C	1	24	POSITIVA	F	1	24	POSITIVA
C	1	48	POSITIVA	F	1	48	POSITIVA
C	1	72	POSITIVA	F	1	72	POSITIVA
C	2	24	POSITIVA	F	2	24	POSITIVA
C	2	48	POSITIVA	F	2	48	POSITIVA
C	2	72	POSITIVA	F	2	72	POSITIVA
C	3	24	POSITIVA	F	3	24	POSITIVA
C	3	48	POSITIVA	F	3	48	POSITIVA
C	3	72	POSITIVA	F	3	72	POSITIVA
C	4	24	POSITIVA	F	4	24	POSITIVA
C	4	48	POSITIVA	F	4	48	POSITIVA
C	4	72	POSITIVA	F	4	72	POSITIVA
D	1	24	POSITIVA	G	1	24	POSITIVA
D	1	48	POSITIVA	G	1	48	POSITIVA
				G	1	72	POSITIVA
				G	2	24	POSITIVA
				G	2	48	POSITIVA

G	2	72	POSITIVA	J	4	72	NEGATIVA
G	3	24	POSITIVA	K	1	24	NEGATIVA
G	3	48	POSITIVA	K	1	48	NEGATIVA
G	3	72	POSITIVA	K	1	72	NEGATIVA
G	4	24	POSITIVA	K	2	24	NEGATIVA
G	4	48	POSITIVA	K	2	48	NEGATIVA
G	4	72	POSITIVA	K	2	72	NEGATIVA
H	1	24	POSITIVA	K	3	24	NEGATIVA
H	1	48	POSITIVA	K	3	48	NEGATIVA
H	1	72	POSITIVA	K	3	72	NEGATIVA
H	2	24	POSITIVA	K	4	24	NEGATIVA
H	2	48	POSITIVA	K	4	48	NEGATIVA
H	2	72	POSITIVA	K	4	72	NEGATIVA
H	3	24	POSITIVA	L	1	24	NEGATIVA
H	3	48	POSITIVA	L	1	48	NEGATIVA
H	3	72	POSITIVA	L	1	72	NEGATIVA
H	4	24	POSITIVA	L	2	24	NEGATIVA
H	4	48	POSITIVA	L	2	48	NEGATIVA
H	4	72	POSITIVA	L	2	72	NEGATIVA
I	1	24	POSITIVA	L	3	24	NEGATIVA
I	1	48	NEGATIVA	L	3	48	NEGATIVA
I	1	72	NEGATIVA	L	3	72	NEGATIVA
I	2	24	POSITIVA	L	4	24	NEGATIVA
I	2	48	NEGATIVA	L	4	48	NEGATIVA
I	2	72	NEGATIVA	L	4	72	NEGATIVA
I	3	24	POSITIVA	M	1	24	NEGATIVA
I	3	48	NEGATIVA	M	1	48	NEGATIVA
I	3	72	NEGATIVA	M	1	72	NEGATIVA
I	4	24	POSITIVA	M	2	24	NEGATIVA
I	4	48	NEGATIVA	M	2	48	NEGATIVA
I	4	72	NEGATIVA	M	2	72	NEGATIVA
J	1	24	NEGATIVA	M	3	24	NEGATIVA
J	1	48	NEGATIVA	M	3	48	NEGATIVA
J	1	72	NEGATIVA	M	3	72	NEGATIVA
J	2	24	NEGATIVA	M	4	24	NEGATIVA
J	2	48	NEGATIVA	M	4	48	NEGATIVA
J	2	72	NEGATIVA	M	4	72	NEGATIVA
J	3	24	NEGATIVA	N	1	24	NEGATIVA
J	3	48	NEGATIVA	N	1	48	NEGATIVA
J	3	72	NEGATIVA	N	1	72	NEGATIVA
J	4	24	NEGATIVA	N	2	24	NEGATIVA
J	4	48	NEGATIVA	N	2	48	NEGATIVA

N	2	72	NEGATIVA	O	2	24	NEGATIVA
N	3	24	NEGATIVA	O	2	48	NEGATIVA
N	3	48	NEGATIVA	O	2	72	NEGATIVA
N	3	72	NEGATIVA	O	3	24	NEGATIVA
N	4	24	NEGATIVA	O	3	48	NEGATIVA
N	4	48	NEGATIVA	O	3	72	NEGATIVA
N	4	72	NEGATIVA	O	4	24	NEGATIVA
O	1	24	NEGATIVA	O	4	48	NEGATIVA
O	1	48	NEGATIVA	O	4	72	NEGATIVA
O	1	72	NEGATIVA				

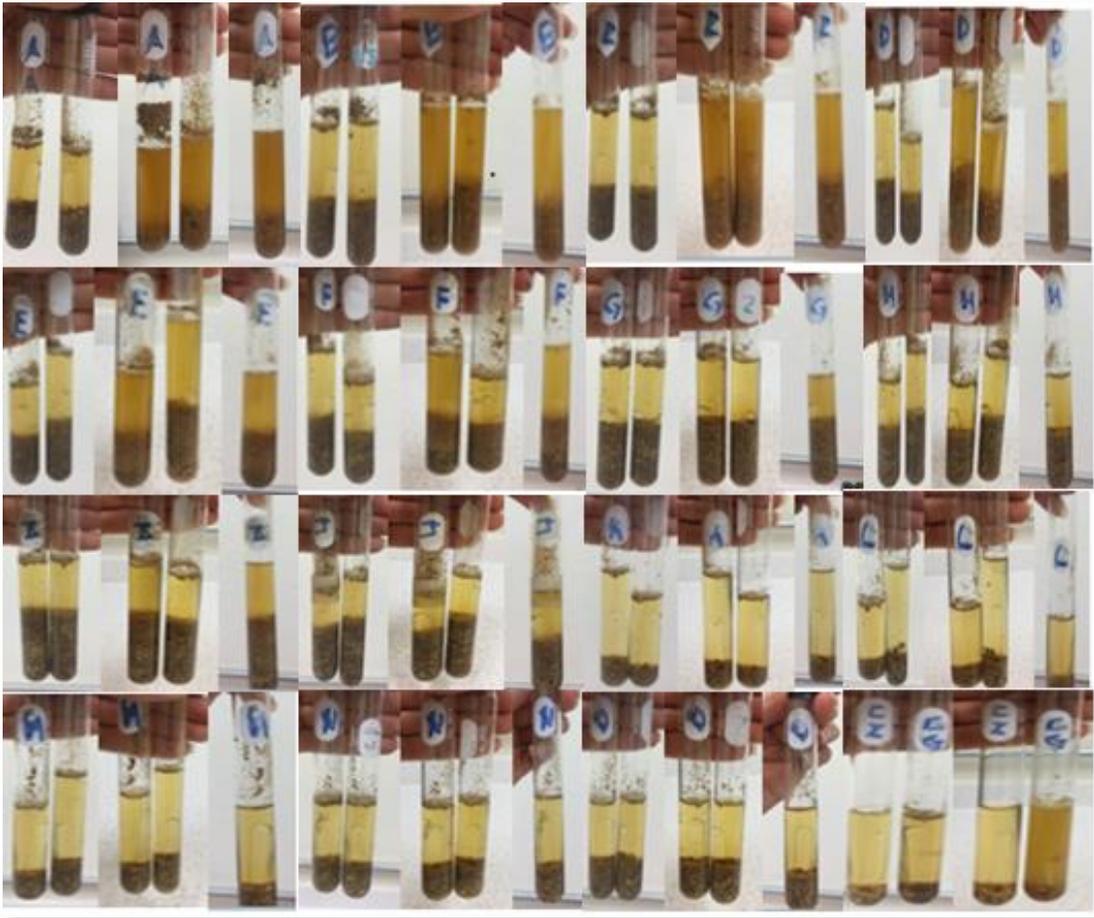
**ANEXO 2: TABLA DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 2.**

EXPERIMENTO	TRATAMIENTO	RÉPLICA	TIEMPO	RESPUESTA
2	J	1	24	POSITIVA
2	J	1	48	POSITIVA
2	J	1	72	NEGATIVA
2	J	2	24	NEGATIVA
2	J	2	48	NEGATIVA
2	J	2	72	NEGATIVA
2	K	1	24	NEGATIVA
2	K	1	48	NEGATIVA
2	K	1	72	NEGATIVA
2	K	2	24	POSITIVA
2	K	2	48	NEGATIVA
2	K	2	72	NEGATIVA
2	L	1	24	POSITIVA
2	L	1	48	NEGATIVA
2	L	1	72	NEGATIVA
2	L	2	24	POSITIVA
2	L	2	48	NEGATIVA
2	L	2	72	NEGATIVA
2	M	1	24	NEGATIVA
2	M	1	48	POSITIVA
2	M	1	72	NEGATIVA
2	M	2	24	POSITIVA
2	M	2	48	NEGATIVA
2	M	2	72	NEGATIVA
2	N	1	24	NEGATIVA
2	N	1	48	NEGATIVA
2	N	1	72	NEGATIVA
2	N	2	24	NEGATIVA
2	N	2	48	POSITIVA
2	N	2	72	NEGATIVA
2	O	1	24	NEGATIVA
2	O	1	48	POSITIVA
2	O	1	72	NEGATIVA
2	O	2	24	NEGATIVA
2	O	2	48	NEGATIVA
2	O	2	72	NEGATIVA





**ANEXO 5: IMÁGENES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.**



RESPUESTAS DE LOS TRATAMIENTOS EN EL PERÍODO EXPERIMENTAL.



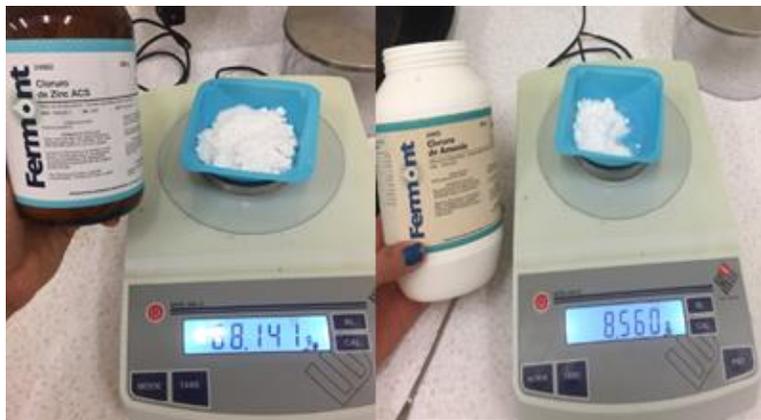
MUESTRAS GALLINAZA-ZEOLITA.



ZEOLITA QUÍMICAMENTE MODIFICADA.



GALLINAZA OBTENIDA DE LAS GRANJAS REPRODUCTORAS.



CLORURO DE ZINC Y CLORURO DE AMONIO.

## BIBLIOGRAFÍA.

1. Avícolas, S. (1993). La producción de huevos en el mundo. *Selecciones Avícolas*, 8-11.
2. Bolan, N., Szogi, A., Chuasavathi, T., Seshadri, B., Rothrock, M., & Pannerselvam, P. (2010). Uses and management of pultry litter. *World's Poultry Science Journal*, Vol. 66, 673-698.
3. Castellanos, A., & Murgía, M. (2002). Comportamiento de la contaminación microbiológica en alimentos balanceados para rumiantes elaborados con pollinaza. . *Revista biomédica*, 1-8.
4. Caudillo, I. J. (1997). *PATROCIPES*. Recuperado el 02 de noviembre de 2017, de Patronato del centro de invetigaciones pecuarias del estado de Sonora: <http://patrocipes.org.mx/publicaciones/pastizales/P97001.php>
5. Centro de Estadística Agropecuaria. (2000). *Situación actual y perspectiva de la producción de huevo para plato en México 1990-2000*. México: Dirección General de Ganadería.
6. Chica Toro, F. d., Londoño Benítez, L. M., & Álvarez Herrera, M. I. (2006). La zeolita en la mitigación ambiental. *Revista Lasallista de Investigación*, 30-34.
7. Conway, A. (2016). Egg production breaks record. *Poultry Trends*, 32-38.
8. De Boer y De Vries. (2009). Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livestock Science*, 1-11.
9. Dreyer y Windhorst. (2011). Análisis del mercado mundial del huevo y ovoproductos. *XXII Congreso Latinoamericano del Huevo* (págs. 1-7). Buenos Aires: 5M.
10. Duque Peñaloza, M. (2016). *EVALUACIÓN DEL USO DE LA ZEOLITA SOBRE LA GANANCIA DE PESO Y ENFERMEDADES GASTROINTESTINALES EN PRODUCCIONES PORCÍCOLAS*. Bogotá: UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA "UNAD" ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLA, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE ECAPMA.
11. EGG CITE. (2012). Ranking de los mayores productores de huevo del mundo. *Llotja de Bellpuig*.

12. Estrada, M. M. (2005). Manejo y procesamiento de la gallinaza . *Revista Lasallista de Investigación*, 43-48.
13. FAO. (2016). *World egg production trend 2000-15*. USA: FAO publications.
14. Figueroa, R. y. (2006). *unam.mx*. Recuperado el 12 de octubre de 2017, de unam.mx: [http://fenix.cichcu.unam.mx/libroe\\_2006/0612796/13\\_c09.pdf](http://fenix.cichcu.unam.mx/libroe_2006/0612796/13_c09.pdf)
15. Fuchs, J. (1985). El comercio mundial de huevos está en baja. *Conferencia de la IEC* (págs. 48-49). Durban: Selavi.
16. García, Y., Ortiz, A., & Lon wo, E. (2005). Efectos de los residuos avícolas en el ambiente. *Instituto de Ciencia Animal*, 1-25.
17. Granados, R., & Villaverde, C. (2003). *Microbiología Tomo 1*. España: Paraninfo.
18. Hernández Moreno, M. D. (2001). *Crísis Avícola en Sonora: El fin de un paradigma 1970-1999*. México: Plaza y Valdés.
19. Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2004). *Metodología de la investigación*. Chile: McGraw-Hill Interamericana.
20. IMSA. (2017). *Información empresarial de las aves de postura*. Tehuacán.
21. IPCC. (6 de Febrero de 2018). *Global Warming of 1.5°C*. Suiza: Intergovernmental Panel on Climate Change.}
22. J. F. Sanchez & R. S. Mylavarapu (2011) Potential Nitrogen Mineralization in Sandy Soils under Long-Term Poultry Litter Management, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42:4, 424-434, DOI: 10.1080/00103624.2011.542222
23. JENKINS, K.J.; HIRIDOGLOU, M. - 1991 - *Tolerance of the preruminant calf for excess manganese or zinc in milk replacer*. 1. *Dairy Sc.* 74: 1047-1053.
24. Jordan H, R., Betancourt-Riera, Cabrera Galdo, E., & Cabrera Germán, D. (2014). Mejorador de suelo a partir de una zeolita natural: Una propuesta sustentable para la agricultura. *Nova Scientia*, 01-11.
25. Jordán H R.(2011). Manual de preparación de nutrientes para rumiantes. Manual de la empresa JAV.

26. Kaldman, J. E. (2016). *Proceso de eliminación de gérmenes patógenos de la gallinaza para su empleo como fuente de proteína en la alimentación del ganado vacuno*. Hermosillo: Universidad Estatal de Sonora.
27. Lon Wo, E. (2003). La Producción Avícola y la Contaminación Ambiental. *La Habana: Instituto de Ciencias Animales*, 29-34.
28. Luna, S. G., Lizaola, R. Q., Castillo, G. A., & Limaylla, A. G. (2016). Captación de amonio en zeolita al incubar gallinaza y residuos de codorniz. En S. G. Luna, R. Q. Lizaola, G. A. Castillo, & A. G. Limaylla, *Captación de amonio en zeolita al incubar gallinaza y residuos de codorniz* (págs. 201-206). Estado de México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
29. Manev, L. (2015). *Evaluation of Manure Management Systems in Europe*. Unión Europea: SARGA.
30. Martín Herve, D., Velázquez Garrido, M. (2012). Comparación de dos muestras de zeolita en la adsorción de humedad y remoción de olores. *INFOMIN: Artículos científicos, Vol. 4*, 21-31.
31. Miazzo, D., & Pisani Claro, N. (07 de enero de 2015). *Carnes Argentinas: Actualidad, propuestas y futuro*. Río Cuarto: Fundación Agropecuaria para el Desarrollo de Argentina.
32. Mieres, J. M. (2004). *Guía para la alimentación de rumiantes*. Montevideo: INIA.
33. Mojica Sepúlveda, R., Agosto, M., Grumel, E., Trivi, M., Soria, D., & Cabello, C. (Enero de 2014). Transformación química y caracterización de un alúminosilicato zeolítico como material de potencial acción bactericida. *Journal of the Argentine Chemical Society*, 101.
34. Morales, H. C. (2012). Utilización de zeolita (clinoptilolita) en la alimentación de pollos de engorda y su efecto en el comportamiento. En H. C. Morales, *Utilización de zeolita (clinoptilolita) en la alimentación de pollos de engorda y su efecto en el comportamiento* (págs. 12-18). Coahuila.
35. Mullo, I. (2012). *Manejo y procesamiento de la gallinaza*. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
36. Napolitano, G. (SF). <http://www.fao.org>. Recuperado el 19 de febrero de 2019, de <http://www.fao.org>: <http://www.fao.org/poultry-production-products/products-and-processing/es/>

37. National Research Council 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle: Seventh Revised Edition: Update 2000. Washington, DC: The National Academies Press
38. Nuñez, A. (2009). Turba y zeolita como soportes de inoculantes microbianos con acción fertilizantes ICIDCA. En A. Nuñez, *Turba y zeolita como soportes de inoculantes microbianos con acción fertilizantes ICIDCA* (págs. 22-27). La Habana, Cuba.
39. OCDE, & FAO. (2017). OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2017-2026. En OCDE, & FAO, *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2017-2026* (págs. 121-134). París: OECD Publishing.
40. Ochoa, M. A., & Urrutia, J. (2007). *Uso d pollinaza y gallinaza en la alimentación de rumiantes*. San Luis Potosí: INIFAP.
41. Orozco Barrantes, E. (2005). *Bancos forrajeros*. San José: MAG.
42. OTT, E.A.; SMITH, W.H., HARRINGTON, R.B.; BEESON, W.M. - 1966 - *Zinc toxicity in ruminants. JI. Effect of high levels of dietary zinc on gains, feed consumption and feed efficiency of beef cattle*. 1. Anim. Sci. 25: 419-423.
43. PEÑA TORRES, E. F. (2014). *EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE ÁCIDO FERULICO Y FERULATO DE ETILO EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CALIDAD DE LA CARNE DE BOVINOS*. Hermosillo: CIAD.
44. Pérez, H., Rodríguez, I., & Arzola, C. (2016). *Aprovechamiento Sostenible de los Residuos de origen orgánico y la zeolita en la agricultura*. Ecuador: UTMACH.
45. Pérez, M. (21 de Enero de 2016). En 2015 el valor de la producción avícola alcanzó 131 mil 404 mdp. *Períodico La Jornada*, pág. 16.
46. Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual del compostaje del agricultor: Experiencias en latinoamérica*. Santiago de Chile: FAO.
47. Ruíz, B. (19 de Marzo de 2012). El productor de huevo más grande en Latinoamérica. *Industria Avícola*.
48. Ruíz, B. (diciembre de 2017). Los 10 principales productores de huevo de latinoamérica. *Industria Avícola*, 16-17.
49. Sagarpa. (26 de diciembre de 2016). *México se consolida en quinto lugar como productor de pollo y huevo a nivel mundial*. México: Sagarpa.

50. Segarra, J. M. (2006). *Determinación de agentes patógenos contaminantes del agua del río Tomebamba, por efecto de abonadura orgánica de pastos con gallinaza, en la zona Cruzpamba*. Cuenca: Universidad del Azuay.
51. Selecciones Avícolas. (1993). La producción de huevos en el mundo. *Selecciones Avícolas*, 8-11.
52. Serna Guerrero, P. A. (2012). *IMPACTO DE LA SUPLEMENTACION DE ACIDO FERULICO SOBRE LA CALIDAD DE LA CARNE DE BOVINOS COMERCIALES*. Hermosillo: CIAD.
53. Stewart, W. M. (2004). Efecto del nivel de suplementación proteica con gallinaza y harina de soya en el crecimiento-ceba de corderos al destete alimentados con heno de baja calidad. *Revista de Producción Animal*, 49.
54. UNA. (2017). *Indicadores Económicos del Sector Avícola*. México: Unión Nacional de Avicultores.
55. Unión nacional de avicultores. (2013). *Situación de la avicultura mexicana*. México: UNA.
56. vega, J. E. (Agosto de 2016). Proceso de eliminación de gérmenes patógenos de la gallinaza para su empleo como fuente de proteína en la alimentación del ganado vacuno. *Tesis de la Universidad Estatal de Sonora*. Hermosillo, Sonora, México.
57. Villamar, L. (2000). *Dirección general de ganadería*. Recuperado el 19 de octubre de 2017, de Centro de estadística Agropecuaria : [http://www.campomexicano.gob.mx/portal\\_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/ComercioExterior/Estudios/Perspectivas/Huevo90-00.pdf](http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/ComercioExterior/Estudios/Perspectivas/Huevo90-00.pdf)
58. Watt AgNet. (2015). La producción mundial de huevos: situación actual y previsiones. *Selecciones Avícolas*, 24-25.
59. Williams, C. M. (2012). Gestión de residuos de aves de corral en los países en desarrollo: Características de la gallinaza de las aves de corral. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*, 1-2.
60. Williams, C. M. (s.f.). Gestión de residuos de aves de corral en los países en desarrollo. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*, 1-5.
61. Yayuan, Z. (2009). *China Today*. Recuperado el 19 de Octubre de 2017, de China today: <http://www.chinatoday.com.cn/hoy/2009n/s2009n11/p30.htm>

62. Zambrano, J. (2 de Octubre de 2014). *E-consulta*. Recuperado el 2 de noviembre de 2017, de E-consulta: <http://www.e-consulta.com/nota/2014-10-02/economia/puebla-segundo-lugar-nacional-en-produccion-de-huevo>