



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

---

---

---

---



UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PROGRAMA DE INGENIERÍA EN AGRONOMÍA Y ZOOTECNIA

INCLUSIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE SECUESTRANTE DE  
MICOTOXINAS EN DIETAS PARA POLLOS DE ENGORDA

TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO

LICENCIADO EN INGENIERIA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

PRESENTA  
JOSÉ ELÍAS CARMONA BELLO

DIRECTOR DE TESIS  
DR. EUTIQUIO SONÍ GUILLERMO

**Tlatlauquitepec, Puebla, México. Septiembre 2020**



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

---

---

---

---



UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN AGRONOMÍA Y ZOOTECNIA

INCLUSIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE SECUESTRANTE DE  
MICOTOXINAS EN DIETAS PARA POLLOS DE ENGORDA

TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO

LICENCIADO EN INGENIERIA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

PRESENTA  
JOSÉ ELÍAS CARMONA BELLO

DIRECTOR DE TESIS  
DR. EUTQUIO SONÍ GUILLERMO

CODIRECTOR  
DR. EDGAR VALENCIA FRANCO

ASESOR  
DR. MARCOS PÉREZ SATO

**Tlatlauquitepec, Puebla, México. Septiembre 2020**

La presente tesis titulada: Inclusión de diferentes niveles de secuestrante de micotoxinas en dietas para pollos de engorda y realizada por José Elías Carmona Bello, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el título de:

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

Unidad Académica de Ingeniería Agronómica y Zootecnia

Consejo particular integrado por:

Firma

Director: Dr. Eutiquio Soni Guillermo

---

Codirector: Dr. Edgar Valencia Franco

---

Asesor: Dr. Marcos Pérez Sato

---

**Tlatlauquitepec, Puebla, México. Septiembre 2020**

EL presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico denominado: Producción Pecuaria Integral y de la línea de investigación: Producción Integral de Rumiantes y no Rumiantes, mediante el proyecto **“inclusión de diferentes niveles de secuestrante de micotoxinas en dietas para pollos de engorda”**

## **DEDICATORIA**

A mi único y todopoderoso Dios.

Por darme inteligencia y la capacidad de lograr culminar.

A mi familia.

Por todo el apoyo que siempre he recibido.

Al sr. Emilio.

Por ofrecer un lugar para que se llevara a cabo este trabajo.

A mi director y asesores de tesis.

Por dedicar parte de su tiempo para poder culminar este trabajo.

A mis compañeros y amigos.

Por hacer de mí paso por la universidad de Ingeniería en Agronomía y Zootecnia algo placentero e inolvidable.

A la sra. Aquilea y sr. Raúl.

Por prestarme su atención y cobijo durante el tiempo que duró mi carrera.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres

**Elías Carmona Flores**

y

**Margarita Bello del Razo**

Por ser mis guías y darme las bases para ser una persona de bien, por apoyarme incondicionalmente, por su amor y porque de ellos dependió que este momento llegara, espero no fallarles y poder hacerlos sentir orgullosos

Atte: Su hijo José Elías Carmona Bello.

A mi hermana

**Mónica Carmona Bello**

Por ser esa parte de mi familia a la que tengo que darle un buen ejemplo, por su amistad y porque sé que ella va a poner el nombre de la familia en alto.

A mis abuelos maternos y paternos

**Lino Bello Zamora, Margarita del Razo Velázquez**

y

**Jesús Carmona Sánchez, María Alfonsa Flores Ruíz**

Porque si bien solo vive una abuela, quiero hacerle ver esta finalización de esta etapa de mi vida satisfactoriamente.

## ÍNDICE GENERAL

### CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	i
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	ii
<b>RESUMEN</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. OBJETIVOS</b> .....	3
<b>III. HIPÓTESIS</b> .....	4
<b>IV. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	5
4.1 Antecedentes y generalidades de la carne de pollo en México.....	5
4.1.2 Comercialización e importaciones .....	7
4.1.3 Consumo nacional .....	7
4.2 La importancia de las micotoxinas .....	8
4.3 Factores que intervienen en el crecimiento y la producción de micotoxinas .....	9
4.3.1 Factores físicos.....	9
4.3.2 Factores químicos.....	11
4.3.4 Composición del sustrato .....	11
4.4 Micotoxinas de mayor interés por la avicultura: breve descripción de la composición y mecanismos de acción. ....	11
4.4.1 Aflatoxinas .....	12
4.4.2 Ocratoxina A (OTA) .....	13
4.4.3 Tricotecenos .....	14
4.4.4 Fumonisinias .....	15
4.5 Principales micotoxinas que han sido encontradas en México.....	16
4.6 Normativa y regulación .....	17
4.6.1 Límites de algunas micotoxinas recomendados para aves en producción .....	17
4.7 Medidas de control o prevención de las micotoxinas .....	17
4.7.1 La utilización de adsorbentes de micotoxinas en los alimentos.....	18
<b>V. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	23

5.1 Localización geográfica.....	23
5.2 Establecimiento del experimento.....	24
5.3 Alimento .....	25
5.4 Variables medidas.....	26
5.4.1 Consumo de alimento.....	26
5.4.2 Ganancia de peso.....	26
5.4.3 Conversión alimenticia.....	27
5.4.4 Eficiencia alimenticia.....	27
5.4.5 Calidad de la canal .....	28
5.5 Análisis estadístico .....	29
<b>VI. RESULTADOS.....</b>	<b>30</b>
6.1 Consumo de alimento .....	30
6.2 Ganancia de peso .....	31
6.3 Conversión alimenticia (C.V).....	32
6.4 Eficiencia alimenticia.....	34
6.5 Rendimiento de la canal.....	35
6.6 pH, capacidad de retención de agua (C.R.A) y color de la canal .....	36
<b>VII. CONCLUSIONES .....</b>	<b>38</b>
<b>VIII. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>39</b>
<b>IX. ANEXOS.....</b>	<b>46</b>

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1:</b> Valores de aw necesarios para el desarrollo de algunos mohos y para la producción de algunas micotoxinas.....	10
<b>Cuadro 2:</b> Temperatura necesaria para el desarrollo de algunos hongos y para la producción de algunas micotoxinas.....	10
<b>Cuadro 3:</b> Especies de hongos toxigénicos y sus toxinas .....	12
<b>Cuadro 4:</b> Micotoxinas que más afectan en la productividad de aves, así como sus niveles necesarios para que se muestren sus efectos. ....	16
<b>Cuadro 5:</b> Principales micotoxinas encontradas en México, así como incidencia en alimentos y concentración en ppb. ....	17
<b>Cuadro 6:</b> Composición de las dietas por tratamiento en la etapa de iniciación y finalización. ....	25
<b>Cuadro 7:</b> Análisis químico proximal de las dietas .....	26
<b>Cuadro 8:</b> Consumo de alimento (g) en pollos de engorda con diferentes niveles de secuestrante de micotoxinas a base de silicato de aluminio hidratado. ....	31
<b>Cuadro 9:</b> Ganancia de peso (g) en pollos de engorda con diferentes niveles de secuestrante de micotoxinas a base de silicato de aluminio hidratado. ....	32
<b>Cuadro 10:</b> Conversión alimenticia en pollos de engorda con diferente nivel de secuestrante de micotoxinas a base de silicato de aluminio hidratado. ....	33
<b>Cuadro 11:</b> Eficiencia alimenticia, consumo acumulado y peso vivo final en pollos de engorda con diferente nivel de secuestrante de micotoxinas a base de silicato de aluminio hidratado. ....	35
<b>Cuadro 12:</b> Rendimiento de la canal obtenida con diferente nivel de secuestrante de micotoxinas a base de silicato de aluminio hidratado. ....	36
<b>Cuadro 13:</b> pH, capacidad de retención de agua (CRA) y color de la canal en pollos de engorda con diferente nivel de secuestrante de micotoxinas a base de silicato de aluminio hidratado. ....	37

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Producción de pollo en canal de los primeros 6 países con mayor producción a nivel mundial en millones de toneladas. Gráfico adaptado de una base de datos de la FAO (2018), <a href="http://www.fao.org/countryprofiles/en3.1.2">http://www.fao.org/countryprofiles/en3.1.2</a> . .....	5
<b>Figura 2:</b> Producción de pollo en canal de los primeros 7 estados con mayor producción en toneladas. La gráfica se adaptó de los datos recopilados por SIAP (2017), <a href="http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceProd.jsp">http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceProd.jsp</a> . .....	6
<b>Figura 3:</b> Destino de consumo del pollo en el mercado nacional mexicano. La gráfica se adaptó de una base de datos de SIAP, (2017).....	7
<b>Figura 4:</b> Proteína de origen animal de mayor consumo en el mercado nacional mexicano. Gráfica adaptada de unas encuestas de SAGARPA-SIAP (2017), <a href="http://encuestascontinuas.siap.gob.mx/captura/login.php">http://encuestascontinuas.siap.gob.mx/captura/login.php</a> . .....	8
<b>Figura 5:</b> Estructura molecular de la Aflatoxina $\beta$ 1. Tomado “The mycotoxin Blue Book”. Smith y Swamy, (2005). .....	12
<b>Figura 6:</b> Estructura molecular de la Ocratoxina A. Derivados de isocumarina a la derecha de la molécula y el aminoácido a la izquierda, unidos por una amida. ....	13
<b>Figura 7:</b> Estructura molecular general de los Tricotecenos. Deoxynivalenol. Tomado “The mycotoxin Blue Book”. Smith y Swamy, (2005).....	14
<b>Figura 8:</b> Estructura molecular de la fumonisina $\beta$ 1. Tomado “The mycotoxin Blue Book”. Smith y Swamy, (2005). .....	15
<b>Figura 9:</b> Localización del municipio de Zaragoza, Puebla, México.....	23

## RESUMEN

Los aluminosilicatos, son arcillas con propiedades estimuladoras del metabolismo permitiendo la obtención de mejores rendimientos. El objetivo del presente experimento, fue evaluar diferentes niveles de un secuestrante de micotoxinas comercial (Biotecap<sup>®</sup> Biotetox) a base de silicato de aluminio hidratado en dietas para pollos de engorda. Para el presente estudio se utilizaron 90 pollos de la línea Ross 308 Aviagen de 5 días de edad, con un peso promedio de  $102.1 \pm 10$  g, distribuidos en un diseño completamente al azar. Las variables evaluadas fueron: consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia, eficiencia alimenticia, así como variables fisicoquímicas de la canal, las cuales fueron: rendimiento, pH y capacidad de retención de agua de la canal. Los tratamientos fueron los siguientes: T1: Dieta basal (testigo); T2: Dieta basal + 0.35 % del secuestrante; T3: Dieta basal+ 0.50 % del secuestrante. Con los datos obtenidos se realizó un ANOVA mediante el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS 2002 y las medias se compararon con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Los resultados mostraron que la inclusión de T2 (0.35 %) y T3 (0.50 %) del secuestrante de micotoxinas presentaron una mejor respuesta productiva ( $P \leq 0.05$ ) en consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia y eficiencia alimenticia en comparación con el testigo, por el contrario no hubo respuesta ( $P > 0.05$ ) en las características físico-químicas evaluadas de la canal. Por lo que se concluyó que el T2 y T3 obtuvieron las mejores respuestas productivas.

**Palabras claves:** Micotoxinas, micotoxicosis, silicato de aluminio hidratado, adsorbente.

## ABSTRACT

The aluminosilicatos, are clays with stimulating properties of the metabolism allowing the obtaining of better yields. The objective of the present experiment was to evaluate different levels of a commercial mycotoxin sequestrant (Biotecap® Biotetox) based on hydrated aluminum silicate in diets for broiler chickens. For the present study, 90 chickens of the Ross 308 Aviagen line, 5 days old, with an average weight of  $102.1 \pm 10$  g, distributed in a completely randomized design, were used. The evaluated variables were: food consumption, weight gain, feed conversion, food efficiency, as well as physicochemical variables of the carcass, which were: yield, pH and water retention capacity of the carcass. The treatments were the following: T1: Basal diet (control); T2: Basal diet + 0.35% of the sequestrant; T3: Basal diet + 0.50% of the follower. With the obtained data, an ANOVA was performed using the GLM procedure with the statistical package SAS 2002 and the means were compared with the Tukey test ( $P \leq 0.05$ ). The results showed that the inclusion of T2 (0.35%) and T3 (0.50%) of the mycotoxin sequestrant presented a better productive response ( $P \leq 0.05$ ) in feed consumption, weight gain, feed conversion and feed efficiency compared to the On the other hand, there was no response ( $P > 0.05$ ) in the evaluated physical-chemical characteristics of the carcass. Therefore, it was concluded that T2 and T3 obtained the best productive responses.

**Keywords:** Micotoxins, mycotoxicosis, hydrated aluminum silicate, adsorbent.

## I. INTRODUCCIÓN

La inocuidad y los controles de calidad de los alimentos son elementos fundamentales para la salud animal y humana. Hernández, Flores y Ávila, (2014) mencionan que los hongos crecen y proliferan bien en cereales, en los que generalmente encuentran un sustrato altamente nutritivo para su desarrollo, creando un riesgo para la producción de micotoxinas. Como la incidencia de hongos, los cuales se encuentran de modo natural en un gran número de productos agrícolas, utilizados como materias primas para la preparación de alimentos balanceados para animales, puede llevar consigo la posibilidad de contaminantes y residuos tóxicos de los productos en la explotaciones zootécnicas contaminando leche, huevo, carne y otros productos de origen animal. Mallman *et al.*, (2013) mencionan que el crecimiento fúngico y la producción de micotoxinas en cereales pueden ocurrir en las diversas fases del desarrollo, maduración, cosecha, transporte, procesamiento o almacenamiento de los granos, así que un método de prevención es la reducción de la humedad de los cereales a través del secado, siendo de fundamental importancia para reducir los niveles de contaminación. Ramos y Hernández, (1997), comentan, que las micotoxinas son agentes tóxicos que contaminan los alimentos de manera natural y son sustancias tóxicas resultantes del metabolismo secundario de diferentes cepas de hongos filamentosos. Sus compuestos orgánicos, de bajo peso molecular no poseen inmunogenicidad en la mayoría de los casos. El peligro de estas micotoxinas está en sus efectos, de acuerdo con Mallman *et al.*, (2013) los residuos de micotoxinas en el organismo animal no sólo implican que el animal ingiera un alimento contaminado con los consiguientes signos de toxicidad, sino también el peligro para los humanos que los consuman. Prvlovic *et al.*, (2015) mencionan que se conocen más de 400 micotoxinas, las cuales son producidas por aproximadamente una centena de hongos. Datos de la FAO, (2016), indicaron que las micotoxinas en pequeñas cantidades, son muy comunes en los alimentos, especialmente en las dietas básicas de muchos países en vías de desarrollo. La incidencia de micotoxinas en la producción de animales, especialmente aves y cerdos, representa uno de los mayores problemas que preocupa a estos importantes sectores agroproductivos. Entre los efectos adversos que pueden traer consigo el consumo de alimentos contaminados se encuentran la drástica reducción de la productividad, caracterizada por una disminución de la velocidad de crecimiento y una baja eficiencia alimentaria. Surai y Dvorska, (2005), hacen una pequeña clasificación de las micotoxinas de mayor interés pecuaria, en tres

grupos: las aflatoxinas, producidas por hongos del género *Aspergillus* como *A. flavus* y *parasiticus*; las ocratoxinas, producidas por el *Aspergillus ochraceus* y diversas especies del género *penicillium*; y las fusariotoxinas, que poseen como principales representantes los tricotecenos, la zearalenona y las fumonisinas, producidas por diversas especies del género *Fusarium*. SENASICA, (2017) menciona que en México, la producción de alimentos balanceados para animales depende principalmente de la utilización de materias primas comunes (75%), las cuales podrían venir acompañadas con problemas de micotoxinas o estar propensas a contaminarse debido a las condiciones de transporte y almacenamiento a que son sometidas, antes de entrar a la cadena de preparación. Así que para su control o reducción según Sanchís *et al.*, (2011) mencionan algunos métodos, los cuales pueden dividirse en métodos físicos de eliminación, biológicos, degradación química y la utilización de adsorbentes.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 General**

Evaluar diferentes niveles de un secuestrante de micotoxinas comercial a base de silicato de aluminio hidratado en el comportamiento productivo y propiedades físico-químicas de la canal en dietas para pollos de engorda.

### **2.2 Específicos**

- Evaluar consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia con diferentes niveles de secuestrantes de micotoxinas comercial a base de silicato de aluminio hidratado en dietas para pollos de engorda.
- Evaluar el rendimiento de la canal, pH de la canal, capacidad de retención de agua de la canal y color con diferentes niveles de secuestrante de micotoxinas comercial a base de silicato de aluminio hidratado en dietas para pollos de engorda.

### **III. HIPÓTESIS**

La inclusión del secuestrante de micotoxinas comercial a base de silicato de aluminio hidratado en dietas para pollos de engorda, mejora los parámetros productivos sin afectar las características físico-químicas de la canal.

## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Antecedentes y generalidades de la carne de pollo en México

#### 4.1.1 Impacto económico de la producción de pollo

En México, la principal industria transformadora de proteína vegetal en proteína animal, es la avicultura, además que se procesan 7.5 millones de toneladas de grano anualmente, estimulando la siembra anual para granos en México para la avicultura. En contraste, de acuerdo con SIAP, (2017) en México la industria avícola género más de 780 mil empleos, de los cuales 130 mil son directos y 650 mil son indirectos, en su mayoría rurales, lo que puede contribuir a disminuir la migración rural hacia los Estados Unidos.

Estadísticas de la base de datos de la FAO, (2018), muestran que nuestro país es actualmente el sexto lugar en producción de pollo con 3.2 millones de toneladas (Figura 1), detrás de países como: Estados Unidos (18.6 millones de toneladas), Brasil (13.2 millones de toneladas), China (11.6 millones de toneladas), India (4.4 millones de toneladas) y Rusia (3.9 millones de toneladas).

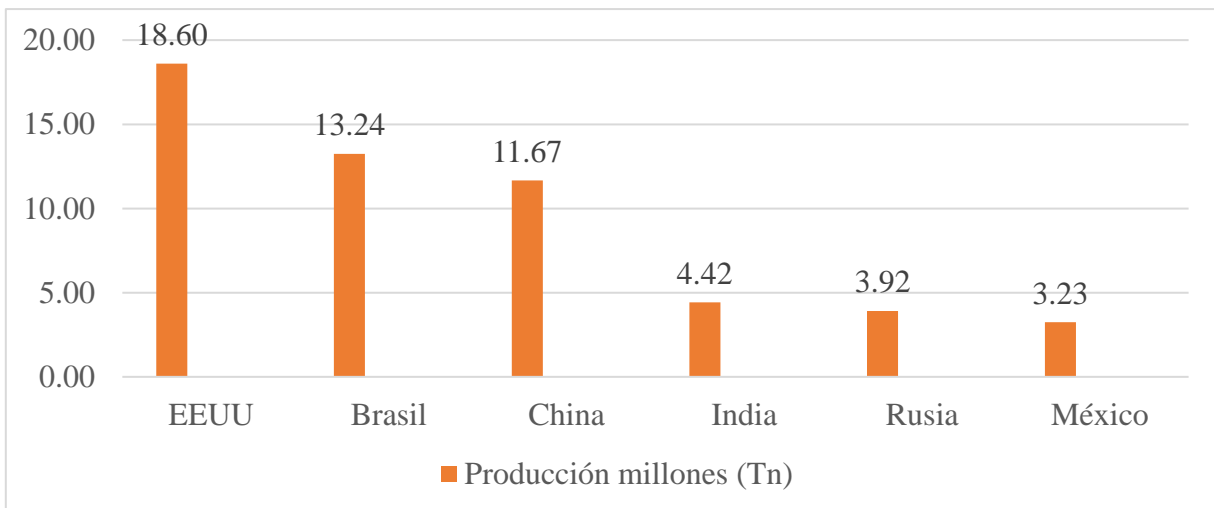


Figura 1: Producción de pollo en canal de los primeros 6 países con mayor producción a nivel mundial en millones de toneladas. Gráfico adaptado de una base de datos de la FAO (2018), <http://www.fao.org/countryprofiles/en3.1.2>.

Durante 2017 el comportamiento de la industria avícola se mantuvo con el dinamismo que caracteriza a la actividad, toda vez que, actualmente representa 63.8% de la producción pecuaria en México, donde 6 de cada 10 personas, incluyen en su dieta alimentos avícolas como pollo, huevo y pavo (SAGARPA, 2017).

La Unión Nacional de Avicultores en 2017 reportó que la avicultura mexicana aportó el 0.7 % en el PIB total, el 23 % en el PIB agropecuario y el 37 % en el PIB pecuario. De 1994 al 2017 el consumo de insumos agrícolas, ha crecido 82 %, con una tasa de crecimiento media anual de 2.6 %, y cabe destacar que la avicultura es la principal industria transformadora de proteína vegetal en proteína animal. Datos de SIAP, (2017) mostraron que las entidades del país con la mayor producción de carne de pollo fueron: Jalisco, Veracruz, Aguascalientes, Querétaro, Durango, Guanajuato y Puebla (Figura 2). En el 2017 se produjeron casi 3.5 millones de toneladas de carne de pollo, siendo el cárnico con mayor producción en México, la producción de pollo en México, ha crecido 145 % durante el periodo de 1994 a 2017, ha aumentado a un ritmo de crecimiento anual del 4 %. Para el cierre de 2018, se proyecta que la avicultura generará 1 millón 277 mil empleos, mientras que en 2017 la avicultura generó 1 millón 258 mil empleos, siendo 1 millón 64 mil indirectos y más 212 mil indirectos, esto de acuerdo con SIAP, (2018).

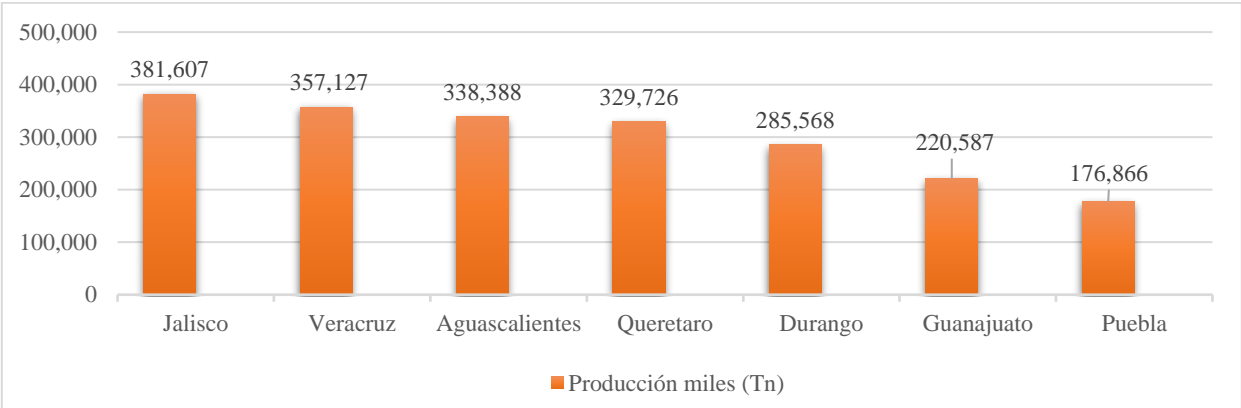


Figura 2: Producción de pollo en canal de los primeros 7 estados con mayor producción en toneladas. La gráfica se adaptó de los datos recopilados por SIAP (2017), [http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance\\_siap\\_gb/pecAvanceProd.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceProd.jsp).

#### 4.1.2 Comercialización e importaciones

SIAP, (2017) menciona que la comercialización de pollo en México (Figura 3) se llevó cabo de la siguiente manera: vivo 37 %, roscicero 35 %, mercado público 11 %, supermercado 5 %, piezas 9 % y productos de valor agregado 3 %. Por otro lado, de acuerdo a datos de la SAGARPA, (2017), las importaciones de carne de pollo tuvieron una participación de 13.3 % en el consumo nacional.

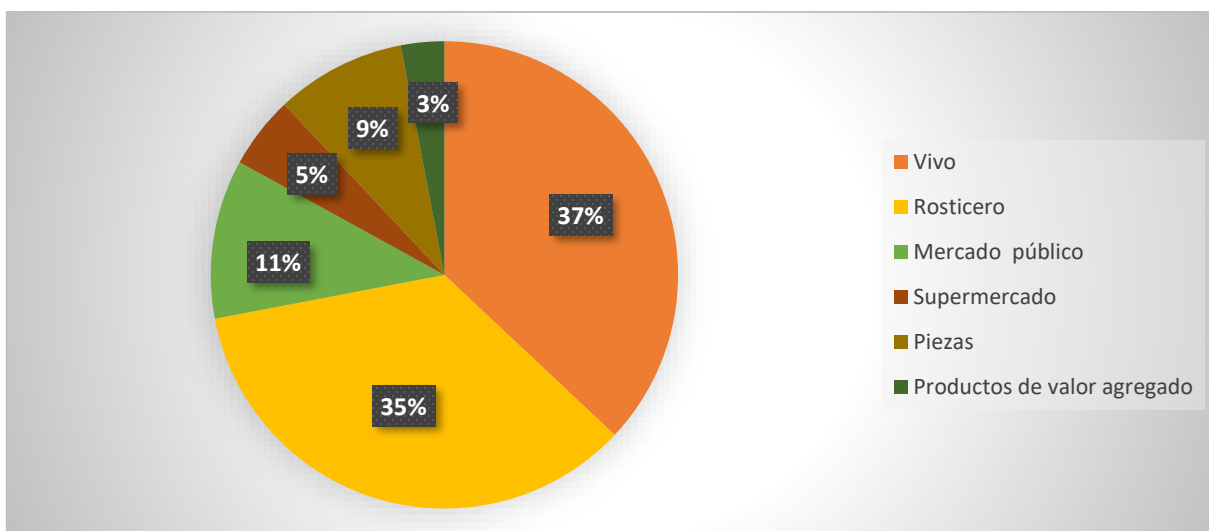


Figura 3: Destino de consumo del pollo en el mercado nacional mexicano. La gráfica se adaptó de una base de datos de SIAP, (2017).

#### 4.1.3 Consumo nacional

El pollo y el huevo son unos de los alimentos preferidos por los mexicanos, para el cierre de 2018, de acuerdo a SIAP, (2018) se pronostica que el consumo nacional per cápita de pollo sea de 28.42 kg por habitante, mientras que el consumo aparente (incluye importaciones), llegue a 32.88 kg al finalizar el año.

La avicultura es uno de los sectores estratégicos para la alimentación en México; toda vez que los productos avícolas juegan un papel importante, en los que 6 de cada 10 personas incluyen en su dieta huevo y pollo, esto se debe en parte, a que ambos productos se encuentran al alcance de las familias mexicanas, y también a su alto contenido nutricional, accesibilidad y

versatilidad. Por esta razón, ha habido un incremento en el consumo de carne de pollo, modificándose el patrón de consumo a favor de productos avícolas.

En el aporte de proteína por el sector pecuario (Figura 4), la carne de pollo según SAGARPA, (2017), tuvo una participación del 38.4 %, seguido del huevo con 17 %, la carne de res represento un 15.8 % y carne de cerdo un 8 %.

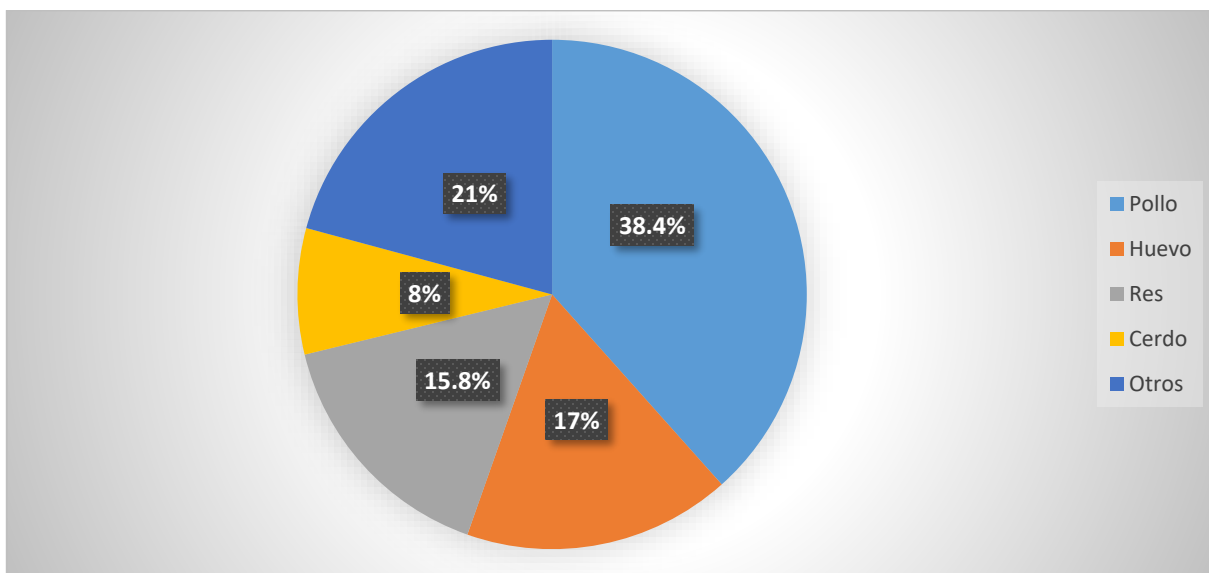


Figura 4: Proteína de origen animal de mayor consumo en el mercado nacional mexicano. Gráfica adaptada de unas encuestas de SAGARPA-SIAP (2017), <http://encuestascontinuas.siap.gob.mx/captura/login.php>.

#### 4.2 La importancia de las micotoxinas

Las micotoxinas son metabolitos secundarios de los hongos, productos en la reducción cetónica para la síntesis de los ácidos grasos que posteriormente utiliza como fuente de energía, Gimeno y Martins, (2007) mencionan que la presencia constante, característica típica de diferentes especies de hongos, determina que las micotoxinas pueden encontrarse en una gran variedad de productos alimenticios. Sin embargo, la presencia de un hongo en el alimento no indica necesariamente la presencia de micotoxinas, sino un riesgo potencial de contaminación, Swamy y Macdonald, (2005) mencionan que la contaminación de los

alimentos por los llamados hongos de campo o de precosecha, puede ocurrir durante el período de crecimiento, y maduración de la planta, especialmente en las semillas. Después de la cosecha Gimeno y Martins, (2007) mencionan que el riesgo proviene de otros hongos de géneros como *Aspergillus* ssp, *Penicillium* ssp y *Rhizopus* ssp bajo condiciones inadecuadas de humedad y temperatura en el almacenaje.

Lo anterior mencionado podría dar las pautas para presentarse una micotoxicosis, la cual Smith y Swami, (2005) describen como una enfermedad producida por inhalación o la ingestión de alimentos contaminados con toxinas producidas por hongos, estas toxinas puede provocar cuadros agudos o crónicos, dependiendo del nivel de contaminación de los alimentos.

#### **4.3 Factores que intervienen en el crecimiento y la producción de micotoxinas**

Como se ha mencionado anteriormente, de acuerdo a Smith y Swamy, (2005), tradicionalmente los hongos se han dividido en especies de campo, los cuales requieren altas condiciones de humedad e incluyen los géneros *Fusarium*, *Alternaria*, *Clodosporium*, *Diplodia* y *Giberella* entre otros, los de bodega requieren menos humedad (13-18 %) y normalmente no se presentan antes de la cosecha. Este grupo lo forman principalmente los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*. Por lo tanto, las micotoxinas pueden entrar en la cadena alimentaria del mismo cultivo, en el almacenamiento de los alimentos, materias primas y entre otros puntos intermedios del proceso, como manipulación, embalaje y transporte.

La producción de los hongos depende de tres factores principales:

##### **4.3.1 Factores físicos**

Dentro de los factores físicos se encuentran la temperatura y la humedad, así, por ejemplo, la cantidad de agua en el ambiente y en los sustratos, es un factor importante para el desarrollo de los hongos y su producción de toxinas.

El agua disponible, llamada también actividad de agua (**aw**), expresa la relación entre el agua libre de los alimentos y la capacidad de proliferar de los microorganismos. Gimeno y Martins, (2007), mencionan que el valor **aw** que los diversos grupos de hongos necesitan, varía de acuerdo al sustrato y la temperatura. En el Cuadro 1, se muestran algunos valores de **aw** necesarios para el desarrollo de los hongos más importantes y su producción de micotoxinas.

**Cuadro 1: Valores de aw necesarios para el desarrollo de algunos mohos y para la producción de algunas micotoxinas.**

Mohos	aw	Micotoxinas	aw
<i>Aspergillus flavus</i>	0.78	Aflatoxinas	0.83
<i>Aspergillus parasiticus</i>	0.70	Aflatoxinas	0.80
<i>Penicillium expansum</i>	0.85	Patulina	0.99
<i>Penicillium patulum</i>	0.83	Patulina	0.95
<i>Aspergillus clavatus</i>	0.85	Patulina	0.99
<i>Aspergillus ochraceus</i>	0.77	Ocratoxinas	0.88
<i>Aspergillus ochraceus</i>	0.77	Ácido penicilico	0.90
<i>Penicillium cyclopium</i>	0.82	Ocratoxinas	0.90
<i>Penicillium citrinum</i>	0.80	Citrinina	0.88

Fuente: (Smith y Swamy, 2005; Gimeno y Martins, 2013).

Cuando la humedad lo facilita, los hongos productores de micotoxinas pueden crecer de forma natural entre un rango de temperatura que va de -3 a 40°C. La temperatura óptima para su desarrollo, se encuentra entre 25 y 30° C, con un límite máximo de 45° C (Cuadro 2).

**Cuadro 2: Temperatura necesaria para el desarrollo de algunos hongos y para la producción de algunas micotoxinas.**

Hongos	°C	Micotoxinas	°C
<i>Aspergillus flavus</i>	10	Aflatoxinas	10
<i>Aspergillus flavus</i>	10	Patulina	12
<i>Aspergillus ochraceus</i>	10-12	Ocratoxina	12
<i>Penicillium expansum</i>	0	Patulina	0 - 12
<i>Penicillium cyclopium</i>	0	Ocratoxina	0 - 24
<i>Fusarium roseum</i>	15	Zearalenona	10

Fuente: (Gimeno y Martins, 2007; Serrano *et al.*, 2015).

#### 4.3.2 Factores químicos

Sweeney and Dobson (2013) destaca como factor químico la capacidad de los hongos de tolerar un gran rango de pH, que va desde 2.5-7.5 pudiendo soportar más los medios ácidos que los básicos. Muchos poseen la capacidad de modificar el pH del sustrato para su propio beneficio, utilizando los ácidos orgánicos de los propios sustratos o los producidos por otros microorganismos presentes durante el deterioro del alimento, asegurándoles la viabilidad y posterior producción de toxinas.

#### 4.3.4 Composición del sustrato

Los hongos no son exigentes nutricionalmente, sin embargo, la composición del sustrato donde se instala, va a determinar drásticamente la producción de toxinas. Almudena y Almudena y Lisazo, (2016) mencionan que si el sustrato es amiláceo u oleaginoso, condiciona la producción de micotoxinas. En condiciones óptimas de temperatura y humedad, se ha descrito un crecimiento del hongo muy alto con una producción de toxina baja en productos oleaginosos como la soja, comparada con cultivos amiláceos como el maíz y el trigo.

### **4.4 Micotoxinas de mayor interés por la avicultura: breve descripción de la composición y mecanismos de acción.**

Las micotoxinas pueden causar diferentes enfermedades llamadas micotoxicosis, la toxicidad provocada, puede ser aguda, crónica o subcrónica. Entre sus efectos destacan los teratogénicos, mutagénicos y carcinogénicos de algunas de ellas sobre animales y humanos. Pinto, (2013) menciona que la respuesta tóxica producida cuando son ingeridas por los animales y la expresión de la enfermedad varia y depende del órgano afectado, del tipo de toxina (diferente estructura química), del tiempo de exposición, de la dosis, del estado fisiológico y sanitario del animal y/o de la combinación de toxinas.

De acuerdo a Smith y Swamy, (2005), hay descritos más de 350 tipos de metabolitos secundarios. Entre ellos, solo unos cuantos reciben una atención especial por su gran poder toxigénico sobre los animales y el hombre. Los géneros de hongos más importantes por su

producción de moléculas potencialmente tóxica (Cuadro 3), son *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*.

### Cuadro 3: Especies de hongos toxigénicos y sus toxinas

Especie fúngica	Micotoxina
<i>A. flavus</i> ; <i>A. parasiticus</i>	Aflatoxinas
<i>A. ochraecus</i> ; <i>Penicillium verrocosum</i> ; <i>P. cyclopium</i>	Ocratina A
<i>P. expansum</i>	Patulina
<i>Fusarium culmorum</i> ; <i>F. gramineatum</i> ; <i>F. sporomchioides</i>	Deoxinivalenol
<i>F. sporomchioides</i> ; <i>F. poae</i>	Toxina T-2
<i>F. sporomchioides</i> ; <i>F. graminearum</i> ; <i>F. poae</i>	Diacetoxiscirpenol
<i>F. culmorum</i> ; <i>F. graminearum</i> ; <i>F. sporotrichioides</i>	Zearalenona
<i>F. moniliforme</i>	Fumonisinias

Fuente: (Smith y Swamy, 2005).

Es interesante resaltar que una sola especie puede producir una o más clases de micotoxina. Así, por ejemplo, *A. flavus*, es considerado el principal productor de aflatoxinas, pero también tiene la capacidad de producir otras toxinas.

#### 4.4.1 Aflatoxinas

Son producidas principalmente por *A. flavus* y *A. parasiticus* (Figura 5). Existen por lo menos 18 tipos de estas moléculas, de las cuales las más importantes son la  $\beta_1$  y  $M_1$ , esta última siendo derivado metabólico de la  $\beta_1$ . (Leeson *et al.*, 2008).

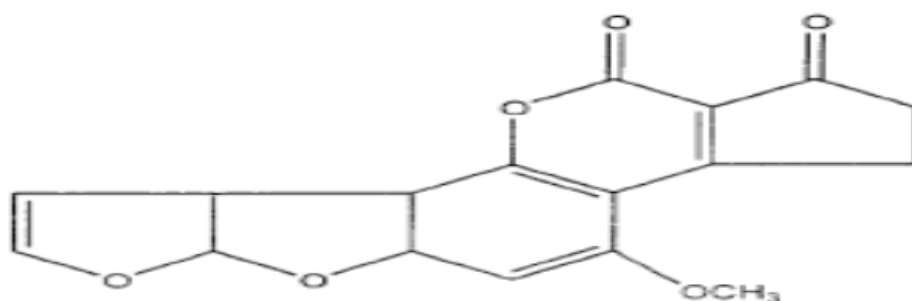


Figura 5: Estructura molecular de la Aflatoxina  $\beta_1$ . Tomado “The mycotoxin Blue Book”. Smith y Swamy, (2005).

Smith y Swamy, (2005), describe sus estructuras como altamente estables en el medio ácido del tracto digestivo, hasta ser absorbidas en el intestino y encontrar los receptores adecuados para su posterior metabolismo.

La aflatoxina afecta fundamentalmente a las aves, cerdos y otros monogástricos. La AF $\beta_1$  parece ser la que más daño produce en las aves, ya que varios investigadores citan como efecto el daño hepático con necrosis, hiperplasia de conductos biliares, petequias y hemorragias a nivel de órganos internos (Cuadro 4). Estudios realizados por Loja, (2017) demostraron que, durante los primeros 42 días, en pavos presentaron una sensibilidad a la intoxicación por aflatoxinas cerca de 4 a 6 veces mayor que los pollos. De acuerdo con Caron, (2014), las aflatoxinas también pueden afectar el sistema inmune y provocar con ello un aumento en la susceptibilidad de enfermedades infecciosa (Cuadro 4), además de que pueden inducir efectos inmunotóxicos. De igual manera, la exposición de AF $\beta_1$  puede inducir la formación de anticuerpos contra las mismas aflatoxinas, lo cual puede alterar la capacidad de producir anticuerpos contra otros patógenos.

#### 4.4.2 Ocratoxina A (OTA)

Es principalmente producida por *A. ochraceus*, *P. verrucosum*, *P. nordicum* y *P. cyclopium*. Aunque hay descritos por lo menos 7 tipos de ocratoxinas, la más representativa es la Ocratoxina A (OTA). La molécula de la ocratoxina A (Figura 6), es derivada de los compuestos 3,4 dihidrometilisocumarinicos y formada por una mitad de isocumarina, unida por una amida al aminoácido L- $\beta$ -fenilalanina.

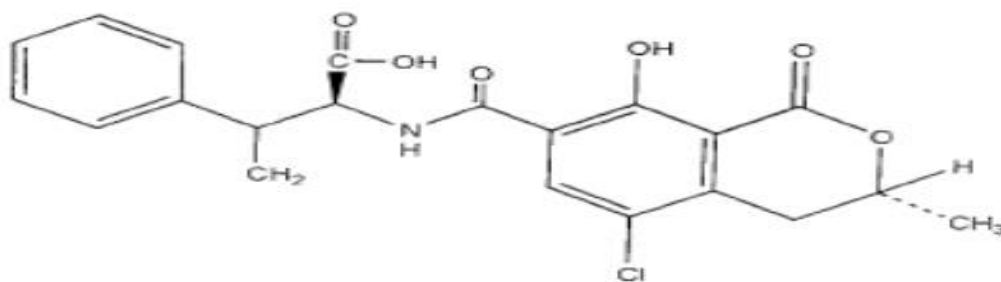


Figura 6: Estructura molecular de la Ocratoxina A. Derivados de isocumarina a la derecha de la molécula y el aminoácido a la izquierda, unidos por una amida.

Esta micotoxina es tres veces más tóxica que la aflatoxina en pollos y es principalmente nefrotoxina. Durante un cuadro de toxicosis, el riñón aumenta de tamaño y pierde el color debido a la acumulación de ácido úrico. Según Riley y Pestka, (2008), por sus propiedades físico-químicas de esta toxina, se absorbe fácilmente en el tracto gastrointestinal, siendo su biodisponibilidad superior al 50 % en la mayoría de especies estudiadas. Sin embargo, López y Lina, (2013) describen que el mecanismo de acción de la ocratoxina aún no es muy claro, pero la similitud de su estructura con la fenilalanina, el hecho de inhibir enzimas y procesos que dependen de este aminoácido, le atribuyen a la OTA interrumpir el metabolismo del aminoácido. En términos productivos según Surai y Dvorska, (2005), la reducción de la ganancia de peso puede ser hasta del 19.3 %, mientras que la interacción entre OTA y CPA (ácido ciclopiazónico) causa una disminución de hasta el 31 % en la ganancia de peso.

#### 4.4.3 Tricotecenos

Son un grupo de toxinas producidas por el género *Fusarium*, con efectos perjudiciales sobre la salud y la productividad animal. De acuerdo con Smith y Swamy, (2005), este grupo incluye más de 40 compuestos derivados, de donde se destacan la toxina T-2, el deoxynivalenol (DON, llamada también vomitoxina por sus efectos eméticos), nivalenol, mono y diacetoxyscirpenol (Figura 7). El principal cuadro clínico asociado a su ingestión por los animales, es la irritación de los tejidos y en especial de la mucosa intestinal, con manifestación de lesiones orales y dermatitis.

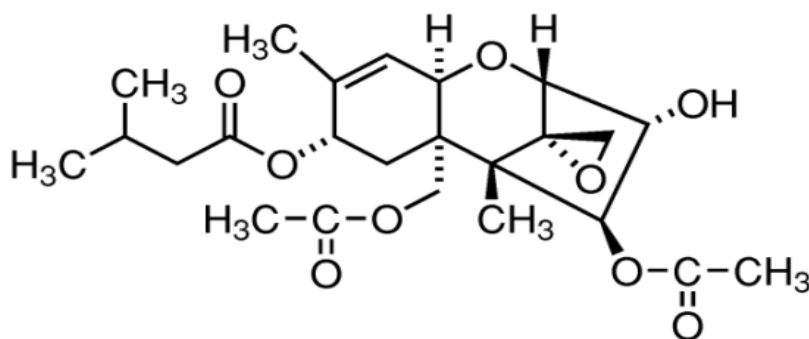


Figura 7: Estructura molecular general de los Tricotecenos. Toxina T-2. Tomado “Descripción de micotoxinas”. Pérez y Rifi, (2011).

Los tricotecenos son, después de la aflatoxina, las toxinas más inmunomoduladoras de las producidas por los hongos. De acuerdo con Sweeney y Dobson, (2005) su mecanismo de acción principal es afectar la respuesta inmune celular por incidencia directa sobre la médula ósea, bazo, tejido linfoide, timo y mucosa intestinal, donde las células que se dividen activamente, son inmediatamente dañadas. La citotoxicidad se le atribuye a este grupo, por su potente inhibición de síntesis de proteínas, ARN y ADN

#### 4.4.4 Fumonisininas

Las fumonisininas incluyen los tipos F $\beta_1$ , F $\beta_2$  y F $\beta_3$ , constituyendo parte del grupo de micotoxinas producidas por el hongo *Fusarium moniliforme*. Se componen de una larga cadena hidrocarbonada, altamente polar (Figura 8), que se le confiere sus propiedades toxigénicas (Pinto *et al.*, 2013). La más tóxica de su grupo es la fumonisinina  $\beta_1$  de acuerdo a Almudena, (2013) y se ha demostrado que puede tener propiedades teratogénicas.

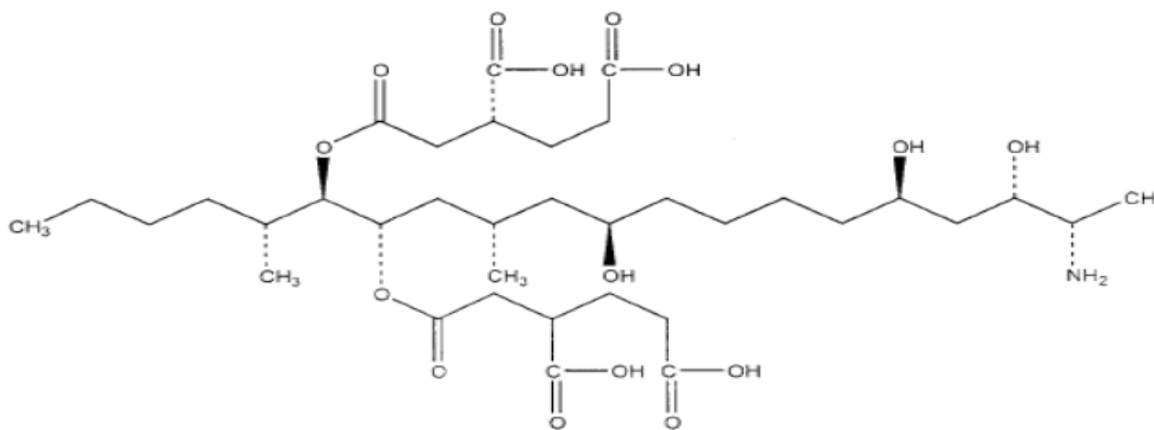


Figura 8: Estructura molecular de la fumonisinina  $\beta_1$ . Tomado “The mycotoxin Blue Book”. Smith y Swamy, (2005).

Estructuralmente, por su semejanza con la esfingosina, quizás ello, sea un factor clave para que se produzca un bloqueo de la síntesis de los esfingolípidos y actúen como factor mitogénico, alterando así la transformación celular (Cuadro 4). En diferentes estudios, se ha manifestado el poder tóxico de esta molécula, en estas especies se ha encontrado que la toxina produce un descenso en la ganancia de peso y el consumo de alimento con dosis de 50 a 250

µg/kg en periodos cortos de tiempo; mientras que en periodos largos, dosis de 10 µg/kg manifiesta efectos tóxicos y dosis de 1mg/kg no lo hacen de acuerdo con Caron *et al.*, (2014).

**Cuadro 4: Micotoxinas que más afectan en la productividad de aves, así como sus niveles necesarios para que se muestren sus efectos.**

Micotoxina	Especie animal	Efectos en la producción	Lesión	Niveles de toxinas (ppm)
Aflatoxina β1	Aves	Descenso en crecimiento y producción, peso y calidad de huevos, incluida su incubabilidad. Reducción de función inmune e incremento en mortalidad.	Hepática	2.5-5
Diacetoxycirpenol y toxina T-2	Aves	Pérdida de peso, lesiones cutáneas, hemorragias.	Hepática, dérmica	500
Ocratoxina A	Aves	Descenso en crecimiento, producción de huevos y eficiencia alimenticia. Descenso en la utilización de energía y proteína. Inmunosupresión e incremento en mortalidad.	Edema, nefritis Enteritis hepática	0.2-1.6 0.5-40
Fumonisinias	Aves	Edema pulmonar, pérdida de peso y muerte	Desmielinización	1-5

Fuente: Smith y Swamy, (2005); Surai y Dvoska, (2005); Leeson *et al.*, (2008).

#### 4.5 Principales micotoxinas que han sido encontradas en México

Las micotoxinas de mayor importancia para la producción avícola en el territorio mexicano son las aflatoxinas, seguidas por la ocratoxina A y el deoxinivalenol (Cuadro 5), es de destacar que poco menos de la mitad de todos los alimentos analizados en México

presentan contaminación por aflatoxinas, seguido las otras micotoxinas mencionadas (SENASICA, 2017).

**Cuadro 5: Principales micotoxinas encontradas en México, así como incidencia en alimentos y concentración en ppb.**

Micotoxina	Muestras analizadas	Positividad (%)	Promedio (ppb)
Aflatoxinas	824,552	40.8	11.8
Ocratoxina A	19,730	16.6	43.4
Fumonisinias	14,162	53.4	1,073
Toxina T-2	10,952	1.3	13.9
Diacetoxiscirpenol	747	6	9.5

Fuente: SAGARPA-SENASICA, 2017.

#### 4.6 Normativa y regulación

##### 4.6.1 Límites de algunas micotoxinas recomendados para aves en producción

De acuerdo con la NOM-247-SSA1-2008 emitida por SAGARPA, se contemplan límites de aflatoxinas  $\beta_1$  en 5  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en materias primas para elaboración de alimentos destinados a pollos en etapa de iniciación, 15  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en alimentos para pollos en etapa de crecimiento y un límite de hasta 50  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en alimentos para pollos en etapa de finalización; en cuanto a Ocratoxina A, recomiendan que no haya presencia de esta micotoxina en alimentos para pollos en etapa de iniciación, 5  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en alimentos para pollos en etapa de crecimiento y hasta 20  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en alimentos para pollos en etapa de finalización; mientras que para fumonisinias en maíz, recomiendan un máximo de 100  $\mu\text{g}/\text{kg}$  para pollos en etapa de iniciación, 500  $\mu\text{g}/\text{kg}$  para los pollos en etapa de crecimiento y de igual manera un máximo de 500  $\mu\text{g}/\text{kg}$  para pollos en etapa de finalización.

#### 4.7 Medidas de control o prevención de las micotoxinas

De acuerdo con la NOM-001-SAGARPA/SCFI-2016, para contrarrestar el crecimiento de hongos, recomienda realizar una cosecha cuidadosa para evitar el daño de los granos y su

correcto secado, en ningún caso debe almacenarse producto que no se encuentre en buenas condiciones, es decir, los granos y oleaginosas deben encontrarse secos, sanos, limpios y sin daño mecánico; la delimitación de estibas y pasillos se debe hacer conforme al tipo y dimensiones del área de almacenamiento y en ningún caso se deben bloquear las puertas de acceso; se debe revisar periódicamente el estado del producto durante el tiempo que permanezca almacenado y para ello es necesario que cuando menos cada 15 días; mientras que el almacenamiento a granel se debe realizar a una humedad máxima de 14.0 - 14.5 % en granos y menos del 12 % en oleaginosas.

Otra estrategia preventiva que Gimeno y Martins, (2007) ha descrito para reducir la contaminación de las cosechas por las micotoxinas, es la inclusión de cepas de hongos atoxigénicas o no productoras de toxinas y que por biocompetencia pueden desplazar a las cepas toxigénicas. Sin embargo, recomiendan que para realizar el control y eliminación de las micotoxinas es necesario saber cuáles son las toxinas de mayor incidencia, conocer su estructura y su capacidad de reacción frente a otras moléculas, que las puedan hacer menos tóxicas o completamente inocuas.

Sin embargo, cuando se presentan casos en los que la presencia de micotoxinas sea inminente, se recurre a métodos de descontaminación, los cuales Arbaiza, (2009), deberían cumplir los siguientes requisitos:

- a) Que sea efectivo en la extracción, destrucción e inactivación de micotoxinas.
- b) Que no produzca residuos tóxicos, carcinógenos o mutagénicos en los productos tratados ni en los productos alimenticios derivados de los animales.
- c) Que no altere las propiedades nutritivas del alimento o que alteren su palatabilidad.
- d) Que sea económica y tecnológicamente factible; no alterando el costo final del producto.

#### 4.7.1 La utilización de adsorbentes de micotoxinas en los alimentos

Serrano y Cardona, (2015) menciona que el método más efectivo para neutralizar las micotoxinas en los alimentos, es por medio de la inclusión de adsorbentes inertes en la dieta,

que previenen la absorción de la toxina en el intestino. El mecanismo por el que estas sustancias actúan, se debe a un fenómeno llamado adsorción.

Pérez, (2015) menciona una serie de características ideales que debe tener el agente para una buena acción adsorbente:

- a) Tener la capacidad de adsorber un gran rango de micotoxinas
- b) Su mezcla con el pienso debe ser de fácil dispersión y uniformidad
- c) Deben ser estables a la temperatura y presión durante procesos como peletización, así como extrusión o almacenaje.
- d) El porcentaje de inclusión en la dieta debe ser práctico (en general, se recomienda una dosificación de 1 a 10 kg de adsorbente por tonelada.
- e) No debe presentar afinidad a las vitaminas, minerales u otros nutrientes, ya que lo más probable es que los atrape y se eliminen juntos en las heces.
- f) Deben ser estables dentro de un amplio rango de pH, biodegradabilidad al ser excretados.
- g) Deben ser inocuos a animales y humanos, así como palatables para que puedan ser consumidos por animales sin que el alimento sea rechazado.

Dentro del grupo de los adsorbente, Cruz, (2016) menciona a los aluminosilicatos (zeolitas y bentonitas naturales), y diferentes tipos de polímeros con propiedades adsorbentes.

Los silicatos aluminicos o aluminosilicatos (HSCAS) forman parte del grupo de las arcillas que se vienen utilizando como adsorbentes: como los filosilicatos donde se ubica la bentonita y los tecto-silicatos. Cortéz y López, (2011) mencionan que las bentonitas se componen básicamente de montmorillonita y que por su capacidad de intercambio catiónico pueden formar geles que son los que actúan como secuestrantes de las micotoxinas.

De acuerdo a Caron, (2014), la bentonita es eficaz contra la toxina T-2 en dosis no prácticas en alimentación animal. En contraste según Loja, (2017), muestra que la bentonita puede capturar bien  $AF\beta_1$ , pero no actúa bien sobre zearalenona o deoxinivalenol.

En los tectosilicatos, la otra gran subclase, se encuentran la sepiolita y la zeolita. Estas son arcillas y están compuestas con una estructura tridimensional, con características básicas, formadas por la unión de tetraedros de óxido de silicio ( $\text{SiO}^4$ ) y de aluminio ( $\text{AlO}^4$ ) entre los cuales se intercalan otros iones como por ejemplo aluminio, calcio y sodio y que de acuerdo con Serrano y Cardona, (2017), cuando convergen estos tres iones en la estructura del tetraedro, se forma el silicato aluminico-sódico-cálcico hidratado (HSCAS) que posee una mayor capacidad de adsorción, ya que los iones anexos hacen que la molécula se expanda conforme la distancia entre iones silicio, a la vez que se aumentan los puntos de enlace y el área de contacto.

#### 4.7.1.2 El papel de las arcillas (aluminosilicatos) en la alimentación animal

Ramos y Hernández, (1997) define las arcillas como minerales sedimentarios de origen detrítico, filosilicatos en su mayor parte, con estructuras laminares o tubulares definidas, así como tamaño menor a 2 micras, que le dan unas características físico-químicas especiales. Las arcillas son constituyentes esenciales de una gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son productos finales de la meteorización de los silicatos. Se clasifican según los minerales dominantes que los componen (aluminio, magnesio, silicio) y como estén organizados dentro de cada capa. Las arcillas presentan, por una parte, un valor elevado del área superficial y, a la vez, la presencia de una gran cantidad de superficie activa con enlaces no saturados. Por ello, puede interactuar con muy diversas sustancias, en especial compuestos polares.

En la industria de la alimentación animal, el uso de arcillas es habitual como agentes antiapelmazantes, lubricantes, aglomerantes y como adsorbentes de compuestos no deseados en los piensos (Katouli *et al.*, 2016).

Para tal fin, la tecnología alimentaria se vale de la modificación de las propiedades físico-químicas más importantes.

- a) La superficie específica: definida como el área superficial de las partículas constituyentes, por unidad de masa ( $\text{m}^2/\text{g}$ ); muy importante en la interacción sólido-fluido.
- b) Capacidad de intercambio catiónico: que describe el cambio que puede producirse de iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares o en otros espacios interiores de estructuras, por otros existentes en las soluciones acuosas con las que intervienen.
- c) Capacidad de absorción/adsorción: esta capacidad está directamente relacionada con las características de textura (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que normalmente se dan de forma conjunta; absorción (cuando se trata de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla y el líquido, gas o molécula adsorbida, denominado adsorbato).
- d) Hidratación e hinchamiento: el grado de hidratación depende de la naturaleza del catión intercambiable y la carga total de la lámina. Así por ejemplo si el catión interlaminar es sodio, la capacidad de hinchamiento se incrementa por la absorción de agua en los espacios interlaminares, separando las láminas y obteniendo como resultado un alto grado de dispersión y un máximo desarrollo de las propiedades coloidales. Por el contrario, si los cationes son  $\text{Ca}^+$  o  $\text{Mg}^+$ , esta capacidad se verá reducida.
- e) Capacidad reológica o plasticidad: es la propiedad que consiste en el efecto lubricante que produce el agua que envuelve las partículas laminares y que permite el deslizamiento de unas partículas sobre otras, cuando ejerce determinada fuerza sobre ellas.

Además de las múltiples aplicaciones de las arcillas como son su alto poder aglomerante y antiapelmazante, Leeson *et al*, (2008), mencionan otros efectos a nivel digestivo de los

animales, como que pueden reducir la velocidad de tránsito intestinal y aumentar la digestibilidad de los nutrientes, actuar como protectores gástricos e intestinales y prevenir diarreas aumentando la consistencia de las heces. Sin embargo el interés ha sido mayor debido a la utilidad de sus propiedades como adsorbente, fundamentalmente como secuestrante de moléculas de micotoxinas altamente perjudiciales para la salud humana y animal.

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Localización geográfica

El presente trabajo de investigación fue llevado a cabo en un módulo aviar adaptado en un cuarto con medidas de 10 x 4 metros, ubicado en el municipio de Zaragoza, Puebla, dentro de las coordenadas geográficas; N 19° 46.2'29'' latitud norte y 97° 33.3'46'' de longitud oeste. A una altitud de 2300 msnm (SMN, 2018).

El municipio se localiza en la zona de los climas templados de la sierra norte (Figura 9). Se presentan varios climas: clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano, que se presenta en la zona montañosa del sureste; clima templado subhúmedo con lluvias en verano; que se presenta en un área reducida del suroeste del municipio (INEGI, 2018).

Sin embargo el clima templado subhúmedo con lluvias en verano (57%), es el clima predominante y se observa en la parte central, con temperaturas anuales que oscilan entre 6 y 22° C, cuya clasificación climática según Köppen y modificaciones realizada por García (1997), es C (w<sub>1</sub>) (x') (SMN, 2017).

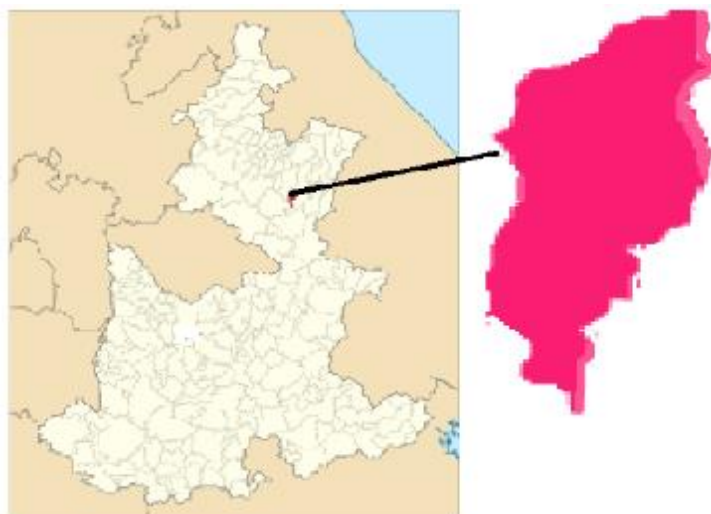


Figura 9: Localización del municipio de Zaragoza, Puebla, México.

## 5.2 Establecimiento del experimento

Se utilizaron 90 pollos de la línea comercial Ross 308, de 5 días edad con un peso promedio de  $102.1 \pm 10$  g., vacunados contra Marek al 1° día de edad. Una semana antes de la llegada de los pollos, se realizó la limpieza y desinfección del cuarto; en la limpieza, se utilizó agua, jabón e hipoclorito de sodio como desinfectante, para posteriormente encalar todo el cuarto. Los corrales fueron contruidos usando malla hexagonal calibre 20 (38 mm) y palos de madera como pilares de sostén de 13 cm de diámetro x 0.90 cm de largo. Se construyeron 9 corrales de 1.2 m<sup>2</sup>. Se acondicionaron camas compuestas por paja de cebada y avena con un espesor no mayor de 8 cm, esto por cada corral. Por cada unidad experimental (corral), se utilizaron 10 animales e implementó un bebedero del tipo manual con capacidad de 2 litros y un comedero tubular con capacidad de 5 kg. Para llevar un control de la temperatura, se usó un termómetro ambiental, para suminístrale a los pollos la iluminación y el calor necesario en la zona, se implementaron focos de 100 watts, uno por cada unidad experimental, con la facilidad de ser ajustables a la altura requerida. La temperatura dentro del módulo estuvo mantenida entre 28 y 32 °C, durante las primeras dos semanas, posteriormente esta fue descendiendo de acuerdo a la necesidad de los pollos, a 27, 26, 24, 23, 20, 18 °C, en la tercera, cuarta, quinta, sexta, séptima y octava semana respectivamente. Al momento de la recepción de los pollos, se les coloco en 2 grupos de 50 pollos para que no disiparan su calor corporal y se les proporciono agua con 5 % de azúcar. Posteriormente, se les suministro alimento comercial a libre acceso hasta el momento de comenzar el experimento. Los animales fueron desparasitados al momento de iniciar el experimento y vacunados a los 9 días después de la recepción, en la cual se aplicó la vacuna contra newcastle por vía ocular, a los 20 días, se aplicó la vacuna triple aviar preventiva. La duración del experimento fue de ocho semanas, que comprendieron desde el día de la recepción con animales de 5 días de nacidos hasta el sacrificio de los mismos, comprendiendo este periodo del día 5 de enero al 2 de marzo de 2018. Los pollos se pesaron, dividieron y repartieron en las corraletas de una forma completamente al azar de 3 tratamientos y 3 repeticiones (10 animales por repetición); en donde: T1= Dieta basal, T2= Dieta basal + 0.35 % de secuestrante de micotoxinas comercial Biotetox, T3= Dieta basal + 0.50 % de secuestrante de micotoxina comercial Biotetox. El ciclo de producción comprendió 51 días dentro de los cuales se dividió en 2 fases: iniciación (5-29

días) y finalización (30- 56 días). Los factores contemplados que determinaron las fases anteriores, fueron la edad de los pollos.

### 5.3 Alimento

Las dietas fueron formuladas por el método del tanteo (Cuadro 6), de acuerdo a las necesidades nutricionales para pollos (NRC, 1994).

**Cuadro 6: Composición de las dietas por tratamiento en la etapa de iniciación y finalización.**

Ingredientes	Etapa de iniciación			Etapa de finalización		
	T1 %	T2%	T3%	T1%	T2%	T3%
Sorgo	60.2	60.2	60.2	24	24	24
Maíz	0	0	0	41.5	41.5	41.5
Pasta de soya	33.5	33.5	33.5	28.5	28.5	28.5
Aceite de soya	3	3	3	3	3	3
Metionina	0.15	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Lisina	0.29	0.22	0.22	0.20	0.20	0.20
Triptofano	0.15	0.15	0.15	0.11	0.11	0.11
Treonina	0.11	0.11	0.11	0.1	0.1	0.1
CaCO3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Ortofosfato de calcio	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Premezcla de vitaminas	0.1	0.1	0.1	0	0	0
Sal	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Secuestrante	0	0.35	0.5	0	0.35	0.5
<b>Total</b>	100	100	100	100	100	100
<b>Aporte nutricional calculado</b>						
PC. (%)	21.7	21.7	21.7	18.2	18.2	18.2
EM. (Kcal/kg)	3000	3000	3000	3000	3000	3000

Para poder verificar el requerimiento de proteína y cenizas (Cuadro 7), se realizó un análisis químico proximal (AQP).

**Cuadro 7: Análisis químico proximal de las dietas**

Composición de la dieta	Etapa de iniciación			Etapa de finalización		
	T1%	T2%	T3%	T1%	T2%	T3%
Humedad	12	12	12	12	12	12
P.C.	21.7	21.6	21.6	18.3	18.3	18.3
Cenizas	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0

## 5.4 Variables medidas

### 5.4.1 Consumo de alimento

Se midió diariamente por tratamiento y repetición, restando el alimento rechazado al alimento ofrecido a libre acceso, medido en gramos, el alimento ofrecido fue aumentándose de acuerdo a la edad de los pollos.

$$CAL = Ao - Ar$$

Donde:

CAL= Consumo de alimento

Ao=Alimento ofrecido

Ar= Alimento rechazado

### 5.4.2 Ganancia de peso

Se midió cada 7 días por tratamiento y repetición, como la diferencia del peso vivo promedio de actual y el peso vivo promedio semanal anterior de los mismos.

$$GP = PV_2 - PV_1$$

Donde:

GP= Ganancia de peso

PV<sub>1</sub>= Peso vivo promedio semanal anterior

PV<sub>2</sub>= Peso vivo actual

### 5.4.3 Conversión alimenticia

Se midió cada 7 días por tratamiento y repetición, como la relación entre el alimento consumido semanalmente y la ganancia de peso vivo logrado semanalmente.

$$CV = \frac{CA}{GP}$$

Donde:

CV= Conversión alimenticia

CAL= Consumo de alimento (g)

GP= Ganancia de peso (g)

### 5.4.4 Eficiencia alimenticia

Se midió al final del ciclo productivo, con la relación del alimento consumido acumulado y el peso vivo final logrado.

$$EA = \frac{PVf}{Ca}$$

Donde:

EA= Eficiencia alimenticia

PVf= Peso vivo final

Ca= Consumo de alimento acumulado

#### 5.4.5 Calidad de la canal

##### 5.4.5.1 Rendimiento de canal

Se midió al momento del sacrificio en laboratorio, tomando 3 animales por repetición. Se registró el peso vivo de los animales, para posteriormente el peso de los mismos, excluyendo las vísceras, patas, hígado, corazón, plumas, sangre y cabeza. El rendimiento de la canal fue el producto del peso de la canal por el peso vivo, entre 100.

$$R = \frac{PC \times PV}{100}$$

Donde:

R= Rendimiento de la canal

PC = Peso de la canal

PV= Peso vivo

##### 5.4.5.2 pH

Se realizó en laboratorio con el uso de un potenciómetro (Mettler Toledo S220) en homogeneizados de carne. Se utilizaron 3 muestras (repeticiones) por cada tratamiento.

- a) Se pesaron 2.5 g de muestra (musculo *pectoralis* mayor), se molieron con 25 mL de agua destilada y se vació en un vaso de precipitado.
- b) Se estandarizó el pH en el potenciómetro con una solución buffer de fosfatos con pH 6.0.
- c) Se filtró la mezcla para eliminar el tejido conectivo y se realizó la lectura.
- d) El electrodo se enjuagaba entre lecturas con agua destilada.

##### 5.4.5.3 Capacidad de retención de agua (CRA.)

Se realizó en laboratorio por el método de centrifugación. Se utilizaron 3 muestras (repeticiones) por cada tratamiento.

- a) Se pesaron 2 g de muestra de carne
- b) Las muestras se picaron finamente
- c) Se agregaron a tubos de ensayo y se les agrego 4mL de agua 0.6 M de NaCl
- d) Se agitaron las muestras durante un minuto.
- e) Las muestras se metieron al refrigerador durante 20 minutos.
- f) Se agitaron nuevamente las muestras
- g) Se colocaron las muestras en una centrifugadora por 15 minutos a 10 000 rpm
- h) Se decantó el sobrenadante en una probeta y se midió el volumen no retenido de solución 0.6 M de NaCl.

#### 5.4.5.4 Color de la canal

Se realizó 24 horas después del sacrificio con ayuda de un colorímetro portátil (CR-400 Sensing Americas), tomándose 3 muestras (repeticiones) por cada tratamiento, estas provinieron de la pechuga. Se calibró para medir los índices de Luminosidad (L), rojo (a) y amarillo (b).

### 5.5 Análisis estadístico

El diseño experimental utilizado para evaluar el comportamiento productivo de los pollos, fue un diseño al azar, con 3 tratamientos y 3 repeticiones de 10 animales cada uno, el análisis estadístico se realizó por medio del paquete SAS 2002 y el modelo estadístico que se utilizó fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$ = Variable aleatoria del i-esimo tratamiento con la j-esima repetición

$\mu$ = Media general

$T_i$ = Efecto del i-esimo tratamiento

$E_{ij}$ = Error experimental

## VI. RESULTADOS

### 6.1 Consumo de alimento

En la etapa de iniciación, no se observaron diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ) entre tratamientos (Cuadro 8). De igual manera Santamaría, (2016) no encontró diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ) entre tratamientos para la etapa de iniciación sobre el consumo de alimento al incluir 0.15 y 0.30 % de un secuestrante a base de silicato de aluminio hidratado, mientras que Katouli *et al.*, (2016), reportó diferencias significativas al incluir 3 % de bentonita (montmorilonita filosilicato) reflejándose en un mayor consumo en la cuarta semana respecto al tratamiento sin el secuestrante. En la 5.<sup>a</sup> y 6.<sup>a</sup> semana tampoco se presentaron diferencias significativas en el consumo de alimento ( $P \geq 0.05$ ), de manera similar Arce *et al.*, (2014) no encontró diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ) con la inclusión de 0.15 % de silicato de aluminio cálcico en el consumo de alimento respecto al tratamiento sin el secuestrante en la 6.<sup>a</sup> y 7.<sup>a</sup> semana, por el contrario Fierro *et al.*, (2013) encontraron diferencias significativas en el consumo de alimento promedio ( $p \leq 0.05$ ) en la 5.<sup>a</sup> y 6.<sup>a</sup> semana usando aluminosilicatos hidratados con la inclusión 0.3 % en la dieta, siendo el consumo mayor con respecto al usado con una inclusión de 1.5 % del mismo en la dieta, también Prvlovic *et al.*, (2015) encontraron que la inclusión de 0.45 % de silicato de aluminio sódico (aluminosilicato hidratado) presentó diferencias significativas con un mayor consumo de alimento respecto a la inclusión de 0.25 %. En cuanto a la etapa de finalización, en la 7.<sup>a</sup> y 8.<sup>a</sup> semana, se presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre T2 y T3 con respecto T1 (Cuadro 8), presentándose menor consumo de alimento en estos respecto al testigo, así pues el consumo de alimento promedio del tratamiento testigo fue estadísticamente superior respecto T3, de manera similar Mamani *et al.*, (2015), reportó diferencias en el consumo de alimento en la 7<sup>o</sup> semana, presentándose un mayor consumo de alimento en el testigo sin secuestrante respecto a la inclusión de 1.5 y 3 % de bentonita y zeolita. Comparando los resultados obtenidos en cuanto a consumo de alimento, siendo mayor el del T1, se asume que una pequeña cantidad de micotoxinas en el alimento del T1, podría afectar la disponibilidad de algunos nutrientes, obligando a los pollos a consumir más para compensar la menor disponibilidad de los mismos.

**Cuadro 8: Consumo de alimento (g) en pollos de engorda con diferentes niveles de secuestrante de micotoxinas a base de silicato de aluminio hidratado.**

	Periodo (Semanas)	T1 (0.00%)	T2 (0.35%)	T3 (0.50%)	C.V
Iniciación	1	185.13 a	185.23 a	184.70 a	0.46
	2	321.93 a	321.13 a	322.13 a	0.36
	3	411.90 a	410.26 a	412.26 a	0.75
	4	544.53 a	541.86 a	541.56 a	0.59
Finalización	5	660.56 a	653.10 a	651.56 a	0.61
	6	781.26 a	777.93 a	780.76 a	0.18
	7	925.26 a	918.20 b	919.80 b	0.17
	8	1166.90 a	1158.83 b	1161.00 b	0.16
Promedio		624.68 a	628.81 b	621.72 b	0.12

<sup>a,b</sup> Literales diferentes en las filas indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ) dentro de la etapa de finalización.

## 6.2 Ganancia de peso

No hubo diferencias significativas en la etapa de iniciación ( $P \geq 0.05$ ) durante las primeras tres semanas. Sin embargo en la 4.<sup>a</sup> semana, se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre T1 y T3 (Cuadro 9), presentándose una mayor ganancia de peso en el tratamiento 3 con respecto al testigo (T1), esto se fue similar en lo encontrado por Pérez, (2015), quien no encontró diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en la ganancia de peso entre tratamientos en etapa de iniciación y crecimiento al utilizar 0.00, 0.15 y 0.30 % de un secuestrante comercial de aluminosilicato de sodio y calcio hidratado (HSCAS), por el contrario katouli *et al.*, (2016) encontraron mayores ganancias de peso ( $p \leq 0.05$ ) en etapa de iniciación, con la inclusión de 0 % y 0.50 % de un secuestrante con aluminosilicato de sodio hidratado comparado con la inclusión de 0.25 %, así como Mallman *et al.*, (2013) quienes encontraron que la adición de 0.30 % de zeolita y bentonita (montmorilonita filosilicato) incremento la ganancia de peso ( $p \leq 0.05$ ) con al tratamiento sin las arcillas durante la 1.<sup>a</sup> y 6.<sup>a</sup> semanas. En cuanto a la etapa de finalización, se presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el tratamiento testigo (T1) con respecto a los tratamientos 2 y 3 en la 5.<sup>a</sup>, 6.<sup>a</sup>, 7.<sup>a</sup> y 8.<sup>a</sup> semanas (Cuadro 9), presentándose mayor ganancia de peso en estos últimos, dichos resultados fueron similares a lo reportado por Velíz, (2015), quien encontró una diferencia

significativa ( $p \leq 0.05$ ) y mayor ganancia de peso en la etapa de finalización con la inclusión de un secuestrante de micotoxinas comercial (aluminosilicato de sodio y calcio hidratado) en proporción de 0.15 % y 0.30 % con respecto al tratamiento testigo sin el secuestrante, también Fierro *et al.*, (2013), reportaron que la utilización de un aluminosilicatos de calcio hidratado y activado en proporción de 0.25 % obtuvo mayores ganancias de peso ( $p \leq 0.05$ ) respecto al tratamiento testigo sin el secuestrante y el uso de 0.50 %.

**Cuadro 9: Ganancia de peso (g) en pollos de engorda con diferentes niveles de secuestrante de micotoxinas a base de silicato de aluminio hidratado.**

	Periodo (semanas)	T1 (0.00%)	T2 (0.35%)	T3 (0.50%)	C.V
Iniciación	1	151.33 a	151.30 a	151.30 a	0.06
	2	254.63 a	254.56 a	254.43 a	0.08
	3	298.33 a	298.06 a	298.50 a	0.11
	4	339.56 b	342.33 a b	343.03 a	0.31
Finalización	5	373.00 b	377.16 a	377.70 a	0.24
	6	398.73 b	404.46 a	403.53 a	0.41
	7	437.16 b	444.16 a	442.50 a	0.38
	8	509.56 b	515.60 a	513.46 a	0.23
Promedio		345.33 b	348.46 a	348.06 a	0.13

<sup>a,b</sup> Literales diferentes en las filas indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ) dentro de la etapa de iniciación y finalización.

### 6.3 Conversión alimenticia (C.V)

De acuerdo con lo observado en la etapa de iniciación, no se presentaron diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) entre tratamientos para la 1.<sup>a</sup>, 2.<sup>a</sup> y 3.<sup>a</sup> semana, sin embargo en la semana 4 se encontró diferencia ( $p \leq 0.05$ ) entre el tratamiento testigo y los T2 y T3, observándose una mejor C.V en el T3 (Cuadro 10), de manera similar Pérez, (2015) reportó no encontrar diferencias entre tratamientos ( $p \geq 0.05$ ) en las primeras tres semanas, sin embargo, encontró mejor conversión alimenticia con la utilización de 0.30 % de un secuestrante de micotoxinas aluminosilicato de sodio y calcio hidratado (HSCAS) respecto al uso de 0.0 y 0.15 % del mismo en la 4.<sup>a</sup> y 5.<sup>a</sup> semanas, por el contrario Santamaría *et al.*, (2016) encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en etapa de iniciación, mostrándose mejor

conversión alimenticia con la utilización de 0.50 % de un secuestrante con aluminosilicatos con respecto a la inclusión de 0.00 y 0.30 % del mismo. En relación con la etapa de finalización, se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el T1 con respecto al T2 y T3, teniendo mejor C.V de estos últimos durante las semanas 5, 6, 7 y 8 (Cuadro 10). Comparando lo anteriormente encontrado, Katouli *et al.*, (2016) mostraron que la inclusión de 0.15 y 0.30 % de caolín (arcilla aluminosilicato) mostraba mejor C.V ( $p \leq 0.05$ ) que el tratamiento sin la arcilla en la 4.<sup>a</sup>, 5.<sup>a</sup> y 6.<sup>a</sup> semanas, mientras que Saminathan *et al.*, (2018) no encontraron diferencias ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos con respecto a C.V utilizando 0.00, 0.25 y 0.50 % de un aluminosilicato de sodio y calcio hidratado (HSCAS), por otro lado Almudena, (2016) encontró que la mayor eficiencia en la utilización del alimento para convertirlos en carne, fue con 0.15 % de un producto de silicato de aluminio en comparación con 0.0 y 0.25 %, esto aunque la dosis haya sido menor comparada con el presente trabajo; por los que se infiere que las diferencias en los resultados por los autores anteriormente citados, al usar silicatos minerales y los resultados mostrados en el presente estudio, puedan deberse a la estructura mineral y el contenido oxidativo del metal diferente de los secuestrantes.

**Cuadro 10: Conversión alimenticia en pollos de engorda con diferentes niveles de secuestrante de micotoxinas a base de silicato de aluminio hidratado.**

	Periodo (semanas)	T1 (0.00%)	T2 (0.35%)	T3 (0.50%)	C.V
Iniciación	1	1.22 a	1.22 a	1.22 a	0.47
	2	1.26 a	1.25 a	1.26 a	0.59
	3	1.38 a	1.37 a	1.38 a	0.87
	4	1.59 a	1.57 b	1.56 b	0.6
Finalización	5	1.77 a	1.73 b	1.72 b	0.51
	6	1.96 a	1.92 b	1.93 b	0.38
	7	2.11 a	2.06 b	2.07 b	0.36
	8	2.29 a	2.24 b	2.26 b	0.29
Promedio		1.74 a	1.69 b	1.71 b	0.20

<sup>a,b</sup> Literales diferentes en las filas indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ) dentro de la etapa de iniciación y finalización.

## 6.4 Eficiencia alimenticia

Se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en el consumo acumulado del alimento, presentando un mayor consumo en el T1 (Cuadro 11). Saminathan *et al.*, (2018), de manera similar al presente estudio, encontraron que la inclusión de 0.00, 0.25 y 0.50 % de nano compuestos adsorbentes de óxido de grafeno y un aluminosilicato de calcio respectivamente, presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en comparación con el T1 (0.00 % de secuestrante), teniendo un mayor consumo (T1) de alimento en comparación con los demás tratamientos. Por otro lado Sanchís *et al.*, (2011) encontraron que con la utilización de 0.00, 0.15 y 0.30 % de silicato de aluminio hidratado, no mostraron diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) en cuanto al consumo acumulado del alimento. Se asume que la diferencia de resultados del autor anteriormente citado con respecto al presente trabajo, se debe a que la inclusión del secuestrante de micotoxinas a base de silicatos de aluminio hidratado, fue menor al usado en el experimento. Los resultados en cuanto al peso vivo final también mostraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) alcanzando un mayor peso en T2 y T3 con respecto al testigo, encontrándose que con la utilización de 0.35 % (T2) del secuestrante a base de silicato de aluminio hidratado presentó el mayor peso promedio (Cuadro 11), esto fue similar a lo encontrado por Pérez, (2015), quien encontró un mayor peso vivo final alcanzado ( $p \leq 0.05$ ) con la inclusión de 0.15 % de un aluminosilicato de sodio y calcio hidratado en comparación con la inclusión de 0.00, 0.25 y 0.50 % del mismo, caso contrario con lo reportado con katouli *et al.*, (2016) quienes no encontraron efecto en el peso final de pollos con la inclusión de 0.00, 0.35 y 0.50 % de un aluminosilicato de sodio hidratado en una dieta contaminada con 80 ppb. de  $AF\beta_1$ . En relación con la eficiencia alimenticia presentada en el cuadro 11, de igual forma se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el T1 con respecto a T2 y T3, observándose una mayor eficiencia en la utilización de alimento para la conversión en carne de estos últimos, esto fue similar a lo reportado por Arce *et al.*, (2014) quienes observaron una mejor eficiencia alimenticia utilizando 0.25 y 0.35 % de un secuestrante compuesto por silicato de aluminio hidratado en comparación con el uso de 0.00 y 0.50 % del mismo, por otro lado Pinto, (2013) no encontraron diferencia ( $p \geq 0.05$ ) con la inclusión 0.00, 0.25, 0.50 % de un secuestrante comercial 3A-T (chacko aluminosilicato). Con respecto a lo mostrado anteriormente, a pesar de que se consumió más alimento con T1 en comparación con los

demás tratamientos, este no logro alcanzar mejor peso, así que se infiere a que es probable que si hubo presencia de micotoxinas en el alimento, estas fueron mermando las características productivas en ganancia de peso conforme el animal tenía una mayor edad y por lo tanto se vio reflejado en la conversión y eficiencia alimenticia, de lo contrario, las diferencias encontradas podrían deberse a la acción estimuladora digestiva del producto. (Cuadro 8, 9 y 10).

**Cuadro 11: Eficiencia alimenticia, consumo acumulado y peso vivo final en pollos de engorda con diferentes niveles de secuestrante de micotoxinas a base de silicato de aluminio hidratado.**

Aspectos	Tratamientos			C.V
	1	2	3	
Dosis de secuestrante	0.00%	0.35%	0.50%	
Consumo acumulado	4997.5 a	4966.5 b	4973.8 b	0.12
Peso vivo final	2863.6 b	2889.43 a	2886 a	0.12
Eficiencia	0.55 a	0.57 b	0.58 b	1.17

<sup>a,b</sup> Letras diferentes en las filas indican diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre tratamientos.

### 6.5 Rendimiento de la canal

No se encontraron diferencias entre tratamientos ( $p \geq 0.05$ ) en cuanto al rendimiento de la canal, si bien los rendimientos de la canal mostrados en cada tratamiento no muestran una variación alta, el T2 tuvo un mejor rendimiento de canal con respecto al T1 y T3, comparado con Pérez, (2015), el no encontró diferencias entre tratamientos sobre el rendimiento de la canal con la utilización de 0.0, 0.15 y 0.30 % de un secuestrante a base de un aluminosilicato de sodio y calcio hidratado (HSCAS), teniendo rendimientos de la canal 82.3, 81.4 y 81.9 % respectivamente, los cuales son muy parecidos a los obtenidos en el experimento (Cuadro 12), todo esto pesar de haber usado niveles inferiores del secuestrante por parte del autor citado en comparación con los usados en el presente experimento, por otro lado Cruz, (2016) encontró diferencias ( $p \leq 0.05$ ) en el rendimiento de la canal mostrando un menor rendimiento al usar 0.00 y 0.75 % de silicato de aluminio y calcio hidratado en comparación con el uso de 0.25 y 0.50 % del mismo.

**Cuadro 12: Rendimiento de la canal obtenida con diferentes niveles de secuestrante de micotoxinas a base de silicato de aluminio hidratado.**

T1 (0.00%)	T2 (0.35%)	T3 (0.50%)	$\bar{X}$	C.V
80.16 a	81.73 a	80.93 a	80.94	0.8

<sup>a,a</sup> Letras iguales en las filas no indican diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ) entre tratamientos.

### 6.6 pH, capacidad de retención de agua (C.R.A) y color de la canal

Se observa que los valores del pH en la canal, no mostraron diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) por lo cual es probable que la inclusión de los niveles de secuestrante de micotoxinas (aluminosilicato) usados, no hayan tenido efecto sobre la calidad en la canal (Cuadro 13), El rango de pH observado ha estado comprendido entre 5,63 y 5.70 considerado normal por autores como Monin, (2006) y Sanchís *et al.*, (2011). De manera similar Prvlovic *et al.*, (2015), no encontraron efectos sobre el pH de la canal de pollos ( $p \geq 0.005$ ) con alimentos contaminados con  $1.200\mu/\text{kg}$  de  $\text{AF}\beta_1$  y  $\text{AF}\beta_2$ , usando 0.00, 0.25 % de un secuestrante de micotoxinas aluminosilicato comercial (Zeolex). Saminathan *et al.*, (2018) encontraron que la utilización de 0.50 % de un secuestrante comercial a base de aluminosilicatos con pared celular de levadura, mostró un pH en las canales con tendencia a la neutralidad con respecto al uso de 0.00 y 0.25 %. La CRA, también es un parámetro físico-químico importante por su contribución a la calidad de la carne en su relación con pH y color de la canal (Monin, 2006), el parámetro mostró que no existieron diferencias significativas ( $p \geq 0.005$ ) entre tratamientos con respecto a la variable, los anterior dicho, fue similar a lo reportado por Caron, (2014) en donde no encontraron efecto de la inclusión de 0.30 y 0.50 % de un aluminosilicato de sodio y calcio hidratado en comparación con el testigo, sin el secuestrante. Weber *et al.*, (2010), mencionan que el color de la canal es un parámetro fisicoquímica importante para el consumidor a quien le servirá como guía para determinar su calidad, el color en las carnes es determinado por la concentración de mioglobina, oximioglobina, así como la exposición a la luz. Los resultados mostrados en el presente estudio indicaron que no se vio afectado el color de la canal con la inclusión de los diferentes niveles de secuestrante, el resultado fue similar a lo reportado por Ellakani *et al.*, (2017) quien no encontró efecto de un secuestrante a base de carbón activado y silicato de aluminio hidratado con la inclusión de 0.25 y 0.35 % de los

mismos, mostrando una coloración en la canal con cromaticidad L\* a\* b\* semejantes al presente estudio. Ninguno de los resultados de las características físico-químicas mostró diferencias, probablemente a que el pH en la canal no se vio afectado, dando como resultado que no hubiera efecto en la C.R.A y color, puesto que dichos parámetros están correlacionados.

**Cuadro 13: pH, capacidad de retención de agua (CRA) y color de la canal en pollos de engorda con diferentes niveles de secuestrante de micotoxinas a base de silicato de aluminio hidratado.**

Secuestrante de micotoxinas (%)	pH	L*	a*	b*	CRA (ml/100g)
T1= 0.00	5.63 a	48.95 a	10.32 a	34.17 a	5.66 a
T2= 0.35	5.70 a	43.12 a	7.65 a	32.92 a	8.33 a
T3= 0.50	5.64 a	47.85 a	9.56 a	36.21 a	6.33 a
CV	1.17	12.65	13.38	9.78	29.5

<sup>a,a</sup> letras iguales en las columnas no indican diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ) entre tratamientos. pH: Potencial de hidrogeno; L\*: Luminosidad; a\*: Índice de rojo; b\*: Índice de amarillo; CRA: Capacidad de retención de agua.

## VII. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación, se concluye lo siguiente:

Los parámetros productivos de consumo de alimento, ganancia de peso, conversión y eficiencia alimenticia, se vieron afectados por los diferentes niveles de secuestrante encontrándose una mejor respuesta con la inclusión de 0.35 y 0.50 % de secuestrante de micotoxinas comercial a base de silicato de aluminio hidratado en dietas para pollos de engorda.

Por otro lado las características físico-químicas de la canal: rendimiento, pH, capacidad de retención de agua y color, no se modificaron por efecto de los diferentes tratamientos con los distintos niveles de inclusión del secuestrante de micotoxinas comercial a base de silicato de aluminio hidratado.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Almudena, A. y Lizaso, Jesus. 2016. Hongos y micotoxinas. Fundación Iberica para la Seguridad Alimentaria. Tres Cantos, Madrid. pp: 47-68.
- Arbaiza F. Teresa., Córdova, R., Icochea, D. Eliana., Cutti, Hilda. (2009). Detección de residuos de aflatoxinas en hígado de pollo del mercado de Lima. Ciencia e Investigación. Facultad de Farmacia y Bioquímica. 12 (1) 37-40.
- Arce, José M., Ávila, Ernesto., Vázquez, Carlos., López, C., y Tirado, Francisco. (2014). Efecto de dos aluminosilicatos en dietas con 45ppb de aflatoxinas B<sub>1</sub> sobre los parámetros productivos en pollo de engorda. Scielo. pp: 15-30.
- Biotecap, 2017. Información técnica de biotetox, secuestrante de micotoxinas comercial (última actualización 18 de Septiembre de 2017). Consultada el 3 de Noviembre de 2017, en línea bajo la dirección: [http://www.biotecap.com.mx/ficha\\_Tecnica\\_Biotetox\\_\(2\).pdf](http://www.biotecap.com.mx/ficha_Tecnica_Biotetox_(2).pdf).
- Caron, Luiz. 2014. Neutralizador de micotoxinas en pollos expuestos a toxina T-2. Consultada el 12 de Junio de 2018, en línea bajo la dirección: <http://www.wattagnet.com/articles/20408-neutralizador-de-micotoxinas-en-pollos-expuestos-a-toxina-t-2>.
- Cortez, Ávila, Ernesto C., y López, Aáron. 2011. Efecto de la adición de un producto detoxificante en dietas sorgo-soya contaminadas con micotoxinas en el crecimiento de pollos de engorda. Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola FMVZ-UNAM. México. 5: 33-48.
- Cruz-Anchapuri, Cesario 2016. Uso de secuestrantes de micotoxinas (caoilín coloidal) en la alimentación de pollos de engorda de la línea Cobb 500 en la etapa de crecimiento (Tesis de grado). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Tacna, Perú.

- Ellakany, Han., Abuakkada, Somaia S., Oda, Samah., and Said El-Sayed, Yasser. (2017). Influence of low levels of dietary aflatoxins on *Eimeria tonella* infections in broilers. *Veterinary Research Gate*. 5: 14-25.
- FAO, 2016. Reglamento a nivel mundial para las micotoxinas en los alimentos y en las raciones en el año 2016, (última actualización: Febrero de 2016). Consultada el 24 de Mayo de 2018, en línea bajo la dirección: <http://www.fao.org/3/a-y5499s.pdf>.
- FAO, 2018. Producción avícola mundial, panorama de la carne de pollo, (última actualización: Mayo de 2018). Consultada el 16 de Septiembre de 2018, en línea bajo la dirección: <http://www.fao.org/poultry-production-products/production/es/>.
- Fierro, J. Antonio., Medina, Juan., y Pérez, Rubén. (2013). Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal Redalyc. Evaluación de la inocuidad de tres adsorbentes de micotoxinas en la dietas de pollos de engorda. 12 (6): 95-109.
- García, Enriqueta, 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Sexta edición. Instituto de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México. Cd. México, México. 91p. consultado: 57-61, (última actualización: 17 de Marzo de 2004). Consultada en línea bajo la dirección: [http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo\\_siglo21/serie\\_lib/modific\\_al\\_sis.pdf](http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf).
- Gimeno, A. y Martins, M.L. 2007. Mycotoxins and Mycotoxicosis in Animals and Humans. Special Nutrients, Inc. USA (Ed.). Victor Mireles Communications, Mexico City, Mexico. pp. 1-127.
- Gimeno, A. y Martins, M.L. 2013. Micotoxinas de *Fusarium* en varias especies animales. *Albeitar*, 63. Pp: 42-44.

- INEGI, 2018. Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Zaragoza, Puebla, (última actualización 14 de Abril de 2018). Consultada el 3 de Septiembre de 2018, en línea bajo la dirección: [http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/21/21211.pdf](http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21211.pdf).
- Katouli, M. Safaei., Boldaji, F., Dastar, B., and Hassani, S. (2016). Effect of different levels of kaolin, bentonite and zeolite on broilers performance. *Journal of Biological Sciences* 10 (1): 58-62.
- Leeson, S., Diaz, G.J y Summers, J.D. 2008. *Poultry Metabolic Disorders and Mycotoxins*. University Books (Ed.), P.O.Box 1326, Guelph, Ontario, Canada. N1H 6N8. Pp.1-351.
- Loja Villa, Luis Alberto. 2017. Efecto del uso de zeolita en la dieta de pollos parrilleros machos (Tesis de grado). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Carrera de medicina Veterinaria y Zootecnia. Cuenca, Ecuador.
- López Naranjo, Lina María. 2013. Principales micotoxicosis asociadas al consumo de maíz y sus subproductos (Tesis de grado). Universidad de Antioquía. Facultad de Alimentación y Nutrición Pecuaria. Caldas, Antioquía, Colombia.
- Mallman, Carlos A., Dilkin, Paulo., Zanini, Leandro., Hummes Rauber, Ricardo, y Emanuelli, Cristiano. 2013. Universidad Federal de Santa María, Brasil. Departamento de Medicina Veterinaria Preventiva. Pp: 191-204.
- Mamani, Abel R., Calmet, Enrique., Chávez, Paola., y Aranibar, Marcelino. (2015). Inclusión de la arcilla 3 A-T (Chacko) en alimentos contaminados naturalmente con micotoxinas y rendimiento de pollo de carne. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional del Altiplano Puno. Perú. Pp: 1-10.

- Martínez, Victoria. 2013. Nota sobre la contaminación microbiana e incidencia de micotoxinas en alimentos para cerdos en Cuba. Pp: 133, 134. Consultada 17 de Septiembre de 2018, en línea bajo la dirección: [http://www.iip.co.cu/RCP/203/203\\_04VMtnez.pdf](http://www.iip.co.cu/RCP/203/203_04VMtnez.pdf).
- Monin. 2006. Valoración Objetiva de la Carne, (última actualización: 20 de Septiembre de 2008). Consultada el 30 de Agosto de 2018, en línea bajo la dirección: [http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/02\\_17\\_30\\_3c.\\_carne\\_3c.pdf](http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/02_17_30_3c._carne_3c.pdf).
- Norma Oficial Mexicana, 2008. NOM-247-SSA1-2008, Bienes y servicios. Control de aflatoxinas, ocratoxinas y fumonisinas en cereales para consumo humano y animal. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba, (última actualización: Junio de 2008). Consultada 22 de Noviembre de 2018, en línea bajo la dirección: [https://drive.google.com/file/d/1LGVJSty\\_nLCJZbIymrayJDWVqmnyHNz1/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1LGVJSty_nLCJZbIymrayJDWVqmnyHNz1/view?usp=sharing).
- Norma Oficial Mexicana, 2016. NOM-001-SAGARPA/SCFI-2016, Prácticas comerciales-Especificaciones sobre el almacenamiento, guarda, conservación, manejo y control de bienes o mercancías bajo custodia de los almacenes generales de depósito. Incluyendo productos agropecuarios y pesqueros, (última actualización: 16 de Noviembre de 2016). Consultada 22 de Noviembre de 2018, en línea bajo la dirección: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4850630&fecha=26/03/1980](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4850630&fecha=26/03/1980).
- OMS, 2017. Comisión del Codex Alimentarius, Programa conjunto FAO sobre normas alimentarias, Río de Janeiro, Brasil, (última actualización: Marzo de 2017). Consultada el 4 de Septiembre de 2018, en línea bajo la dirección: [http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/shproxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-\\_11s.pdf](http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/shproxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-_11s.pdf).
- Pérez Arévalo, L. 2013. Efecto de las aflatoxinas sobre los aspectos fisiológicos y morfológicos reproductivos en gallos (*Gallus gallus*) así como el efecto detoxificante de la vitamina C

sobre los mismos (Tesis doctoral). Universidad de Córdoba. Facultad de Ciencias Veterinarias, Córdoba, España.

Perez Vargas, Jossy Osmar. 2015. Aluminosilicatos hidratados en la dieta de pollos de carne. Universidad Nacional “Pedro Luis Gallo”, Facultad de Ingeniería Zootecnia, Centro de Investigación Pecuaria. Lambayeque, Perú.

Pinto Ramos, Adrian. 2013. Metabolitos sanguíneos, rendimiento en componentes de la canal y costo del alimento consumido adicionado con zeolita para pollos de engorda (Tesis de maestría). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Prvlovic, Dejan., Kojic, Danijela., Grubor-Lasic, Gordana., and Kosarcic, Slavica. (2015). The effect of dietary inclusion of hydrated aluminosilicate on performance and biochemical parameters of broiler chickens. *Turkish Veterinary Animal Science*. 32 (3): 183-189.

Ramos, A.J., y Hernández, E. 1997. Prevention of Aflatoxicosis in farm animals by means of hydrated sodium calcium aluminosilicate addition to feedstuffs: A review. *Anim. Feed Science Technology*. 65: 197-206.

Riley, R. y Pestka, J. 2005. Mycotoxins metabolism, mechanisms and biochemical parameters. *The mycotoxins Blue Book*. D.E. Díaz ed. Nottingham University Press. pp: 279-294.

Saminathan, Mookiah., Selamat, Jinap., Abbasi Pirouz, Atena., Abdullah, Norhani., and Zulkifli, Idrus. 2018. Effects of nano-composite adsorbents on the growth performance, serum biochemistry, and organ weights of broilers fed with aflatoxin-contaminated feed. *Molecular Diversity Preservation International y Multidisciplinary Digital Publishing Institute*. 10: 59-70.

Sanchís, M.D., Otero, Mateos., Garcías-Safón., E., Romero-Soler, P. y Narro-Garcés, C. 2011. Caracterización de color y relación con el pH de pechuga de pollo durante el procesado

de las canales en matadero. PASAPTA 6: 38-49. Facultad de Veterinaria. Universidad CEU. Moncada, Valencia, España.

Santamaría, L. Reyna., A, Basilio., Navarrete, R.D., Martínez, R y Cassaubon, M.T. (2016). Comportamiento productivo y toxicosis en pollos de engorde alimentados con aflatoxinas  $\beta_1$  y  $\beta_2$  y tres adsorbentes de micotoxinas. Revista de Medicina Veterinaria. 48: 215-222.

SENASICA, 2017. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Enlace: Guía para la presentación e integración de los documentos para la autorización de los productos y aditivos alimenticios para consumo por animales, (última actualización 1 de enero de 2018). Consultada el 13 de Agosto de 2018, en línea bajo la dirección: <https://www.gob.mx/senasica/documentos/productos-alimenticios-para-uso-en-nimales-o-consumo-por-estos-50496>.

Serrano-Coll, Hector y Cardona-Castro, Nora. 2015. Micotoxicosis y micotoxinas: generalidades y aspectos básicos. Revista CES Medicina. 29 (1): 143-151. ISSN: 0120-8705.

SIAP, 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Enlace: Avance Comparativo de mensual en la producción de carne de pollo a nivel nacional, (última actualización: 8 de Diciembre de 2018). Consultada el 29 de Enero de 2018, en línea bajo la dirección: [http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance\\_siap\\_gb/pecAvanceProd.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceProd.jsp).

SIAP, 2018. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Enlace: Avance Comparativo de mensual en la producción de carne de pollo a nivel nacional, (última actualización: 5 de Enero de 2018). Consultada el 17 de Mayo de 2018, en línea bajo la dirección: [http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance\\_siap\\_gb/pecAvanceProd.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceProd.jsp).

Smith, T.K., Díaz, G., y Swamy, H.V. 2005. Current concepts in mycotoxicoses in swine. The mycotoxin Blue Book. D.E. Díaz ed. Nottingham University Press. pp: 235-248.

- SMN, 2018. Servicio Meteorológico Nacional. Enlace: Estación meteorológica de Zaragoza Puebla, (última actualización: 20 de Octubre de 2018). Consultada el 2 de Octubre de 2018, en línea bajo la dirección: [http:// http://smn.cna.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s](http://smn.cna.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s).
- Surai, P. y Dvorska, J. 2005. Effect of mycotoxins on antioxidant status immunity. The mycotoxin Blue Book. D.E. Díaz ed. Nottingham University Press. pp: 93-137.
- Sweeney, M.J y Dobson, A.D. 2013. Mycotoxin production by *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium* species. Int. J. Food Microbiology. 43, 141-158.
- Unión Nacional de Avicultores, 2017. Situación de la avicultura mexicana. (última actualización: Octubre de 2017). Consultada el 2 de Febrero de 2018, en línea bajo la dirección: <http://www.una.org.mx/index.php/component/content/article/15-panorama/3-avicultura>.
- Veliz de los Santos, Eusebio. 2015. Evaluación de zeolita sobre el comportamiento productivo de pollos de engorda en etapa de finalización (Tesis de grado). Universidad Autónoma Antonio Narro, División de Ciencia Animal. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Weber, M., Balogh, K., Fodor, J., Erdélyi, M., Ancsin, Z., Mézes, M. 2010. Effect of T-2 and HT-2 toxin during the growing period on body weight, lipid peroxide and glutathione redox status of broiler chickens. Acta Vet. Brno 79p. 27–31.

## IX. ANEXOS



División de los corrales



Pollos de 5 días de edad



Pollos de 10 días de edad



Pollos de 20 días de edad



Pollos de 30 días de edad



Pollos de 45 días de edad



Pollos de 55 días de edad

## 9.1 Determinación de nitrógeno del alimento por el método de Kjendahl



Digestión de las muestras

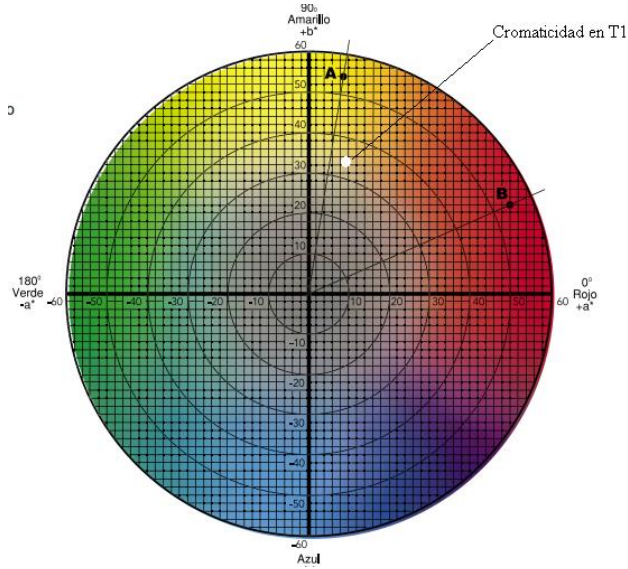


Destilación de las muestras

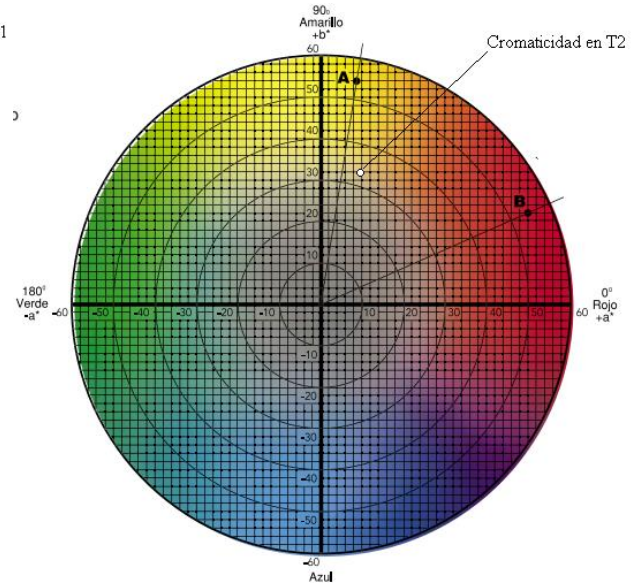


Titulación de las muestras

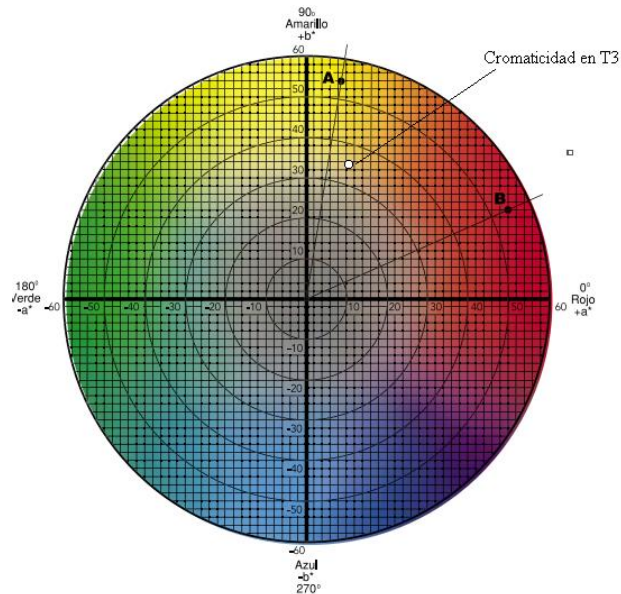
## 9.2 Cromaticidad CIE L a b en las muestras de muslo de pollo



Cromaticidad CIE Lab promedio en T1



Cromaticidad CIE Lab promedio en T2



Cromaticidad CIE Lab promedio en T3