



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOQUÍMICA

TESIS PROFESIONAL

**IDENTIFICACIÓN DE AFLATOXINAS EN CACAHUATE DE
MERCADOS DE LA CIUDAD DE OAXACA**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:

GUILLERMO GARCÍA VÁSQUEZ

DIRECTOR:

Dr. MARCO ANTONIO SÁNCHEZ MEDINA

COMISIÓN REVISORA:

**Dra. ALMA DOLORES PÉREZ SANTIAGO
M.C. MINERVA DONAJI MENDEZ LOPEZ
M.C. AYMARA JUDITH DIAZ BARRITA**

OAXACA DE JUÁREZ, OAXACA

SEPTIEMBRE 2022

Dedicatoria y agradecimientos

Agradezco a mi familia por todo el acompañamiento que han tenido conmigo, principalmente a mi madre, hermano y abuelos que han sido parte importante de mi desarrollo personal como profesional.

Así mismo agradezco a mi director de Tesis el Dr. Marco Antonio Sánchez Medina por brindarme la oportunidad de ser parte de su equipo muchas veces a lo largo de la carrera, por su apoyo incondicional, por compartir conmigo sus conocimientos, su amistad y sobre todo por su gran paciencia conmigo durante todo este proceso.

Agradezco al Instituto Tecnológico de Oaxaca por haberme permitido ser parte de esta honorable institución y a sus docentes por compartir conmigo sus conocimientos, experiencias y por brindarme su apoyo para seguir adelante día a día.

RESUMEN

El siguiente trabajo se desarrolló en la ciudad de Oaxaca con el objetivo de Identificar la presencia de aflatoxinas en 17 muestras de cacahuete que se comercializaron en mercados de la ciudad en el año 2017, para ello estas 17 muestras fueron trabajadas por medio de la extracción de acuerdo a la técnica de la AOAC (1988) y la cuantificación de aflatoxinas por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) esto con fines de saber si existía presencia de aflatoxinas que pusieran en riesgo la salud de los Oaxaqueños.

La relación estrecha que existe entre las aflatoxinas, el efecto cancerígeno, el buen sustrato que resulta ser el cacahuete con esta flora fúngica, la falta de estudios y referencias al cacahuete en el estado de Oaxaca fue de importancia su análisis, obteniendo como resultado la presencia de aflatoxinas B₁ en las muestras de cacahuete analizadas, la incidencia de aflatoxinas fue del 70.58%, presentando niveles de contaminación entre 0.17 µg/kg y 2.22 µg/kg.

La NOM-188-SSA1-2002, Productos y Servicios. Control de Aflatoxinas en cereales para consumo humano y animal, establece que los cereales no deben exceder de 20 µg/kg de aflatoxinas totales, por lo que las muestras analizadas son aptas para consumo humano y no representan un riesgo para la población.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL.....	3
Objetivos Específicos	3
JUSTIFICACIÓN	4
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.....	6
1.1. CACAHUATE.....	6
1.2. PRODUCCIÓN	7
1.2.1. Producción Internacional	7
1.2.2. Producción Nacional.....	7
1.2.3. Producción De Cacahuete En Oaxaca.....	9
1.3. AFLATOXINAS	10
1.4. ACTIVIDAD BIOLÓGICA	12
1.4.1. Mecanismo de acción.....	13
1.5. CUANTIFICACIÓN DE AFLATOXINAS.....	14
1.5.1. Técnicas de cuantificación de aflatoxinas en alimentos	15
1.5.2. Cromatografía de capa fina (TLC)	18
1.5.3. Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC)	20
1.5.4. Métodos Inmunoquímicos.....	21
1.6. MARCO LEGAL DE LAS MICOTOXINAS.....	23
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	25

2.1. MUESTREO Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	25
2.1.1. Calidad de las muestras de cacahuete analizadas	25
2.1.2. Reducción de tamaño de partícula	25
2.1.3. Caracterización de tamaño de partícula.....	26
2.2. SUBMUESTREO	26
2.3. EXTRACCIÓN.....	27
2.4. PURIFICACIÓN	27
2.5. CUANTIFICACIÓN DE AFLATOXINAS POR CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTA RESOLUCIÓN (HPLC).....	28
CAPÍTULO III. DISCUSIÓN Y RESULTADOS	29
3.1. MUESTREO	29
3.2. CALIDAD DE LAS MUESTRAS DE ANALIZADAS	30
3.3. TAMAÑO DE PARTÍCULA.....	31
3.4. CUANTIFICACIÓN DE AFLATOXINAS POR HPLC	32
CAPÍTULO III. CONCLUSIÓN	36
REFERENCIAS	37
ANEXOS.....	41

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Figura 1. Estructura de Aflatoxinas	11
Figura 2. Cromatogramas de aflatoxinas en cacahuete	34
Tabla 3.1. Mercados Muestreados.....	29
Tabla 3.2. Calidad del Grano.....	30
Tabla 3.3. Tamaño de Partícula.....	31
Tabla 3.4. Concentración de Aflatoxinas.....	32

INTRODUCCIÓN

Las aflatoxinas son un tipo de micotoxinas producidas por los hongos *Aspergillus flavus* y *A. parasiticus* en cultivos agrícolas como el cacahuete, maíz, semillas de algodón y frutos secos (de cáscara dura como las nueces) (Padrón, 2003).

En 1992, un grupo de trabajo del IARC (Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer) describió todos los estudios humanos pertinentes que habían sido reportados y concluyó que había suficiente evidencia en seres humanos para carcinogenicidad de la aflatoxina B₁ y de mezclas naturales de aflatoxinas (Miller, 2015).

Las personas pueden exponerse a las aflatoxinas cuando consumen productos de plantas contaminadas o cuando consumen carnes o productos lácteos de animales que comieron alimentos contaminados. Los agricultores y otros trabajadores agrícolas pueden estar expuestos al inhalar el polvo generado durante el manejo y el procesamiento de cultivos y alimentos contaminados (IARC, 2014).

Los nutrientes y el tipo de sustrato son importantes para la producción de aflatoxinas, la cual se puede ver estimulada por un alto nivel de carbohidratos y un bajo nivel de proteínas. El cacahuete, resulta ser un buen sustrato para la producción de aflatoxinas debido a su alto contenido de carbohidratos y bajo contenido de nitrógeno (Quevedo, 2014).

Dada la relación estrecha que existe entre las aflatoxinas, el efecto cancerígeno, el buen sustrato que resulta el cacahuete con esta flora fúngica, la falta de estudios y referencias al cacahuete en el estado de Oaxaca es de importancia su análisis, ya que actualmente se ignoran los parámetros en los que se encuentran las aflatoxinas en el cacahuete en dicho estado.

En este trabajo se realizó la extracción de acuerdo a la técnica de la AOAC (1988) y la cuantificación de aflatoxinas por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) en 17 muestras de cacahuete procedentes de 9 mercados de la ciudad de Oaxaca.

OBJETIVO GENERAL

Identificar la presencia de aflatoxinas en 17 muestras de cacahuete que se comercializa en mercados de la ciudad de Oaxaca.

Objetivos Específicos

- a) Cuantificar los negocios de venta de cacahuete en los mercados de la ciudad de Oaxaca.
- b) Determinar la calidad de las muestras de cacahuete.
- c) Extraer aflatoxinas por el método de la AOAC modificado.
- d) Cuantificar aflatoxinas B₁ en cacahuates por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).
- e) Comparar los resultados con lo establecido en la normatividad mexicana e internacional.

JUSTIFICACIÓN

El aseguramiento de la inocuidad de los alimentos se ha constituido en una meta importante de acción internacional. Resultan preocupantes tanto los peligros microbiológicos como los químicos. Entre los peligros químicos la Organización Mundial de la Salud ha caracterizado la contaminación de los alimentos con micotoxinas (metabolitos tóxicos de los hongos), las cuales actualmente representan un tema de la mayor importancia relacionado con la inocuidad de los alimentos (Fernandez, 2017).

Las aflatoxinas son las micotoxinas más frecuentemente legisladas. Los primeros límites para las aflatoxinas se establecieron a finales de la década de 1960. A fines del año 2003, aproximadamente 100 países contaban con límites específicos para las micotoxinas en los alimentos (FAO, 2004). Así, mientras en los Estados Unidos el máximo de aflatoxina B₁ es de 15-20 µg/kg en la mayoría de productos y de aflatoxina M₁ es de 0.5 µg/kg en leche, la Unión Europea considera que debe haber un máximo de 5 µg/kg y 0.05 µg/kg, respectivamente. La mayoría de países latinoamericanos no tienen regulaciones o son muy laxos en la aplicación de estos reglamentos y se acepta hasta 50 µg/kg (Arroyo et al., 2014).

México no cuenta con un límite permisible de aflatoxina B₁, pero si para la suma de las aflatoxinas, y este límite es de 20 µg/kg (NOM-188-SSA1-2002).

La acumulación de la toxina puede inducir el desarrollo de cáncer hepático. El efecto carcinogénico de las aflatoxinas se le atribuye a la transformación química que sufren después de ingeridas en el hospedero (Rojas Contreras & Wilches Flórez, 2009).

Para el año 2012, la producción nacional de cacahuete fue de 114.8 miles de toneladas, de las cuales Oaxaca produjo 8.55 miles de toneladas lo que representa el 7.45 % de la producción nacional situándolo como el tercer productor de cacahuete a nivel nacional (Ledesma, 2014).

Dado que las aflatoxinas son frecuentes en alimentos y materias primas de consumo humano, además de que no existen estudios sobre los niveles de aflatoxinas en muestras de cacahuete en la ciudad de Oaxaca, se desarrolló este proyecto para identificar la presencia aflatoxinas en 17 muestras de cacahuete de fácil alcance para los habitantes de la ciudad de Oaxaca.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1. CACAHUATE

El cacahuate es una hierba, anual, erecta a decumbente de 30-80 cm de altura, con tallos pubescentes de color amarillento, glabrescentes. Estípulas de 2-4 cm, pilosas, hojas generalmente folioladas con pecíolo de 4 a 10 cm, cubiertas con tricomas flexuosos largos, de margen ciliado, ápice obtuso o emarginado y mucronado. Brácteas lanceoladas de ápice acuminado. Flores de 8-10 mm con tubo del cáliz estrecho de 4-6 mm, corola de color amarillo dorado, estandarte abierto y alas distintas, oblongas a ovadas; quilla distinta, muy ovada, más corta que las alas, con ápice acuminado a picudo. Ovario oblongo con el estilo terminado por un estigma pequeño, escasamente pubescente. El fruto es una legumbre de desarrollo subterráneo, oblonga, inflada, de 2-5 x 1-1,3 cm, de paredes gruesas, reticuladas y veteadas, con 1-4 (-6) semillas. Estas últimas tienen un tegumento de color rojizo oscuro, son oblongas y de unos 5-10 mm de diámetro (Ledesma, 2014).

Anteriormente existía una gran confusión del origen del cacahuate, pues debido a las semejanzas con ciertas plantas silvestres solía decirse que este provenía de África. Actualmente se sabe con certeza que este proviene de Sudamérica, aunque existe discusión para establecer con mayor exactitud el sitio (INIFAP, 2015).

La evidencia arqueológica nos dice que el cacahuate era conocido en el Perú costero en segundo milenio a.C. Los conquistadores españoles observaron su consumo al llegar al continente americano, en un mercado de la capital azteca, México-Tenochtitlan. Se cree originario de las regiones tropicales de América del Sur, donde algunas especies crecen de modo silvestre (INIFAP, 2015).

1.2. PRODUCCIÓN

1.2.1. Producción Internacional

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) en el ciclo 2008-2009 reportó que el cacahuete ocupó el cuarto lugar de producción entre las principales semillas oleaginosas al representar el 8.7% del total mundial (USDA, 2017).

En 2014 la producción mundial de cacahuete fue de aproximadamente 29 millones de toneladas métricas anuales, siendo Estados Unidos el tercer productor después de China y la India. Las exportaciones mundiales son aproximadamente de 1.25 millones de toneladas métricas, siendo Estados Unidos uno de los líderes con un promedio anual de exportación de entre 200 000 y 250 000 toneladas métricas. Argentina y China son otros exportadores importantes, mientras que Vietnam y varios países africanos entran al mercado mundial en forma periódica según la calidad de su cosecha y la demanda mundial (Council, 2014).

Canadá, México y Europa representan el 80% de las exportaciones de Estados Unidos. Los mercados más importantes en Europa para los exportadores de Estados Unidos son los Países Bajos, el Reino Unido, Alemania y España (Council, 2014).

1.2.2. Producción Nacional

En México, la producción de cacahuete no destaca entre los primeros lugares a nivel mundial, sin embargo, en los últimos años se ha incrementado. Algunas de las características de la producción de cacahuete son las siguientes: durante el ciclo primavera-verano se produce en promedio anualmente 96% de la producción nacional. Además, 67% de la producción se obtiene bajo condiciones de temporal y el restante 33% bajo condiciones de riego. El rendimiento que se obtiene bajo condiciones de temporal es

en promedio de 1.6 toneladas por hectárea, mientras en condiciones de riego es de 2.4 toneladas (Martinez, 2015).

Datos estadísticos muestran que hubo una producción de 55,451 hectáreas en 2009, mientras que para 2010 esta superficie se redujo, ubicándose en 52,564 hectáreas. Para 2011 fueron 63,970 hectáreas las destinadas para la producción de cacahuete. Posteriormente para los años 2012 y 2013, la cantidad de superficie sembrada, se mantuvo en las 56 mil y 57,500 hectáreas. En el año 2014 se registró una superficie de 59,414 hectáreas; finalmente para el año 2015 que se tiene el último registro la superficie sembrada de 67,087 hectáreas sembradas de cacahuete (SIAP, 2015).

En cuanto a la producción nacional de cacahuete, ésta ha presentado variaciones, generando volúmenes de producción superiores a las 60 mil toneladas en los años 2011 y 2015, considerándose como los de mayor producción, en comparación a los años siguientes en donde el volumen producido muestra altibajos. Por ejemplo, en el año 2013, la producción de cacahuete fue de 57,500 toneladas de cacahuete (infoAgro, 2016).

Las principales entidades que producen cacahuete son: Chihuahua, Sinaloa, Chiapas, Puebla y Oaxaca, cuya producción en conjunto representa 77.2% del total nacional. Las entidades donde la productividad ha sido más alta son en Chihuahua y Chiapas con 1.7 y 1.6 toneladas por hectárea, respectivamente bajo condiciones de temporal. Las mismas entidades reportan la productividad más alta en condiciones de riego, con 2.9 y 3.0 toneladas por hectárea, respectivamente (Ledesma, 2014).

A nivel nacional, Sinaloa, Chihuahua, Puebla, Chiapas y Oaxaca destacan como los principales estados productores de cacahuete. El estado de Sinaloa, es líder en la producción de esta oleaginosa, demostrando que sus volúmenes de producción superan las 20 mil toneladas. Por su parte, Chihuahua, se mantiene como el segundo productor de cacahuete, en donde la producción, en un lapso de diez años ha presentado cambios, mismos que han originado que la producción que se genera sea del orden de las 8 mil a las más de 20 mil toneladas (SIAP, 2015).

1.2.3. Producción De Cacahuete En Oaxaca

Oaxaca, es uno de los estados productores de cacahuete y al igual que Sinaloa y Chihuahua, ha tenido diversas variaciones en la producción, mostrando que el mayor volumen de producción lo registró en el año 2000 con un total de 26,385 toneladas, en comparación con el año 2015, en donde la producción fue de 5,776.25 toneladas (Campos, 2014).

En lo referente a la superficie sembrada, el estado de Oaxaca presentó más de 15 mil hectáreas de siembra en el año 2000, posteriormente en el periodo de 2001 a 2009 la superficie sembrada fue descendiendo, en el año 2006 decae a 3 mil hectáreas, luego de un ligero ascenso registrado en el año 2015 con 5,776.25 mil hectáreas sembradas (SAGARPA, 2015).

Actualmente en la Costa del estado de Oaxaca se siembran anualmente alrededor de 5,157.00 ha de cacahuete, con una producción promedio de 1.6 ton/ha. El cacahuete se cultiva en terrenos degradados que difícilmente se pueden usar para el establecimiento de otros cultivos y en su proceso de producción se emplean muy pocos insumos derivados de la tecnología que se ha generado, por lo cual los rendimientos son de 1.56 ton/ha, considerados bajos, ya que se tiene un potencial para producir hasta 3 ton/ha (INIFAP, 2015).

Ante la falta de aplicación de tecnologías en el campo para la producción de cacahuete, resulta importante el control ante algunas posibles contaminaciones del grano, por ello se deben conocer las afectaciones que puede padecer en cualquier etapa de su proceso ya que está expuesto a factores que pueden ser favorables para el desarrollo de algunos hongos o sus micotoxinas, tales como aflatoxinas.

1.3. AFLATOXINAS

El término de aflatoxina proviene de las siguientes raíces. “A” por el género *Aspergillus*, “FLA” por la especie *flavus* y “TOXINA” que significa veneno, debido a que estas micotoxinas fueron aisladas primeramente en cultivos de *Aspergillus flavus* (Garza, 2014).

Las aflatoxinas constituyen un grupo muy relacionado de metabolitos heterocíclicos sintetizados principalmente por los hongos *Aspergillus flavus* y *Aspergillus parasiticus* (Palmgren & Hayes, 1987). Hasta el momento han sido identificadas 20 aflatoxinas diferentes, sin embargo, únicamente las aflatoxinas B₁, B₂, G₁ y G₂ se originan de manera natural en sustratos contaminados por *Aspergillus* aflatoxigénicos. Las demás (M₁, M₂, P₁, Q₁, aflatoxicol, etc.) ocurren como productos metabólicos de sistemas microbianos o animales

Químicamente las aflatoxinas son dihidrofurancumarinas altamente sustituidas, los principios tóxicos fueron aislados e identificadas obteniéndose 4 principales aflatoxinas: 2 de la serie “B” (aflatoxina B₁ y aflatoxina B₂) y dos de la serie “G” (aflatoxina G₁ y aflatoxina G₂) (Fernandez, 2017).

Las toxinas tipo B se caracterizan por la fusión de un anillo ciclopentanona a un anillo lactona de la estructura cumarina, mientras las toxinas G contienen un anillo lactona fusionado en lugar del anillo ciclopentanona (Figura 1). La aflatoxina B₁, es la más frecuente y tóxica. La nomenclatura hace referencia a sus propiedades físico – químicas, ya que las de tipo B presentan fluorescencia azul (blue) y las de tipo G fluorescencia verde (green) cuando se les observa bajo luz ultravioleta a 365 nm (Rojas, 2009).

Existen varios derivados hidroxilados de las aflatoxinas B₁ y B₂ (Figura 1). Los derivados de aflatoxinas B₁ y B₂ conocidos como aflatoxinas M₁ y M₂ respectivamente, se excretan en la leche de animales que consumieron alimentos contaminados con aflatoxinas. Las aflatoxinas M₁ y M₂ son igualmente activas y eso constituye un riesgo para la salud

humana. Estos derivados hidroxilados, pueden estar presentes en leche líquida y en polvo (Flores, 2015).

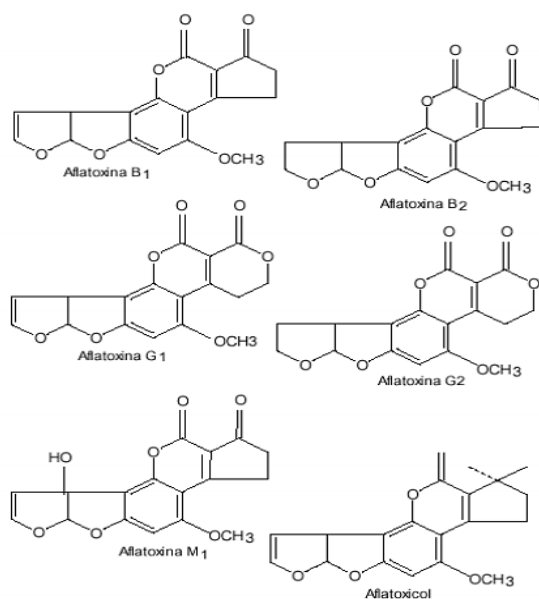


Figura 1: Estructura de las principales Aflatoxinas

Fuente: (FAO, 2003).

De las cuatro aflatoxinas principales (B₁, B₂, G₁ y G₂), la que se observa habitualmente en mayores concentraciones es la B₁, considerada el compuesto biológicamente más activo de la familia de las aflatoxinas y se presenta en un número importante en alimentos para animales, así como también en maíz, algodón y cacahuate. Ocasionalmente, *A. flavus* y *A. parasiticus* pueden colonizar pequeños granos de cereales como cebada, avena y trigo y producir niveles de aflatoxinas de bajos a moderados. La soja no es un sustrato en donde se producen niveles apreciables de aflatoxina B₁ (Wilches, 2011).

Las cuatro toxinas pueden estar presentes simultáneamente, aunque no necesariamente y sus concentraciones relativas y su presencia pueden variar según la cepa fúngica y el sustrato. Por ejemplo, Hesseltine et al., (1970) comprobaron que la mayor parte de las cepas fúngicas que producían aflatoxina G₁ producían también aflatoxina B₁, pero que no todas las cepas productoras de aflatoxina B₁ formaban aflatoxina G₁. Una cepa de *A.*

flavus tomada de pimienta negra produjo sólo aflatoxina B₂ en dos sustratos naturales ensayados (Bolet, 2005).

Algunos estudios han mostrado que los nutrientes y el tipo de sustrato son importantes para la producción de aflatoxinas, la cual se puede ver estimulada por un alto nivel de carbohidratos y un bajo nivel de proteínas; los carbohidratos proveen los dos carbonos precursores para la síntesis de la toxina. El cacahuete, es de esta forma un buen sustrato para la producción de aflatoxinas debido a su alto contenido de carbohidratos y bajo contenido de nitrógeno (Navarro, 2011).

1.4. ACTIVIDAD BIOLÓGICA

Desde los años sesenta las aflatoxinas son consideradas responsables de intoxicaciones de animales por el consumo de alimentos contaminados con esta toxina, aunque hay algunas evidencias que sugieren la intervención de estas micotoxinas en procesos de intoxicación registrados antes de esas fechas. La importancia de las aflatoxinas reside en sus efectos nocivos para la salud de los animales y del hombre ya que se trata de sustancias que pueden actuar como agentes tóxicos, carcinogénicos, teratogénicos, mutagénicos e inmunosupresores. Estos efectos producidos se conocen como micotoxicosis, cuya gravedad depende de la toxicidad de la micotoxina, del grado de exposición, de la edad y del estado nutricional del individuo, y de los posibles efectos sinérgicos de otros agentes químicos a los que este expuesto (Mildenberg, 2011).

El principal órgano dañado de los efectos tóxicos y carcinógenos es el hígado. La evaluación de los resultados epidemiológicos y de laboratorio llevados a cabo en 1987 por la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) determinó que existen suficientes datos demostrativos del efecto carcinógeno en el hombre de las aflatoxinas B₁, B₂, G₁ y G₂ a diferencia del caso de la aflatoxina M₁, que se considera posiblemente carcinogénica para el hombre (Peraic et al., 1999).

Las propiedades carcinogénicas de las aflatoxinas (siempre refiriéndonos en mayor medida a la Aflatoxina B₁) se han caracterizado en la mayoría de los sistemas biológicos,

comprobándose que el consumo de dietas contaminadas de forma natural o la administración de las aflatoxinas por distintas vías inducía la aparición de tumores hepáticos en la mayoría de los animales (peces, aves, roedores, carnívoros y primates) (Santos, 2009).

La exposición a las micotoxinas se produce sobre todo por ingestión, pero también se produce por la inhalación y por contacto cutáneo. A menudo los profesionales de la medicina no reconocen la micotoxicosis, salvo cuando afectan a un gran número de personas (Biendl, 2004).

1.4.1. Mecanismo de acción

Clifford y Rees (1967), citados por Zintzen, sugirieron que el mecanismo de acción de las aflatoxinas en el organismo toma la siguiente secuencia:

- a. Penetración a las células y a sus núcleos.
- b. Combinación con el ADN.
- c. Reducción de la síntesis de ARN, especialmente del m-ARN.
- d. En pocos minutos bloquean la proteosíntesis y a causa de la inhibición del m-ARN también se inhibe la mitosis.
- e. La inhibición de la mitosis es seguida por la muerte celular.

El metabolismo de las aflatoxinas en células hepáticas humanas, y presumiblemente en otros tejidos, dependerá en gran parte del contenido del Citocromo P-450 el cual está controlado por factores exógenos y endógenos. Los factores externos incluyen tanto los nutrientes tomados en la dieta como las sustancias específicas (inhibidoras o activantes) (Wilches, 2011).

Entre los determinantes endógenos, los cuales se consideran análogos a las distintas diferencias que existen entre las especies animales, hay una evidencia creciente de polimorfismo en el contenido del Citocromo P-450 del hígado humano, en el cual el tipo de citocromos presentes o de sus actividades, son genéticamente segregados en cohortes específicos dentro de la población general (Santos, 2009).

La Aflatoxina B₁ requiere la activación del Citocromo P-450 dependiente de la oxidasa de función mixta para convertirse en distintos metabolitos activados. Una vez absorbida la Aflatoxina B₁ desde el tracto digestivo llega al tejido hepático donde pasa por dos fases.

Fase I: por acción del Complejo Citocromo P-450 monooxigenasa, produce derivados reducidos y oxidados que supuestamente no presentan actividad carcinogénica. Pero, también produce Aflatoxina B₁ 2,3- epóxido, que es un producto inestable y que forma aductos con el ADN, ya que se une al N-7 de la guanina formando el aducto Aflatoxina B₁-GUA. Esta unión conlleva a mutaciones en proto-oncogen y genes supresores de tumores. Reacción importante para el inicio del cáncer.

Fase II: el epóxido formado se conjuga con proteínas, puede sufrir hidroxilación o puede conjugarse con el Glutathión (GSH) en el hígado, por la acción de la glutathion S-transferasa y ser excretado en la orina y en las heces como Ácido Mercaptúrico, combinándose con proteínas a los diferentes tejidos y provocando las diferentes clases de intoxicaciones, además de los efectos carcinogénicos, la Aflatoxina B₁ y sus metabolitos pueden afectar a cualquier órgano (Martinez, 2015).

1.5. CUANTIFICACIÓN DE AFLATOXINAS

Desde el descubrimiento de las aflatoxinas y de sus propiedades tóxicas se han realizado muchas investigaciones sobre el desarrollo de métodos para el análisis de estas sustancias. Estos métodos son necesarios para el establecimiento de programas adecuados de control de alimentos, así como para la investigación sobre aspectos relacionados con las aflatoxinas tales como su producción por los hongos aflatoxigénicos o el metabolismo de estas sustancias en los animales (Duarte, 2004).

La estructura cumarínica de la aflatoxina, las insaturaciones y la presencia de grupos cetónicos en la molécula, le confieren dos propiedades importantes para la detección cromatográfica: la polaridad y la fluorescencia bajo luz UV (Moreno, 2005).

Independientemente del método de análisis empleado, la determinación específica del nivel de aflatoxinas en un alimento implica generalmente: Un muestreo representativo, la homogenización de la muestra, la separación de una cantidad más pequeña a partir de la muestra original y un análisis posterior. El muestreo es un aspecto muy importante a la hora de realizar una valoración de la cantidad de aflatoxinas presentes en un alimento ya que puede ser fuente de un alto porcentaje de error. En este sentido, hay que tener en cuenta que la distribución de las aflatoxinas en los alimentos no suele ser homogénea, salvo en el caso de productos líquidos. Además, el nivel de aflatoxinas en un alimento puede variar en función de cuando se realice el muestreo. También influye el tamaño de la muestra ya que esta debe ser representativa y suficiente para realizar el análisis (en el caso de alimentos líquidos suelen precisarse cantidades menores) (Wilson, 2006)

Los métodos analíticos para aflatoxinas se pueden dividir en dos grupos principales: métodos de screening y métodos analíticos cuantitativos. El screening utiliza principalmente ELISA (enzimo-inmuno análisis) o el radioinmunoanálisis raramente utilizado. La cuantificación implica generalmente la cromatografía de capa fina o la cromatografía líquida de la alta resolución (HPLC). Las columnas de inmunoafinidad (IAC) para purificación fueron introducidas, y la combinación de IAC con HPLC ahora ofrece el mejor método en lo que respecta a sensibilidad y confiabilidad para la detección de aflatoxinas (Duarte, 2004).

1.5.1. Técnicas de cuantificación de aflatoxinas en alimentos

Los métodos analíticos publicados para la determinación de micotoxinas en alimentos y sus principales aplicaciones, han sido recopilados en diversos artículos de revisión, siendo los más numerosos los que emplean cromatografía de líquidos de alto rendimiento (HPLC) con detección UV o fluorescencia (FL), ya que ciertas micotoxinas (Ocratoxina A, aflatoxinas) presentan fluorescencia nativa y este tipo de detección ofrece ciertas ventajas, como mayor sensibilidad y selectividad. Existen numerosos métodos HPLC-FL para la determinación de Ocratoxina A sin derivatización previa en distintas matrices, principalmente en vinos, café o cerveza. En el caso de las aflatoxinas, su fluorescencia se muestra atenuada en presencia de ciertos disolventes, siendo necesaria su

derivatización bien precolumna con ácido trifluoroacético, o postcolumna mediante una disolución de yodo o bromo, o mediante hidrólisis por fotodegradación usando una lámpara UV y un reactor (Stroka et al., 2000) .

Otras micotoxinas que no presentan fluorescencia nativa también se han determinado usando HPLC-FL con derivatización, como es el caso de las fumonisinas o T-2 y HT-2 (Soleas et al., 2001).

El acoplamiento de HPLC y la espectrometría de masas (MS) mediante técnicas de ionización a presión atmosférica (Atmospheric Pressure Ionization, API), como la ionización por electrospray (Electrospray Ionization, ESI) o la ionización química a presión atmosférica (Atmospheric-Pressure Chemical Ionization, APCI), ha permitido el desarrollo de nuevas metodologías para la determinación de micotoxinas (Malik et al., 2002).

Algunos artículos de revisión recogen los métodos de determinación de micotoxinas mediante HPLC-MS. Además, mediante el empleo de MS en tándem (MS/MS), usando detectores como la trampa de iones (Ion Trap, IT) y el triple cuadrupolo (QqQ), es posible la identificación y cuantificación de los analitos en mezclas complejas, siendo imprescindibles para la confirmación de resultados positivos obtenidos con otras detecciones. HPLCMS/MS ha permitido también el establecimiento de métodos multiresiduo, que abarquen micotoxinas de diferentes familias. En este contexto, recientemente se han propuesto métodos HPLC-MS/MS para, por ejemplo, la determinación simultánea de Ocratoxina A, ácido micofenólico y fumonisina B₂ (FB₂) en productos cárnicos (Sørensen et al., 2010), 27 micotoxinas y otros metabolitos secundarios en maíz, 49 micotoxinas diferentes en diversos alimentos o 21 micotoxinas en alimentos infantiles. En los últimos años el empleo de fases estacionarias con un tamaño de partícula inferior a los 2 µm ha originado el desarrollo de la cromatografía de líquidos de ultra rendimiento (UHPLC), mejorando la eficacia del proceso cromatográfico al trabajar a altos flujos de la fase móvil sin pérdida de la calidad de la separación cromatográfica, reduciendo notablemente el tiempo de análisis para la determinación simultánea de un elevado número de compuestos. Son cada vez más numerosas las aplicaciones de esta técnica acoplada a detección MS/MS; como ejemplo, la

determinación simultánea de micotoxinas de varias familias en cerveza (Romero et al., 2009).

Además, en los últimos años las técnicas de separación miniaturizadas han cobrado gran interés debido a las numerosas ventajas que presentan, tales como la reducción del consumo de disolventes, bajo volumen de muestras requerido, incremento en la resolución e incluso una mejorada sensibilidad. Dentro de los sistemas miniaturizados se incluyen los que utilizan columnas de reducido diámetro interno (HPLC capilar) o capilares de sílice fundida (electroforesis capilar, CE).

1.5.1.1. Métodos para analizar las aflatoxinas en cacahuete

La determinación de aflatoxinas en cacahuete puede llevarse a cabo de diversas maneras. Los cacahuates frecuentemente están contaminados con las aflatoxinas B₁ y B₂ y menos frecuentemente con la combinación de B₁, B₂, G₁, y G₂, de manera que es importante la obtención de valores analíticos que representen el contenido total de aflatoxinas (Vega, 2000).

La selección y depuración, en forma visual, de lotes de cacahuates dudosos, que se basan en la detección de conidióforos y conidios del grupo de hongos *Aspergillus flavus*, no es tan confiable como una prueba química y puede ocasionar que lotes de semillas contaminadas con aflatoxinas entren en el comercio. Las técnicas de depuración por medio del uso de mini columna pueden ser útiles, pero siempre deben usarse combinadas con algún método de análisis cuantitativo. Varios métodos analíticos a base de cromatografía de capa delgada (TLC) y de cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC) son satisfactorios para la cuantificación de aflatoxinas, y se utilizan de manera general (Garza, 2014).

Los métodos ELISA pueden usarse para fines de depuración, así como para cuantificaciones de aflatoxinas, pero son sensibles al efecto de las temperaturas y solamente deberán usarse cuando se dispone de un control apropiado de este factor. El método de columnas de afinidad es menos afectado por la temperatura, y puede usarse

ya sea para fines de depuración de lotes de materiales o de cuantificación de las aflatoxinas (Wilson, 2006).

1.5.2. Cromatografía de capa fina (TLC)

La cromatografía de capa fina es un método de multidetección por el que pueden determinarse la mayoría de las micotoxinas de interés. La extracción de las micotoxinas se realiza en un único disolvente, utilizando posteriormente disolventes de desarrollo específicos y reacciones de identificación selectivas para cada una de las micotoxinas. Mediante este método de multidetección se pueden cuantificar, entre otras, las siguientes micotoxinas: Aflatoxinas, Ocratoxina A, Citrinina, Zearalenona, Patulina (Carrillo, 2003).

El método CB (AOAC 1984) es el estándar por el cual se juzgan otros métodos. Los detalles se pueden encontrar en Stoloff et al. (1982). Shotwell y Goulden (1977) compararon el método AOAC BF con el método CB para el análisis de las aflatoxinas en el maíz. El método BF utiliza una solución de extracción de metanol + agua (55 + 45), mientras que el método de la semilla de algodón utiliza una solución de extracción de acetona + agua (85 + 15). Ninguno de estos disolventes extrajo aflatoxinas del maíz con la misma eficacia que la extracción con cloroformo + agua (250 + 15) del método CB. El método BF es adecuado para los cacahuates con contenido de aflatoxinas por debajo de 50 µg/kg.

Lee y Catalano (1981) desarrollaron una columna de limpieza escalonada como una modificación de ahorro de disolvente del método CB. Los laboratorios que utilizan fluorodensitometría para mediciones cuantitativas deben ser cuidadosos para evitar el desvanecimiento de las manchas de aflatoxina en las placas de TLC; El desvanecimiento podría retrasarse cubriendo la capa sobre la placa de TLC con otra placa de vidrio (Nesheim, 2001).

El método CB es un excelente método de TLC. Pero tiene dos inconvenientes principales: (1) es costoso porque utiliza grandes cantidades de disolventes que crean un problema de eliminación, y (2) el disolvente principal usado es cloroformo que puede ser un peligro para los trabajadores (Nesheim, 2001).

Dantzman y Stoloff (1982) desarrollaron un método de selección modificado en el que omitieron la etapa de cromatografía en columna del método CB y mancharon directamente el aceite residual de maíz extraído con cloroformo-agua.

Spilman (1985) modificó este método de selección para el maíz añadiendo benceno + acetonitrilo (98 + 2) al aceite residual y midiendo el volumen para obtener resultados cuantitativos de TLC. Los cacahuates tendrían que ser desgrasados con hexano antes de la extracción con cloroformo para estos métodos. Kamimura et al., (1985) describieron recientemente un método rápido simple de HPTLC que comparaba favorablemente con el método CB.

Davis et al (1981) utilizaron un nuevo enfoque al diseñar un método que usaba la fluorescencia del derivado de yodo de la aflatoxina B₁ para la cuantificación y la confirmación por TLC. Josefsson y Moller (1977) desarrollaron un método de multimitoxinas para la detección de aflatoxinas, ocratoxina, patulina, esterigmatocistina y zearalenona, mientras que Seitz y Mohr (1976) y Thomas et al., (1975) desarrollaron métodos para la determinación de aflatoxina y zearalenona.

El método de confirmación de la aflatoxina AOAC se basa en la reacción de TFA con B₁, G₁ o M₁ (Przybylski, 1985). El procedimiento de TFA o acetilación directa (Cauderay, 1989) se puede llevar a cabo en una placa de TLC antes del desarrollo. Trucksess et al. (1984) publicaron un método rápido de TLC usando una columna de gel de sílice desechable para limpieza y confirmación por cromatografía de gases / espectroscopia de masas. Independientemente del método de TLC utilizado, la aflatoxina identificada necesita ser confirmada.

1.5.3. Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC)

La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) con detección por fluorescencia. Se emplea una columna de fase inversa (C18), seguida de la separación de una reacción de derivatización para proveer a la aflatoxina de la fluorescencia necesaria para poder cuantificarse. Previamente a la separación por HPLC se puede aislar selectivamente una micotoxina en concreto, mediante una columna de inmunoafinidad conteniendo anticuerpos específicos de la micotoxina en cuestión (Carrillo, 2003).

El análisis de aflatoxinas usando HPLC para separación y detección es bastante similar a la TLC porque se utilizan procedimientos similares de muestreo y extracción. Las principales ventajas de la HPLC sobre TLC son la velocidad, la automatización, mejor exactitud y la precisión. Se han desarrollado separaciones de HPLC de fase normal y de fase inversa para análisis de aflatoxinas (Exebio, 2014).

Los primeros trabajos experimentales de Seitz (1975) y Garner (1975) sobre las separaciones de HPLC revelaron que las aflatoxinas podrían separarse en columnas de fase normal y detectarse con un detector de UV o un detector de fluorescencia. Seitz (1975) observó que el detector de fluorescencia tenía una utilidad limitada para aflatoxina B₁ y B₂ con separaciones de fase normales.

Panalaks y Scott (1977) desarrollaron una celda de flujo de gel de sílice para la detección fluorométrica de B₁, B₂, G₁ y G₂ con separaciones de aflatoxinas en fase normal. Una célula empaquetada con gel de sílice fue utilizada por Pons (1979) y Thean et al., (1980) en dos métodos de HPLC diferentes para la determinación de las aflatoxinas. La principal desventaja de la célula empaquetada es la falta de estabilidad. La célula necesita ser reempaquetada a menudo y la señal del detector se debilita con el tiempo. Las ventajas de un método de reempaquetado de la célula son que no es necesario para la detección y la fase móvil se puede reciclar.

Las separaciones de HPLC en fase inversa de las aflatoxinas son más ampliamente utilizadas que las separaciones de HPLC de fase normal. Sin embargo, las intensidades

de fluorescencia de B_1 y G_1 están disminuidas en mezclas de disolventes de fase inversa de modo que los derivados de la banda G se preparan generalmente antes de la inyección. Los analistas deben ser conscientes de que los derivados de la banda G no son estables en metanol, que debe utilizarse con precaución, especialmente en el disolvente de inyección. Las mezclas no degradan rápidamente la banda G y se prefieren a las fases móviles metanol-agua. Se han publicado varios métodos de fase inversa (Cohen & Lapointe, 1982) incluyendo tres comparaciones con el método CB (DeVries et al., 1984).

Stubblefield y Shotwell (1977) encontraron que M_1 y M_2 , así como $B_1 > B_2$, G_1 y G_2 , pueden ser resueltos y detectados con un detector UV a 350 nm usando cromatografía de fase inversa. Los métodos desarrollados por Hutchins y Hagler (1983), DeVries y Chang (1982) y Tarter et al (1984), todos utilizan la derivatización de TFA y, aparentemente, comparan favorablemente con otros métodos, Diebold et al. (1979) utilizaron fluorometría láser para detectar aflatoxina B después de cromatografía de fase inversa.

Davis y Diener (1980) encontraron que el derivado de yodo de B_1 podría utilizarse para confirmación y desarrollaron un método de fase inversa con detección de fluorescencia para este derivado. Este trabajo condujo al desarrollo de un método de yodación posterior a la columna para potenciar la fluorescencia B_1 y G_1 tras la cromatografía de fase inversa. Shepard y Gilbert (1984) investigaron las condiciones necesarias para la reacción de yodación posterior a la columna para potenciar la fluorescencia de las aflatoxinas B_1 y G_1 .

1.5.4. Métodos Inmunoquímicos

La aflatoxina B_1 en los cacahuates se puede determinar usando radio inmunoensayo en fase sólida (RIA) (Langone, 1986), inmunoensayo monoclonal de columna de afinidad (Trudel et al., 1984) o técnicas de ensayo inmunoabsorbente (ELISA) (El-Nakib et al., 1981).

a) Columna de inmunoafinidad.

El principio se basa en extraer la aflatoxina haciendo pasar la porción a analizar a través de una columna de inmunoafinidad. La columna contiene anticuerpos específicos ligados a un soporte sólido. A medida que la muestra pasa a través de la columna, los anticuerpos se unen selectivamente con la aflatoxina (antígeno) formando un complejo antígeno-anticuerpo. Los demás componentes de la matriz de la muestra se lavan de la columna con agua. La aflatoxina es luego eluída de la columna, colectando el eluato. La cantidad de aflatoxina presente en este eluato se determina por medio de cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) con detección fluorométrica (ICONTEC, 2003).

b) Técnica de ELISA

Un grupo de técnicas que se vienen desarrollando desde los años ochenta para el análisis de aflatoxinas son las técnicas inmunológicas, basadas en los procedimientos de enzimo-inmunoanálisis (ELISA) para la detección y cuantificación (Chu, 2003) .

El ELISA se basa en el uso de antígenos o anticuerpos marcados con una enzima, de forma que los conjugados resultantes tengan actividad tanto inmunológica como enzimática. Al estar uno de los componentes (antígeno o anticuerpo) marcado con una enzima e insolubilizado sobre un soporte (inmunoadsorbente) la reacción antígeno-anticuerpo quedará inmovilizada y, por tanto, será fácilmente revelada mediante la adición de un sustrato específico que al actuar la enzima producirá un color observable a simple vista o cuantificable mediante el uso de un espectrofotómetro o un colorímetro (Chu, 2003).

Las técnicas analíticas para la detección de micotoxinas están en continuo desarrollo, existen kits ELISA comerciales de análisis basados en la técnica enzimo-inmuno análisis competitivo. El principio básico de estos kits como se nombró anteriormente se basa en la afinidad de las aflatoxinas por anticuerpos específicos fijados a un soporte. La reacción de competición entre la aflatoxina y un producto enzimo/conjugado (coloreado) que contiene el kit indica la ausencia de aflatoxina cuando el resultado de la prueba es una señal coloreada, y presencia de las mismas en caso de ausencia de color. Estas técnicas

permiten el control de las aflatoxinas in situ, de un modo rápido, fiable y sencillo (BIOFARM, 2007).

Los diferentes tipos de ELISA son los que se enumeran a continuación (BIOFARM, 2007).

- Anticuerpos marcados:
- ELISA Directo
- ELISA Indirecto
- ELISA sándwich
- Antígeno marcado
- ELISA competitivo.

Las técnicas de ELISA o de columna de afinidad son más adecuadas para el uso en el campo que las técnicas de RIA. Las principales ventajas de los métodos ELISA y columna de afinidad incluyen velocidad, facilidad de preparación de la muestra, facilidad de uso y un costo potencialmente bajo por análisis. Las desventajas incluyen diferentes especificidades de anticuerpos para B₁ y reactividad cruzada con otras aflatoxinas. Los procedimientos ELISA son cualitativos o semi-cuantitativos en el mejor de los casos y son sensibles a la temperatura. La aplicación principal para los procedimientos de ELISA en la actualidad es la detección de aflatoxina B₁ por debajo de una concentración predeterminada. El color desarrollado por la reacción enzimática da una indicación de la cantidad de B₁ (Wilson, 2006).

1.6. MARCO LEGAL DE LAS MICOTOXINAS

En la actualidad existen leyes de alimentos que prohíben o limitan la presencia de ciertas sustancias contaminantes naturales o artificiales y dentro de los contaminantes naturales se contemplan las micotoxinas. Luego del descubrimiento de las aflatoxinas hacia comienzos de la década de los 60, muchos países desarrollaron una legislación específica para estas micotoxinas (Van Egmond, 2005).

Las concentraciones máximas permisibles se expresan en unidades de concentración denominadas “partes por billón” (ppb), que en unidades de peso equivalen a un ng de toxina por g de alimento (ng/g) (Díaz, 2004).

En los estados unidos la administración de alimentos y drogas (FDA), fijó inicialmente el “nivel de acción” para las aflatoxinas en 30 ppb a comienzos de la década de los 60. Esta decisión se basó en el límite de detección de las técnicas disponibles en ese momento. De acuerdo con la FDA, el nivel de acción es el nivel por encima del cual un testigo calificado experto podrá testificar en una corte federal que la presencia de toxina en el alimento hace que este cause efectos adversos sobre la salud (Díaz, 2004).

En 1989 la FDA fijó el nivel de acción de la aflatoxina M₁ en 0.5 ppb, debido a que niveles de aflatoxinas de 20 ppb en la dieta de las vacas lecheras resultan en niveles de aflatoxina M₁ por debajo de 0,5 ppb en la leche (FAO, 2004).

La mayoría de países han fijado un límite máximo de 5 ppb de aflatoxinas B₁ para alimentos de consumo humano, mientras que los niveles máximos para la suma de las cuatro aflatoxinas naturales (B₁, B₂, G₁ y G₂ = aflatoxinas totales) han sido fijados entre 10 y 20 ppb en la mayoría de los países. Para el caso de la aflatoxina M₁, la mayoría de los países tiene límites máximos de 0.05 y 0.5 ppb. (Díaz, 2004).

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. MUESTREO Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Se recorrieron 7 mercados de la ciudad de Oaxaca: Zonal Santa Rosa, IV Centenario, Central de Abastos, Benito Juárez, La Meced, Las Flores y Sánchez Pascuas, en los cuales se identificaron los negocios de semillas que venden cacahuate.

Se adquirieron 17 muestras de 1 kg de cacahuate correspondientes a la cosecha Julio-Diciembre 2016 y enero- junio 2017, el método de muestreo se realizó seleccionando aleatoriamente los negocios ubicados en cada mercado para que la muestra fuese representativa, las muestras se codificaron con un número consecutivo y el nombre del mercado de procedencia.

2.1.1. Calidad de las muestras de cacahuate analizadas

La calidad de las muestras, entendida como el porcentaje de limpieza del grano se determinó realizando una limpieza manual de las muestras para determinar la cantidad de impurezas. Se pesó la muestra para obtener el peso neto (P_{neto}). Después de la limpieza manual se pesó el grano libre de cascara (P_{lim}) y se calculó el porcentaje de impurezas por la ecuación siguiente:

$$\% \text{ de impurezas} = [(P_{\text{neto}} - P_{\text{lim}}) / P_{\text{neto}}] \times 100$$

2.1.2. Reducción de tamaño de partícula

Una extracción es más eficiente al homogenizar y reducir el tamaño de partícula, por lo tanto se redujo el tamaño de partícula de la muestra en una licuadora marca Osterizer de

2 velocidades. 1 kg de cacahuate limpio y se sometió a 4 ciclos de molienda de 30 s cada uno.

2.1.3. Caracterización de tamaño de partícula

Después de la molienda, el cacahuate se pasó a través de un tamiz de malla # 8, ya que por su alto contenido de grasa era el tamaño de partícula mínimo que se podía obtener. El tamizado se pesó (W_{finos}) y se calculó el porcentaje de finos utilizando de la siguiente formula:

$$\% Finos = \frac{W_{finos}}{W_{total}} \times 100$$

2.2. SUBMUESTREO

El submuestreo se realizó por la técnica de cuarteo. En una charola de 40 cm de diámetro se colocó el cacahuate molido y mezcló 5 veces de manera uniforme. Después se realizó el cuarteo dividiendo en cuatro partes iguales la muestra en la charola y se tomó aproximadamente 15 g, este procedimiento se repitió 3 veces hasta obtener una submuestra de 50 g. Finalmente se obtuvieron 15 submuestras para cada muestra de cacahuate.

A partir de las 15 submuestras se formaron aleatoriamente 3 grupos de 5, estas se agitaron para homogeneizar el cacahuate molido y se tomaron 10 g de cada una para formar una muestra compuesta de 50 g teniendo así 3 muestras compuestas de cada 15 submuestras.

2.3. EXTRACCIÓN

Cada muestra compuesta de 50 g de cacahuete molido fueron colocadas en matraces Erlenmeyer de 500 mL, se le agregó 250 mL de cloroformo, 25 mL de agua y se agitó en forma por constante durante 30 min a 125 rpm en un agitador rotatorio marca VWR Scientific.

Se filtró con un colador antes de ser filtrado en una bomba de vacío marca Weg, el filtrado se recolectó en un matraz Erlenmeyer de 500 mL al cual se le agregaron 5 mL de sulfato de amonio saturado se agitó durante 3 min y se pasó a un embudo de separación, se agitó y se dejó reposar hasta formar dos fases. La fase inferior se pasó por un papel filtro whatman # 1 con 15 g de sulfato de sodio anhidro, recolectándose en un vaso de precipitados de 250 mL, desechándose la parte superior, el recolectado se evaporó en baño maría a 60 °C hasta llegar a sequedad.

2.4. PURIFICACIÓN

Al vaso de precipitados se le adicionaron 10 mL de Cloroformo, procurando limpiar las paredes del vaso, se pasó por una columna de silica-sulfato de sodio, para purificar se le agregaron a la columna 5 mL de hexano, se desechó el residuo del lavado, posteriormente se le adicionaron 5 mL de cloroformo-metanol (98:2) y se recolectó la fracción en tubos de ensaye mismos que se evaporaron a 60 °C para llevar a sequedad.

A los tubos de ensaye se les agregó 1 mL de metanol HPLC y se pasó a través de una columna C-18 marca Altech, recogiendo la fracción en viales ámbar para su conservación en refrigeración.

2.5. CUANTIFICACIÓN DE AFLATOXINAS POR CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTA RESOLUCIÓN (HPLC)

La cuantificación de aflatoxinas se llevó a cabo por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Se inyectaron 20µl de muestra estándar de aflatoxina al equipo GBC Modelo LC1445 con bomba serie 1150 LC y una columna de fase reversa Eclipse XDB-C18 5µl de 4.6 x 150 mm, con el siguiente sistema de solventes: fase A: metanol, fase B: agua y fase C: acetonitrilo utilizando una proporción 28% de A, 54% de B y 18% de C isocrático por 4 minutos a 364 nm. Empleando el estándar de aflatoxinas B₁ Sigma A-6636 con una concentración de 5 µg/mL.

CAPÍTULO III. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

3.1. MUESTREO

Se recorrieron 7 mercados de la ciudad de Oaxaca: Zonal Santa Rosa, IV Centenario, Central de Abastos, Benito Juárez, La Merced, Las Flores y Sánchez Pascuas, contabilizando un total de 51 negocios de semillas que comercializan cacahuete, mediante un muestreo aleatorio para obtener una muestra representativa fueron analizados 17 negocios, de los cuales las muestras se codificaron con una letra consecutiva y el nombre del mercado de procedencia.

Tabla 3.1. Mercados Muestreados

Mercado	
A	IV Centenario
B	Benito Juárez
C	
D	
E	Las Flores
F	La Merced
G	La Noria
H	Sánchez Pascuas
I	Zonal Santa Rosa
J	Central de Abastos
K	
L	
M	
N	
Ñ	
O	
P	

3.2. CALIDAD DE LAS MUESTRAS DE ANALIZADAS

En la tabla 3.2 se presentan los resultados de la determinación de la calidad de las muestras de cacahuete, se presenta el mercado de origen de la muestra, su peso neto, el peso de impurezas y el porcentaje de calidad que se obtuvo después de realizar la limpieza manual del grano. De las 17 muestras analizadas, la calidad se encontró entre 94 a 96.7 %, siendo la muestra C del mercado Benito Juárez con 96.53 % la muestra con mayor calidad y la muestra D proveniente del mismo mercado con 93.43 % que mostró menor calidad. La mayor parte de las impurezas eran residuos de otras semillas o cascara del mismo cacahuete.

Tabla 3.2. Calidad del Grano

	Mercado	Peso Neto (g)	Peso impureza (g)	Calidad %
A	IV Centenario	1,000	56	94.40
B	Benito Juárez	1,006	44	95.62
C	Benito Juárez	1,008	35	96.52
D	Benito Juárez	1,004	66	93.42
E	Las Flores	1,002	48	95.20
F	La Merced	1,010	39	96.13
G	La Noria	1,006	48	95.23
H	Sánchez Pascuas	1,003	40	96.01
I	Zonal Santa Rosa	1,008	52	94.84
J	Central	1,001	54	94.60
K	Central	1,009	45	95.54
L	Central	1,004	62	93.82
M	Central	1,009	43	95.74
N	Central	1,002	51	94.91
Ñ	Central	1,002	39	96.11
O	Central	1,005	43	95.72
P	Central	1,004	58	94.22

3.3. TAMAÑO DE PARTÍCULA

En la tabla 3.3 se muestra el porcentaje de finos de cada muestra, dicho porcentaje es resultado de la reducción de tamaño de partícula de cada muestra, debido al alto contenido de grasa del cacahuate solo fue posible tamizar hasta el tamiz numero 8 (2.38 mm).

La extracción de aflatoxinas se realiza siempre en tamaños de partícula pequeños, debido a que es más probable separarlas de la matriz. Debido a que los porcentajes de finos son mayores de 87.55 % se puede confiar que la extracción de aflatoxinas se realizó de forma eficiente. En la tabla 3.2 se presenta que el porcentaje de finos va desde el 85.55 % hasta el 90.25 %, es decir al final de la reducción de tamaño y del paso por el tamiz se perdieron alrededor de 11.88% a 9.75%, lo cual es un valor alto debido a la cantidad de grasa del cacahuate.

Tabla 3.3. Tamaño de Partícula

	Mercado	W_{total} (g)	W_{gruesos} (g)	W_{finos} (g)	% Finos
A	IV Centenario	944	92	852	90.25
B	Benito Juárez	962	116	846	87.94
C	Benito Juárez	973	105	868	89.21
D	Benito Juárez	938	99	839	89.45
E	Las Flores	954	108	846	88.68
F	La Merced	971	106	865	89.08
G	La Noria	958	98	860	89.77
H	Sánchez Pascuas	963	112	851	88.37
I	Zonal Santa Rosa	956	119	837	87.55
J	Central	947	105	842	88.91
K	Central	966	103	863	89.34
L	Central	942	110	832	88.32
M	Central	966	117	849	87.89
N	Central	951	123	828	87.07
Ñ	Central	963	109	854	88.68
O	Central	962	120	842	87.53
P	Central	946	114	832	87.95

3.4. CUANTIFICACIÓN DE AFLATOXINAS POR HPLC

Se analizó el contenido de aflatoxinas de las 17 muestras de cacahuate mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) utilizando un estándar de aflatoxina B₁ Sigma A-6636 con una concentración de 5 µg/mL, los resultados obtenidos se presentan en la tabla 3.3.

Los resultados mostraron que el 70.58% de las muestras (36/51) presentaron niveles detectables de aflatoxina B₁, los cuales oscilaron entre 0.17 µg/kg y 2.22 µg/kg con una media de 0.46 µg/kg. El nivel más alto es de 2.22 µg/kg fue hallado en una muestra proveniente de la central de abastos.

Tabla 3.4 Concentración de aflatoxinas en las 17 muestras de cacahuate analizadas por triplicado.

Mercado	No. Muestra	Repetición	Concentración (microgramo /kg)	Media
IV Centenario	A	1	0	0.27
		2	1.22	
		3	0.53	
Benito Juárez	B	1	0	1.25
		2	0	
		3	0	
	C	1	0.91	0.59
		2	0.63	
		3	0.23	
	D	1	0.72	0.66
		2	0.74	
		3	0.51	
Las Flores	E	1	0.61	0.92
		2	1.52	
		3	0.64	
Central	J	1	0.52	0.36
		2	0.17	
		3	0.39	
	K	1	1.05	0.78
		2	1.1	
		3	0.18	
	L	1	0.78	0.00
		2	0.74	
		3	2.22	
	M	1	0	0
		2	0	
		3	0	
	N	1	0.47	0.60
		2	1.33	
		3	0	

La Merced	F	1	0	0		Ñ	1	0.21	0.16
		2	0				2	0	
		3	0				3	0.27	
La Noria	G	1	0.34	0.52		O	1	0.3	0.55
		2	0.04				2	0.51	
		3	1.17				3	0.84	
Sánchez Pascuas	H	1	0.82	0.62		P	1	0	0
		2	0.72				2	0	
		3	0.31				3	0	
Zonal Santa Rosa	I	1	0.34	0.35					
		2	0.36						
		3	0.34						

Los límites permisibles para aflatoxina B₁ por la FDA en 1995 son de 5 µg/kg, por lo que al analizar los resultados y la media obtenidos se observa que están por debajo del parámetro establecido, por lo que no representan un riesgo para la población.

En cuanto a las normas mexicanas existe la NOM-188-SSA1-2002, Productos y servicios. Control de aflatoxinas en cereales para consumo humano y animal, la cual establece que los límites permisibles de aflatoxinas totales para consumo son de 20 µg/kg, lo que deja claro que los resultados obtenidos se encuentran por debajo de este valor y no son un riesgo para la población.

En el año 2005 Ocampo et al. Determinaron la presencia de aflatoxinas en 30 muestras de granos de cebada, recolectadas en el estado de Hidalgo. Concluyeron que el 100% de las muestras tenían aflatoxinas totales de 1.5 a 1.7 µg/kg.

En el año 2006 García- Aguirre Genoveva y Martínez-Flores Rebeca en su publicación Mohos y Aflatoxinas en mazapán no encontraron presencia de aflatoxinas 33 en muestras analizadas a pesar de encontrar la presencia de aspergillus en el 57.6% del total de las muestras.

En otro estudio realizado en el estado de Tamaulipas, se encontraron niveles elevados (100 $\mu\text{g/kg}$) de aflatoxinas en el 100% de las muestras de maíz cosechado en 1989 (García & Heredia, 2006).

En 2009 Rojas Contreras y Wilches Florez en su trabajo en alimentos infantiles y alimentos elaborados a base de cereales para lactantes y niños de corta edad encontraron que el 10% de sus muestras analizadas presentaban niveles entre 18.42 $\mu\text{g/kg}$ y 71.25 $\mu\text{g/kg}$ de aflatoxinas B1.

En la figura 2, se muestran los cromatogramas obtenidos del análisis de HPLC de las muestras. El estándar de las aflatoxinas B₁ Sigma A-6636 con una concentración de 5 $\mu\text{g/mL}$ tuvo un tiempo de retención de 2 minutos. Se inyectaron las muestras de los extractos de aflatoxinas purificados de cacahuete, de los cromatogramas obtenidos en la figura 2b se presenta el cromatograma de la muestra 6 proveniente de la central de abastos como la muestra con mayor concentración de Aflatoxinas.

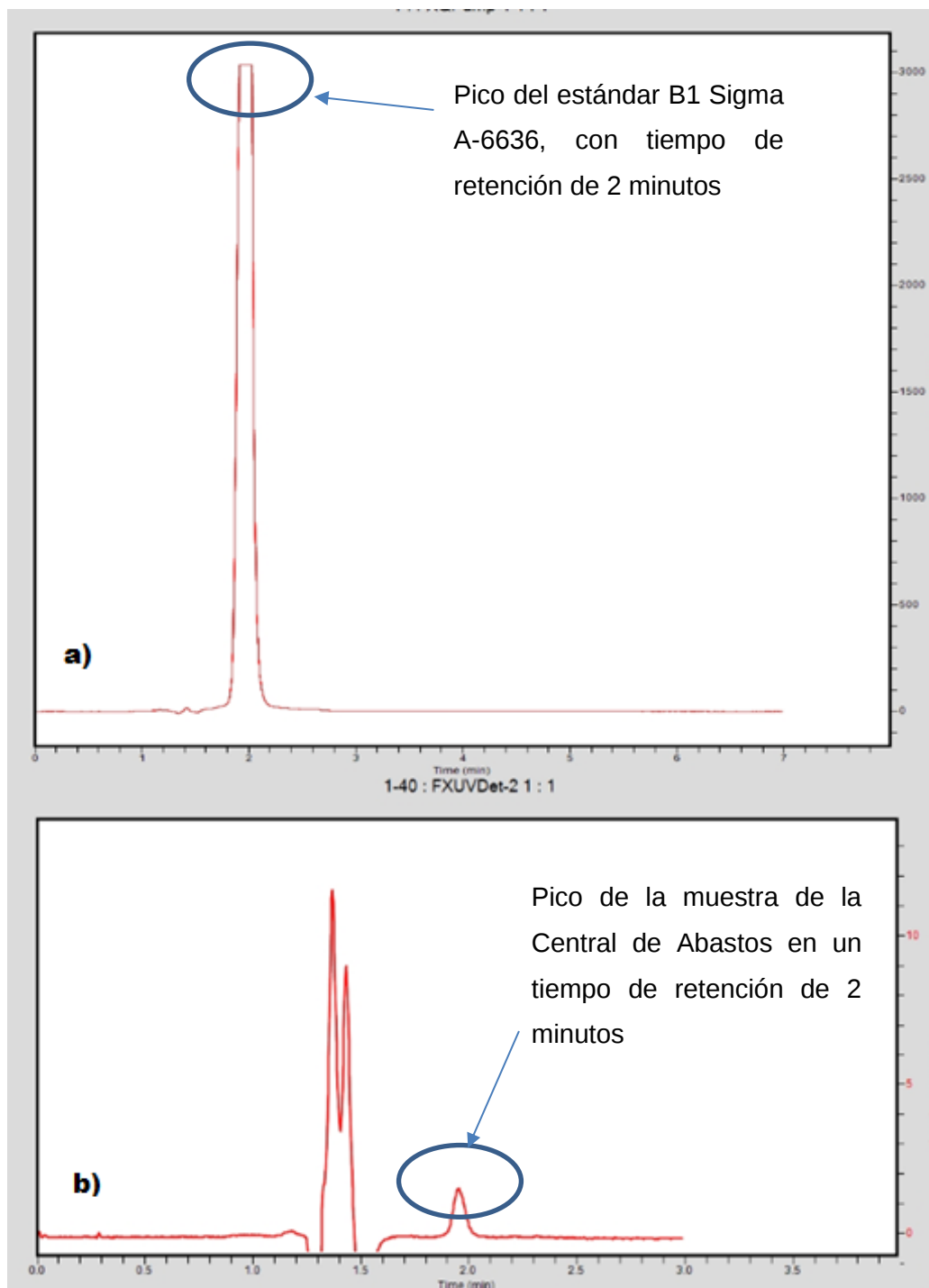


Figura 2. Cromatogramas de aflatoxinas en cacahuete. **a)** Cromatograma del estándar de aflatoxinas B₁ Sigma A-6636, **b)** cromatograma de muestra con mayor concentración de aflatoxina B₁ correspondiente a muestra proveniente de la central de Abastos.

CAPÍTULO III. CONCLUSIÓN

Se cuantificaron 51 negocios dedicados a la venta de cacahuete en los 7 mercados principales de la ciudad Oaxaca.

Se realizó la extracción de aflatoxinas de 17 muestras siguiendo el método de la AOAC modificado para muestras de cacahuete.

Se identificó la presencia de aflatoxinas B₁ en las muestras de cacahuete analizadas, la incidencia de aflatoxinas fue del 70.58%, presentando niveles de contaminación entre 0.17 µg/kg y 2.22 µg/kg.

La NOM-188-SSA1-2002, Productos y Servicios. Control de Aflatoxinas en cereales para consumo humano y animal, establece que los cereales no deben exceder de 20 µg/kg de aflatoxinas totales, en el caso que contengan de 21 hasta 300 µg/kg el cereal únicamente debe usarse para consumo animal, por lo que las muestras analizadas son aptas para consumo humano.

REFERENCIAS

- Biendl, M. (2004). Actividad anticancerígenas: un nuevo aspecto de las sustancias contenidas en el lúpulo. *Orverde*, 2.
- BIOFARM. (2007). *Manual de instrucciones de manejo para kit de Elisa RIDASCREEN Aflatoxin*.
- Bolet, M. (2005). Micotoxinas y Cancer . *Revista de Investigaciones Biomedicas* .
- Campos, V. (2014). *Revista Mexicana de Agrosistemas*. Oaxaca: ITVO.
- Carrillo, L. (2003). *Microbiología Agrícola*.
- Cauderay, P. (1989). Rapid Chemical confirmatipn Method for aflatoxins B1 and G1 by direct acetylation on a thin layer plate before chromatography . *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 197.
- Chu, E. (2003). Mycotoxíns: food contamination, mechanism, carcinogenic potential and preventive measures. *Mutation Res*(259), 291-306.
- Cohen, H., & Lapointe. (1982). High pressure liquid chromatographic detemination and fluorescence detection. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 13721376.
- Council, A. P. (2014). *El mercado de Exportación del Cacahuete* . Peanut USA.
- Díaz, G. (2004). Regulación de nivele máximos tolerables de micotoxinas en materias primas y alimentos terminados. *Veterinaria al día*, 3(1), 22-27.
- Duarte, S. (2004). *Las micotoxinas, conceptos básicos y su perspectiva desde la salud pública veterinaria*. Trabajo de Grado, Universidad Nacional, Bogota, Colombia.

Exebio, L. M. (2014). *Medicina Experimental y Salud Publica*. Lima: Instituto Nacional de Salud de Perú.

FAO. (2004). Reglamentos a nivel mundial para las micotoxinas en los alimentos y en las raciones en el año 2003. *FAO*, 60.

Fernandez, A. (2017). *Micotoxinas como Agentes Químicos de Riesgo*. Mexico : nutrinews.

Flores, A. M. (2015). *Determinación de Aflatoxinas* .

Garza, P. Q. (2014). *La determinación de aflatoxinas en cacahuete puede llevarse a cabo de diversas maneras. Los cacahuates frecuentemente están contaminados con las aflatoxinas B1 y B2 y menos frecuentemente con la combinación de B1, B2, G1, y G2, de manera que es importante*. Barcelona: Universidad Autonoma de Barcelona .

IARC. (2014). International Agency for Research on Cancer.

ICONTEC. (2003). manual de métodos fisicoquímicos para el control de calidad de la leche y sus derivados.

infoAgro. (2016). *Análisis de Competitividad de Cacahuete*. Chihuahua: InfoAgro.

INIFAP. (2015). *Evaluación y Validación de semillas de Alta Productividad en Zonas Productoras de Cacahuete de la Costa de Oaxaca*.

Langone, J. (1986). Aflatoxina B1: specific antibodies and their use in radioimmunoassay. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists.*, 591-595.

Ledesma, J. R. (3 de junio de 2014). Cacahuete, un mercado interno insatisfecho. *El Economista*.

Martinez, L. A. (2015). *Informe Anual de Investigación en variedades de cacahuete (Arachis hypogaea L.) de temporal*. Morelos: SAGARPA.

- Mildenberg, M. (2011). Detección de Aflatoxinas en Leches frescas . *Microbiología Industrial*.
- Miller, D. (2015). *Control de Micotoxinas en los Países de Ingresos Medios y Bajos*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Moreno, J. (2005). Aflatoxina: Metodologías para detección y evaluación. *Avicultura Andina*, 65(14), 34-35.
- Navarro, L. F. (2011). Determinación de Aflatoxinas en Muestras de Maíz y arroz para consumo humano. *Universidad Nacional de Colombia* .
- Nesheim, S. (2001). Fading of aflatoxins spots on TLC plates during fluorescence densitometry . *Journal of the Association of Official Analytical Chemists* , 1444-1445.
- NOM-188-SSA1-2002. (s.f.). *CONTROL DE AFLATOXINAS EN CEREALES PARA CONSUMO HUMANO Y ANIMAL*.
- Padrón, H. Y. (2003). El Género *Aspergillus* y sus Micotoxinas en Maíz en México: Problemática y Perspectivas. *Revista Mexicana de Fitopatología*.
- Palmgren, M. S., & Hayes, A. W. (1987). *Aflatoxins in food*. London: Mycotocins in food.
- Przybylski, W. (1985). Formation of aflatoxin derivatives on thin layer chromatographic plates. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 586-594.
- Quevedo, P. (2014). Ocurrencia y Estimación de la Exposición Humana a Aflatoxinas en Muestras Procedentes de Monterrey. *Universidad Autónoma de Barcelona*.
- Rojas Contreras, O. L., & Wilches Flórez, A. M. (2009). Determinación de aflatoxinas en alimentos de mayor consumo. *Biotva*, 108-116.
- Rojas, A. (2009). *Determinación de Aflatoxinas en Alimentos de Mayor Consumo Infantil*.

SAGARPA. (2015). *Perspectivas de largo plazo para el sector agropecuario de México 2016- 2020*.

México: SFA SAGARPA.

Santos, O. M. (2009). Importancia y Efectos de la Aflatoxina en los Seres Humanos. *Universidad Autonoma de Bucaramanga*.

SIAP. (2015). *Producción Agrícola de Cacahuete* . México.

USDA. (2017). Mexico.

Van Egmond, H. (2005). “ *Aflatoxin M1: Ocurrence, Toxicity, Regulation*” in *Mycotoxins in Dairy Products*. London and New York: Elsevier Applied Science.

Vega, P. V. (2000). *Toxicología de Alimentos*. México: Instituto Nacional de Salud Publica .

Wilches, A. M. (2011). Determinación de Aflatoxinas en Alimentos de Mayor Consumo Infantil . *Bistua*.

Wilson, M. D. (2006). *Aflatoxin Analytical Methods for Groundnuts*. Georgia: ICRISAT.

ANEXOS

Columna Silica-Sulfato de Sodio

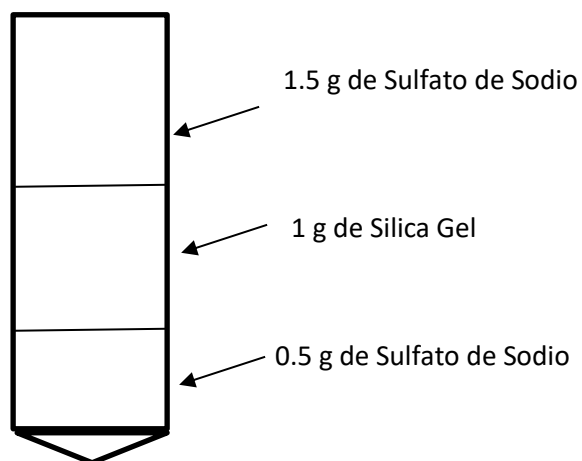


Figura. 3

Tabla 4. Producción de Cacahuete 2009

Ciclo: Agrícola 2009

Modalidad: Riego + Temporal

Cacahuete

Ubicación	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Sup. Siniestrada	Producción	Rendimiento	PMR	Valor Producción
	(Ha)	(Ha)	(Ha)	(Ton)	(Ton/Ha)	(\$/Ton)	(Miles de Pesos)
Aguascalientes	12	8	4	24	3	9,500	228
Campeche	362	362	0	622	2	4,507	2,805
Chiapas	6,709	6,709	0	9,189	1	5,801	53,303
Chihuahua	6,502	6,502	0	20,566	3	6,387	131,361
Colima	102	97	5	102	1	4,893	501
Durango	350	350	0	424	1	12,356	5,244
Guanajuato	1,664	1,607	57	3,924	2	9,559	37,509
Guerrero	2,613	2,613	0	4,170	2	8,569	35,736
Hidalgo	225	225	0	300	1	10,960	3,292
Jalisco	491	488	3	615	1	9,478	5,830
Michoacán	563	557	6	933	2	7,509	7,004
Morelos	637	635	2	1,210	2	8,930	10,803
México	74	74	0	130	2	8,857	1,151
Nayarit	710	710	0	1,434	2	7,015	10,056
Nuevo León	2	2	0	3	2	10,000	30
Oaxaca	6,272	6,272	0	7,860	1	6,479	50,924
Puebla	8,651	6,411	2,240	7,932	1	12,107	96,035
San Luis Potosí	1,869	1,869	0	3,452	2	10,911	37,670
Sinaloa	16,240	14,554	1,686	21,122	1	8,377	176,935
Sonora	721	641	80	822	1	9,793	8,048
Tamaulipas	37	37	0	22	1	10,000	222
Veracruz	391	384	7	453	1	9,333	4,229
Yucatán	51	48	3	48	1	7,834	374
Zacatecas	206	191	15	145	1	8,053	1,169
	55,451	51,343	4,108	85,502	2	7,958	680,458

Fuente:SIAP

Tabla 5. Producción de Cacahuete 2010

Ciclo: Agrícola 2010

Modalidad: Riego + Temporal

Cacahuete

Estado	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Sup. Siniestrada	Producción	Rendimiento	PMR	Valor Producción
	(Ha)	(Ha)	(Ha)	(Ton)	(Ton/Ha)	(\$/Ton)	(Miles de Pesos)
Aguascalientes	10	4	6	13	3	3,500	45
Campeche	438	438	0	716	2	5,950	4,257
Chiapas	6,521	6,299	222	11,586	2	6,077	70,414
Chihuahua	9,764	9,764	0	25,353	3	6,732	170,686
Colima	60	60	0	72	1	8,200	586
Durango	399	399	0	390	1	14,408	5,616
Guanajuato	1,335	1,268	67	2,731	2	9,250	25,258
Guerrero	2,632	2,606	26	4,019	2	10,004	40,212
Hidalgo	248	248	0	314	1	10,214	3,202
Jalisco	391	388	3	720	2	12,000	8,635
Michoacán	671	671	0	976	1	6,046	5,904
Morelos	1,060	1,060	0	1,962	2	10,153	19,923
México	64	64	0	104	2	8,679	904
Nayarit	828	815	13	1,984	2	9,779	19,402
Nuevo León	5	5	0	6	1	20,000	120
Oaxaca	7,360	7,290	70	12,151	2	7,236	87,919
Puebla	7,019	7,019	0	7,660	1	9,293	71,187
Querétaro	5	5	0	7	2	8,650	58
San Luis Potosí	2,378	1,411	967	2,499	2	8,003	20,002
Sinaloa	12,431	11,005	1,426	5,837	1	7,063	41,227
Sonora	1,086	1,086	0	1,572	1	11,790	18,535
Tamaulipas	3	2	1	1	1	14,000	14
Veracruz	488	390	98	517	1	9,170	4,738
Yucatán	57	55	2	43	1	7,732	329
Zacatecas	217	214	3	253	1	9,581	2,427
	55,466	52,564	2,902	81,485	2	7,628	621,602

Fuente:SIAP

Tabla 6. Producción de Cacahuete 2011

Ciclo: Agrícola 2011

Modalidad: Riego + Temporal

Cacahuete

Ubicación	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Sup. Siniestrada	Producción	Rendimiento	PMR	Valor Producción
	(Ha)	(Ha)	(Ha)	(Ton)	(Ton/Ha)	(\$/Ton)	(Miles de Pesos)
Aguascalientes	16	10	6	35	4	6,500	228
Campeche	443	443	0	575	1	11,324	6,506
Chiapas	7,248	7,248	0	13,844	2	10,908	151,008
Chihuahua	6,382	6,280	102	17,783	3	10,723	190,684
Colima	95	46	49	36	1	12,597	459
Durango	441	441	0	399	1	21,107	8,413
Guanajuato	973	937	36	1,782	2	8,057	14,355
Guerrero	2,296	2,296	0	4,194	2	10,533	44,175
Hidalgo	172	172	0	167	1	11,832	1,974
Jalisco	551	540	11	1,148	2	12,384	14,214
Michoacán	551	551	0	766	1	7,278	5,575
Morelos	1,005	1,005	0	1,788	2	9,350	16,719
México	58	58	0	74	1	4,107	303
Nayarit	837	837	0	1,595	2	14,653	23,370
Nuevo León	30	0	30	0	0	0	0
Oaxaca	7,273	7,273	0	9,459	1	12,080	114,257
Puebla	8,632	8,632	0	8,835	1	9,677	85,490
Querétaro	5	5	0	7	2	5,000	37
San Luis Potosí	2,644	2,644	0	3,697	1	12,473	46,106
Sinaloa	21,950	19,665	2,285	11,209	1	9,158	102,654
Sonora	1,014	1,014	0	1,308	1	13,349	17,465
Tamaulipas	670	623	47	477	1	18,000	8,582
Veracruz	424	424	0	445	1	12,171	5,414
Yucatán	39	39	0	47	1	8,977	421
Zacatecas	224	163	62	159	1	9,602	1,528
	63,971	61,344	2,627	79,827	1	10,772	859,935

Fuente:SIAP

Tabla 7. Producción de Cacahuete 2012

Ciclo: Agrícola 2012

Modalidad: Riego + Temporal

Cacahuete

Ubicación	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Sup. Siniestrada	Producción	Rendimiento	PMR	Valor Producción
	(Ha)	(Ha)	(Ha)	(Ton)	(Ton/Ha)	(\$/Ton)	(Miles de Pesos)
Aguascalientes	22	22	0	24	1	10,313	248
Campeche	457	457	0	580	1	16,774	9,725
Chiapas	8,309	8,309	0	15,157	2	10,575	160,285
Chihuahua	11,672	11,432	240	38,014	3	9,271	352,421
Colima	119	119	0	136	1	15,627	2,130
Durango	409	409	0	337	1	17,416	5,876
Guanajuato	859	854	5	1,711	2	7,589	12,987
Guerrero	2,378	2,378	0	4,174	2	11,482	47,923
Hidalgo	262	262	0	283	1	14,336	4,061
Jalisco	901	898	3	1,466	2	14,587	21,391
Michoacán	640	640	0	962	2	11,185	10,760
Morelos	1,086	1,086	0	1,906	2	9,048	17,243
México	68	68	0	120	2	4,078	490
Nayarit	679	599	80	1,471	2	16,501	24,272
Oaxaca	6,574	6,574	0	11,800	2	12,437	146,763
Puebla	6,418	6,418	0	7,814	1	10,032	78,387
Querétaro	4	4	0	8	2	12,000	96
Quintana Roo	40	40	0	44	1	12,000	528
San Luis Potosí	1,866	1,866	0	2,067	1	13,592	28,095
Sinaloa	12,972	12,957	15	23,508	2	10,023	235,615
Sonora	1,450	1,450	0	2,241	2	13,839	31,019
Tamaulipas	226	226	0	182	1	16,000	2,906
Veracruz	532	532	0	583	1	11,243	6,554
Yucatán	20	20	0	35	2	4,442	157
Zacatecas	218	216	2	222	1	10,573	2,346
	58,177	57,832	345	114,846	2	10,469	1,202,279

Fuente:SIAP

Tabla 8. Producción de Cacahuete 2013

Ciclo: Agrícola 2013

Modalidad: Riego + Temporal

Cacahuete

Ubicación	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Sup. Siniestrada	Producción	Rendimiento	PMR	Valor Producción
	(Ha)	(Ha)	(Ha)	(Ton)	(Ton/Ha)	(\$/Ton)	(Miles de Pesos)
Aguascalientes	7	7	0	17	2	11,651	200
Campeche	452	452	0	519	1	11,844	6,147
Chiapas	7,694	7,694	0	15,290	2	8,744	133,699
Chihuahua	7,532	7,532	0	23,256	3	9,748	226,697
Colima	154	62	92	66	1	18,276	1,204
Durango	184	184	0	170	1	22,768	3,879
Guanajuato	826	826	0	2,102	3	7,925	16,662
Guerrero	2,435	1,992	443	3,152	2	11,722	36,942
Hidalgo	233	233	0	257	1	12,986	3,343
Jalisco	604	599	5	953	2	13,630	12,995
Michoacán	730	700	30	1,102	2	12,086	13,322
Morelos	941	938	3	1,719	2	8,142	13,997
México	52	52	0	104	2	2,113	220
Nayarit	688	687	1	1,416	2	16,076	22,769
Nuevo León	30	14	16	14	1	15,000	210
Oaxaca	6,710	6,489	221	10,967	2	7,603	83,384
Puebla	6,318	6,286	32	6,981	1	8,934	62,364
Querétaro	3	3	0	4	1	12,100	44
Quintana Roo	40	40	0	40	1	12,000	480
San Luis Potosí	3,436	3,435	1	3,876	1	12,286	47,614
Sinaloa	16,430	16,319	111	25,396	2	10,480	266,141
Sonora	995	995	0	1,328	1	14,470	19,222
Tamaulipas	72	65	7	52	1	19,999	1,047
Veracruz	584	572	12	662	1	12,689	8,403
Yucatán	32	32	0	63	2	13,055	816
Zacatecas	176	176	0	340	2	10,362	3,528
	57,354	56,382	973	99,849	2	9,868	985,333

Fuente:SIAP

Tabla 9. Producción de Cacahuete 2014

Ciclo: Agrícola 2014

Modalidad: Riego + Temporal

Cacahuete

Ubicación	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Sup. Siniestrada	Producción	Rendimiento	PMR	Valor Producción
	(Ha)	(Ha)	(Ha)	(Ton)	(Ton/Ha)	(\$/Ton)	(Miles de Pesos)
Aguascalientes	15	15	0	32	2	13,179	427
Campeche	473	473	0	548	1	16,676	9,130
Chiapas	6,581	6,581	0	12,016	2	10,508	126,255
Chihuahua	6,150	6,150	0	17,580	3	8,654	152,139
Colima	52	52	0	56	1	17,133	959
Durango	413	413	0	435	1	18,177	7,902
Guanajuato	903	898	5	2,117	2	7,278	15,404
Guerrero	2,678	2,638	40	4,541	2	12,215	55,471
Hidalgo	268	268	0	298	1	12,959	3,856
Jalisco	555	555	0	1,043	2	13,739	14,328
Michoacán	911	911	0	1,483	2	11,350	16,835
Morelos	965	965	0	1,934	2	8,542	16,517
México	63	63	0	131	2	12,459	1,636
Nayarit	825	824	1	1,441	2	14,115	20,343
Nuevo León	40	40	0	80	2	9,000	720
Oaxaca	6,271	6,271	0	10,264	2	9,031	92,692
Puebla	6,777	6,776	1	8,592	1	6,960	59,802
Querétaro	3	3	0	5	2	12,500	60
Quintana Roo	47	47	0	38	1	12,367	470
San Luis Potosí	3,360	3,360	0	3,788	1	10,216	38,697
Sinaloa	19,956	19,673	283	27,639	1	9,014	249,135
Sonora	1,089	1,029	60	1,053	1	12,596	13,264
Tamaulipas	266	266	0	220	1	17,095	3,768
Veracruz	554	554	0	632	1	12,131	7,665
Yucatán	32	32	0	58	2	9,825	565
Zacatecas	173	173	0	325	2	11,879	3,856
	59,415	59,024	390	96,346	2	9,465	911,898

Fuente:SIAP

Tabla 10. Producción de Cacahuete 2015

Ciclo: Año Agrícola 2015

Modalidad: Riego +Temporal

Cacahuete

Ubicación	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Sup. Siniestrada	Producción	Rendimiento	PMR	Valor Producción
	(Ha)	(Ha)	(Ha)	(Ton)	(Ton/Ha)	(\$/Ton)	(Miles de Pesos)
Aguascalientes	6	6	0	6	1	12,199	68
Campeche	481	481	0	551	1	15,531	8,562
Chiapas	7,260	7,260	0	13,433	2	10,761	144,555
Chihuahua	12,307	12,307	0	32,848	3	10,166	333,937
Colima	124	57	67	50	1	19,914	1,000
Durango	470	470	0	503	1	20,305	10,211
Guanajuato	1,281	1,271	10	3,031	2	8,332	25,256
Guerrero	2,353	2,342	11	3,975	2	13,374	53,161
Hidalgo	346	346	0	368	1	12,916	4,755
Jalisco	743	576	167	975	2	13,866	13,518
Michoacán	924	924	0	1,750	2	11,754	20,567
Morelos	850	850	0	1,610	2	8,289	13,346
México	74	74	0	133	2	11,142	1,486
Nayarit	622	530	92	951	2	15,930	15,150
Nuevo León	25	25	0	35	1	12,000	420
Oaxaca	5,776	5,776	0	9,030	2	10,950	98,879
Puebla	6,575	6,574	0	9,249	1	6,439	59,558
Querétaro	5	5	0	9	2	12,670	114
Quintana Roo	28	28	0	25	1	11,917	293
San Luis Potosí	3,734	3,734	0	3,447	1	10,789	37,190
Sinaloa	21,160	21,160	0	22,631	1	11,144	252,205
Sonora	892	892	0	1,062	1	14,659	15,567
Tamaulipas	195	195	0	142	1	14,990	2,133
Veracruz	579	548	31	690	1	11,046	7,624
Yucatán	34	34	0	62	2	11,316	702
Zacatecas	244	244	0	436	2	13,307	5,802
	67,087	66,709	379	107,002	2	10,524	1,126,059

Fuente:SIAP

Tabla 11. Producción de Cacahuete 2015 para Oaxaca por disritos.

Distritos

Ciclo: Agrícola 2015

Modalidad: Riego + Temporal

Cacahuete

	Distrito	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Sup. Siniestrada	Producción	Rendimiento	PMR	Valor Producción
		(Ha)	(Ha)	(Ha)	(Ton)	(Ton/Ha)	(\$/Ton)	(Miles de Pesos)
1	Costa	5,157.00	5,157.00	0.00	8,264.78	1.60	10,990.52	90,834.26
2	Huajuapán de León	33.75	33.75	0.00	24.78	0.73	4,366.38	108.20
3	Istmo	423.00	423.00	0.00	487.12	1.15	8,791.18	4,282.36
4	Valles Centrales	162.50	162.50	0.00	253.37	1.56	14,422.92	3,654.33
		5,776.25	5,776.25		9,030.05	1.56	10,950.01	98,879.15

Fuente:SIAP

Tabla 12. Producción de Cacahuete 2015 para Oaxaca por municipios

Estado: Oaxaca

Municipios

Ciclo: Agrícola 2015

Modalidad: Riego + Temporal

Cacahuete

	Municipio	Sup.	Sup.	Sup.	Producción	Rendimiento	PMR	Valor
		Sembrada	Cosechada	Siniestrada				Producción
		(Ha)	(Ha)	(Ha)	(Ton)	(Ton/Ha)	(\$/Ton)	(Miles de Pesos)
1	Asunción Ixtaltepec	64.00	64.00	0.00	51.70	0.81	9,391.20	485.52
2	Cuilapam de Guerrero	55.00	55.00	0.00	85.25	1.55	14,383.84	1,226.22
3	Fresnillo de Trujano	4.00	4.00	0.00	2.80	0.70	4,350.00	12.18
4	Guadalupe de Ramírez	1.00	1.00	0.00	0.78	0.78	4,300.00	3.35
5	Mariscal de Juárez	7.00	7.00	0.00	5.80	0.83	4,400.00	25.52
6	San José Ayuquila	3.25	3.25	0.00	2.40	0.74	4,250.00	10.20
7	San Martín Zacatepec	1.50	1.50	0.00	1.00	0.67	4,400.00	4.40
8	San Miguel Amatitlán	5.50	5.50	0.00	3.80	0.69	4,300.00	16.34
9	San Nicolás Hidalgo	3.50	3.50	0.00	2.30	0.66	4,500.00	10.35
10	San Pedro Mixtepec	876.00	876.00	0.00	1,389.28	1.59	10,729.43	14,906.19
11	San Raymundo Jalpan	23.00	23.00	0.00	34.04	1.48	14,402.69	490.27
12	San Simón Zahuatlán	0.50	0.50	0.00	0.30	0.60	4,350.00	1.30
13	Santa Cruz Tacache de Mina	1.75	1.75	0.00	1.30	0.74	4,500.00	5.85

14	Santa María Colotepec	2,643.00	2,643.00	0.00	4,080.30	1.54	11,276.86	46,012.95
15	Santa María Cortijo	15.00	15.00	0.00	25.95	1.73	11,220.00	291.16
16	Santa María Huatulco	20.00	20.00	0.00	24.00	1.20	11,500.42	276.01
17	Santa María Huazolotitlan	23.00	23.00	0.00	40.71	1.77	11,726.08	477.37
18	Santa María Tonameca	527.00	527.00	0.00	834.10	1.58	11,283.33	9,411.42
19	Santiago Ayuquillilla	4.00	4.00	0.00	3.10	0.78	4,350.00	13.48
20	Santiago Jamiltepec	80.00	80.00	0.00	143.20	1.79	11,847.50	1,696.56
21	Santiago Niltepec	158.00	158.00	0.00	227.52	1.44	7,950.08	1,808.80
22	Santiago Pinotepa Nacional	58.00	58.00	0.00	102.66	1.77	11,586.21	1,189.44
23	Santiago Tamazola	0.75	0.75	0.00	0.55	0.73	4,400.00	2.42
24	Santo Domingo Ingenio	170.00	170.00	0.00	181.20	1.07	9,799.25	1,775.62
25	Santo Domingo Tehuantepec	31.00	31.00	0.00	26.70	0.86	7,955.33	212.41
26	Silacayoapam	1.00	1.00	0.00	0.65	0.65	4,300.00	2.80
27	Trinidad Zaachila	22.50	22.50	0.00	34.88	1.55	14,394.76	502.09
28	Villa de Tututepec de Melchor Ocampo	915.00	915.00	0.00	1,624.58	1.78	10,201.50	16,573.16
29	Villa de Zaachila	62.00	62.00	0.00	99.20	1.60	14,473.34	1,435.76
		5,776.25	5,776.25		9,030.05	1.56	10,950.01	98,879.15

Fuente:SIAP

Tabla 13. Producción de Cacahuete 2000 para Oaxaca por distrito

Estado: Oaxaca

Distritos

Ciclo: Agrícola 2000

Modalidad: Riego + Temporal

Cacahuete

	Distrito	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Sup. Siniestrada	Producción	Rendimiento	PMR	Valor Producción
		(Ha)	(Ha)	(Ha)	(Ton)	(Ton/Ha)	(\$/Ton)	(Miles de Pesos)
1	Costa	14,700.00	14,700.00	0.00	25,350.00	1.72	4,536.29	114,995.00
2	Huajuapán de León	300.00	300.00	0.00	180.00	0.60	5,000.00	900.00
3	Istmo	366.00	366.00	0.00	590.00	1.61	4,743.73	2,798.80
4	Valles Centrales	380.00	332.00	48.00	265.00	0.80	6,000.00	1,590.00
		15,746.00	15,698.00	48.00	26,385.00	1.68	4,558.79	120,283.80

Fuente:SIAP

Tabla 14. Producción de Cacahuete 2006 para Oaxaca por distrito

Estado: Oaxaca

Ciclo: Agrícola 2006

Modalidad: Riego + Temporal

Cacahuete

	Distrito	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Sup. Siniestrada	Producción	Rendimiento	PMR	Valor Producción
		(Ha)	(Ha)	(Ha)	(Ton)	(Ton/Ha)	(\$/Ton)	(Miles de Pesos)
1	Costa	2,721.00	2,721.00	0.00	3,808.50	1.40	5,122.20	19,507.90
2	Huajuapán de León	63.00	30.00	33.00	18.00	0.60	2,000.00	36.00
3	Istmo	363.00	363.00	0.00	391.60	1.08	9,168.03	3,590.20
4	Valles Centrales	385.00	385.00	0.00	357.00	0.93	8,000.00	2,856.00
		3,532.00	3,499.00	33.00	4,575.10	1.31	5,680.77	25,990.10

Fuente:SIAP