

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE.

CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS.



TRABAJO DE GRADUACIÓN

Determinación de la presencia de arsénico en la carne de muslos y alas del pollo de engorde (*Gallus domesticus*) comercializado en el mercado “La Terminal” de Retalhuleu.

PRESENTADO POR:

T.U. César Leonel Ordoñez Citalán. 201040342.

SEPTIEMBRE DE 2017.

MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUR OCCIDENTE
MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ**

AUTORIDADES

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo	Rector
Dr. Carlos Enrique Camey Rodas	Secretario General

**MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE SUR
OCCIDENTE**

Dr. Guillermo Vinicio Tello Cano	Presidente
----------------------------------	------------

REPRESENTANTE DOCENTES

MSc. José Norberto Thomas Villatoro	Secretario
Dra. Mirna Nineth Hernández Palma	Vocal

REPRESENTANTE DE GRADUADOS DEL CUNSUROC

Lic. Ángel Estuardo López Mejía	Vocal
---------------------------------	-------

REPRESENTANTES ESTUDIANTILES DEL CUNSUROC

Lcda. Elisa Raquel Martínez González	Vocal
Br. Irrael Esduardo Arriaza Jerez	Vocal

COORDINACIÓN ACADÉMICA

MSc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar
Coordinador Académico

MSc. Alvaro Estuardo Gutiérrez Gamboa
Coordinador Carrera Licenciatura en Administración de Empresas

Lic. Luis Carlos Muñoz
Coordinador Carrera Trabajo Social

MSc. Nery Edgar Saquimux Canastuj
Coordinador de las Carreras de Pedagogía

Ph. D. Marco Antonio del Cid Flores
Coordinador Carrera Ingeniería en Alimentos

Ing. Guillermo Ruiz Recinos
Coordinador Carrera Ingeniería en Agronomía Tropical

Inga. Agra. Iris Yvonnee Cárdenas Sagastume
Coordinadora Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local

Lcda. Tania María Cabrera Ovalle
Coordinadora Carrera Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales,
Abogado y Notario

Lic. José Felipe Martínez Domínguez
Coordinador de Área

CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA DEL CUNSUROC

MSc. Tania Elvira Marroquín Vásquez
Coordinadora de las carreras de Pedagogía

MSc. Paola Marisol Rabanales
Coordinadora Carrera Periodista Profesional y
Licenciatura en Ciencias de la Comunicación

DEDICATORIA

A la memoria de mi abuela Juana Oroxom y mi primo Hector Cancinos, por todas sus contribuciones a mi vida, por guiarme con su ejemplo de lucha y perseverancia, por enseñarme a creer en mi persona y por su eterno amor.

A cada una de las mujeres de la familia Citalán y Ordoñez, en especial a mi madre Gloria Citalan de Ordoñez, por apoyarme siempre en la búsqueda de mis metas, por ser un modelo a seguir, por su fortaleza, paciencia y amor incondicional.

A mis hermanos y primos, por sus apoyos, sus consejos, su confianza en mí y porque cada uno a su manera, también está logrando éxitos en su vida.

A Keysha Ariadna mi querida sobrina, por ser un destello de luz en la vida de cada uno de los integrantes de mi familia, porque con su inocencia y ocurrencias trajo felicidad, nuevas esperanzas y una motivación más fuerte por seguir adelante cada día. Cada logro y cada triunfo son también suyos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios: el centro de mi fe y mi fuente de fortaleza, quien me ha brindado la sabiduría y el conocimiento para cosechar mis diferentes triunfos.

A mi familia: por brindarme su apoyo moral y económico, por su confianza en mí y por ayudarme a ver en cada reto, una oportunidad.

A mis amigas y amigos: por el apoyo incondicional demostrado en las diferentes etapas de mi vida, demostrando con su cariño, lealtad, apoyo y comprensión en los buenos y malos momentos.

A mis compañeras y compañeros de estudio: por el esfuerzo, las lesiones de vida, la amistad y el esfuerzo mutuo brindado en las magnas aulas de nuestra gloriosa universidad con la finalidad de alzar el propósito de ser un día ingenieros.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC): por ser el centro y la fuente de conocimientos que me brindó la oportunidad de optar a una gran profesión comprometida con el desarrollo integral del país.

A mis docentes: Quienes desde mis primeros años de infancia, hasta llegar a la educación superior, me impartieron más que instrucción, modales y valores humanos. Su enseñanza, lesiones de vida y vocación me motiva a estudiar, aprender y crecer académica, personal y profesionalmente cada día.

A la Asociación de Estudiantes Becados de la USAC y sus integrantes: Por hacerme sentir orgulloso de buscar la excelencia académica, por ser cada quien ejemplo de superación personal y profesional y por comprobar que la dedicación y el esfuerzo valen la pena y son el mejor camino hacia el éxito.

A mis compañeros de trabajo de Ingenio Magdalena: quienes me han brindado consejos, experiencias y oportunidad de desempeñarme en una empresa de clases mundial comprometida con el desarrollo integral de país.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
1	Introducción..... I
2	Planteamiento del problema 2
3	Justificación..... 3
4	Marco referencial..... 4
4.1	Presencia de arsénico en la carne de pollo para consumo humano..... 4
4.1.1	Generalidades 4
4.1.2	Antecedentes de estudios realizados sobre arsénico en aves..... 5
5	Marco teórico..... 7
5.1	Pollo 7
5.1.1	Importancia del pollo en guatemala..... 7
5.1.2	Producción anual avícola..... 7
5.1.2.1	Principales departamentos productores..... 7
5.1.3	Consumo nacional del pollo de engorde..... 8
5.1.4	Descripción del pollo de engorde para consumo humano 8
5.1.4.1	Carne de pollo 8
5.1.4.2	Pollo beneficiado listo para cocinar 8
5.1.4.3	Cortes superiores..... 8
5.1.4.4	Corte inferiores..... 9
5.1.5	Características del pollo de engorde para consumo..... 10
5.1.5.1	Color y olor 10
5.1.5.2	Firmeza..... 10
5.1.5.3	Residuos de productos químicos y biológicos 10
5.1.6	Beneficios de la carne de pollo..... 11
5.1.7	Variedad de razas para engorde..... 11
5.1.7.1	Características de la raza pesada 12
5.1.8	Sistemas de producción del pollo de engorde 12
5.1.8.1	Proceso productivo..... 13
5.1.8.2	Aspectos económicos 13
5.2	Alimentación avícola para pollo de engorde 14
5.2.1	Aporte de nutrientes..... 14
5.2.1.1	Energía 14
5.2.1.2	Proteína..... 14
5.2.1.3	Macrominerales..... 15
5.2.1.4	Estimulantes de crecimiento..... 16
5.2.1.5	Cocciostáticos 16
5.2.2	Aditivos arsenicales en la alimentación avícola del pollo de engorde 16
5.2.2.1	Arsenicales de mayor uso en piensos..... 17
5.3	Descripción municipal del área de estudio en retalhuleu..... 17
5.3.1	Avicultura municipal 17

5.3.2	Mercados municipales	18
5.3.3	Descripción del mercado “La Terminal”	18
5.3.3.1	Mercado de pollo.....	18
5.3.4	Piensos de mayor uso en el pollo de engorde del municipio.....	20
5.4	Arsénico	20
5.4.1	El arsénico en la naturaleza	21
5.4.1.1	Fuentes naturales.....	21
5.4.1.2	Fuentes industriales.....	22
5.4.1.3	Fuente agrícola	22
5.4.2	Transporte y distribución ambiental.....	22
5.4.2.1	Aire.....	22
5.4.2.2	Agua dulce y sedimentos.....	23
5.4.2.3	Suelo.....	23
5.4.2.4	Alimentos	24
5.4.3	El arsénico en las aves	24
5.4.3.1	Promotores de crecimiento arsenicales	25
5.4.3.2	Mecanismo de acción.....	25
5.4.3.3	Efectos de los aditivos arsenicales	25
5.4.3.4	Contenido de arsénico en la carne para consumo humano.....	26
5.4.4	El arsénico en el ser humano	26
5.4.4.1	Toxicocinética.....	27
5.4.5	Toxicidad del arsénico.....	28
5.4.5.1	Efectos agudos.....	28
5.4.5.2	Efectos a largo plazo	28
5.4.6	Bioacumulación.....	29
5.5	Pruebas analíticas para determinar arsénico	29
5.5.1	Métodos colorimétrico.....	29
5.5.1.1	Prueba de gutzeit	29
5.5.2	Métodos para determinar arsénico inorgánico total	30
5.5.3	Método de espectrometría atómica.....	30
5.5.3.1	Espectrofotometría de absorción atómica de llama.....	30
5.5.3.2	Espectrofotometría de absorción atómica electrotérmico	30
5.5.3.3	Espectrofotometría de absorción atómica por generación de hidruros	31
5.5.3.4	Espectrofotometría de fluorescencia atómica	31
5.5.4	Método espectrometría de masa con plasma acoplado inductivamente	31
5.6	Diseño experimental	32
5.6.1	Definición del muestreo.....	32
5.6.2	Muestreo estratificado	32
5.6.3	Muestreo sistemático	33
5.6.4	Muestreo aleatorio	33
5.7	Diseño estadístico	33

5.7.1	Media aritmética.....	33
5.7.2	Varianza.....	34
5.7.3	Intervalo de confianza	34
5.7.4	Desviación estándar.....	34
5.7.5	Coeficiente de variabilidad.....	34
5.8	Análisis de grupo pareado.....	34
6	Objetivos.....	35
6.1	General.....	35
6.2	Específicos	35
7	Hipótesis	36
8	Recursos y materiales	37
8.1	Recursos.....	37
8.1.1	Humanos.....	37
8.1.2	Institucionales.....	37
8.2	Materiales.....	37
8.2.1	Equipo.....	37
8.2.2	Cristalería y utensilios	37
9	Metodología.....	38
9.1	Etapa 1	38
9.1.1	Definición de los estratos	38
9.1.2	Muestreo sistemático	39
9.1.3	Determinación del tamaño de la muestra	39
9.1.4	Muestreo aleatorio	40
9.1.5	Toma de la muestra “carne de muslo y ala”	41
9.2	Etapa 2	41
9.2.1	Proceso de extracción del analito para ambas muestras	42
9.2.2	Proceso de cuantificación del analito para ambas muestras	42
9.2.3	Análisis estadístico de datos.....	43
10	Resultados y discusión.....	46
10.1	Calibración del equipo	46
10.2	Resultados de las muestras.....	47
10.3	Discusión de resultados.....	48
11	Conclusiones.....	51
12	Recomendaciones	52
13	Glosario	53
14	Referencias bibliográficas	55
15	Anexos	58
16	Apéndice.....	68

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ubicación geográfica del mercado La Terminal zona 4 de Retalhuleu	58
Anexo 2. Distribución de las secciones del mercado La Terminal	59
Anexo 3. Cortes y piezas del pollo para consumo humano	60
Anexo 4. Ciclo del arsénico.....	60
Anexo 5. Principales compuestos arsenicales en alimentos	61
Anexo 6. Arsénico como promotores del crecimiento en aves	61

ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1. Método de muestreo aleatorio simple	33
Esquema 2. Estratos de expendios de pollo en la terminal de Retalhuleu.....	38

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Producción avícola nacional.....	62
Gráfica 2. Producción departamental de pollo	62
Gráfica 3. Producción municipal de pollo en el departamento de Retalhuleu	63
Gráfica 4. Tipo de pollo comercializado en los expendios del mercado La Terminal	63
Gráfica 5. Cortes y piezas que más se comercializan en el mercado La Terminal	64

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1. Recepción del pollo	69
Imagen 2. Extracción de la piel y el tejido conectivo.....	69
Imagen 3. Desmenuzado y extracción de la carne de pollo.....	70
Imagen 4. Carne de pollo licuada (pasta)	70
Imagen 5. Tratamiento de la carne de pollo con nitrato de magnesio	71
Imagen 6. Secado en horno microondas al vacío.	71
Imagen 7. Muestra con primer tratamiento térmico	72
Imagen 8. Muestra con segundo tratamiento térmico.....	72
Imagen 9. Muestra con tercer tratamiento térmico (cenizas para analizar).....	73
Imagen 10. Análisis de muestras en espectrofotómetro de absorción atómica con generador de hidruro.	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consumo estándar de concentrado por estirpe	14
Tabla 2. Producción municipal del pollo.....	17
Tabla 3. Distribución de ventas de pollo por sectores en el mercado La Terminal.....	19
Tabla 4. Información nutricional e ingredientes principales	20
Tabla 5. Clasificación de los puestos de ventas en los diferentes estratos	40
Tabla 6. Información técnica de las muestras.....	46
Tabla 7. Resultados de las muestras	47
Tabla 8. Réplicas de calibración.....	64
Tabla 9. Cálculo de la línea de regresión y ajuste de confiabilidad.	65
Tabla 10. Tabla para valor de la curva normal	65
Tabla 11 . Tabla nutricional de la carne de pollo según datos INCAP.....	66
Tabla 12. Grados de libertad para análisis de T student.....	67

ABREVIATURA Y SIMBOLOGÍA

AFS	Espectrofotometría de fluorescencia atómica.
ANAVI	Asociación Nacional de Avicultores.
CIIC	Centro Internacional de Investigación Sobre el Cáncer.
ETAAS	Espectrofotometría de Absorción Atómica Eletrotérmico.
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).
FAAS	Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama.
FDA	Food and Drug Administration (Administración de Drogas y Alimentos de U.S.)
HGASS	Espectrofotometría de absorción atómica por generación de hidruro.
ICP-MS	Espectrometría de masa con plasma acoplado inductivo.
INCAP	Instituto de Nutrición de Centroamérica y panamá.
JECFA	Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additive (Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios).
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
MSPAS	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
ODEPA	Oficina De Estudios y Ciencias Agrarias de Chile.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
PIB	Producto Interno Bruto.
PROSA	Programa nacional de sanidad avícola.
PYMES	Pequeñas y medianas empresas.
TLC	Tratado de Libre Comercio.

Fuente. Elaboración propia “Determinación de la presencia de arsénico en muslos y alas de pollo” 2016.

FORMULAS Y NOMENCLATURA DE COMPUESTOS QUÍMICOS

$(\text{AsO}_3)^{-3}$	Arsenito [As(III)]
As_2O_3	Óxido de arsénico (III)
$(\text{AsO}_4)^{-3}$	Arseniato [As(V)]
As_2O_5	Óxido de arsénico (V)
$(\text{CH}_3\text{AsO}_3)^{-2}$	Ácido monometilarsónico [MMA(V)]
$\text{CH}_3\text{As}(\text{OH})_2$	Ácido monometilarsenioso [MMA(III)]
$(\text{CH}_3)_2\text{AsO}_2^{-1}$	Ácido dimetilarsínico [DMA(V)]
$(\text{CH}_3)_2\text{As}(\text{OH})$	Ácido dimetilarsenioso [DMA(III)]
$(\text{CH}_3)_3\text{AsO}$	Óxido de trimetilarsina (TMAO)
$(\text{CH}_3)_4\text{As}^+$	Ion tetrametilarsonio (TMA+)
$(\text{CH}_3)_3\text{As}+\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	Arsenocolina (AC)
$(\text{CH}_3)_3\text{As}+\text{CH}_2\text{COOH}$	Arsenobetaína (AB)
$(\text{CH}_3)_2\text{As}(\text{O})\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	Dimetilarsiniletanol
$(\text{CH}_3)_2\text{As}(\text{O})\text{CH}_2\text{COOH}$	Ácido dimetilarsinilacético
$\text{C}_6\text{AsNH}_6\text{O}_6$ (roxarsone)	Ácido arsónico 3-nitro-4-hidroxifenil ó ácido arsónico

Fuente. Universidad de Valencia "bioaccesibilidad de arsénico en alimentos con potencial riesgo toxicológico", 2011.

RESUMEN

El consumo de pollo de engorde comercializado en el mercado La Terminal de Retalhuleu, se efectúa en razón de tres a cuatro veces por semana promedio por familia en este departamento (ANAVI, 2014), esta demanda surge tras el aumento en el precio de la carne bovina y porcina, esto provoca el incremento en la crianza de aves destinadas para faena, donde la alimentación con piensos cumple una función importante en la reducción del tiempo de crianza y mayores ganancias. Para –ANAVI–, este aspecto resultó de gran interés puesto que la avicultura nacional aún tiene gran dependencia extranjera en cuanto a la utilización de materias primas y aditivos, para la elaboración de piensos; así mismo la importación de medicamentos para uso aviar en Guatemala y países de la región, en donde se ha evidenciado la utilización principalmente de arsénico que coadyuvan en la mejora anatómica del animal. Es por ello que surgió el interés por determinar la presencia de arsénico en la carne de pollo mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica, seleccionando para ello muslos y alas, por ser piezas en donde se ha evidenciado mayor cantidad de residuos químicos, empleando un muestreo aleatorio que generó alto nivel de confianza en la representación de la población de estudio, con la finalidad de demostrar que la presencia de arsénico en la carne de ambas piezas comercializadas en el “Mercado La Terminal” se encuentra entre los límites admisibles por la Organización Mundial de la Salud –OMS–. De acuerdo a los resultados obtenidos se establece que la carne de las piezas analizadas son aptas para su consumo en cuanto a peligro por toxicidad por arsénico, debido a que las cantidades de dicho metal pesado no superan el rango admisible por la OMS, además se evidenció que ambas piezas carecen de trazas de arsénico por lo cual no es posible establecer qué piezas concentran mayor presencia del mismo pero se admite que dichas piezas se encuentra en iguales condiciones. Dicho estudio se llevó a cabo en el mes de septiembre de 2016 con la finalidad de contribuir a la prevención de intoxicación alimentaria en el municipio de Retalhuleu.

ABSTRACT

The consumption of chicken of fattening commercialized on the market the Retalhuleu Terminal, it is carried out in reason from three to four times for week I mediate for family in this department (ANAVI, 2014), this demand arises after the increase in the price of the bovine and porcine meat, this provokes the increase in the upbringing of birds destined for task, where the feeding with feed piensos fulfills an important function in the reduction of the time of upbringing and best profit. For – ANAVI –, this aspect resulted from big interest since the national poultry farming still has big foreign dependence as for the use of raw material and additives, for the piensos making; likewise the import of medicines for avian use in Guatemala and countries of the region, where the use has demonstrated principally of arsenic that coadyuvan in the anatomical progress of the animal. It is for it that there arose the interest to determine the presence of arsenic in the chicken meat by means of the method of spectrophotometric of anatomic absorption, selecting for it thighs and wings, to be pieces where major quantity of chemical residues has been demonstrated, using a random sampling that generated high level of confidence in the representation of the population of studies, for the purpose of demonstrating that the presence of arsenic in the meat of both pieces commercialized on the "Market the Terminal" you find between the admissible limits for the World Health Organization –WHO–. In accordance with the obtained results it is established that the meat of the analyzed pieces they are suitable for its consumption as for danger for toxicity for arsenic, it was established that the meat of the parts analyzed are suitable for consumption in terms of danger by arsenic toxicity, because the quantities of the above mentioned heavy metal do not overcome the admissible status for the WHO, also it was demonstrated that both pieces lack arsenic touches for which it is not possible to establish what pieces concentrate major presence of the same one but it is admitted that one finds the above mentioned pieces in equal conditions. The above mentioned study took finished in September 2016 for the purpose of contributing to the prevention of food poisoning in the municipality of Retalhuleu.

1 INTRODUCCIÓN

La seguridad alimentaria es una de las principales preocupaciones de los consumidores, siendo el criterio de alimentos seguros el de mayor importancia en la cadena alimentaria, debido a la utilización de sustancias indeseables, las de mayor riesgo. Por ello en los últimos años ha existido una preocupación creciente por los niveles de metales pesados presentes en agua y alimentos de los animales para faena industrial, así como su bioacumulación en sus tejidos finales. El arsénico es un metal pesado presente en la naturaleza, en agua y en suelo. También se emplea en medicamentos veterinarios y piensos. Es acumulado por los animales y vegetales a partir de sus cadenas tróficas, transmitiéndose al ser humano a través del consumo de carnes, vegetales, pescado y mariscos, con elevadas concentraciones.

En la industria alimentaria es importante monitorearlo puesto que es un compuesto altamente cancerígeno que se relaciona en algunos países de América con la producción de cáncer de piel, pulmón, estómago e hígado en alta dosis, mientras que en dosis moderada sus síntomas son semejantes a una intoxicación alimentaria común (diarrea, vómitos, mareos, dolores de cabeza y estómago), y que debido al incremento en el consumo de carne de pollo por la población, resulta idóneo evaluar su presencia en pollo de engorde de granjas locales, debido a su escasa tecnología y carencia de buenas prácticas de manufactura, en comparación con las industrias tecnificadas del país, permitiendo en este alimento una posible relación de este compuesto con la incidencia de intoxicaciones leves y que no ha podido ser diagnosticado por ausencia de equipo e inexistencia de un monitoreo continuo por entidades gubernamentales.

Es necesario determinar si la carne del pollo de engorde (muslos y alas) comercializados en el mercado “La Terminal” de Retalhuleu se encuentran entre los límites admisibles por la Organización Mundial de la Salud –OMS– (0,5 – 2) mg/kg en peso seco, en cuanto a niveles de arsénico. Para el estudio de la población se empleó un muestreo estratificado, además cada estrato fue sometido a un muestreo aleatorio, permitiendo que se tenga una buena representatividad, definiendo qué cinco muestras de muslos y alas generan un 90% de nivel de confianza, las cuales se sometieron al análisis de espectrofotometría de absorción atómica por generación de hidruro. Dicha estudio fue efectuado en el mes de septiembre del año 2016 en el mercado “La Terminal” zona 4 de la ciudad de Retalhuleu.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El consumo de carne de pollo en Guatemala ha ido en aumento en los últimos cinco años, esto se debe al incremento en el precio de carnes de res y de cerdo. Esta situación obliga el consumo mayoritario de pollo, para satisfacer el requerimiento proteínico de la dieta (ANAVI, 2014). El aporte de proteínas de esta carne (21,39 g/100 g) con respecto a la carne de res (21,43 g/100 g) o de cerdo (21,39 g/100 g), no presenta una diferencia nutricional significativa, por ello la sustitución por la carne de pollo resulta idónea (INCAP, 2012).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (por sus siglas en inglés FAO) asegura que para satisfacer la creciente demanda en Centroamérica de carne de pollo, los productores están utilizando para la alimentación de estos, alimentos no recomendados con el objetivo de reducir el tiempo de crianza, y es este el principal problema sanitario de contaminación en los productos animales siendo la intoxicación por metales pesados (entre estos el arsénico), las más preocupantes por ser cancerígenos y encontrarse en los piensos en cantidades significativas, dato que fue aceptados por el MAGA (FAO, 15).

En Retalhuleu actualmente no se cuenta con un monitoreo de la inocuidad de parte de las entidades gubernamentales (MAGA, MSPAS), esto ocasiona diversos problemas, como es el hecho que no se cuentan con registros toxicológicos, referidos a la carne de pollo que se comercializa en el mercado “La Terminal”, donde el consumo de pollo se realiza entre tres a cuatro veces promedio por semana por familia (Ramírez, 2014). El autor indica que este alimento puede significar un importante foco de contaminación alimentaria para la población de esta localidad en cuanto a residuos químicos, por lo cual es importante evaluar la presencia de arsénico en la carne de pollo (muslos y alas), permitiendo identificar su concentración y evidenciar mediante análisis físico químicos, si el consumidor se está exponiendo a una posible intoxicación inconsciente. Siendo (0,5 – 2) mg/kg de en peso seco, los límites admisibles por la OMS. Ante lo expuesto se plantea la siguiente interrogante.

¿Será que la carne de pollo (muslos y alas) comercializada en el mercado “La Terminal” de Retalhuleu se encuentra entre los límites admisibles por la Organización Mundial de la Salud –OMS– en cuanto a niveles de arsénico (0,5 – 2) mg/ kg de peso seco?

3 JUSTIFICACIÓN

El arsénico es un metal pesado presente en la naturaleza, debido a su depósito en agua, en alimentos y en suelo, por el uso de plaguicidas, herbicidas y aditivos químicos. Resulta de interés evaluar los niveles de arsénico presentes en algunos alimentos en los cuales su aplicación (como aditivos estimulantes de crecimiento y anticoccidiales) pueda provocar un posible foco de intoxicación crónica o aguda en la población generalizada. Es por ello, que la presente investigación se enfocó en determinar la presencia de arsénico en la carne de muslos y alas de pollo que se comercializan en el mercado La Terminal de Retalhuleu, dado que en Guatemala el 60% de la población suministra su fuente de proteínas a través de la ingesta muy frecuente de pollo (ANAVI, 2014).

Debido al incremento en el consumo de carne de pollo a nivel nacional por la población, PROSA señaló que es necesario conocer aspectos toxicológicos en esta carne, debido a que la avicultura tiene una gran dependencia extranjera de piensos, medicamentos veterinarios y aditivos estimuladores de crecimiento, donde se ha confirmado el uso del arsénico como aditivos de alimentos y base farmacéuticas para medicamentos aviar, que de acuerdo a la farmacología aviar y a estudios llevados a cabo en el MAGA, los muslos y alas son piezas donde se bioacumulan alto contenido de residuos químicos, producto de la alimentación aviar y aplicación de medicamentos, además son las piezas de mayor comercialización en el mercado La Terminal (MAGA, 2015).

En Retalhuleu, hasta mayo de 2015; el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social reportaba la intoxicación leve de 13 personas, todas por sustancias desconocidas derivadas del consumo de pollo (MSPAS, 2015), debido a que las intoxicaciones en esta institución solo se diagnostican a partir de cuadros clínicos, no fue posible diagnosticarlas. Al analizar los síntomas que presentaban las personas, se relacionaba a posibles trazas de ácido arsánico (dolor de estómago, mareo, diarrea, vómitos), por ello surge el interés de realizar dicha determinación en el mercado La Terminal, y con ello coadyuvar con el MAGA y MSPAS, a la prevención de intoxicaciones alimentarias, debido a que actualmente en estas instituciones solo diagnostican intoxicaciones alimentarias, las relacionadas con plaguicidas y herbicidas, pero no por metales pesados, por ausencia de equipo y presupuesto.

4 MARCO REFERENCIAL

4.1 Presencia de arsénico en la carne de pollo para consumo humano

4.1.1 Generalidades

El arsénico es un compuesto químico con propiedades metaloides. Está presente en el medio ambiente y en todos los entornos físicos. La industria de alimentos después de la minería, es la principal procedencia de su exposición y distribución. En la dieta humana las fuentes más importante se hallan en el agua, pescados, mariscos, y desde hace unas décadas en el pollo para consumo humano. En este último es posible encontrarlo en su estado orgánico (MMA, DMA, ácido arsanílico y ácido arsónico) e inorgánico (arsenito y arseniato sódico).

En el informe de la oficina de estudios y políticas agrarias de Chile. La autora Verónica Echeverría afirma que: La industria avícola mundial actual evidencia un aumento en la producción aviar, resultado de la tendencia a la disminución en los costos de alimentación y el menor precio de la carne de aves frente a otras fuentes proteicas de origen animal (Echeverría, 2014). Es entonces donde el arsénico toma importancia en la industria avícola, debido a la utilización de sus sales arsenicales como aditivos en la elaboración de piensos que estimulan el crecimiento del pollo, previenen enfermedades y mejoran la pigmentación (UNAD, 2010). Con ello se puede estimar que en la mayoría de las poblaciones que basan su alimentación en el consumo de pollo, fácilmente pueden sobrepasar la ingesta máxima recomendada por la OMS en cuanto a arsénico, de 0,015 mg/kg a la semana y 0,002 mg/kg al día (OMS/FAO, 2011), debido a la gran habilidad que tiene para ser absorbido por el tracto digestivo y ser distribuido en el cuerpo como un complejo de proteína (α -globulina)-arsénico.

En Guatemala, donde el 60% de la población consume carne de pollo en raciones de no menor a tres veces por semanas promedio (ANAVI, 2014). Resulta idóneo evaluar la presencia de arsénico en este alimento, con la finalidad de identificar si el pollo comercializado en Retalhuleu cumple con lo establecido por la OMS en cuanto a los niveles aceptables de arsénico en productos cárnicos de pollo, que son de (0,5 – 2) mg/kg (Valle, 2000), debido a que la norma COGUANOR 34 125 no define la concentración máxima de arsénico en productos cárnicos (COGUANOR, 1999).

4.1.2 Antecedentes de estudios realizados sobre arsénico en aves.

- Thaper et al. En 1970 estudiaron el efecto del arsénico y selenio a dosis bajas en pollos a través de su ciclo vital. El selenio a nivel de 8 mg/kg afecta la productividad de huevo, observándose también pesos menores en el lote experimental que en los animales testigo. También se presentan problemas en la incubación. Estos efectos fueron contrarrestados por el arsénico en 15 mg/kg, sin embargo la producción del huevo no recuperó sus valores normales (Valle, 2000).
- Dagher y Hariri. En 1977 administraron ácido arsenilico (utilizado como un medicamento para aves de corral de alimentación) a White Leghorn gallinas ponedoras en (50 y 100) mg/kg durante 15 semanas. Las concentraciones máximas de huevos que se alcanzan después de (4 – 5) semanas fue de (0,13 y 0,24) mg As/kg de peso seco para los dos niveles de dosis, respectivamente. También pudo identificar que el Arsénico residual era insignificante 2 semanas después de la retirada del fármaco desde la alimentación (OMS, 2001).
- En 1991 Proudfoot et al. encontraron una mayor concentración de arsénico en el hígado y el músculo de pollos de engorde que fueron alimentados con dietas que contenían ácido arsenilico (99 mg / kg de dieta) en comparación con los controlados. La media de los residuos de arsénico fue de hasta (1,5 - 0,4) mg/kg de pollo, se midieron para los dos tejidos respectivamente. Los pollos alimentados con una dieta que contenía (100 o 500) mg As /kg de peso, acumularon hasta (2,3 - 8) mg As/kg en el tejido hepático, mientras los niveles más bajos se acumularon en el tejido muscular, con concentraciones de arsénico de hasta (0,15 - 0,67) mg/kg de pollo (ATSDR, 2007).
- Holcman y Stibilj. En 1997 alimentaron gallinas Rhode Island Red con dietas que contenían (7,5; 15 y 30) mg As₃/kg, como As₂O₃ durante 19 días. Los huevos que se recogieron en los días (8 – 19) del experimento, los residuos de arsénico fueron consistentes a lo largo de este periodo. Las concentraciones medias fueron (0,2; 0,42 y 0,96) mg As/kg en peso seco en la yema de huevo, y (0,06; 0,14 y 0,3) mg As/kg clara de huevo para las tres concentraciones de exposición respectivas (ATSDR, 2007).

- En 2007 Rose *et al*, logró estimar que el 80% de la ingesta de arsénico se debe al consumo de carne, pescado y pollo que contiene este elemento. Además diagnosticó que los pescados, los mariscos bivalvos y las algas también contienen arsénico, como arsenobetaína y arsenocolina, las cuales se conocen como "arsénico de los peces". Afirmó que estas formas de arsénico presentan una baja toxicidad en los humanos y son excretadas rápidamente en la orina (ATSDR, 2007).
- En 2011 la FDA admitió que el pollo comercializado en E.E.U.U. contenía arsénico en forma de ácido arsónico. Esta investigación también identificó que este proviene de la alimentación con piensos donde es agregado como aditivo. El responsable fue reconocido como una filial de Pfizer, llamado Alpharma LLC. Scott Brown de la división de Medicina Veterinaria de Investigación y Desarrollo de Pfizer dijo: “Aunque Alpharma acordó sacar este aditivo de los estantes en los Estados Unidos, no es necesario eliminarlo de productos para la alimentación de otros países latinoamericanos a menos que sea obligado por los reguladores correspondientes de cada país” (MAGA, 2015).

5 MARCO TEÓRICO

5.1 Pollo

5.1.1 Importancia del pollo en Guatemala

La avicultura es una rama de explotación pecuaria que ha experimentado un alto índice de crecimiento a nivel mundial como nacional. A la fecha la industria avícola representa uno de los recursos más importantes con que cuenta nuestro país, para suplir la necesidad de alimentación básica de origen animal. Su importancia económica es positiva ya que genera 35,000 empleos directos y 300,000 indirectos, provee la forma más económica de proteína animal para la población a través del huevo y la carne, esta último se relaciona por el bajo precio que presenta el pollo de consumo frente al alza del valor de la carne porcina y bovina.

La avicultura nacional representa el 2% del PIB nacional y el 8% del PIB agropecuario, según el Banco de Guatemala provee el 60% de la proteína consumida por la población, pero uno de los grandes desafíos que enfrenta la industria avícola guatemalteca es la dependencia que tienen de materias primas del exterior, particularmente del maíz amarillo, aditivos alimentarios y productos veterinarios.

5.1.2 Producción anual avícola

Actualmente, Guatemala produce al año 137,5 millones de pollos, que equivalen a 228,9 millones de kg, así como 2 300 millones de huevos producidos por una parvada nacional de 9,5 millones de ponedoras, todo esto derivado de una población avícola nacional de 52,4 millones de pollos. Su distribución se describe en la gráfica 1 (p. 61).

5.1.2.1 Principales departamentos productores

El número de aves (Gallinas, gallos, pollas y pollos) se encuentran distribuidas de la siguiente forma: Escuintla (36%), Guatemala (26%), Santa Rosa (5%), Suchitepéquez (5%), Chimaltenango (4%), Huehuetenango (4%), Retalhuleu (2%) y los demás departamentos del país suman el (18%) restante (Gráfica 2, p. 61). El 80% de la producción de pollo está concentrada en la región centro y suroccidente del país (ANAVI, 2014).

5.1.3 Consumo nacional del pollo de engorde

El consumo promedio de pollo de engorde en Guatemala es de 42 lb al año, ANAVI lo divide en dos segmentos: el de la producción nacional que es de 15,4 kg (34 lb) y el del pollo importado que es de 3,6 kg (8 lb), lo que hace un total de 19 kg (42 lb). El sector avícola nacional en promedio reporta una tasa de crecimiento del (3 – 4) % anual en consumo y población aviar, por lo que se considera estable en los últimos cinco años. Manuel Hoffman, médico veterinario de ANAVI aseguró durante la clausura de la XI jornada Avícola Nacional celebrada el 8 de junio de 2014. Que: “La producción avícola está muy ligada a la demanda del mercado local” (ANAVI, 2014).

5.1.4 Descripción del pollo de engorde para consumo humano

En la norma COGUANOR NGO 34 212:99, define al pollo de engorde como: “las aves de cualquier sexo de la especie *Gallus gallus* o *domesticus*, destinada a engorde para consumo humano y que habiendo llegado a sus estados adultos son jóvenes” (Anexo 3, p. 60).

5.1.4.1 Carne de pollo

Es la parte muscular que está constituida por todos los tejidos blandos que rodean el esqueleto del ave, incluyendo graso de cobertura e infiltración, tendones, vasos y aponeurosis.

5.1.4.2 Pollo beneficiado listo para cocinar

Es el pollo sacrificado, desangrado, desplumado, sin patas eviscerado, terminado y enfriado. Se le conoce como “pollo crudo”. Para efectos de su comercialización y consumo, se proceden a realizar cortes superiores o inferiores.

5.1.4.3 Cortes superiores

Son los resultados de cortar el pollo en partes menores, con arreglo a una base anatómica comercialmente determinada.

Los cortes que se describen a continuación son los que comúnmente se comercializan en el país.

Medio pollo: comprende la mitad del pollo, desde el final de la última vértebra cervical hasta la sacra y la coccígea.

Cuarto de pollo: es el resultado de partir en dos partes el medio pollo, obteniéndose cortes con carne blanca y carne oscura aproximadamente igual. Las piezas conseguidas son: Cuarto de pollo con pechuga y ala, o cuarto de pollo con pechuga sin ala.

Cuarto de pollo con pierna: consiste del cuarto inferior con la pierna unida a una porción del espinazo.

5.1.4.4 Corte inferiores

Pechuga: comprende la clavícula y el esternón en toda su extensión hasta su unión con las costillas. Así como los tejidos blandos que los rodean. La pechuga se puede encontrar también con: pechuga sin hueso y piel; pechuga con costilla y espinazo.

Pierna (cuadril y muslo): comprende las extremidades inferiores desde la articulación coxo-femoral (cadera con fémur) hasta la articulación tibiometatarsial (inicio de la pata), así como los tejidos blandos que las rodean. Se le conoce como “cuadril con pierna”.

Cuadril: comprende la parte de las extremidades inferiores que va desde la articulación coxo-femoral hasta la articulación femoral tibio-rotuliana (rodilla), así como los tejidos blandos que rodean.

Muslo: comprende las partes de las extremidades inferiores que va desde la articulación femoro-tibo-rotuliana (rodilla) hasta la articulación tibio-metatarsial (inicio de la pata), así como los tejidos blandos que la rodean. Se le conoce como “pierna”. Los residuos de antibióticos, sales arsenicales químicos son evidentes en estas piezas, debido a que son partes anatómicas anteriores a las patas donde la alta composición de queratina permite la bioacumulación mayor de residuos de antibióticos y sales arsenicales.

Ala: comprende la extensión de esta extremidad desde la articulación escápulo-humeral hasta las falanges, así como los tejidos blandos que las rodean. Constan de tres secciones o falanges: la primera falange que es la más cercana al cuerpo y parece un muslo pequeño. La segunda falange no contiene mucha carne, pero es generalmente más jugosa que el resto del ala. La punta del ala o tercera falange no contiene mucha carne. Generalmente el ala contiene una gran cantidad de grasa, lo que permite retener compuestos muy solubles en tejidos adiposos, como lo son los altos contenidos de residuos de antibióticos, sulfuros y arsenicales evidenciados en ellas (COGUANOR, 1999).

5.1.5 Características del pollo de engorde para consumo

El pollo listo para cocinar para consumo humano, deberán proceder de aves sanas beneficiadas bajo inspección sanitaria y cumplir con los requisitos de control sanitario pre y post mortem para aves de beneficio, exigidos por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala; bajo las condiciones siguientes:

5.1.5.1 Color y olor

La carne del producto deberá tener el color y olor característico según su tipo o procedencia y no podrá tener color y olor extraños o anormales. La carne del producto no deberá haber sido coloreada durante el proceso.

5.1.5.2 Firmeza

El tejido muscular de los productos frescos y congelados serán firmes y elásticos al tacto.

5.1.5.3 Residuos de productos químicos y biológicos

El pollo listo para cocinar, sus cortes y menudos no deberá tener residuos de sustancias colorantes naturales y artificiales, de sustancias utilizadas para eliminar color, de peróxidos de hidrogeno, antibióticos y hormonas (COGUANOR, 1999).

5.1.6 Beneficios de la carne de pollo

El INCAP en su guía alimentaria para Guatemala, recomienda el consumo de carne de pollo por lo menos dos veces por semana, preferiblemente sin piel debido a su alto contenido de colesterol (INCAP, 2012).

La carne de pollo es una de las más saludables del mercado. Es un alimento con una alta densidad de nutrientes. Aranza, L (2005) afirma: “Se pueden apreciar variaciones en la composición de la carne, en función de la edad del animal sacrificado. Los ejemplares más viejos son más grasos. También existen diferencias en la composición de las distintas piezas cárnicas, como en el caso de la pechuga, cuyo contenido en proteínas es mayor que el que presenta el muslo”, pero generalmente el principal componente de la carne de pollo es el agua, que representa del (70 – 75) % del total; las proteínas suponen entre (20 – 22) %; y, por último, la grasa, entre un (3 – 10) %. En su composición también figuran cantidades importantes de minerales como hierro, zinc, magnesio, fósforo y vitaminas tales como tiamina, niacina, retinol y vitaminas B6 y B12 (Tabla 11, p. 66).

La carne de pollo al presentar fácil remoción de la mayor parte de sus grasas, resulta una carne con baja calorías. La pechuga en particular, es el tejido muscular que se encuentra en mayor proporción en el pollo y es uno de los cortes de carne más magros del mercado. También el aporte de las vitaminas del complejo B necesarias para llevar a cabo importantes funciones en el cuerpo y minerales como el hierro que ayuda a transportar el oxígeno a todas las células, fundamental para el buen funcionamiento del cerebro y rendimiento físico; el fósforo forma parte de los huesos y dientes y el zinc esencial para los procesos de crecimiento y defensas del organismo, por lo cual es un alimento ideal para bebés, niños, adolescentes, adultos y adultos mayores por ser una carne en general suave por poseer una fibra muscular corta que facilita su digestión, así también altamente nutritiva (INCAP, 2012).

5.1.7 Variedad de razas para engorde

En conceptos de economía, uno de los aspectos más importantes que debe tener en cuenta el avicultor es el de la clase de aves que compra o cría. Los sistemas de producción, influyen en el tipo de aves que es necesario adquirir.

Para los sistemas de producción, semi-intensivo e intensivo, generalmente el tipo de aves que incluye esta clases son los destinados para engorde, de ahí su nombre. Además es necesario considerar el objetivo de producción en relación con el mercado (carne/ huevos/ doble propósito).

La facultad de veterinaria de la Universidad de Castilla-La Mancha afirma que: las razas avícolas a nivel mundial generalmente se pueden dividir en tres categorías según su peso corporal (UCLM, 2012): Livianas, Semi-pesadas y Pesadas. Las características de esta última son las siguientes.

5.1.7.1 Características de la raza pesada

Su origen es inglés y asiático. Generalmente tienen las siguientes características:

- Poseer textura fuerte. Apreciable resistencia al calor y al frío.
- Rápido engorde, alcanzando un peso corporal de (2,0 – 2,4) kg.
- Muy regulares productores de huevos.
- Desarrollo precoz. En un ciclo de vida corto de (6 – 8) semanas.
- Facilidad de conversión de alimento en carne.
- Buen desarrollo corporal.
- Predominio de pluma blanca.
- Patas grandes y bien desarrolladas.
- Color de la cáscara del huevo marrón y fuerte.

Debido a las anteriores características, sus líneas comerciales son productoras de carne. Las principales líneas comerciales de engorde son: Lohmann Broiler (meat), Hibro, Ross x Ross, Hubbard, Pilch, Cobb 500, Peterson.

5.1.8 Sistemas de producción del pollo de engorde

La crianza de pollo de engorde es destinada totalmente para consumo humano. En Guatemala representa el 32% de las unidades producidas anuales, su producción es originaria de las PYMEs, que cuentan con acceso a tecnología, instalaciones físicas adecuadas y planificadas a dicho sistema productivo, y con más inversión financiera hacia este sector.

5.1.8.1 *Proceso productivo*

Este sistema productivo se diferencia del traspatio debido a que tiene un proceso productivo planificado y estandarizado, que satisface el principal objetivo laboral de producir pollo para consumo. Para obtener buenos resultados, es necesario que se tenga en cuenta cuatro factores que son: la raza, el alimento, el control sanitario (prevención de enfermedades) y el manejo que se le da a la explotación.

De acuerdo a las diferentes características que presenta esta raza, y para el objeto de este sistema de producción, es idónea la utilización de razas pesadas en cualquiera de sus líneas comerciales, que permiten mayor conversión de alimento en carne. Este es uno de los aspectos más importante ya que el tiempo óptimo de desarrollo del pollo de engorde está comprendido entre (6 – 7) semanas, para ello es fundamental establecer un adecuado control sanitario (el ambiente o entorno, calidad del agua y calidad de la cama.) que es determinante en el rendimiento nutricional y crecimiento.

5.1.8.2 *Aspectos económicos*

En este sistema de producción, las PYMEs proporcionan mayor inversión financiera en los aspectos tecnológicos, en la construcción de aéreas físicas adecuadas y control sanitario que contribuye a tener mayores rendimientos. Estableciendo de esta manera, buenas prácticas de manejo en el pollo de engorde.

El mayor porcentaje de inversión en el pollo de engorde es el alimento, aproximadamente un 70% del costo total de producción (ANACAFÉ, 2004). Es por ello que se debe tener cuidado en la elección de la opción nutritiva; ya que cada estirpe tiene demandas nutritivas diferentes, aunque la mayoría de las casas fabricantes de piensos para pollos han estandarizado formulaciones de uso general. Por otra parte se invierte casi el 20% en medicación avícola (antibióticos, estimuladores de crecimientos, y vacunas). La producción de pollo en los tiempos recomendados para los estirpes suele remunerar grandes ganancias económicas, debido a ello la avicultura nacional es un mercado muy estable y con una tasa de crecimiento de (3 – 4) % anual (ANAVI, 2014).

5.2 Alimentación avícola para pollo de engorde

El mayor porcentaje de inversión en el pollo de engorde es el alimento, aproximadamente un 70% del total. Por lo anterior se debe tener cuidado en la elección de la opción nutritiva, ya que cada estirpe tiene demandas nutritivas diferentes, pero las casas fabricantes de alimento para pollos han estandarizado formulaciones que son las que generalmente se usan (ANAVI, 2014).

Tabla 1. Consumo estándar de concentrado por estirpe

Edad (Semana)	Consumo (Libras)
1	370
2	792
3	1294
4	1760
5	2015
6	2320
7	2772
8	3097

*el consumo estándar del estirpe se calcula en base a 1000 pollos de engorde (ANAVI, 2014).

Fuente: ANAVI, "Buena práctica de alimentación avícola", 2014.

5.2.1 Aporte de nutrientes

5.2.1.1 *Energía*

Los pollos de engorde requieren energía para el crecimiento de sus tejidos, para su mantenimiento y su actividad. Las fuentes de carbohidratos, como el maíz y el trigo, además de diversas grasas o aceites son la principal fuente de energía de los piensos avícolas. Los niveles de energía en la dieta se expresan en kilocalorías (Kcal/kg).

5.2.1.2 *Proteína*

Los niveles de proteína de la dieta no indican la calidad de las proteínas de los ingredientes, pues ésta depende del nivel, equilibrio y digestibilidad de los aminoácidos esenciales del pienso terminado, una vez mezclado.

El pollo de engorde tiene una gran capacidad de respuesta a los niveles de aminoácidos digestibles en la dieta en términos de crecimiento, eficiencia alimenticia y rentabilidad, cuando las raciones están equilibradas correctamente. Se ha demostrado que el hecho de aumentar los niveles de aminoácidos digestibles mejora la rentabilidad al incrementar el crecimiento de las aves y su rendimiento una vez procesadas. Esto es particularmente importante cuando el pollo se produce para venderse despiezado o deshuesado.

5.2.1.3 *Macrominerales*

El suministro de los niveles correctos de los principales minerales es importante para los pollos de engorde de alto rendimiento. Estos macrominerales son calcio, fósforo, sodio, potasio y cloro.

Calcio y Fósforo: el calcio de la dieta influye en el crecimiento, la eficiencia alimenticia, el desarrollo óseo, la salud de las patas, el funcionamiento de los nervios y el sistema inmune. Es necesario aportar el calcio en las cantidades adecuadas y en forma consistente. Al igual que éste, el fósforo se requiere en la forma y la cantidad correctas para la estructura y el crecimiento óptimos del esqueleto.

Sodio, Potasio y Cloro: Estos minerales se requieren para las funciones metabólicas generales, por lo que su deficiencia puede afectar el consumo de alimento, crecimiento y pH sanguíneo. Niveles excesivos de estos minerales pueden hacer que aumente el consumo de agua y esto afecta adversamente la calidad de la cama.

Minerales traza y Vitaminas: Los minerales traza y las vitaminas son necesarios para todas las funciones metabólicas. Los complementos apropiados de vitaminas y minerales dependen de los ingredientes que se utilicen, de la elaboración del pienso y de las circunstancias locales. Debido a las diferencias en los niveles vitamínicos de los distintos cereales, es necesario modificar los niveles de complementos vitamínicos, por lo que generalmente se proponen recomendaciones separadas para ciertas vitaminas, dependiendo de los cereales que se utilicen como base para estas raciones (ANAVI, 2014).

5.2.1.4 *Estimulantes de crecimiento*

Estos aditivos son de carácter antibiótico u hormonal, natural o sintético, que aceleran el crecimiento y engorde y mejoran la conversión alimenticia. Los aditivos no nutricionales son estimulantes del crecimiento de los animales y mejoran la eficiencia alimentaria (PROSA, 2015). Los principales son: antibióticos, arsenicales, nitrofuranos, anabólicos y hormonales.

5.2.1.5 *Coccidiostáticos*

Los aditivos coccidiostáticos actúan contra los protozoarios coccidios impidiendo su desarrollo. Existen varias especies de coccidios (*Eimeria tenella* y *necatrix*) que produce lesiones en el duodeno y ciego; los coccidios disminuyen el crecimiento y la conversión alimentaria. La mayoría de los coccidiostáticos son derivados de las sulfonamidas que inhiben el desarrollo de las coccidias (coccidiostáticos) y se usan más como preventivos por crear resistencia y permitir mínimas infestaciones (PROSA, 2015). Los coccidiostáticos pueden ser: los ionóforos, productos químicos.

5.2.2 Aditivos arsenicales en la alimentación avícola del pollo de engorde

Los arsenicales estimulan el crecimiento, la producción y mejora la conversión alimenticia, contribuyen a prevenir enfermedades, mejoran la pigmentación, el emplume y tienen efectos coccidiostáticos. El modo de acción de los arsenicales (ácido arsanílico) provoca ahorro de proteína, reduciendo la excreción de nitrógeno y el catabolismo de las proteínas, suprime las bacterias infecciosas del intestino pero menos intensamente que los antibióticos, siendo su efecto más pronunciado sobre los protozoarios y espiroquetas. Su efecto es más notorio en medios muy contaminados.

La toxicidad de los arsenicales orgánicos es menor que la de los inorgánicos; los orgánicos poco se acumulan y se eliminan en 48 horas después del consumo, pero se recomienda suspender el suministro cinco días antes del sacrificio. Los arsenicales inorgánicos son más tóxicos, se acumulan en el organismo y demoran (15 – 40) días para eliminarse. Los síntomas de intoxicación son debilidad en las piernas y opistótonos.

5.2.2.1 *Arsenicales de mayor uso en piensos.*

El ácido arsanílico y ácido arsónico; se encuentra en forma de sales de sodio y hierro, siendo usado en cerdos y aves. El compuesto de sodio es más soluble en agua de bebida, contribuye a potenciar los antibióticos y coccidiostáticos. Se usa asociado o solo con antibióticos en cerdos y aves. El ácido arsónico contiene 28% de arsénico y su efecto es más marcado sobre el crecimiento, es uno de los arsenicales menos tóxicos. El arsenobenceno se utiliza como coccidiostático (UNAD, 2010).

5.3 Descripción municipal del área de estudio en Retalhuleu

5.3.1 Avicultura municipal

La avicultura en Retalhuleu como práctica laboral en estos últimos cinco años ha presentado un aumento en su producción. Contribuye con el 2% o un poco más de la producción nacional del país. Es necesario mencionar que el municipio solo proporciona 14% de la producción departamental (Gráfica 3, p. 63), aunque estos valores se estiman de acuerdo a las granjas registradas descritas en la siguiente tabla (PROSA, 2015).

Tabla 2. Producción municipal del pollo

Municipios	Nombre de la Granja	Pollos/Ciclo	Totales por municipio
Champerico	Agrícola	16,000	16,000
El Asintal	Mángales	12,000	12,000
Nuevo San Carlos	La Liria	20,000	20,000
Santa Cruz Mulua	San Francisco	225,000	475,000
	Nuevo Amanecer	250,000	
San Martín	Yergel	250,000	250,000
San Felipe	San Iconito	16,000	26,000
	San Felipe	10,000	
Retalhuleu	Delicias	100,000	136,000
	La Guitarra	20,000	
	Monte Cristo	16,000	
San Sebastián	Samalá	8,000	8,000
TOTAL pollos/ciclo			943,000

Fuente: PROSA "MAGA, Retalhuleu, M.V. Edwin Aquino", 2015.

5.3.2 Mercados municipales

Son los espacios físicos municipales destinados para el intercambio de los distintos productos que forman parte de la canasta básica familiar.

En el centro urbano se cuenta con tres mercados, el primero es el de la Terminal de buses, que por su ubicación es el más importante y es al que convergen más personas. Los otros dos son mercados cantonales (llamados así porque pertenecen a cantones y a los cuales concurren solo los vecinos), estos se reconocen como: El Mercadito o San Martín de Porres y San Nicolás o la Galera.

5.3.3 Descripción del mercado “La Terminal”

El mercado La Terminal se encuentra ubicado en la zona 4 de Retalhuleu. Sus dimensiones son 800 m, a lo largo por la carretera que conduce hacia Champerico y 500 m de ancho que colinda con la 5ta av (Anexo 1, p. 58).

Inició sus actividades en la década de 1,960; Su importancia radica en garantizar el abastecimiento de casi 30,000 personas a diario y en los días domingo de una mayor influencia de personas en el área de Retalhuleu. Su estructura física se conforma en casi un 95% de material block y concreto (SEGEPLAN, 2011).

5.3.3.1 Mercado de pollo

La organización interna del mercado La Terminal está regida por la oficina de administración, la cual tiene dividido el mercado en once sectores para controlar de mejor manera su ubicación (Anexo 2, p. 59). En estos sectores se concentra la comercialización de pollo para satisfacer la demanda de 9,300 personas a diario.

La oficina de administración municipal del mercado cuenta con un registro de cuarenta y cinco personas que venden pollo en estas instalaciones, además en la encuesta realizada previo al estudio se identificó que treinta y cinco de ellos venden pollo de granja (MUNIREU, 2015), y se pudo estimar que cada persona vende en promedio (76 – 80) lb diarias, se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 3. Distribución de ventas de pollo por sectores en el mercado La Terminal

Sectores	Cantidad de Expendios
Sector A	6 ventas de pollo
Sector B	1 venta de pollo
Sector C	5 ventas de pollo
Sector D	11 ventas de pollo
Sector E	1 venta de pollo
Sector F	12 ventas de pollo
Sector G	4 ventas de pollo
Sector H	4 ventas de pollo
Sector I	No tiene ventas
Sector J	1 venta de pollo
Sector K	No tiene ventas

Fuente: oficina administrativa municipal mercado “La Terminal”, 2015.

La comercialización de pollo en el mercado La Terminal se divide en cuatro diferentes clases (Gráfica 4, p. 63). En la encuesta propia realizada con anterioridad a la investigación, de acuerdo a su procedencia el pollo puede ser:

- ***Pollo de traspatio:*** es pollo de crianza familiar. En el mercado La Terminal solo se distribuye en un expendio.
- ***Pollo de granja:*** es pollo de engorde proveniente de granjas locales del departamento. En el mercado se identificaron treinta y cuatro expendios.
- ***Pollo facturado:*** es pollo de engorde de granjas industriales y tecnificadas del país. En el mercado se identificaron diez expendios.
- ***Pollo de importación:*** pollo procedente del extranjero por concepto de importación. Ningún expendio del mercado La Terminal lo comercializa.

El pollo de venta en dicho mercado se denomina como pollo amarillo fresco que oscila entre (3,5 – 5,0) lb/pollo. A través de la encuesta, se identificó que la demanda diaria se abastece con más de 3,100 pollos enteros que proceden de diferentes proveedores. Las principales granjas son: finca Las Delicias, granja La Guitarra, granja Monte Cristo, granja El Retiro, granja La Montaña.

5.3.4 Piensos de mayor uso en el pollo de engorde del municipio

En Guatemala las principales marcas e industrias destinadas a la producción de alimentos para animales son: Purina, Molinos Santa Ana, Alianza, Areca y El Prado. También Nutramix, que es una industria de la región destinada a la elaboración de pisos. Los piensos de mayor comercialización y utilización por los avicultores del municipio son:

- Concentrado Purina
- Concentrado Alianza
- Concentrado Areca
- Concentrado Nutramix

Los avicultores definen la utilización de uno o varios de los piensos disponibles en el mercado de acuerdo al objetivo de producción propuesto inicialmente, si lo que se busca es producir pollo de engorde en menor escala, es recomendable la utilización de piensos de bajo costo, como lo es el concentrado Nutramix, debido a que permite una mayor ganancia. Por otro lado si la producción de pollo es en mayor escala para suplir gran demanda se recomienda la utilización de Purina y Alianza, que reduce el tiempo de obtención de su peso ideal.

Tabla 4. Información nutricional e ingredientes principales

Concentrados	Proteína	Grasa	Fibra	Calcio	Otros
Alianza	21.5%	5%	4%	1%	Anticoccidiales
Purina	21%	4.5%	4%	1%	Anticoccidiales, estimulante eficiente.
Nutramix	18%	6%	5%	0.9%	Anticoccidiales.

Fuente: transcripción propia “concentrados de mayor utilización en Retalhuleu”, 2016.

5.4 Arsénico

El arsénico (As) elemental es un miembro del Grupo A (V) de la Tabla Periódica. Cuenta con un número atómico de 33 y masa atómica de 74,91. Es un elemento natural, metaloide. Está presente en el entorno de forma natural y como consecuencia de ciertas actividades humanas. Se presenta de diferentes maneras. Existe tanto bajo forma inorgánica (combinado con elementos inorgánicos), orgánica (combinado con elementos orgánicos) y gas arsina (como As_2O_3). Generalmente el arsénico inorgánico es más tóxico.

Su amenaza para la salud pública reside en la utilización de agua contaminada para beber, para preparar alimentos y regar cultivos alimentarios. La exposición prolongada al arsénico a través del consumo de agua y alimentos contaminados puede causar cáncer y lesiones cutáneas. También se ha asociado al desarrollo de enfermedades cardiovasculares, neurotoxicidad y diabetes (OMS , 2012).

El arsénico también se encuentra en alimentos contaminados por fertilizantes fabricados a partir de roca fosfórica. Otra fuente de arsénico en alimentos es la contaminación accidental por plaguicidas, lo que ha resultado en fijar como límite 3,5 mg/ kg de trióxido de arsénico en vegetales (Estados Unidos de América y algunos países latinoamericanos).

El arsénico es fácilmente absorbido por el tracto digestivo y distribuido en el cuerpo como un complejo de proteína (α -globulina)-arsénico. Es un tóxico protoplasmático, inhibidor de varias enzimas, especialmente las del metabolismo celular y las de la respiración. Posee un efecto de dilatación y aumento de la permeabilidad capilar del intestino. Crónicamente causa problemas gastrointestinales, conjuntivitis, hiperqueratosis, melanodermia (repercutiendo en cáncer).

5.4.1 El arsénico en la naturaleza

5.4.1.1 Fuentes naturales

El arsénico es el componente principal de más de 200 especies de minerales, de los cuales alrededor del 60% son arseniato, 20% de sulfuro y sulfosales y el 20% restante arsenitos, óxidos y arsénico elemental. Se ha estimado que un tercio del flujo atmosférico de arsénico es de origen natural, siendo la acción volcánica la fuente natural más importante. El arsénico inorgánico de origen geológico se encuentra en el agua subterránea. Mientras los compuestos orgánicos, tales como arsenobetaína, arsenocolina y sales tetrametilarsonio, se encuentran principalmente en los organismos marinos, aunque algunos de estos compuestos también se han encontrado en especies terrestres.

5.4.1.2 Fuentes industriales

México es uno de los principales productores de arsénico en el mundo, con cerca del 20% de la producción mundial. Además de su presencia natural en todos los ecosistemas, las principales actividades humanas que liberan este elemento al ambiente son el uso de combustibles fósiles en plantas termoeléctricas, los procesos de fusión y refinación de metales no ferrosos (Pb, Zn y Cu) que llevan a la contaminación por arsénico de manera antropogénica de aire, agua y suelo; la manufactura de semiconductores a base de arseniuro de galio e indio para industria electrónica.

5.4.1.3 Fuente agrícola

En 1983, los pesticidas arsenicales fueron una de las mayores clases de agentes de control biológico en los EE.UU. Desde la década de 1960 se produjo un cambio en el uso de herbicidas, a partir de compuestos inorgánicos (incluida el plomo y el arseniato de calcio y acetoarsenito de cobre) a compuestos inorgánicos y orgánicos (ácido arsénico, arseniato de sodio, MMA y DMA). En Australia entre 1900 y 1950 se utiliza ampliamente para el control de las garrapatas del ganado, dando lugar a la contaminación por arsénico generalizada (Ramírez, 2013).

5.4.2 Transporte y distribución ambiental

Las fuentes ambientales de exposición y distribución del arsénico son (Anexo 4, p. 60): agua, suelo, aire y alimentos.

5.4.2.1 Aire

El arsénico es emitido principalmente a la atmósfera por procesos de alta temperatura, tales como la generación a energía de carbón, las fusiones nucleares, la vegetación en llamas y vulcanismo. La biometilación de baja temperatura natural y reducción microbiana también liberan arsénico en la atmósfera; formar derivados metilados volátiles de arsénico, tanto en condiciones aeróbicas y anaeróbicas, y pueden reducir los compuestos de arsénico para liberar el gas arsina. Es liberado a la atmósfera principalmente como As_2O_3 o, con menos frecuencia como varios compuestos orgánicos volátiles

El arsénico se libera al aire, principalmente en forma de partículas que son dispersadas por el viento en un grado variable, dependiendo de su tamaño, las partículas regresan a la tierra por deposición húmeda o seca. El tiempo de residencia troposférico mundial de arsénico parece ser alrededor de 9 días.

5.4.2.2 Agua dulce y Sedimentos

Las formas de arsénico disuelto en las masas de agua incluyen arseniato, arsenito, ácido monometilarsonico y ácido dimetilarsínico. Algunas especies de As (III)⁺ y As (V)⁻ pueden intercambiar estados de oxidación dependiendo de la reacción redox, el pH y los procesos biológicos. Las especies de arsénico predominantes en las columnas de agua de los lagos es el arseniato, por ser ambientes oxidantes. Suele estar presente y a veces domina en agua inferior que contiene altas concentraciones de Fe (II) y bajos niveles de oxígeno.

Algunas especies de arsénico tienen una afinidad por las superficies minerales de arcilla y materia orgánica, y esto puede afectar su comportamiento ambiental. Las reacciones de metilación y desmetilación son también transformaciones importantes que controlan la movilización y la posterior distribución de As. El transporte y reparto de arsénico en el agua depende de la forma química del arsénico y de las interacciones con otros materiales presentes. La distribución y el transporte de arsénico en los sedimentos es un proceso complejo que depende de la calidad del agua, la biota nativa y tipo de sedimento.

5.4.2.3 Suelo

El arsénico de roca erosionada y el suelo puede ser transportado por el viento o la erosión del agua. Sin embargo, debido a que muchos compuestos de arsénico tienden a ser absorbidos por el suelo, la lixiviación generalmente resulta en el transporte de distancias cortas sólo en el suelo. Sin embargo, el agua de lluvia o deshielo pueden lixiviar las formas solubles en agua superficial o subterránea, y los microorganismos del suelo pueden reducir una pequeña cantidad de formas volátiles (arsinas).

El uso de fertilizantes de fosfato aumenta la cantidad de arsénico lixiviado del suelo contaminado con residuos de plaguicidas de arseniato de plomo. Se han encontrado tres modos principales de biotransformación de arsénico que se producen en el medio ambiente: transformación redox entre arsenito y arseniato, la reducción y metilación de arsénico, y la biosíntesis de compuestos orgánicos (ATSDR, 2007).

5.4.2.4 Alimentos

El arsénico puede encontrarse en alimentos como: alimentos del mar, especialmente en bivalvos (almejas, ostras, ostiones, mejillones), crustáceos (cangrejos, langostas), y en ciertos peces de aguas frías que se alimentan en el fondo marino, así como en algas marinas.

Las formas orgánicas de arsénico que se encuentran en derivados del mar (principalmente la arsenobetína y la arsenocolina, también conocidas como "arsénico de los peces") generalmente se consideran no tóxicas, y se excretan en la orina 48 horas después de haber sido ingeridas (Anexo 5, p. 61). No obstante, se han encontrado algunos tipos de arsénico inorgánico en algunos tipos de algas. Existen referencias recientes sobre la presencia de muy altos niveles de arsénico inorgánico (MMA) en las algas hijiki (Wauw, 2010).

Estudios recientes han evidenciado presencia de alto contenido de arsénico en carnes de aves específicamente en pollo, por el agregado en los piensos tales como: ácido arsánico, arsanilato sódico (atoxil) y el ácido arsónico, que permiten la retención de líquidos capilares, modificación del metabolismo y la retención de peso para satisfacer la alta demanda en el consumo de estas carnes (MAGA, 2015).

5.4.3 El arsénico en las aves

Entre las aves domesticadas (pollos, pavos, gansos, pularadas, patos, palomas y capones) el pollo y el pavo son las que más se consumen por ser una buena fuente de proteínas. Y entre estos dos, el pollo es el más popular. El procesamiento industrial actual de la producción de pollo de engorde consta aparentemente de un proceso tóxico para el consumidor pero más lucrativo para la industria.

Con los nuevos sistemas, los pollitos comen piensos en donde la mayoría contienen fungicidas e insecticidas como por ejemplo: malatión, que se usa para el almacenamiento del grano, también arsénico que contribuye a la maduración, retención de líquidos en los capilares, modifica el metabolismo y al aumento de peso. Ambas sustancias son cancerígenas para el ser humano. Este último se acumula en el hígado, en faneras del pollo, en los músculos y en las excretas del animal.

5.4.3.1 Promotores de crecimiento Arsenicales

Los aditivos arsenicales estimulan el crecimiento, la producción y mejoran la conversión alimenticia, contribuyen a prevenir enfermedades, mejoran la pigmentación y el emplume y tienen efectos coccidiostáticos. Los arsenicales orgánicos son menos tóxicos y estimulan en mayor grado el crecimiento que los arsenicales inorgánicos.

El arsenical más utilizado como promotor de crecimiento es el ácido arsónico, si bien el ácido arsanílico tiene casi la misma eficacia. El arsenilato sódico (atoxil) es una forma más soluble tan eficaz como el ácido arsanílico. El nivel óptimo de este último en gallinas es de 100 ppm (g/ton) en el pienso (Anexo 6, p. 61). Morehouse y Mayfield, en 1946, observaron que varios arsenicales orgánicos aceleran el crecimiento en las gallinas aproximadamente en 20% sobre el normal (García , 2005).

5.4.3.2 Mecanismo de acción

No existe al momento una posible explicación plausible de como los compuestos arsenicales estimulan la ganancia de peso y mejoran la conversión alimenticia. La hipótesis más aceptada es que reprimen los microorganismos causantes de enteritis leve o crónica y por ello mejoran la utilización de los alimentos por el organismo y acrecientan las ganancias de peso (García , 2005).

5.4.3.3 Efectos de los aditivos arsenicales

Los aditivos arsenicales provocan ahorro de proteína, reduciendo la excreción de nitrógeno y el catabolismo de las proteínas, suprime las bacterias infecciosas del

intestino pero menos intensamente que los antibióticos, siendo su efecto más pronunciado sobre los protozoarios y espiroquetas (OMS/FAO, 2011). Los compuestos arsenicales orgánicos son menos tóxicos que los inorgánicos.

El ácido arsalínico y sal sódica son menos tóxicos que el ácido arsónico. Los cerdos son más susceptibles a la toxicidad de los arsenicales orgánicos que las aves.

5.4.3.4 *Contenido de arsénico en la carne para consumo humano*

El ácido arsalínico y ácido arsónico administrados en el pienso a las gallinas durante doce semanas en la concentración recomendada de 0,01 y 0,005%, respectivamente, producen niveles de arsénico en hígado de 1,5 y 1,7 ppm. En otros tejidos la concentración de arsénico es menor; en los músculos esqueléticos es un doceavo de la del hígado. La FDA estima que la concentración máxima de arsénico es de 1,5 ppm en hígado y 0,4 ppm en los músculos de gallinas sacrificadas para consumo humano (Hernández, 2014).

5.4.4 El arsénico en el ser humano

Las principales vías de entrada del arsénico al cuerpo son la ingesta y la inhalación. La absorción por vía dérmica también ocurre, pero en menor medida, solo alcanza el 2%. La vida media del arsénico orgánico en los humanos es de aproximadamente (10 – 48) horas mientras que los arsenicales inorgánicos son más tóxicos, se acumulan en el organismo y demoran (15 – 40) días para eliminarse.

El 95% de una dosis ingerida de compuestos de arsénico se absorbe en el tracto digestivo. El arsénico sufre biometilación en el hígado y aproximadamente el 70% del arsénico se excreta, principalmente por la orina en los siguientes días posteriores a la ingesta, pero si se ingieren niveles superiores a los admisibles (0,5 – 2) mg/kg de peso según la OMS, éste presenta bioacumulación de tejidos adiposos, tejidos hepáticos y músculos (Rossman, 2007).

5.4.4.1 *Toxicocinética*

Absorción: la más importante puerta de entrada es la digestiva, por medicamentos, alimentos y agua contaminados, sobre todo en las intoxicaciones suicidas y criminales, y en el medio industrial, por las manos manchadas al comer o fumar. El arsénico total diario ingerido por los humanos del medio no industrial, no suele superar los 0,3 mg/día. Los arsenicales orgánicos se absorben casi totalmente por vía digestiva. La grasa alimentaria aumenta la solubilidad y la absorción, aunque se dice que la leche y la caseína la enlentecen. Las partículas de arsénico son captadas por los leucocitos, se distribuye en el organismo hacia el hígado, riñón, pulmones, bazo y piel, produciendo la intoxicación multiorgánica.

Transporte: luego de absorbido, el arsénico llega a la sangre y se une a las globulinas. Su distribución dentro de las primeras 24 horas lo lleva, entre otros órganos, a hígado, pulmón, riñón y bazo, para acoplarse a los grupos sulfhidrilos de las proteínas. En el tejido óseo compite con el fósforo, lo desplaza y puede permanecer allí durante años. Dentro de las siguientes 30 horas, se deposita en cabello y uñas. Los niveles de As en secciones de pelo indican el tiempo transcurrido desde el inicio de la exposición.

Excreción: la vida biológica del arsénico, varía entre diez horas a unos días. El 70% del arsénico orgánico de los alimentos marinos ingerido, se elimina en 24 horas, sin haberse convertido en arsénico inorgánico ni en ácido dimetilarsénico. Una pequeña fracción, se elimina al cabo de unas horas de la absorción por el hígado, pasando a la bilis y de estas a las heces; también se elimina por el sudor, por la leche, así como por el epitelio y faneras, ricas en grupos sulfhidrilo.

El arsénico, se elimina básicamente por el riñón. En el hombre, los principales metabolitos urinarios de los arsenicales inorgánicos tri y pentavalentes son los ácidos monometilarsónico y el dimetilarsínico. La excreción urinaria media de arsénico es de (3 – 5) días, más corta que para cualquier otro metal tóxico. La arseniuria orinaría que es la presencia de arsénico en orina, se debe expresar por g de creatinina o en orina en 24 horas (Domínguez, 2007).

5.4.5 Toxicidad del arsénico

El arsénico existe tanto en forma orgánica como inorgánica. Los compuestos de arsénico inorgánico (como los que se encuentran en el agua) son extremadamente tóxicos, en tanto que los compuestos de arsénico orgánico (como los que se encuentran en pescados y mariscos) son menos perjudiciales para la salud.

5.4.5.1 Efectos agudos

El arsénico inorgánico es muy tóxico y la ingestión de grandes dosis conduce a síntomas gastrointestinales, trastornos de las funciones del sistema nervioso central y cardiovascular, fallo multiorgánico y finalmente la muerte. En los sobrevivientes, pueden observarse depresión de la médula ósea, la hemólisis, hepatomegalia, melanosis, polineuropatía y encefalopatía. Los síntomas inmediatos de intoxicación aguda por arsénico incluyen vómitos, dolor abdominal y diarrea. Seguidamente, aparecen otros efectos, como entumecimiento u hormigueo en las manos y los pies o calambres musculares y, en casos extremos, la muerte.

5.4.5.2 Efectos a largo plazo

Los primeros síntomas de la exposición o ingesta prolongada a considerados niveles de arsénico (a través del consumo de agua y alimentos contaminados) se observan generalmente en la piel e incluyen cambios de pigmentación, lesiones cutáneas y durezas y callosidades en las palmas de las manos y las plantas de los pies (hiperqueratosis). Además de cáncer de piel, la ingesta prolongada de arsénico también puede causar cáncer de vejiga y de pulmón. El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer –CIIC– ha clasificado el arsénico y sus derivados, como cancerígenos para los seres humanos.

Entre otros efectos perjudiciales que se pueden asociar a la ingesta prolongada de arsénico destacan: los problemas relacionados con el desarrollo, neurotoxicidad, diabetes y enfermedades cardiovasculares. En China, la exposición al arsénico se ha vinculado a la “enfermedad del pie negro”, una afección grave de los vasos sanguíneos que causa gangrena (ATSDR, 2007).

5.4.6 Bioacumulación

El arsénico después de haber sido absorbido en los pulmones o en el tracto digestivo, se distribuye ampliamente en el cuerpo por vía torrente sanguínea. A nivel celular se incorpora en: los glóbulos blancos y rojos. Formando en el cuerpo un complejo de proteína (α -globulina)-arsénico. Dos a cuatro semanas después de que cesa la ingesta al arsénico, se puede encontrar en tejidos ricos en queratina como: cabello, huesos y dientes (en menor medida), piel y musculo, uñas (principalmente). La medida de arsénico en uñas y pelo es un importante biomarcador de la exposición o ingesta, lo que permite utilizarlas con fines toxicológicos.

En aves dosificadas con (100 – 500) mg/kg de ácido arsénico se encuentran concentraciones máximas de (2,3 – 8) mg/ g en hígado, y de (0,15 – 0,67) mg/g en músculo, respectivamente. Cuando las dietas son bajas en proteínas se percibe una mayor acumulación de arsénico. En aves tratadas con 200 mg/kg de arseniato sódico durante cuatro semanas se logran concentraciones hepáticas de 2,3 mg/kg, pero cuando se les mantiene con dietas bajas en proteína las concentraciones en hígado son de 5,1 mg/k, mientras que en músculo solo es un quinto de los anteriores.

Las piezas que mayor bioacumulación presenta son: el hígado, las patas, los muslos, las alas y las vísceras. Estos se debe a que son partes del animal que mayor presencia de queratina presenta y a demás son áreas que interactúan en mayor ocasión con medicamentos, como lo son: la aplicación de antibióticos, anticoccidiales y vacunas; aunque los residuos presentes en ambas piezas corresponde más a factores netamente metabólicos y anatómicos del animal mismo (Domínguez, 2007).

5.5 Pruebas analíticas para determinar arsénico

5.5.1 Métodos colorimétrico

5.5.1.1 Prueba de Gutzeit

Se basa en la generación de arsina a partir de compuestos de arsénico por la adición de gránulos de zinc en ácido sulfúrico concentrado. La arsina puede ser detectada por medio de una tira de papel de filtro humedecido con nitrato de plata o cloruro de mercurio.

La arsina reacciona con nitrato de plata para dar un color gris, y con cloruro de mercurio para dar un color amarillo a punto de color marrón rojizo. La sensibilidad es de aproximadamente 1 g. Una modificación de este método, utilizando bromuro mercúrico, se encuentra en un kit de prueba que se utiliza actualmente en Bangladesh para las pruebas de las aguas subterráneas que tiene un límite de detección de 50-100 g / litro en condiciones de campo.

5.5.2 Métodos para determinar arsénico inorgánico total

Se basa en su conversión a tricloruro de arsénico o tribromuro de arsénico por tratamiento con ácido clorhídrico 6 mol/litro o ácido bromhídrico. El trihaluro de arsénico se separa del arsénico orgánico restante ya sea por destilación o por extracción con disolvente. Los métodos se han aplicado habitualmente para la medición de arsénico inorgánico en una variedad de productos alimenticios, incluyendo las de origen marino donde cualquier arsénico inorgánico es un pequeño porcentaje del presente arsénico total.

5.5.3 Método de espectrometría atómica

5.5.3.1 *Espectrofotometría de absorción atómica de llama –FAAS–*

El FAAS es relativamente menos sensible para la determinación de arsénico que ETAAS y HGAAS. Su límite de detección es por lo general en la gama de cantidades sub-miligramo por litro, y por lo tanto tiene una aplicación limitada, especialmente para muestras biológicas.

5.5.3.2 *Espectrofotometría de absorción atómica electrotérmico –ETAAS–*

También conocido como horno de grafito –GFAAS–, es uno de los métodos más sensibles espectroscópicos atómico, pero Julshamn et al. En 1,996 informaron de factores que son conocidos por interferir con la determinación GFAAS de arsénico. Una mezcla de sales de paladio y de magnesio se ha recomendado como un modificador químico para evitar la contaminación de níquel del horno de grafito.

5.5.3.3 *Espectrofotometría de absorción atómica por generación de hidruros –HGAAS–*

Es probablemente el método más utilizado para la determinación de arsénico en diversas matrices. La mayoría de los errores reportados en la determinación de arsénico por HGAAS con NaBH_4 se puede atribuir a la variación en la producción del hidruro y su transporte en el atomizador. La reacción y la atomización de la arsina se han revisado y discutido por Welz en 1,990. La adición de una solución de L-cisteína a una muestra antes de la generación de hidruro elimina la interferencia por una serie de metales de transición en la generación de arsina, arsenito y arsenato, y mejora las respuestas de arsina.

La determinación de arsénico total, arsenito y arseniato en alimentos por HGAAS después de un procedimiento de extracción con cloroformo, en donde la recuperación es mayor 80%. Este método se ha utilizado desde hace mucho en la especiación de arsénico en arsénico inorgánico y sus metabolitos urinarios con límites de detección de hasta 3 ng/4 ml de orina (0,75 mg/l), también se emplea para análisis de arsénico en agua con límites de detección de (13 – 17) pmol/litro.

5.5.3.4 *Espectrofotometría de fluorescencia atómica –AFS–*

Se utiliza para la detección de hidruros de arsénico en la región espectral ultravioleta debido a la pequeña emisión de fondo producida por la llama de difusión de hidrógeno relativamente fría. El uso de vapor frío o generación de hidruros, junto con fuentes de luz, permite límites de detección muy bajos para ser alcanzados de 2,3, 0,9, 2,4 y 3,7 ng/ litro para el arsenito, arsenato, MMA y DMA respectivamente.

5.5.4 *Método espectrometría de masa con plasma acoplado inductivamente –ICP-MS–*

Es una técnica de análisis inorgánico que es capaz de determinar y cuantificar la mayoría de los elementos de la tabla periódica en un rango de magnitud (ng/l – mg/l). Su principal ventaja son sus bajos límites de detección para la mayoría de los elementos, lo que la hace ideal para el análisis de elementos traza. El ácido clorhídrico y el ácido perclórico no son deseables para la preparación de la muestra, debido a que los iones de cloruro generados en el plasma se combinan con el gas de argón, formando cloruro de argón, tiene la misma peso atómico que el arsénico (75 g/mol) que podría conducir a error.

5.6 Diseño experimental

5.6.1 Definición del muestreo.

Para seleccionar la muestra de estudio. Se utilizarán las muestras probabilísticas, debido a que, en este tipo de muestreo todos los elementos de la población tienen la misma posibilidad de ser elegidos como objetos de estudio. Esto se obtiene definiendo las características similares de la población y el tamaño de la muestra (Hernández, 2014).

Inicialmente se establece que la población de estudio son: cuarenta y cinco diferentes puntos de ventas identificados en el mercado “La Terminal” zona 4 de Retalhuleu. Debido a que es el mercado de mayoreo, donde convergen personas de diferentes municipios para realizar variedad de transacciones comerciales, por lo cual resulta idóneo tomarlo como área de estudio.

De acuerdo a la información proporcionada por Amílcar Ramírez, Técnico del MAGA. Afirma que en los estudios realizados por la institución, las piezas que han reportado mayor presencia de residuos químicos han sido las alas y los muslos del pollo, debido a que son partes anatómicas en donde se aplican diferentes medicamentos veterinarios. Además el técnico agregó que estos dos cortes inferiores (alas y muslo) son los que más se comercializan en este mercado. Estos datos fueron corroborados por una encuesta de elaboración propia, realizada el día 20 de noviembre de 2015 en dicho mercado (Gráfica 5, p. 64). Es por ello que se define las alas y los muslos, como cortes de interés para el estudio.

5.6.2 Muestreo estratificado

El muestreo estratificado, divide la población en grupos relativamente homogéneos, llamados estratos. Se puede bien seleccionar aleatoriamente en cada estrato, un número específico de elementos correspondiente a la proporción del mismo en relación con la población completa, o extraer el mismo número de elementos de cada estrato. Con cualquiera de los planteamientos, el muestreo estratificado garantiza que cada elemento de la población tenga posibilidad de ser seleccionado. La ventaja es que, cuando se diseñan adecuadamente, reflejan de manera más precisa las características de la población de la cual fueron elegidas.

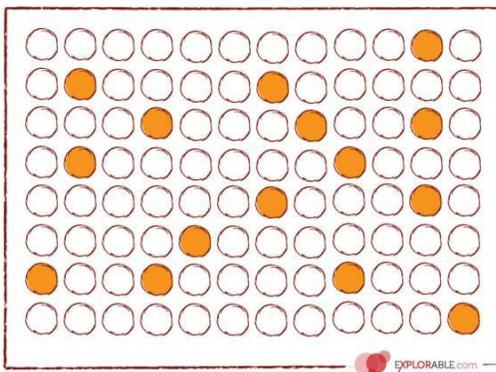
5.6.3 Muestreo sistemático

En este muestreo los elementos son seleccionados de la población dentro de un intervalo uniforme que se mide con respecto al tiempo, al orden o al espacio. El muestreo sistemático difiere del muestreo aleatorio simple en que cada elemento tiene igual oportunidad de ser seleccionado, pero cada muestra no tiene una posibilidad igual de ser seleccionada.

5.6.4 Muestreo aleatorio

Este muestreo selecciona elementos mediante métodos que permiten que cada posible muestra tenga una igual probabilidad de ser seleccionada y que cada elemento de la población total tenga una oportunidad igual de ser incluido en el estudio. La forma más fácil de seleccionar una muestra de manera aleatoria es mediante el uso de números aleatorios. Estos números pueden generarse ya sea con una computadora programada o mediante una tabla de números aleatorios.

Esquema 1. Método de muestreo aleatorio simple



Fuente: Método Aleatorio Simple, “Estadística de muestreo”, 2013.

5.7 Diseño estadístico

5.7.1 Media aritmética

Medida de tendencia central conocida como promedio. Es recomendado para el análisis de poco número de muestras. Tiene la ventaja de ser una medida confiable, porque toma en cuenta todos los valores del conjunto de datos y es útil para llevar a cabo procedimientos estadísticos como la comparación de medias de varios conjuntos de datos.

5.7.2 Varianza

Es una medida de dispersión, sirve para calcular la media de las desviaciones cuadráticas de una variable de carácter aleatorio, considerando el valor medio de ésta. Expresa la variabilidad de una distribución por medio de un número.

5.7.3 Intervalo de confianza

En algunas ocasiones puede caerse en error el emitir una opinión estadística tomando como base solo la media aritmética, pues esta es influenciada por valores extremos. Resulta conveniente utilizar el intervalo de confianza de la media, para identificar los valores más acertados.

5.7.4 Desviación estándar

La desviación estándar permite determinar, con un buen grado de precisión, dónde están localizados los valores de una distribución de frecuencias con relación a la media, útil también para describir cuánto se apartan los valores de una distribución de la misma media.

5.7.5 Coeficiente de variabilidad

Es una de estas medidas relativas de dispersión. Relaciona la desviación estándar y la media, expresando la desviación estándar como porcentaje de aceptación de la media.

5.8 Análisis de grupo pareado

Este análisis se utiliza cuando se desea conocer si existe una diferencia significativa en dos grupos que presentan la misma cantidad de muestras. La metodología también recibe el nombre de prueba de T.

6 OBJETIVOS

6.1 General

- Determinar la presencia de arsénico en la carne de muslos y alas del pollo de engorde (*Gallus domesticus*) comercializado en el mercado “La Terminal” de Retalhuleu.

6.2 Específicos

- Analizar la presencia de arsénico mediante espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruro en la carne de muslos y alas del pollo.
- Demostrar que la carne de pollo (muslos y alas) comercializados en el mercado “La Terminal” de Retalhuleu se encuentra entre los límites admisibles por la Organización Mundial de la Salud –OMS– en cuanto a niveles de arsénico.
- Definir mediante el análisis fisicoquímico de espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruro, cuál de las dos piezas del pollo estudiadas concentra mayor presencia de arsénico.

7 HIPÓTESIS

- La carne de muslos del pollo comercializados en el mercado “La Terminal” de Retalhuleu, se encuentra entre los límites admisibles por la Organización Mundial de la Salud –OMS– en cuanto a niveles de arsénico (0,5 – 2) mg/ kg de peso seco.
- La carne de alas del pollo comercializados en el mercado “La Terminal” de Retalhuleu se encuentra entre los límites admisibles por la Organización Mundial de la Salud –OMS– en cuanto a niveles de arsénico (0,5 – 2) mg/ kg de peso seco.

8 RECURSOS Y MATERIALES

8.1 Recursos

8.1.1 Humanos

- ✓ Técnico Universitario: César Leonel Ordoñez Citalán.
- ✓ Asesor principal: Ing. Qco. Aldo Antonio de León Fernández.
- ✓ Asesor adjunto: Ing. en Ali. Marvin Manolo Sánchez López.
- ✓ Asesora técnica del laboratorio LIQA: Licda Q.B. Bessi Oliva.

8.1.2 Institucionales

- ✓ Mercado “La Terminal” de Retalhuleu zona 4.
- ✓ Centro Universitario de Suroccidente.
- ✓ Laboratorio de Investigación Química y Ambiental (LIQA) de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacias –USAC–.

8.2 Materiales

8.2.1 Equipo

- ✓ Espectrofotómetro de Absorción Atómica.
- ✓ Sistema generador de hidruro.
- ✓ Balanza analítica con sensibilidad de 0,01g.
- ✓ Microondas.
- ✓ Licuadora (tritadora).

8.2.2 Cristalería y Utensilios

- ✓ Cisoles de 50 ml de porcelana.
- ✓ Bisturí.
- ✓ Matraces Erlenmeyer de 125 ml con tapón esmerilado.
- ✓ Tubo de tygon de 3/8 x 1/4.
- ✓ Matraces volumétricos de bajo actinio de 100 ml.
- ✓ Pipetas volumétricas de 10, 5, 4, 3, 2 y 1 ml.
- ✓ Espátulas acanaladas de acero inoxidable.
- ✓ Papel filtro wathman # 2.

9 METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la investigación, el trabajo de campo se dividió en dos etapas:

- Etapa 1: recopilación de información mediante el desarrollo de una encuesta (Apéndice 1, p. 68) y toma de las muestras de carne de alas y muslos de pollo comercializado en el mercado “La Terminal” zona 4 de Retalhuleu.
- Etapa 2: realización de los análisis fisicoquímicos de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Generador de Hidruro, para evidenciar la presencia de arsénico en las muestras de carne y desarrollo del análisis estadístico de los datos obtenidos.

9.1 Etapa 1

9.1.1 Definición de los estratos

A partir de los datos obtenidos de la encuesta realizada en el mercado La Terminal de Retalhuleu, se estableció que la venta de pollo promedio de los comerciantes es de (76 – 80) lb diarias, por lo que fue idóneo implementar un muestreo estratificado. Con ello se formaron dos subgrupos de estudio: “personas que venden mayor cantidad de pollo referente al promedio por día y otro subgrupo de personas que venden menor cantidad referente al promedio por día” (Esquema 2), debido a que, si se evalúan solo los expendios que menor pollo vende, se estarían analizando pollos que por su poca comercialización no tiene mayor influencia en una intoxicación generalizada en la población de esta localidad.

Esquema 2. Estratos de expendios de pollo en la terminal de Retalhuleu



Fuente: elaboración propia, Encuesta “comercialización de pollo, Mercado La Terminal”, 2015.

9.1.2 Muestreo Sistemático

Conformado los dos estratos (personas que venden más del promedio de lb de pollo diario y personas que venden menos del promedio de lb de pollo diario), a cada uno de los cortes se les aplicó un muestreo sistemático, para garantizar que la toma de muestra (muslo y alas) fuera periódica y así cubrir todo el mes de estudio (Septiembre).

$$k = \frac{T}{n} \rightarrow \frac{30}{5} = 6 \text{ días}$$

Dónde:

k = intervalo.

T = tiempo de muestreo (días).

n = número de muestras.

Se estableció que cada seis días se debía tomar una muestra de alguno de los dos estratos definidos. (Cronograma 1, p. 45).

9.1.3 Determinación del tamaño de la muestra

Para calcular el tamaño de la muestra poblacional de estudio en el mercado “La Terminal” de Retalhuleu. Se utilizó la fórmula para una población finita.

Fórmula para determinar el tamaño de la muestra

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{N \cdot e^2 + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

Desarrollo:

$$n = \frac{(1,645)^2 * (0,98) * (0,02) * (35)}{(35) * (0,10)^2 + (1,645)^2 * (0,98) * (0,02)} = 4.605 \approx 5$$

Dónde:

N = cantidad de la población de estudio.

p = probabilidad de éxito, donde el valor es 0,98.

q = probabilidad de error, donde el valor es 0,02.

Z = es el nivel de confianza, el cual se acepta que sea del 90% (ver tabla 10, p. 65).

e = error máximo permitido (10%)

Se concluyó que para un 90% de representatividad en la población y un 98% de confiabilidad en la elaboración del análisis fisicoquímico de Espectrofotometría Absorción Atómica por Generador de Hidruro –HG-AAS–, fue necesario analizar: cinco muestras de alas y cinco muestras de muslos para evidenciar la presencia de arsénico, aunque se analizaron seis muestras de cada pieza, para estimar el intervalo de confianza.

9.1.4 Muestreo Aleatorio

Este muestreo se aplicó a cada uno de los estratos, para poder tomar las muestras al azar de cada uno de los diferentes cortes de interés (muslos y alas). De acuerdo a la cantidad de expendios que los conforman, se definió que: del “estrato 1” se seleccionaron tres muestras, mientras que del “estrato 2” fueron dos. De cada expendio se tomó una muestra de muslo y una de ala.

Tabla 5. Clasificación de los puestos de ventas en los diferentes estratos

Estrato "1" (25 mayoristas)					Estrato "2" (20 minoristas)				
h.1	f.3	f.4	f.5	f.7	h.2	h.3	h.4	f.1	f.2
f.9	f.12	c.2	c.3	c.4	f.6	f.8	f.10	f.11	d.1
g.3	a.1	a.2	a.4	a.6	d.2	d.3	d.4	c.1	c.5
b.1	d.5	d.6	d.7	d.8	g.1	g.2	g.4	a.3	a.5
d.9	d.10	d.11	e.1	j.1					
* La letra corresponde al sector de la Terminal al que pertenece el expendio (Anexo 2, p. 59). **El valor corresponde al número de expendio de dicho sector (Tabla 3, p 19). Pollo de traspatio (gris) Pollo facturado (verde) Pollo de granja (celeste y rosado), pollo seleccionado para el estudio.									

Fuente: Elaboración propia, Encuesta “comercialización de pollo, Mercado La Terminal”, 2015.

9.1.5 Toma de la muestra “Carne de muslo y ala”

1. Lavar dos bolsas herméticas de ziploc y un bisturí con abundante agua desmineralizada.
2. Secar a temperatura ambiente.
3. Adquirir el muslo y el ala de pollo en el mercado (Imagen 1, p. 69).
4. Colocar el muslo en el interior de la bolsa ziploc haciendo uso de guantes y cerrar la bolsa herméticamente.
5. Colocar las muestras en hieleras para mantener frías las muestras durante su transporte ($5 - 0$) °C.
6. Extraer la piel y tejidos conectivos de la pieza (Imagen 2, p. 69).
7. Retirar todo el tejido muscular de la pieza utilizando el bisturí (Imagen 3, p. 70).
8. Colocar el tejido muscular en un triturador o licuadora no más de un minuto (Imagen 4, p. 70).
9. Formar una torta pastosa de carne de 2 cm de altura en el interior de un frasco hermético
10. Congelar la muestra a 0 °C para ser analizada posteriormente.

9.2 Etapa 2

El análisis fisicoquímico de arsénico en materiales orgánicos sólidos a través de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Generador de Hidruro, se realizó en dos fases que corresponden: la primera es la extracción y la segunda es la cuantificación del analito.

Las diez muestras de carne de pollo (5 muestras de ala y 5 de pollo) fueron congeladas a 0°C y se llevaron al laboratorio de investigación química y ambiental (LIQA) de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacias. Edificio T-12. Universidad de San Carlos de Guatemala. Donde fueron analizados por el T.U. César Leonel Ordoñez Citalán, Asesorado por Lic. Q.B. Ricardo Veliz y su equipo de Técnicos laboratoristas, bajo los protocolos del certificado internacionales “Official Methods of Analysis of AOAC International - 14th Edition”.

9.2.1 Proceso de extracción del analito para ambas muestras

1. Sumergir la cristalería y utensilios en HCl al 4 N por un tiempo de 2 h.
2. Lavar la cristalería y utensilios con abundante agua desmineralizada.
3. Secar al medio ambiente o en horno a 37°C de temperatura.
4. Descongelar las muestras en un horno microondas a 37°C de temperatura.
5. Pesar 5.0 g de la muestra molida en un crisol de 50 ml. Adicionar 3 ml de solución de nitrato de magnesio al 50% y mezclar completamente (Imagen 5, p.71).
6. Extender la mezcla en una capa uniforme cerca de los lados del crisol. Secar en un horno microondas al vacío ajustado a (90 – 95) °C hasta que la muestra esté completamente seca, aproximadamente 45 min (Imagen 7, p. 72).
7. Poner la muestra nuevamente en el horno al vacío frío a menos de 80 °C y elevar lentamente la temperatura hasta 150 °C en una proporción de (2 – 4) °C/min. Mantener a 150 °C hasta que cesen los humos (Imagen 8, p. 72).
8. Incrementar gradual y lentamente la temperatura hasta (500 – 550) °C, para evitar que la muestra se incinere bruscamente y haya pérdida del analito. Mantener esa temperatura por (2 – 3) h (Imagen 9, p. 73).
9. Apagar la mufla, remover el crisol y dejar enfriar a temperatura ambiente o enfriar dentro de la mufla para evitar la fractura del crisol.
10. Humedecer las cenizas con 2 ml de ácido nítrico al 50% para remover cualquier residuo de carbón. Remover el exceso de ácido en una platina que se calienta lentamente, hasta llegar a 120 °C.
11. Transferir las cenizas del crisol a un matraz Erlenmeyer de 125 ml usando cuatro porciones cesar de 10 ml c/u de HCl 4.5 N.
12. Agregar 2 ml de solución de ioduro de potasio al 15% y mezclar bien. Dejar reposar 20 min antes de leer en el espectrofotómetro de absorción atómica.

9.2.2 Proceso de cuantificación del analito para ambas muestras

1. La fase de cuantificación, se realizará conectando el matraz y el sistema generador de hidruro con el espectrofotómetro. Por último se obtienen los resultados y se interpretan (Imagen 10, p.73).

9.2.3 Análisis estadístico de datos

Para responder a los objetivos de estudios planteados, el diseño estadístico debió hacer uso de las siguientes herramientas estadísticas:

a) Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

Dónde:

$\sum x$ = suma de los valores de todas las observaciones de la muestra.

n = No. de elementos de la muestra.

b) Varianza

$$s^2 = \frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Dónde:

x = elemento u observación.

n = No. elementos de la población.

\bar{x} = Media aritmética de la muestra.

\sum = suma de todos los valores $(x - \bar{x})^2$.

c) Intervalo de confianza

$$Ic = \bar{x} \pm s$$

Dónde:

\bar{x} = Media aritmética.

s = Varianza.

d) Desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \text{ó} \quad s = \sqrt{s^2}$$

Dónde:

x = elemento u observación.

\bar{x} = media de la muestra.

n = No. de elementos de la población.

s^2 = Varianza.

e) Coeficiente de variabilidad

$$c. v. = \left(\frac{s}{\bar{x}} \right) * 100$$

f) Análisis de grupo pareado

Dónde:

\bar{x} de cada grupo tratado.

$$\bar{A} = \frac{\sum A}{na}$$

$$\bar{B} = \frac{\sum B}{nb}$$

Desviación estándar de cada \bar{x} .

$$sA = \sqrt{\frac{\sum(A - \bar{A})^2}{na}}$$

$$sB = \sqrt{\frac{\sum(B - \bar{B})^2}{nb}}$$

Error estándar de cada \bar{x} .

$$\sigma\bar{A} = \frac{sA}{\sqrt{n-1}}$$

$$\sigma\bar{B} = \frac{sB}{\sqrt{n-1}}$$

Error estándar de la diferencia de cada grupo

$$\sigma dif = \sqrt{(\sigma\bar{A})^2 + (\sigma\bar{B})^2}$$

Cálculo de Tc y Tt.

$$Tc = \frac{\bar{A} - \bar{B}}{\sigma dif}$$

$$gl = n - 1 \quad \therefore \quad Tt \rightarrow gl$$

Cronograma 1. Toma de muestras.

Mes de actividades, septiembre de 2016.						
Lunes.	Martes.	Miércoles.	Jueves.	Viernes.	Sábado.	Domingo.
			1 M.1 E.1	2	3	4
5	6	7 M.2 E.2	8	9	10	11
12	13 M.3 E.1	14	15	16	17	18
19 M.4 E.2	20	21	22	23	24	25 M.5 E.1
26	27	28 Ingreso de muestras a LIQA	29	30		
*M = número de muestra.			**E = número de estrato (Esquema 2, p 38).			

Fuente: elaboración propia, recepción de muestras “estratos de pollo comercializado, Mercado La Terminal”, 2016.

De acuerdo a lo descrito por el director de Investigación Ambiental y Química –LIQA– Lic. Ricardo Veliz. El análisis de las pruebas en el Laboratorio del LIQA fue planificada para el mes de septiembre de 2016; con base a las actividades programadas por la Universidad de San Carlos de Guatemala. La realización de los análisis demoró dos semanas y los resultados fueron proporcionados cinco días hábiles después del análisis de la última muestra, para documentación interna del laboratorio y posteriores investigaciones.

10 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las muestras de músculos de pollo fueron sometidas al análisis de digestión ácida y determinación de arsénico total en el laboratorio de investigación química y ambiental (LIQA) de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacias. Edificio T-12. Universidad de San Carlos de Guatemala, donde fueron analizadas por el T.U. César Leonel Ordoñez Citalán, bajo los protocolos del certificado internacional “Official Methods of Analysis of AOAC International - 14th Edition” y determinación de arsénico total basada en “3114 C. Continuous Hydride Generation Atomic Absorption Method” Standard Methods for the examination of wáter an wastewater. 20th. Edition. (1998).

Tabla 6. Información técnica de las muestras

Tipo de muestra:	músculo de pollo congelado (muslos y alas)
Cantidad de muestras:	10 muestras (5 de muslo y 5 de ala).
Tipo de envase/embalaje:	recipiente de vidrio con tapadera hermética.
Origen de la muestras:	mercado La Terminal de Retalhuleu (campo de estudio).
Peso de cada muestra:	20 g c/u.
Límite de detección:	0.04 mg /k (0.4µg /L).

Fuente: transcripción propia, “especificaciones técnicas de las muestras” LIQA, 2016.

10.1 Calibración del equipo

El proceso de calibración se inició verificando la estabilidad del instrumento mediante el análisis de una solución estándar 50 veces más concentrada que el límite de detección del instrumento para el analito, este valor es conocido como límite dinámico. Dicha solución fue leída un mínimo de tres veces y que calculando su desviación estándar el resultante fue menor al 5%.

El instrumento se calibró para el analito a determinar usando el blanco de calibración y los estándares de calibración preparados a cuatro o cinco niveles de concentración dentro del intervalo dinámico de concentración del analito. Se ajustó el instrumento a cero con el blanco de calibración y luego con los estándares de calibración del analito de menor a mayor concentración y registrar al menos tres réplicas de la absorbancia de cada uno de los estándares definidos (Tabla 8 y 9, p. 64 y 65).

10.2 Resultados de las muestras.

De acuerdo a lo establecido en el protocolo “Official Methods of Analysis of AOAC International - 14th Edition” para análisis de arsénico total, se realizaron 5 réplicas en cada muestra para luego promediarlas, la desviación estándar fue menor al 5% porque se encontraron en igual condición, por lo cual se toma como resultado único, el valor ponderado obtenido de la serie de réplicas elaboradas.

Tabla 7. Resultados de la determinación de arsénico total en muslo y alas de pollo

No.	ID MUESTRA ESTUDIO	ID MUESTRA LIQA	RESULTADOS Arsénico Total (As)	PARAMETRO Aceptación mg /kg
1	M1-E1 (Ala)	291-01	ND	0.5 – 2
2	M2-E2 (Ala)	291-02	ND	0.5 – 2
3	M3-E1 (Ala)	291-03	ND	0.5 – 2
4	M4-E2 (Ala)	291-04	ND	0.5 – 2
5	M5-E1 (Ala)	291-05	ND	0.5 – 2
6	M1-E1 (Muslo)	291-06	ND	0.5 – 2
7	M1-E2 (Muslo)	291-07	ND	0.5 – 2
8	M3-E1 (Muslo)	291-08	ND	0.5 – 2
9	M4-E2 (Muslo)	291-09	ND	0.5 – 2
10	M5-E1 (Muslo)	291-10	ND	0.5 – 2

M: No. de muestra.
E: No. de estrato.
ND: No detectado. **AND:** Alto nivel detectado
mg/kg: miligramos de Arsénico por cada kilogramo de muestra de musculo de pollo seco.
Límite de detección: 0,04 mg/ kg.

Fuente: transcripción de resultados emitidos por el LIQA, 2016.

En ninguna muestra así como en ninguna de sus réplicas, fue posible detectar niveles trazas de arsénico total. Esto descarta cualquier tipo de presencia de arsénico de procedencia orgánico como inorgánico en el músculo de las alas y muslos del pollo seleccionado para estudio. De acuerdo a los valores obtenidos de la etapa de detección, no fue posible calcular su diferencia significativa en el análisis de grupos pareados (T student). Puesto que en todas las muestras no fue posible determinar un valor exacto, se procede a estimar que existen iguales condiciones de presencia de arsénico en ambas piezas del pollo.

10.3 Discusión de resultados

Con base a los resultados obtenidos de los análisis realizados para detectar la presencia de arsénico en muslos y alas de pollo, se deduce que pueden encontrarse en niveles trazas, debido a que no fue posible detectar un valor significativo superior al límite de detección del equipo que es de 0.04 mg/kg de peso seco. Para otorgarle mayor exactitud a los resultados (hasta un 99.97%), fue necesario utilizar la espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruro, que de acuerdo con Welz, L. en 1990 es descrita como: *“el análisis fisicoquímico de mayor exactitud en la emisión de resultados, por la utilización del horno al vacío en los tratamientos térmicos que evita la volatilización del analito, y la aplicación de una solución de L-cisteína con un sistema generador de hidruro para producir arsina, que permite cuantificar arsénico total en su estado elemental”*.

De acuerdo a lo antes descrito se debe descartar la posibilidad de pérdida del analito durante la etapa analítica por ausencia de este metal pesado de procedencia orgánica o inorgánica, ya que el resultado se interpreta como la presencia de arsénico total en mg /kg de peso seco, según Welz. Además es preciso mencionar que en consecuencia a la veracidad de los resultados proporcionados por el método de espectrofotometría de absorción atómica, se puede observar en la Tabla 7, p. 47; que el contenido de este metal pesado en la carne de muslos y alas de las aves estudiadas, no difieren a pesar de su orden de evaluación. Esto hace suponer que la presencia del analito, no presenta diferencia anatómica significativa en la carne de pollo comercializada en el mercado La Terminal de Retalhuleu.

También se podría considerar, que la ausencia de arsénico en la carne de muslos y alas de pollo, se deba al procedimiento pre mortem del animal, que consiste en la preparación del ave para su sacrificio. De acuerdo con PROSA (2016), es recomendado que: *“La alimentación con pienso deba ser retirada con 24 horas de anticipación previo a su sacrificio”*, ya que en el 2010 el comité mixto de la OMS/FAO destinado a la prevención de este metal pesado en el medio ambiente determinó que: *“el tiempo de excreción del arsénico de procedencia orgánica en aves es de (10 – 48) horas y el inorgánico de un mayor tiempo”*, siendo esta una de las causas de su bioacumulación en la carne de pollo.

Este criterio coincide con lo mencionado por el técnico del MAGA, Ramírez, J. quien estima que algunos proveedores de pollo crudo de esta localidad, realizan ayunos muy prolongados en las aves con la finalidad de obtener mayor ganancia económica. Esto podría deberse a que la alimentación representa el 70% de la inversión por las PYMEs (pequeños y medianos productores) en estos sistemas de producción. Siendo el pre mortem entonces, una causa de variabilidad en el desarrollo de la investigaciones. Aunque esta variable se podría descartar de este estudio, por la secuencia de recolección de las muestras descritas en el Cronograma 1, p. 45; en donde se utilizó el criterio de muestreo sistemático y con ello excluir la posibilidad de muestrear de manera errónea un pollo procedente de un estirpe anteriormente seleccionado.

Por otra parte, de acuerdo a las consideraciones precedentes descritas en este estudio, es posible inferir que los resultados obtenidos de esta investigación, no podrían ser confrontados los de otros estudios destinados a evaluar y determinar la presencia de este metal pesado en la carne de pollo, esto se debe a factores extrínsecos propios de dicho sistema de producción (la anatomía, fisiología, manipulación industrial, proceso de excreción y pre mortem del ave), como lo cita Molina, P. (2013), en su investigación: “*Comparación de dos Sistemas de producción y de manejo sanitario de las aves criollas de traspatio y de engorde*”. A manera de ejemplo puede observarse en los resultados obtenidos por García, O. en 2005, cuando pudo determinar que la presencia de arsénico era de 1,5 ppm en hígado y 0,4 ppm en músculos de gallinas de granjas avícolas tecnificadas en la región central de Guatemala cuando estudiaba: “*El efecto de la exclusión competitiva sobre los parámetros productivos en pollo de engorde de una granja avícola tecnificadas*”, donde se concluye que estos factores extrínsecos están relacionados con el medio ambiente y el entorno físico, en el cual se desarrollan los sistemas de producción.

Si bien es cierto que esta investigación, la cual fue dirigida hacia la determinación de la presencia de arsénico en rango mayor a 0.04 mg/kg de peso seco, en la carne de muslo y alas de pollo comercializados en La Terminal de Retalhuleu, es conveniente mencionar que dichos resultados deben ser tomados como referencia únicamente para la presencia de arsénico en carne de pollo, esto se debe a que el diseño experimental está sujeto a la descripción de carne de pollo por la norma COGUANOR NGO 34 212:99 (1999), definiendo que: “*la carne es la*

parte muscular que está constituida por todos los tejidos musculares y blandos que rodean el esqueleto del ave, incluyendo, tendones, vasos y aponeurosis". Dicha referencia excluye el análisis de tejido graso de cobertura de las muestras estudiadas, que podría ser otra causa puntual para no detectar o cuantificar el analito en más de 0.04 mg/ kg de peso seco, que de acuerdo con Rossman, T. A. (2007): *"en la anatomía aviar, es en los tejidos grasos, adiposos y hepáticos donde han encontrado alta cantidad de residuos químicos y trazas de metales pesados, porque las sales arsenicales tiene afinidad con el colágeno y los tejidos grasos tendencia a formar micelas altamente insolubles, razón por la que crean gran bioacumulación en estas zonas anatómicas"*, por lo cual para futuras investigaciones se debe de considerar incluir los tejidos de cobertura, de acuerdo a lo especificado como pollo crudo para consumo humano, por la COGUANOR.

Finalmente, se puede mencionar que la carne de pollo de ambas piezas bajo las descripciones de la norma COGUANOR 34 212:99 (1999), son aptas para consumo humano; estimando que si está presente algún contenido de arsénico, éste se encuentra en niveles trazas por debajo de los límites definidos por la OMS de (0.5 – 2) mg/ kg de peso seco. Además, según el comité mixto de la OMS/FAO en 2010 determinó que: *"el 70% de este arsénico ingerido por las personas se excreta en las primeras 24 horas por vía fecal"*. Con ello se descarta que el arsénico sea el posible responsable de algún tipo de intoxicación por el consumo generalizado de pollo comercializado en el mercado La Terminal, si ésta se consume dos a tres veces por semana como lo sugiere el INCAP en sus recomendaciones nutricionales para Guatemala. También se debe considerar el estado de salud fisiológico de la población, que basa su alimentación en el consumo de pollo de esta localidad, el cual presente un proceso de excreción de dos veces por día como lo define la OMS/FAO, para que los niveles antes mencionados no generen residuos trazas mayor a lo recomendado por la OMS en cuanto a arsénico de 0,015 mg/ kg a la semana y 0,002 mg/kg al día. La relevancia principal de este estudio es evidenciar de acuerdo a los resultados, una condición generalizada del pollo comercializado en el municipio de Retalhuleu, que contribuirá a la prevención y control de intoxicaciones alimentarias por algunas instituciones gubernamentales interesadas (PROSA, MAGA, MSPAS).

11 CONCLUSIONES

- 11.1 De acuerdo los resultados obtenidos del análisis de arsénico total, la carne de muslos del pollo comercializado en el mercado La Terminal de Retalhuleu se encuentra por debajo de los límites admisibles por la Organización Mundial de la Salud –OMS–, en cuanto a niveles de arsénico, siendo $(0,5 - 2)$ mg/ kg de peso seco, y por consiguiente se aprueba la hipótesis.
- 11.2 Mediante los resultados obtenidos del análisis de arsénico total, la carne de alas del pollo comercializado en el mercado La Terminal de Retalhuleu, se encuentra por debajo de los límites admisibles por la Organización Mundial de la Salud –OMS–, en cuanto a niveles de arsénico, siendo $(0,5 - 2)$ mg/ kg de peso seco, y por consiguiente se aprueba la hipótesis.
- 11.3 El análisis de espectrofotometría de absorción atómica con generación de hidruro en la carne de muslos y alas del pollo demostró que los resultados obtenidos son trazas no detectables por el equipo siendo su límite de detección 0,04 mg/kg de peso seco, y por ende la presencia del arsénico está muy por debajo de lo especificado por la Organización Mundial de la Salud –OMS–, en cuanto a arsénico en carne para consumo humano.
- 11.4 Se concluye que la carne de las piezas analizadas son aptas para el consumo humano y para ser comercializadas en dicho mercado, en cuanto a niveles de arsénico se refiere.
- 11.5 Las muestras al contener trazas no detectables por el equipo, no es posible cuantificar e identificar cuál de las dos piezas estudiadas concentra mayor presencia de arsénico por lo cual se procede a estimar que ambas piezas se encuentran en igual condición en cuanto al contenido de este metal pesado, al no presentar una diferencia anatómica significativa en los niveles de arsénicos obtenidos.

12 RECOMENDACIONES

- 12.1 Estudiar el contenido de niveles trazas en cuanto a arsénico, en pollos alimentados con diferentes piensos provenientes de una misma granja y un mismo estirpe. Esto permitiría conocer la cantidad de arsénico como residuo obtenido con la diferente alimentación.
- 12.2 Considerar que la etapa de pre mortem ideal del animal, que es definida como retiro del alimento a las 24 horas antes del sacrificio. Si este proceso se realiza con mayor o menor tiempo se deberá evidenciar mayor o menor contenido de arsénico debido a que el proceso de excreción es de aproximadamente (10 – 48) horas mientras que los arsenicales inorgánicos que son más tóxicos, demoran (15 – 40) días para eliminarse.
- 12.3 Identificar el pollo por tipo o raza que se desea estudiar, debido a que las características tecnológicas y sanitarias de la alimentación varían de acuerdo a la clase de pollo que se comercializa, esto provocaría tener resultados muy variados en cuanto al contenido de metales pesados entre ellos el arsénico.
- 12.4 Referir este tipo de estudios a entidades gubernamentales que puedan aportar un apoyo económico o institucional en la realización de dicha investigación, para contribuir en la prevención y control de contaminación con Arsénico y otros metales pesados, que han sido confirmados su bioacumulación en músculos, por la utilización de piensos en animales de faena.
- 12.5 Realizar por parte de entidades como el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA– o el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social –MSPAS– este tipo de análisis y control por lo menos una vez al año, dirigido al estudio de la bioacumulación de metales pesados en tejido muscular en animales de faena.
- 12.6 Determinar la presencia de algunos plaguicidas y/o antibióticos tales como: malation, amoxicilina y tetraciclina que tiene también afinidad con la queratina que compone algunas partes anatómicas del ave y que por rutas metabólicas pueda provocar su bioacumulación en tejidos adiposos y tejidos musculares.

13 GLOSARIO

- 1). **Absorción:** el proceso de asimilación, como cuando una esponja se impregna con agua. Las sustancias químicas pueden ser absorbidas por la piel y entrar al torrente sanguíneo y luego ser transportadas a otros órganos. También pueden ser absorbidas en el torrente sanguíneo luego de uno respirar o tragar.
- 2). **Aditivo alimentario:** sustancia no utilizable como alimento ni usado como ingrediente típico de los alimentos, tenga o no valor nutritivo, que se añade a aquellos con propósito tecnológico de preparación, procesado, tratamiento, conservación, envasado o empaquetado, transporte o manejo.
- 3). **Agudo(a):** ocurre a lo largo de un tiempo corto, por lo general minutos u horas. Una exposición aguda puede causar efectos de salud a corto o largo plazo. Un efecto agudo ocurre durante un tiempo corto (hasta 1 año) luego de la exposición.
- 4). **Bioacumulación:** aumento progresivo de la cantidad de una sustancia en un organismo o parte de él, como consecuencia de que el ritmo de absorción supera la capacidad del organismo para eliminar la sustancia.
- 5). **Concentración:** la cantidad de una sustancia disuelta o contenida en una cantidad dada de otra sustancia. Por ejemplo, el agua de mar contiene una concentración de sales más alta que el agua dulce.
- 6). **Crónico(a):** que ocurre por un periodo de tiempo largo (más de un año).
- 7). **Dosis:** cantidad de sustancia administrada o absorbida por un individuo en proporción a su peso o volumen corporal, ordinariamente en 24 horas. Se suele expresar en mg/kg.
- 8). **Estirpe:** Está constituida por un conjunto de aves de la misma raza y/o variedad que se reproducen en un mismo lote de crianza.

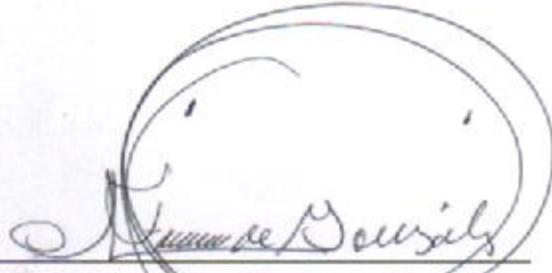
- 9). **Exposición:** el entrar en contacto con un químico tragando, respirando o por contacto directo (por ejemplo, a través de la piel o los ojos). La exposición puede ser a corto plazo (aguda) o a largo plazo (crónica).
- 10). **Ingestión:** tragar (como cuando se come o se bebe). Las sustancias químicas pueden ser ingeridas en el alimento, la bebida, utensilios, cigarrillos o manos. Luego de la ingestión, las sustancias químicas pueden ser absorbidas en la sangre y distribuidas en todas partes del cuerpo.
- 11). **Inhalación:** respiración. La exposición puede ocurrir por inhalación de los contaminantes, porque éstos se pueden depositar en los pulmones, transportarse en la sangre o ambos.
- 12). **Marcador biológico de exposición:** medición de una sustancia xenobiótica o su metabolito en el interior de un organismo. La medición de la exposición interna tiene una mayor probabilidad de estar directamente relacionada con efectos adversos en la salud que la medición de la exposición externa.
- 13). **Metabolito:** cualquier producto del metabolismo.
- 14). **Ruta de Exposición:** la manera en que una persona puede ponerse en contacto con una sustancia química. Por ejemplo, bebiendo (ingestión) y bañándose (contacto con la piel) son dos rutas de exposición a contaminantes diferentes que pueden ser encontrados en el agua.
- 15). **Toxicidad aguda:** Efectos adversos que ocurren dentro de un período breve después de la administración de una dosis única de una sustancia química, o inmediatamente después de una exposición corta o continua, o de múltiples dosis durante 24 horas o menos.
- 16). **Toxicidad crónica:** efectos adversos que ocurren como resultado de dosis repetidas con una sustancia química sobre una base diaria, o exposición a la sustancia química durante la mayor parte de vida de un organismo (generalmente, más del 50%).

14 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1). ANAVI. (2014). *Guatemala: actual muro de contención sanitario de la avicultura latinoamericana*. Guatemala, GT.: Asociación Nacional de Avicultores.
- 2). ANAVI. (2014). *Los guatemaltecos consumen al año 46 libras de pollo y 152 unidades de huevo, según el último reporte de Anavi*. Guatemala, GT.: Asociación Nacional de Avicultores .
- 3). ATSDR. (2007). *La toxicidad del arsénico*. Atlanta, US.: Departamento de Salud y Servicios Humanos de Estados Unidos.
- 4). Bolaños, E. A. (2015). *Control estadístico de procesos*. Quetzaltenango, GT.: Instituto Técnico de Capacitación y Productividad -INTECAP-.
- 5). COGUANOR NGO 34 212:99. (1999). *Pollo beneficiado listo para cocinar entero y en cortes, y sus menudos*. Guatemala, GT.: Diario oficial de 18 de octubre de 1985. Comité Guatemalteco de Normas.
- 6). Domínguez, M. A. (2007). *El Arsénico y la salud*. (Tesis inédita de doctorado en Medicina). Universidad de Castilla, La Mancha. Facultad de Farmacia y Medicina. Madrid, ES.:
- 7). Echeverria, V. (2014). *Carne de ave, situación mundial 2014*. Santiago de Chile, CL.: Oficina De Estudios y Políticas Agrarias del Ministerio de Agricultura.
- 8). FAO. (15 de noviembre de 2007). *Metales pesados en alimentación animal*. Recuperado el 25 de mayo de 2015, de: http://www.producción-animal.com.ar/suplementación_mineral/11-metales_pesados.pdf
- 9). FDA. (2011). *intoxicación por arsénico en pollo de E.E.U.U.* Maryland, US.: Information Department Food and Drug Administration.
- 10). FDA. (2011). *Presencia de rosarxone en pollo*. Maryland, US.: Agencia de Drogas y Alimentos, Centro de Investigación y Evaluación de Medicamentos.
- 11). García , O. A. (2005). *Efecto de la exclusión competitiva sobre los parámetros productivos en pollo de engorde de una granja avícola tecnificada de la región central de Guatemala*. (Tesis inédita de la Carrera de Agronomía). Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía. Guatemala, GT.:

- 12). Hernández, R. S. (2014). *Metodología de la investigación*. D.F, MX.: Mc Graw Hill Education.
- 13). INCAP. (2012). *Recomendaciones para una alimentación adecuada: Guías alimentarias para Guatemala*. Guatemala, GT.: Instituto de Nutrición para Centroamérica y Panamá.
- 14). MAGA. (2015). *El Agro en cifras 2014*. Guatemala, GT: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
- 15). Molina, P. (2013). *Comparación de dos Sistemas de producción y de manejo sanitario de las aves de engorde y de traspatio*. (Tesis inédita de la carrera de Agronomía). Universidad de Veracruz. Facultad de Agronomía, Veracruz, MX.:
- 16). MSPAS. (2015). *Reporte estadístico*, Retalhuleu, GT.: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Departamento de Estadística.
- 17). MUNIREU. (2015). *Organización interna del mercado La Terminal*. Retalhuleu, GT.: Administración del mercado La Terminal. Documentos municipales.
- 18). OMS . (10 de diciembre de 2012). *Arsénico*. Recuperado el 3 de agosto de 2015, de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs372/es/>
- 19). OMS. (2001). *Arsénico y compuestos de arsénico*. Ginebra, CH.: Organización Mundial de la Salud.
- 20). OMS/FAO. (2011). *Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias*. La Haya, NL.: Diario de la Organización Mundial de la Salud del 18 de octubre de 2011.
- 21). PROSA. (2015). *Aspectos económicos de la avicultura, Guatemala, 2014*. Guatemala, GT.: Programa Nacional de Sanidad Avícola. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
- 22). Ramírez, A. V. (2013). *Exposición ocupacional y ambiental al arsénico*. New York, US.: American College of Occupational and Environmental Medicine.
- 23). Ramírez, J. A. (2014). *Consumo de pollo de engorde en el mercado La Terminal de Retalhuleu*. Retalhuleu, GT.: Informe MAGA 2014 del 4 de mayo de 2015.
- 24). Rossman, T. A. (2007). *Environmental and occupational medicine*. New York, US.: Editorial Medical Rom W and Markowitz S.

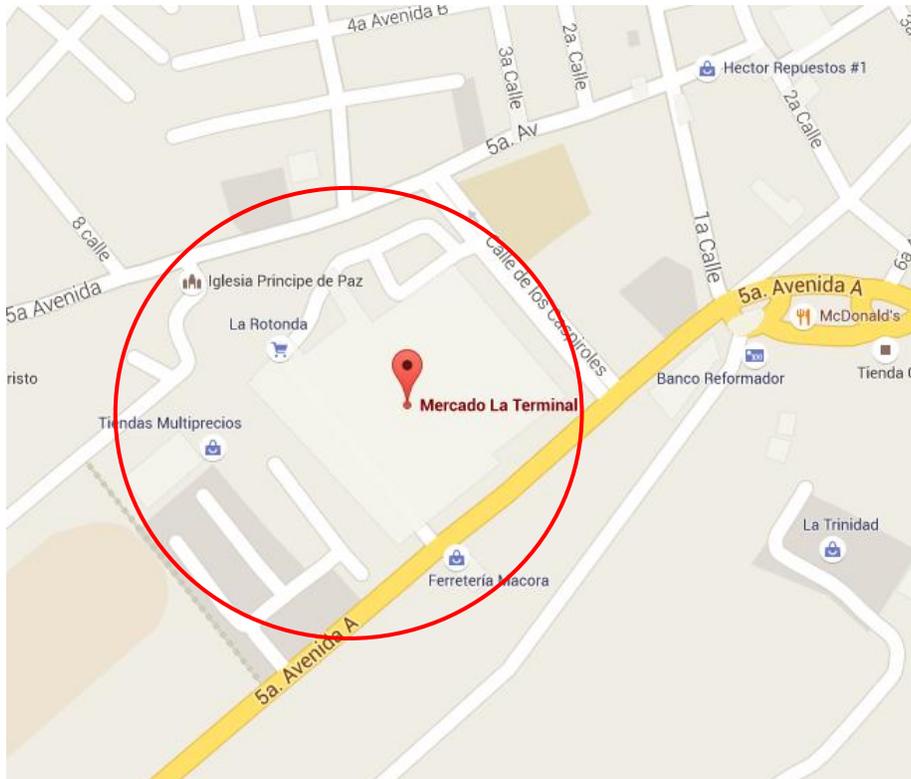
- 25). SEGEPLAN. (2011). *planificación de desarrollo de Retalhuleu*. Retalhuleu, GT.: Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia.
- 26). UCLM. (2012). *Manual de avicultura*. Madrid, ES.: Universidad de Castilla, La Mancha. Facultad de Veterinaria, Unidad de Ciencia Animal.
- 27). UNAD. (2010). *Nutrición y alimentación animal*. Bogota, CO.: Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Facultad de Ciencias Agrarias.
- 28). Valle, P. L. (2000). *Toxicología de Alimentos*. D.F. Mexico.: Instituto Nacional de Salud Pública.
- 29). Wauw, J. V. (2010). *Guatemala: Concentraciones de arsénico 26 veces por encima de las normas de OMS*. Grent, CH.: Informe Investigativo de la Universidad de Gante del 10 de marzo de 2010.


Vo. Bo. Licda. Ana Teresa de González
Bibliotecaria CUNSUROC.



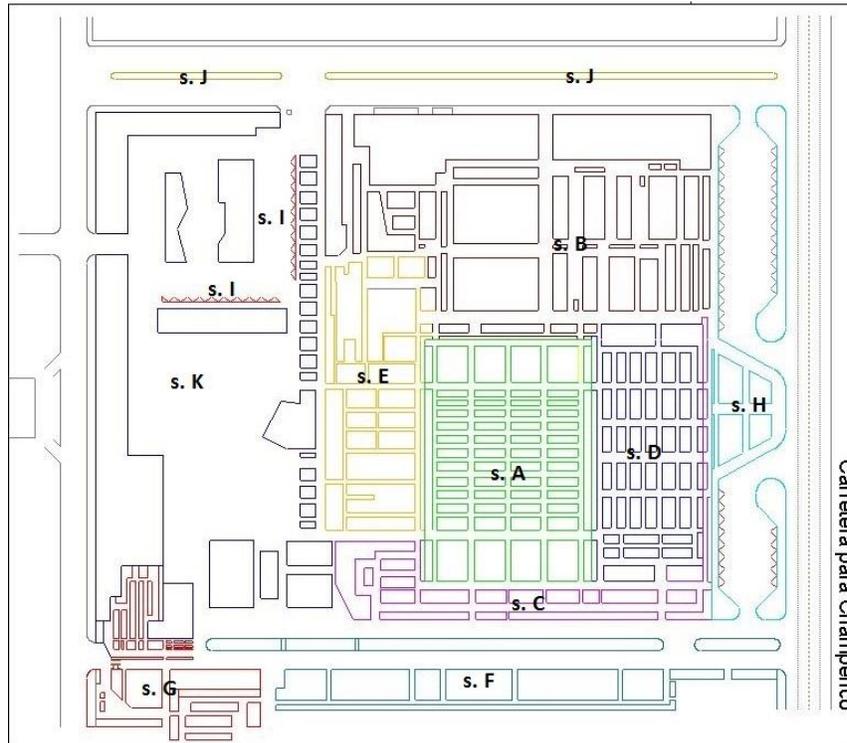
15 ANEXOS

Anexo 1. Ubicación geográfica del mercado La Terminal zona 4 de Retalhuleu



Fuente: "ubicación satelital del mercado La Terminal de Retalhuleu" google map, 2015.

Anexo 2. Distribución de las secciones del mercado La Terminal



Sectores de la terminal	
Sector	Simbología
Sector A	s. A
Sector B	s. B
Sector C	s. C
Sector D	s. D
Sector E	s. E
Sector F	s. F
Sector G	s. G
Sector H	s. H
Sector I	s. I
Sector J	s. J
Sector K	s. K

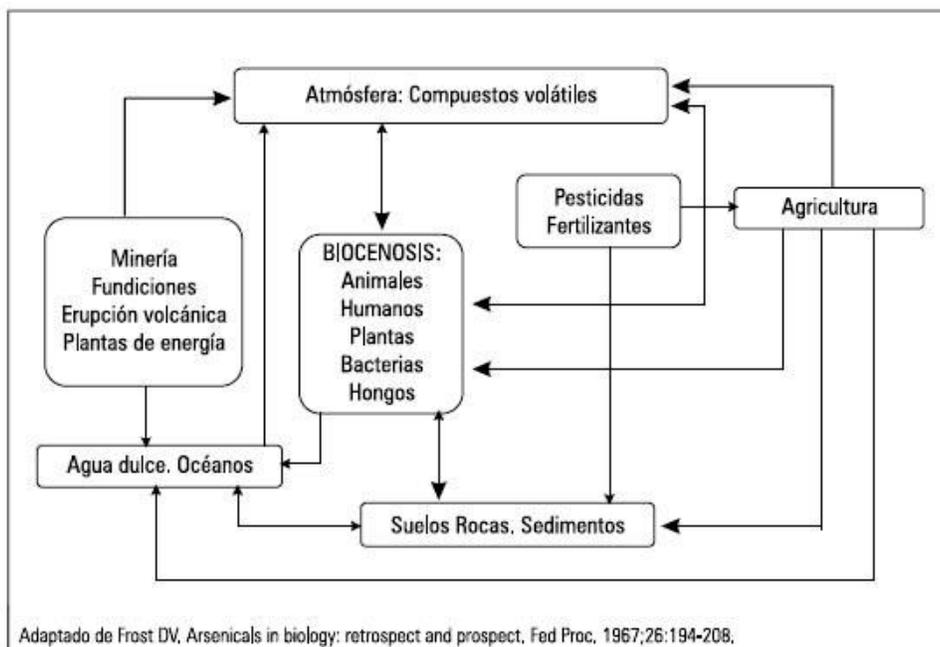
Fuente: oficina administrativa municipal del mercado “La Terminal”, 2015.

Anexo 3. Cortes y piezas del pollo para consumo humano



Fuente: PROSA, ANAVI, “beneficios de la carne de pollo”, 2013.

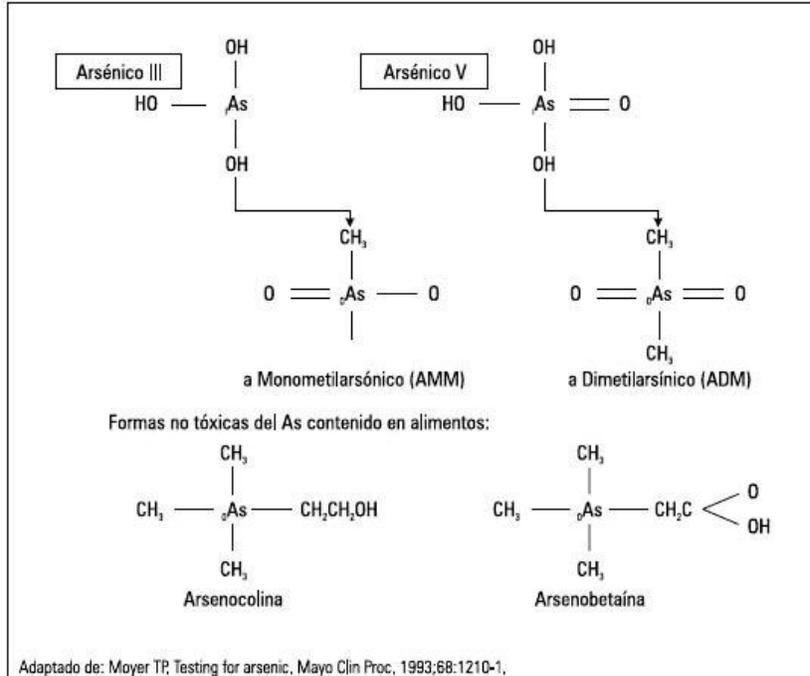
Anexo 4. Ciclo del arsénico



Adaptado de Frost DV, Arsenicals in biology: retrospect and prospect, Fed Proc, 1967;26:194-208.

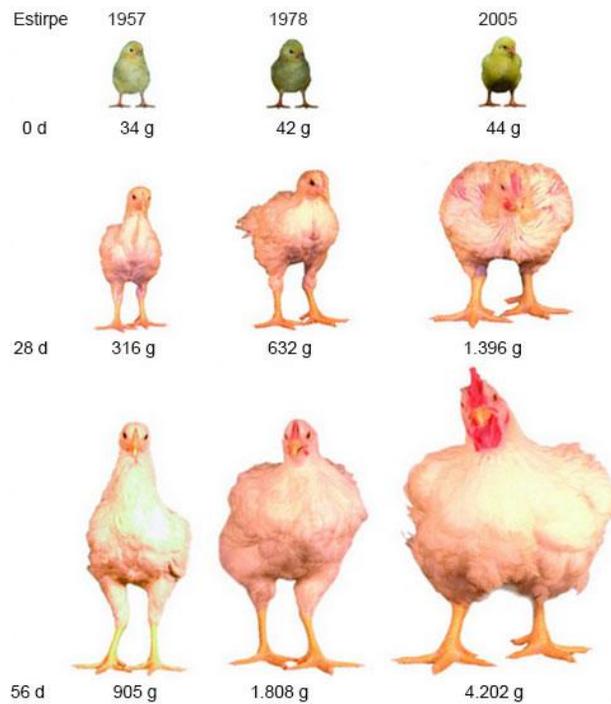
Fuente: OMS, “El Arsénico y sus compuestos”, 2011.

Anexo 5. Principales compuestos arsenicales en alimentos



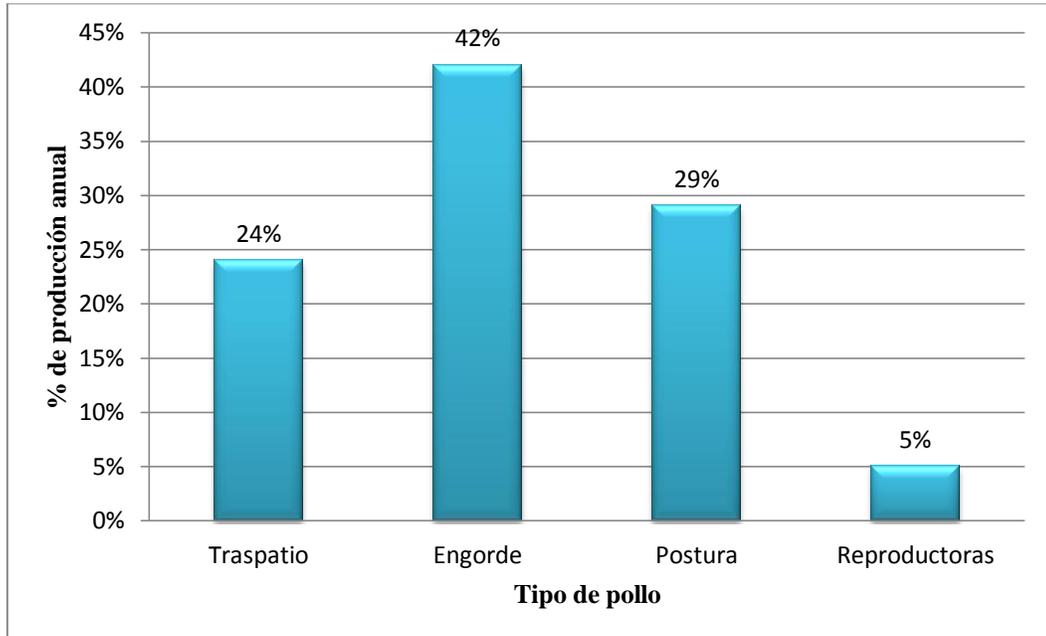
Fuente: OMS, "El Arsénico y sus compuestos", 2011.

Anexo 6. Arsénico como promotores del crecimiento en aves



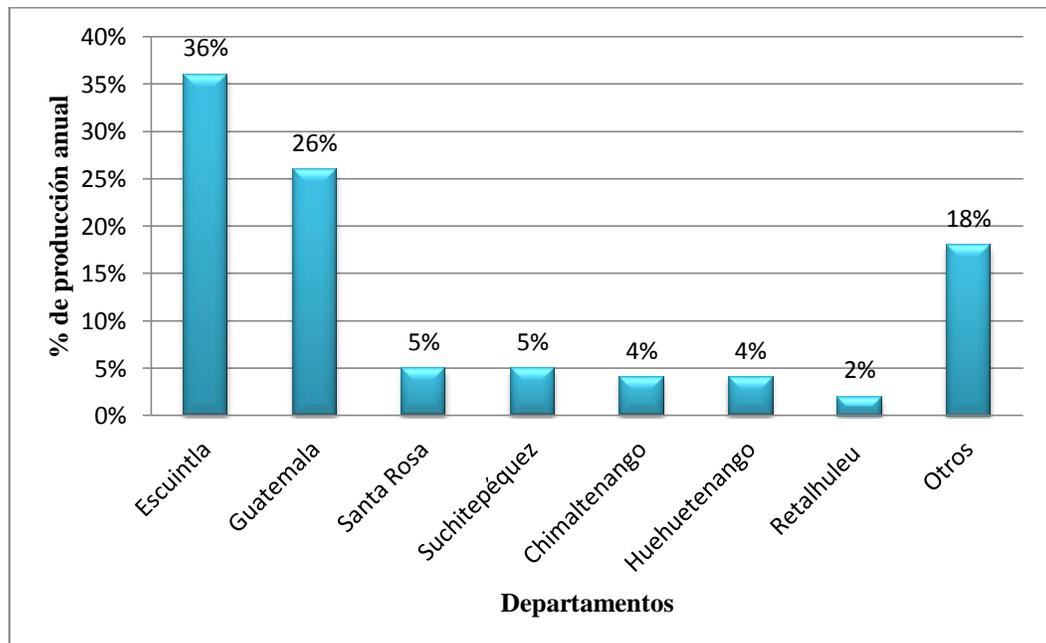
Fuente: OMS, "El Arsénico y sus compuestos", 2011.

Gráfica 1. Producción avícola nacional



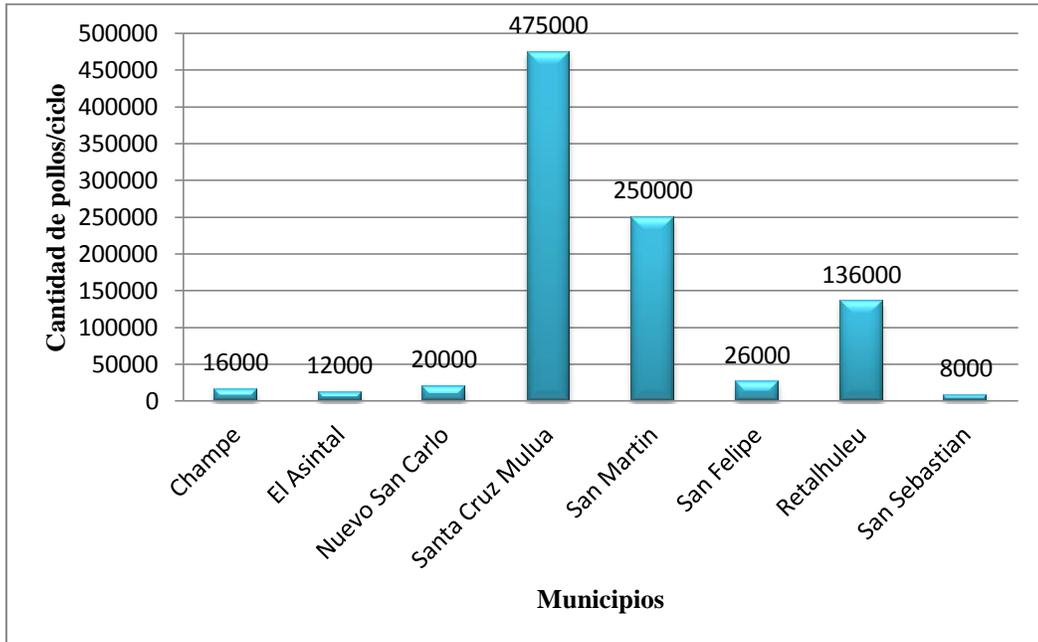
Fuente: PROSA, "Producción avícola nacional", 2014.

Gráfica 2. Producción departamental de pollo



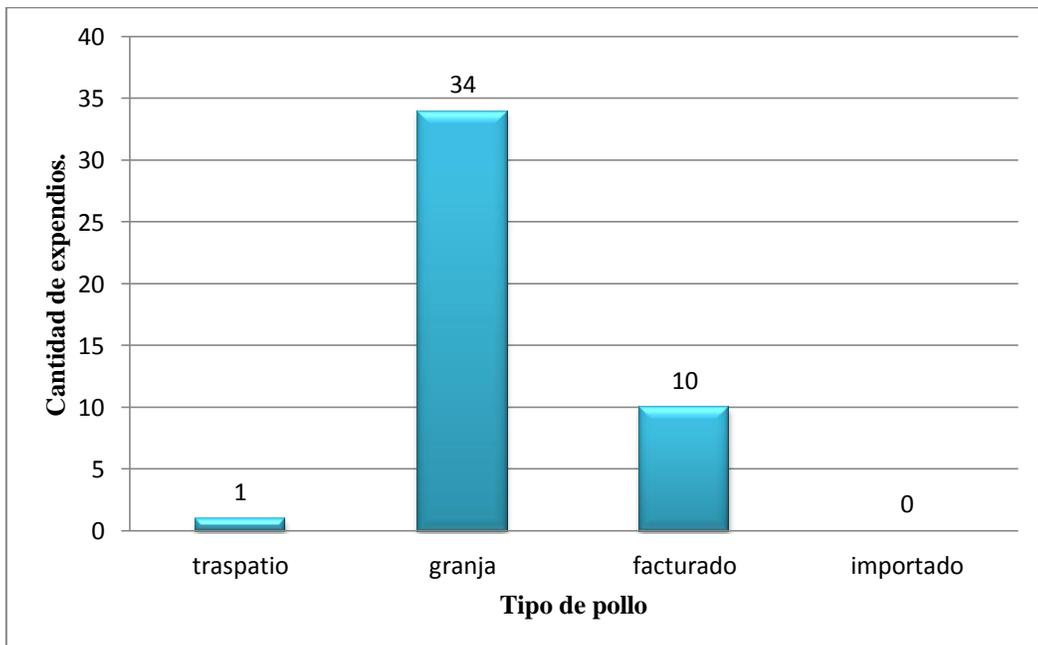
Fuente: MAGA "El Maga en cifras 2014", 2015.

Gráfica 3. Producción municipal de pollo en el departamento de Retalhuleu



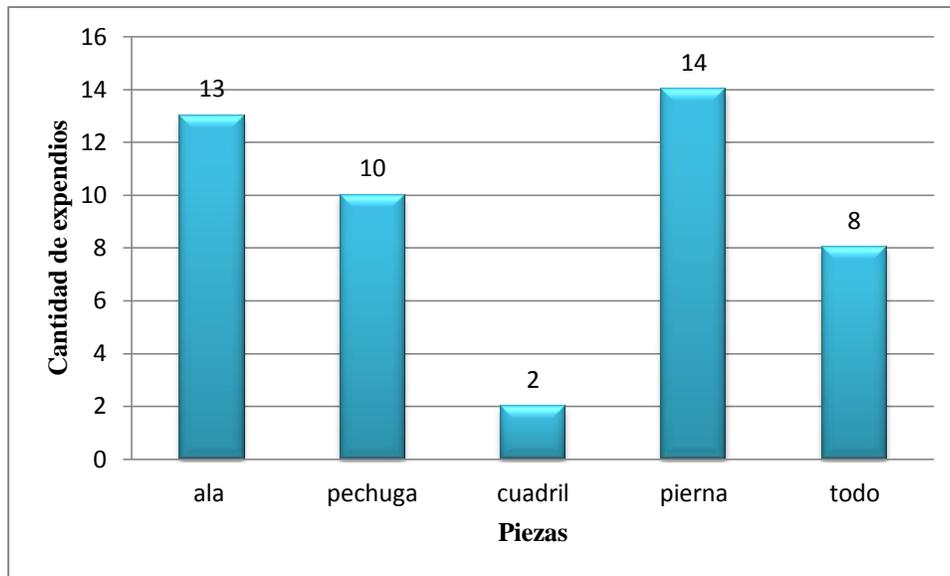
Fuente: elaboración propia, con base en datos de "MAGA Retalhuleu. M.V. Edwin Aquino", 2015.

Gráfica 4. Tipo de pollo comercializado en los expendios del mercado La Terminal



Fuente: elaboración propia, Encuesta de “comercialización de pollo, mercado La Terminal”, 2015.

Gráfica 5. Cortes y piezas que más se comercializan en el mercado La Terminal



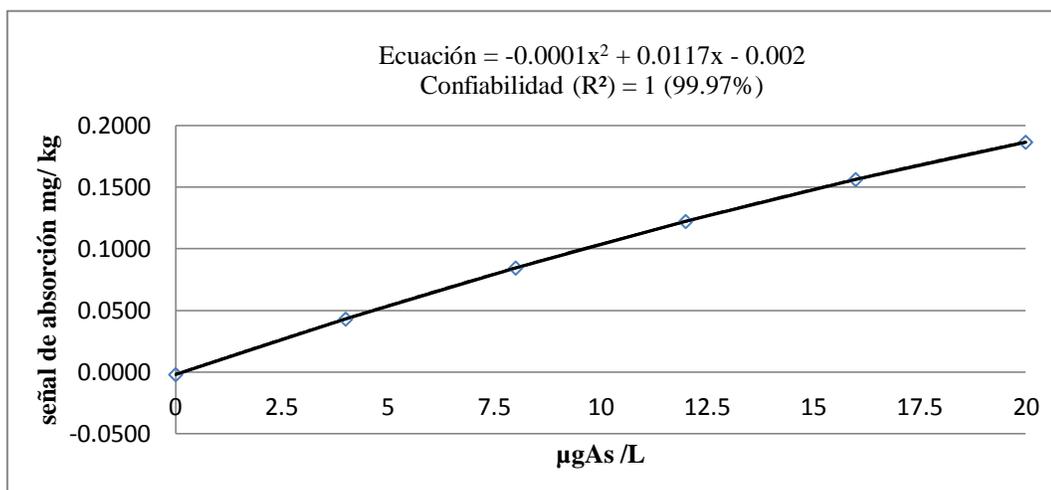
Fuente: elaboración propia, Encuesta comercialización de pollo, Mercado La Terminal, 2015.

Tabla 8. Réplicas de calibración.

límite de detección: 0.4 µg /L		Estándar					
		0.0000	4.0000	8.0000	12.0000	16.0000	20.0000
Réplicas	1	0.0015	0.04317	0.08453	0.12232	0.1563	0.1868
	2	-0.003	0.04311	0.08456	0.1223	0.157	0.1866
	3	-0.0029	0.04312	0.08454	0.12237	0.156	0.1867
	4	-0.004	0.0431	0.08458	0.12231	0.1565	0.1865
	5	-0.0033	0.04308	0.08459	0.12231	0.1564	0.1869
\bar{x}		-0.0020	0.04312	0.08456	0.122322	0.15644	0.1867

Fuente: elaboración propia, “Etapa de calibración” LIQA, 2016.

Tabla 9. Cálculo de la línea de regresión y ajuste de confiabilidad.



Fuente: elaboración propia, “Etapa de calibración” LIQA, 2016.

Tabla 10. Tabla para valor de la curva normal

%	Z	Z ²	E	e ²
99	2.58	6.656	0.01	0.000100
97.5	2.24	5.018	0.025	0.000625
95	1.96	3.842	0.05	0.002500
94	1.88	3.534	0.06	0.003600
90	1.645	2.706	0.1	0.010000
85	1.44	2.074	0.15	0.022500
80	1.28	1.638	0.2	0.040000
75	1.15	1.323	0.25	0.062500
50	0.6745	0.455	0.5	0.250000

Fuente: INTECAP “Curso de Control Estadístico de Proceso”, 2015.

Tabla 11 . Tabla nutricional de la carne de pollo según datos INCAP

	Agua %	Energía kcal	Proteínas g	Grasa total g	Carbohidratos g	Fibra dietética g	Cenizas g	Calcio mg	Fosforo mg	Hierro mg	Tiamina Mg	Riboflavina Mg	Niacina mg	Vit. A Equiv. Retinol mg	AG Mono insaturado g	AG Poli insaturado g	AG Saturados g	Colesterol mg	Potasio mg	Sodio mg	Zinc mg	Magnesio mg	Vit. B6 mg	Vit. B12 mcg	Ac. Fólico mcg	Folato Equiv. FD mcg
Pollo, Carne C/Piel, Crudo	65,50	216	17,14	15,85	0,00	0,00	0,87	10	166	1,01	0,06	0,12	6,57	38	6,64	3,40	4,53	73	196	68	1,07	19	0,32	0,31	0	6
Pollo, Carne S/Piel, Crudo	75,46	119	21,39	3,08	0,00	0,00	0,96	12	173	0,89	0,07	0,14	8,24	16	0,90	0,75	0,79	70	229	77	1,54	25	0,43	0,37	0	7
Pollo, Alas C/Piel, Cruda	66,21	222	18,33	15,97	0,00	0,00	0,69	12	132	0,95	0,05	0,09	5,93	44	6,35	3,39	4,48	77	156	73	1,33	18	0,35	0,32	0	4
Pollo, Muslo C/Piel, Crudo	67,68	211	17,27	15,25	0,00	0,00	0,81	10	145	0,99	0,06	0,15	5,43	44	6,51	3,38	4,39	84	192	76	1,60	20	0,26	0,30	0	8
Pollo, Muslo S/Piel, Crudo	62,87	209	25,94	10,88	0,00	0,00	0,95	12	183	1,31	0,07	0,23	6,53	20	4,15	2,48	3,03	95	238	88	2,57	24	0,35	0,31	0	8

Fuente: transcripción propia basada en datos del INCAP “Tabla de composición de alimentos para Centroamérica”, 2012.

Tabla 12. Grados de libertad para análisis de T student

Grado libertad	0.75	0.9	0.95	0.975	0.99	0.995	0.9995
1	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
4	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.61
5	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	0.796	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.25	4.781
10	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	0.694	1.35	1.771	2.16	2.65	3.012	4.221
14	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.14
15	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	0.690	1.337	1.746	2.12	2.583	2.921	4.015
17	0.689	1.333	1.740	2.11	2.567	2.898	3.965
18	0.688	1.33	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.85
21	0.686	1.323	1.721	2.08	2.518	2.831	3.819
22	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	0.685	1.319	1.714	2.069	2.5	2.807	3.767
24	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	0.684	1.316	1.708	2.06	2.485	2.787	3.725
26	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.69
28	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	0.683	1.31	1.697	2.042	2.457	2.75	3.646
40	0.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	0.679	1.296	1.671	2	2.39	2.66	3.46
120	0.677	1.289	1.658	1.98	2.358	2.617	3.373

Fuente: Prueba de T “Curso Control Estadístico de Procesos”, INTECAP, 2015.

16 APÉNDICE

Formato 1. Encuesta realizada en el mercado La Terminal de Retalhuleu.

Puesto de venta No. _____ Sección: _____

1. ¿Cuántas libras de pollo promedio vende al día?

2. ¿Cuántas unidades de pollo promedio vende al día?

3. ¿Cuáles piezas son las que más vende?

Ala	Pechuga	Cuadril	Pierna	Otros

4. ¿Qué tipo de pollo vende?

Traspatio o crianza	De granja	Facturado	Importado

5. Si es de granja ¿Qué granja le distribuye?

6. Si es de traspatio. ¿Qué tipo de alimentación les proporciona?

Concentrado	Maíz	Comida del hogar	Desperdicio

7. Si es facturado. ¿Qué compañía le distribuye?

Fuente: elaboración propia. Encuesta realizada el 20 de noviembre de 2015.

Imagen 1. Recepción del pollo



Fuente: elaboración propia, “Etapa de recolección de muestra” LIQA, 2016.

Imagen 2. Extracción de la piel y el tejido conectivo.



Fuente: elaboración propia, “Etapa de recolección de muestra” LIQA, 2016.

Imagen 3. Desmenuzado y extracción de la carne de pollo.



Fuente: elaboración propia, "Etapa de recolección de muestra" LIQA, 2016.

Imagen 4. Carne de pollo licuada (pasta)



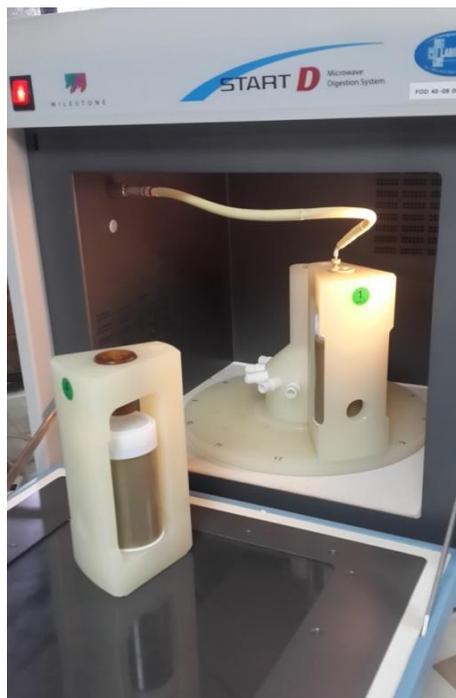
Fuente: elaboración propia, "Etapa de preparación de muestra" LIQA, 2016.

Imagen 5. Tratamiento de la carne de pollo con nitrato de magnesio



Fuente: elaboración propia, "Etapa de tratamiento de muestra" LIQA, 2016.

Imagen 6. Secado en horno microondas al vacío.



Fuente: elaboración propia, "Etapa de tratamiento de muestra" LIQA, 2016.

Imagen 7. Muestra con primer tratamiento térmico



Fuente: elaboración propia, “Etapa de tratamiento de muestra” LIQA, 2016

Imagen 8. Muestra con segundo tratamiento térmico



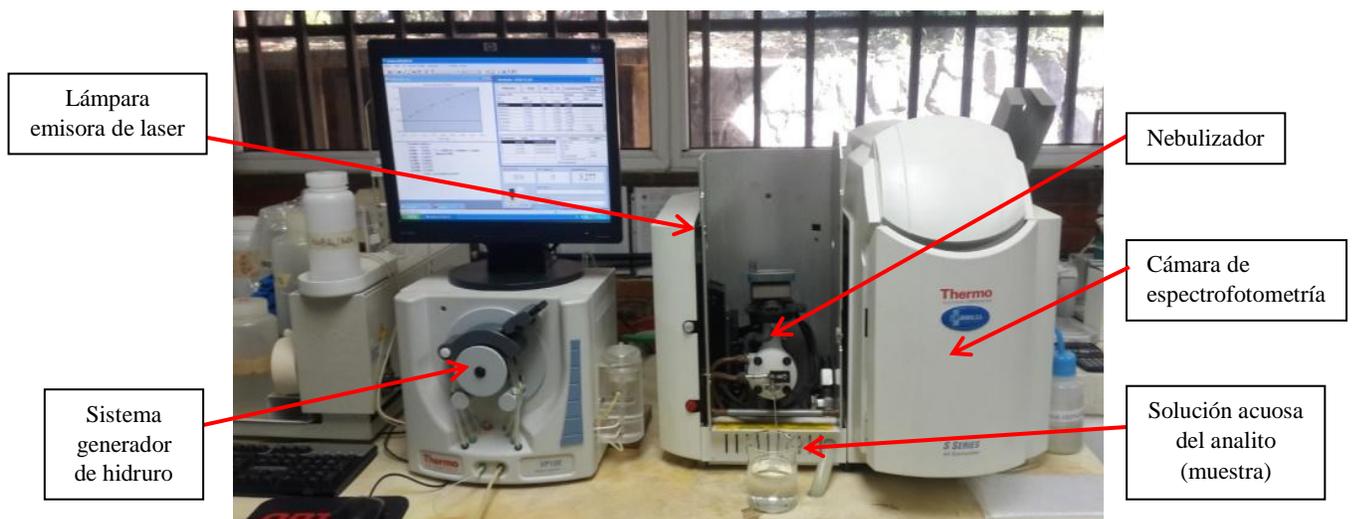
Fuente: elaboración propia, “Etapa de tratamiento de muestra” LIQA, 2016

Imagen 9. Muestra con tercer tratamiento térmico (cenizas para analizar)



Fuente: elaboración propia, “Etapa de tratamiento de muestra” LIQA, 2016

Imagen 10. Análisis de muestras en espectrofotómetro de absorción atómica con generador de hidruro.



Fuente: elaboración propia, “Etapa de análisis de muestra” LIQA, 2016.

Mazatenango, 13 de febrero de 2017.

Para:

Comisión de trabajo de graduación.
Carrera de Ingeniería en Alimentos.
CUNSUROC -USAC-.
Presente.

Les escribimos cordialmente y deseándoles éxitos en sus labores diarias.

Por este medio hacemos constar que nosotros; Asesores principal y Adjunto, respectivamente. Ingeniero Químico, **Aldo de León Fernández**; Ingeniero en Alimentos, **Marvin Manolo Sánchez**. Hemos revisado el documento de trabajo de graduación correspondiente al seminario II, titulado: **Determinación de la presencia de arsénico en la carne de muslos y alas del pollo (*Gallus domesticus*) comercializado en el mercado La Terminal de Retalhuleu**. Del estudiante: **César Leonel Ordoñez Citalán**. Identificado con el número de Carné: **201040342**. Y estamos de acuerdo con el contenido del mismo por lo que aprobamos su presentación ante la terna evaluadora.

Sin otro particular, nos despido de ustedes

Deferentemente,

f.



Asesor Principal
Ing. Qco. Aldo de León.
Colegiado No. 482



Asesor Adjunto
Ing. en Ali. Marvin Sánchez.
Colegiado No. 2150

Mazatenango, 14 de Agosto de 2017.

Para:
Comisión de trabajo de graduación
Carrera de ingeniería en alimentos
CUNSUROC -USAC-
Presente.

Les escribimos cordialmente y deseándole éxitos en sus labores diarias.

Por este medio hacemos constar que nosotras, terna evaluadora: **Licda Q.B. Gladys Calderón, Inga. En Ali. Silvia Guzmán, Inga. En Ali. Liliana Donis.** Hemos revisado las correcciones correspondiente a la evaluación de seminario II, del documento de trabajo de graduación titulado: **Determinación de la presencia de arsénico en la carne de muslos y alas de pollo de engorde (*Gallus domesticus*) comercializado en el mercado La Terminal de Retalhuleu.** Del estudiante: **César Leonel Ordoñez Citalán.** Identificado con el número de carné: **201040342.** El documento antes mencionado presenta los requisitos establecidos de redacción y corrección por lo que aprobamos su contenido, para que proceda con los trámites correspondientes.

Sin otros particulares, nos despedimos de ustedes.

Deferentemente.

Licda. Q.B. Gladys Calderón.
(Presidente de la terna)



Inga En Ali/ Silvia Guzmán.
(Secretaria de la terna)

Inga En Ali. Liliana Esquit Donis
(Vocal de la terna)



Mazatenango, 14 de agosto de 2017.

Ph. D. Marco Antonio del Cid Flores.
Coordinador académico.
Carrera de Ingeniería en Alimentos.
CUNSUROC –USAC–.
Presente.

Le escribo cordialmente, deseándole éxitos en sus labores diarias.

El motivo de la presente, es para informarle que la comisión de trabajo de graduación ha recibido el informe revisado de los asesores nombrados y las correcciones correspondientes de la terna evaluadora de la evaluación de seminario II. Del trabajo de graduación titulado: **Determinación de la presencia de arsénico en la carne de muslos y alas de pollo de engorde (*gallus domesticus*) comercializado en el mercado La Terminal de Retalhuleu.** Del estudiante: **César Leonel Ordoñez Citalán.** Identificado con número de carné: **201040342.**

El documento antes mencionado presenta los requisitos establecidos de redacción y corrección, para que proceda con los trámites correspondientes.

Deferentemente.

Ing. en Ali. Marvin Manolo López.

Secretario de comisión de trabajo de graduación.





Mazatenango, 14 de agosto de 2017.

Dr. Guillermo Vinicio Tello Cano.
Director del Centro Universitario del sur Occidente.
CUNSUROC -USAC-.
Presente.

Le escribo cordialmente, deseándole éxitos en sus labores diarias.

De conformidad con el cumplimiento de mis funciones, como coordinador de la carrera de Ingeniería en Alimentos del centro universitario del sur occidente CUNSUROC -USAC-, he tenido a bien revisar el informe de trabajo de gradación titulado: **Determinación de la presencia de arsénico en la carne de muslos y alas de pollo de engorde (*gallus domesticus*) comercializado en el mercado La Terminal de Retalhuleu.** El cual ha sido presentado por el estudiante: **César Leonel Ordoñez Citalán.** Quien se identifica con número de carné: **201040342.**

El documento antes mencionado llena los requisitos necesarios para optar al título de Ingeniero en Alimentos. En el grado académico de licenciado, por lo que solicito la autorización del imprimase.

Deferentemente.

Ph. D. Marco Antonio del Cid Flores.
Coordinador académico.
Carrera de Ingeniería en Alimentos.





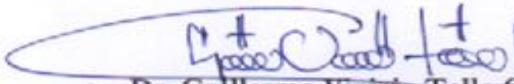
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE
MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ
DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO

CUNSUROC/USAC-I-07-2017

DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,
Mazatenango, Suchitepéquez, nueve de octubre de dos mil diecisiete

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes de la Comisión de Tesis y del Secretario del comité de Tesis, SE AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO: "DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE ARSÉNICO EN LA CARNE DE MUSLOS Y ALAS DE POLLO DE ENGORDE (*Gallus domesticus*) COMERCIALIZADO EN EL MERCADO "LA TERMINAL" DE RETALHULEU" del estudiante: TPA. César Leonel Ordoñez Citalán, carné 201040342 de la carrera Ingeniería en Alimentos.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Dr. Guillermo Vinicio Tello
Director - CUNSUROC



/gris