

Incidencia de micotoxinas en maíz (*Zea mays* L.) en los departamentos de Santa Bárbara y Copán, Honduras

**Milton Elí Fión Aguilar
Omar Ernesto Méndez López**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2018

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

Incidencia de micotoxinas en maíz (*Zea mays* L.) en los departamentos de Santa Bárbara y Copán, Honduras

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingenieros en Agroindustria Alimentaria en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Milton Elí Fión Aguilar
Omar Ernesto Méndez López

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2018

Incidencia de micotoxinas en maíz (*Zea mays* L.) en los departamentos de Santa Bárbara y Copán, Honduras

**Milton Elí Fión Aguilar
Omar Ernesto Méndez López**

Resumen. El maíz es la principal fuente de energía para la mayoría de poblaciones rurales de Honduras. Se estimó la incidencia de micotoxinas y su relación con el sistema post producción en los departamentos de Santa Bárbara y Copán a través de un estudio descriptivo transversal. La recolección de datos se hizo de diciembre 2017 a febrero 2018 y de mayo a junio 2018; se tomaron 304 muestras de maíz de consumo y descarte provenientes de vendedores y productores y se aplicó una encuesta técnica. Para cuantificar la micotoxinas las muestras se analizaron por fluorometría-ELISA. No existieron diferencias significativas de contaminación entre departamentos ($P > 0.05$). De acuerdo a la encuesta, 78% de productores excede el tiempo recomendado entre madurez fisiológica y cosecha, 57% seca el grano exponiéndolo al sol sobre nylon. Un 88% almacena el maíz en granos, de estos: 50% en silos metálicos y 88% utiliza fosfina para controlar insectos. El 54% almacena más de 125 días; las pérdidas principales son causadas por insectos (56%). Las aflatoxinas estuvieron presentes en 24.91% de las muestras en rangos de 1 a 430 ppb, y fumonisinas en 97.74% con niveles de 0.25 a 25 ppm. La exposición dietaria a fumonisinas varía entre 0.83 y 200.76 $\mu\text{g/kg}$ de peso corporal. Para las aflatoxinas varía entre 0.0006 y 3.63 $\mu\text{g/kg}$. El sistema post producción es tradicional favoreciendo la incidencia de micotoxinas. La probabilidad de exposición a fumonisinas es más alta que aflatoxinas, pero con alto potencial de daño por exposición simultánea.

Palabras clave: Aflatoxinas, exposición dietaria, fumonisinas, post producción.

Abstract. Corn is the main energy source for the majority of rural populations in Honduras. The incidence of mycotoxins and its relationship with the post-production system in the departments of Santa Barbara and Copan was estimated. Data was collected between December 2017 and February 2018, and from May to June 2018. A total of 304 samples of corn for human consumption and discarded corn were taken from retailers and producers, and a technical survey was applied. An ELISA-fluorometry test was used to quantify the levels of mycotoxins. No significant differences in contamination were found between departments ($P > 0.05$) when evaluating the samples as a group. Most producers (78%) exceed the recommended period between physiological maturity and harvest. The most frequent technique used for drying is sun drying over a nylon sheet (57%). Eighty eight percent of producers store grain, from them: 50% in metal bins and 88% use phosphine to control insects. Most producers (54%) store grains for more than 125 days and insects caused the greater grain losses (56%). Aflatoxins were present in 24.91% of the samples in concentrations between 1 and 430 ppb, 97.74% of the samples contained fumonisines in ranges between 0.25 and 25 ppm. Dietary exposure to fumonisines varies between 0.83 and 200.76 $\mu\text{g/kg}$ of body weight. For aflatoxins varies between 0.0006 and 3.63 $\mu\text{g/kg}$. The post-production system is traditional which favors the incidence of mycotoxins. The probability of exposure to fumonisines is greater than that of aflatoxins but with high potential of damage due to simultaneous exposure.

Key words: Aflatoxins, dietary exposure, fumonisines, post production.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	6
4. CONCLUSIONES	26
5. RECOMENDACIONES	27
6. LITERATURA CITADA	28
7. ANEXOS	34

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Distribución de muestras de maíz (<i>Z. mayz</i> L.) colectadas en Santa Bárbara y Copán Honduras.	4
2. Comparación de niveles de micotoxinas en maíz (<i>Z. mayz</i> L.) procedente de Santa Bárbara y Copán Honduras.	6
3. Comparación de niveles de micotoxinas en maíz (<i>Z. mayz</i> L.) procedente de la primera y postrera temporada de producción.	7
4. Prueba de Chi Cuadrado para independencia de variables respecto a la presencia de micotoxinas en maíz usado para descarte y alimentación.	19
5. Incidencia de micotoxinas en muestras de maíz (<i>Z. mayz</i> L.) usado para descarte o alimentación.	20
6. Comparación de niveles de micotoxinas entre maíz (<i>Zea mayz</i> L.) destinado a consumo y maíz destinado a descarte.....	24
7. Comparación de niveles de micotoxinas en maíz (<i>Zea mayz</i> L.) de productores y centros de venta en los departamentos de Santa Bárbara y Copán Honduras mediante una prueba t.....	24
8. Comparación de niveles de micotoxinas en maíz (<i>Zea mayz</i> L.) almacenado con humedad superior e inferior al 13% mediante una prueba t.....	25
9. Comparación de niveles de micotoxinas en maíz (<i>Zea mayz</i> L.) producido a partir de material genético criollo y mejorado.	25
Figuras	Página
1. Materiales genéticos utilizados en la producción de maíz (<i>Z. mayz</i> L.) en Santa Bárbara y Copán Honduras.	8
2. Tiempo transcurrido entre dobla y cosecha de maíz (<i>Z. mayz</i> L.) en Santa Bárbara y Copán Honduras.	10
3. Metodología y momento de secado de maíz (<i>Z. mayz</i> L.) en Santa Bárbara y Copán Honduras.	11
4. Tipo de almacenamiento para maíz (<i>Z. mayz</i> L.) en mazorca en Santa Bárbara y Copán Honduras.	13
5. Tipo de almacenamiento de maíz (<i>Z. mayz</i> L.) a granel en Santa Bárbara y Copán Honduras.....	14
6. Principales razones de pérdida de granos de maíz (<i>Z. mayz</i> L.) en periodo post producción de acuerdo a los productores en Santa Bárbara y Copán Honduras. ...	15
7. Parámetros de calidad evaluados por comerciantes para la compra de maíz (<i>Z. mayz</i> L.) en Santa Bárbara y Copán Honduras.	16

Figuras	Página
8. Periodo de almacenamiento de maíz (<i>Z. mayz</i> L.) por productores y vendedores en Santa Bárbara y Copán Honduras.....	17
9. Acción o uso de granos de maíz (<i>Z. mayz</i> L.) de descarte por productores y vendedores en Santa Bárbara y Copán Honduras.....	18
10. Consumo de maíz (<i>Z. mayz</i> L.) por familia en Santa Bárbara y Copán Honduras..	19
11. Niveles de fumonisinas totales en maíz en Santa Bárbara y Copán Honduras.	20
12. Ingesta diaria de fumonisinas totales por consumo de maíz (<i>Z. mayz</i> L.) en Santa Bárbara y Copán Honduras.	21
13. Aflatoxinas en maíz (<i>Zea mayz</i> L.) destinado a consumo en Santa Bárbara y Copán Honduras.	22
14. Ingesta diaria de aflatoxinas totales por consumo de maíz (<i>Zea mayz</i> L.) en Santa Bárbara y Copán Honduras.	23
Anexos	Página
1. Modelo de encuesta aplicada a productores.	34
2. Modelo de encuesta aplicado a vendedores.....	38

1. INTRODUCCIÓN

Asociado a rasgos culturales, el maíz (*Zea mays* L.) y el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) constituyen la base de la dieta hondureña. El maíz llegó a los 79 kg de consumo per cápita anual en 2013, principalmente en forma de tortillas (PESA-PRESANCA II-PRESISAN 2013). El maíz es un grano propenso a la infección de diversos hongos (Medina *et al.* 2014). Para empeorar la situación, las inadecuadas prácticas post producción pueden propiciar su desarrollo a tal punto que produzcan micotoxinas (Kamala *et al.* 2018).

Las micotoxinas son metabolitos secundarios tóxicos producidos por cierto tipo de hongos que pueden causar daño en humanos y animales. Los tipos más comunes en maíz son las fumonisinas y aflatoxinas (OMS 2018). Las fumonisinas se relacionan con la presencia de *Fusarium verticillioides* y *Fusarium proliferatum* (Kowalska *et al.* 2017). Estos se consideran hongos de campo con requerimientos de humedad $\geq 18\%$ (Información proporcionada por Sabillon en conferencia de USAID). Por otra parte, las aflatoxinas son producidas por *Aspergillus flavus* y *Aspergillus parasiticus*. Los anteriores son mohos de almacenamiento y requieren actividad de agua ≥ 0.7 aproximadamente y $\geq 16.5-17\%$ de humedad en granos de maíz para su crecimiento (Bhatnagar *et al.* 2018).

En otro orden de ideas, Copán y Santa Bárbara son departamentos situados en el occidente de Honduras donde ambos pertenecen a la región denominada corredor seco. En relación al estado nutricional de los niños, Copán presenta prevalencia de emaciación, bajo peso y retraso de crecimiento en 3, 12 y 31.6%, respectivamente. Asimismo, Santa Bárbara mantiene un 6.4, 10.1 y 27.5% para los indicadores mencionados (USAID 2015).

Se sabe que las causas de retraso de crecimiento son de carácter multifactorial, generalmente atribuidas a condiciones de pobreza, oferta de dietas deficientes en cantidad y calidad y contaminación con micotoxinas (Black *et al.* 2013). En relación a lo anterior se ha comprobado que el nivel de aflatoxina B1 medido en sangre de mujeres gestantes mantiene relación inversa con el peso de los infantes al nacimiento (Shuaib *et al.* 2010). De la misma manera, se determinó que en etapas subsiguientes de desarrollo la tasa de crecimiento se ve reducida por la exposición a altos niveles de dicha toxina (Gong *et al.* 2004). Respecto a las fumonisinas, estudios han revelado que existe correlación positiva entre altos niveles de exposición dietaria y frecuencia de cáncer esofágico (Sun *et al.* 2011). De igual forma se alude que dichos niveles podrían aumentar el riesgo a daños en el tubo neural (NTD por sus siglas en inglés) durante el desarrollo embrionario (Missmer *et al.* 2006).

Ante el escenario anterior se perciben muchos problemas existentes y potenciales y una posible causa. La presunción se respalda por estudios recientes en países vecinos como Guatemala, con similitud de condiciones, revelan que buena proporción del grano consumido presenta niveles considerables de micotoxinas (Torres de Matute 2013; Torres *et al.* 2015). Además, el problema se acentúa porque se estima que el 45.8% de los hogares en estos departamentos están en pobreza y el 77% de sus habitantes residen en el área rural (USAID 2015). Debido a que no existe información del grado de exposición dietaria de los habitantes de ambos departamentos a estos contaminantes tóxicos, se plantearon los siguientes objetivos en este estudio:

- Estimar el nivel de exposición de la población de Copán y Santa Bárbara Honduras a fumonisinas y aflatoxinas por consumo de maíz (*Z. mays* L.).
- Caracterizar el sistema post producción de maíz (*Z. mays* L.) en Copán y Santa Bárbara Honduras.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del estudio.

Se realizó un estudio transversal descriptivo de dos cortes con productores y comercializadores de maíz pertenecientes a los departamentos de Copán y Santa Bárbara. Se realizó estratificación por departamento y temporada de producción. La fase de toma de muestras se realizó de diciembre a febrero y de mayo a junio del 2018.

Localización.

Las muestras de maíz se colectaron en los departamentos de Copán y Santa Bárbara como parte del proyecto “*Feed the Future*” de la Agencia Internacional de Desarrollo de los Estados Unidos (USAID por sus siglas en inglés) que abarca la zona occidental del corredor seco de Honduras. Los análisis preliminares de humedad, densidad y temperatura de campo se realizaron en oficinas centrales de Fintrac en los departamentos de Copán y Santa Bárbara. Los análisis de micotoxinas se realizaron en el laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano LAAZ. La Escuela Agrícola Panamericana está ubicada a 30 km sur de Tegucigalpa, municipio de San Antonio de Oriente en el departamento de Francisco Morazán, Honduras.

Tamaño de la muestra.

Se aplicó una medición de muestra para una población infinita ya que no se conocía la cantidad exacta de productores y comercializadores de maíz en la región. Se generó la cantidad de muestras necesarias con un nivel de confianza del 95% usando la ecuación 1.

$$n = \frac{p \times q}{e^2} \quad [1]$$

$$n = \frac{(0.5)(0.5)}{(0.05)^2} = 100 \text{ muestras}$$

Dónde:

p = probabilidad de presencia de micotoxinas 50%

q=probabilidad de ausencia de micotoxinas 50%

e = error del 5% (5/100)

Para aumentar la confiabilidad del estudio se realizaron 304 muestras en colaboración con Fintrac. La distribución de lugar y origen de las muestras se describen en el cuadro 1.

Cuadro 1. Distribución de muestras de maíz (*Z. mays* L.) colectadas en Santa Bárbara y Copán Honduras.

Tipo de muestra	Copán		Santa Bárbara		Total
	1er. Muestreo ¹	2do. Muestreo ²	1er. Muestreo ¹	2do. Muestreo ²	
Consumo (productor)	24	70	41	74	209
Consumo (vendedor)	17	20	10	16	63
Maíz de descarte	0	3	0	29	32
Total	41	93	52	119	304

¹ Realizado de diciembre de 2017 a febrero de 2018.

² Realizado de mayo a junio de 2018.

Recolección de muestras.

Se recolectaron muestras utilizando alveolos, cada una de 2 kg de maíz de productores y vendedores de maíz a través de la colaboración de Fintrac Honduras. Cuando las muestras excedían los 2 kg se realizó la división utilizando un divisor Boerner Seedburo Modelo 34. Las recolecciones fueron tomadas en dos épocas, diciembre 2017 a febrero 2018 y de mayo a junio 2018, considerando las temporadas de producción. Se tomaron datos de cada muestra incluyendo la humedad de campo, densidad y temperatura. Durante la recolección de las muestras se entrevistó a productores y comercializadores. Dicha herramienta permitió obtener información asociada al sistema de post-producción y cadena de valor del maíz en dicha región. Las muestras fueron almacenadas junto con las encuestas en doble bolsas Ziploc® y almacenadas a una temperatura -20 ± 4 °C hasta su traslado al laboratorio a Zamorano.

Proceso pre análisis.

Se midió humedad de laboratorio, densidad y temperatura utilizando el medidor DICKEY-john 500XT. Las muestras con niveles de humedad superior al 15% se secaron en un horno de convección Napco® modelo 630 a una temperatura de 40 °C hasta que llegaron a 14-15% de humedad. Se prosiguió a la molienda en el Molino Romer Serie II separando una muestra de descarte inicial de 50 g para evitar la contaminación cruzada entre muestras. Luego se refrigeraron nuevamente hasta su posterior análisis.

Método utilizado.

Se utilizó un método complementario de fluorometría y ensayos competitivos por inmunoabsorción ligado a enzimas (ELISA por sus siglas en inglés) a través de columnas de inmunoafinidad FumoniTest™ y AflaTest™ de VICAM. El límite de detección inferior de 0.25ppm y 1 ppb y 100ppm y 50ppb como límite superior para la cuantificación de fumonisinas y aflatoxinas respectivamente. Cuando las mediciones excedieron el límite superior se realizaron diluciones, la concentración final se ajustó por el factor de dilución.

Análisis de fumonisinas.

Se pesaron 50 g de maíz molido y se agregaron 5 g de NaCl y 100ml de Metanol grado HPLC al 80% como solución extractora. El mezclado se realizó en una licuadora Oster® por 1 minuto. Se filtró utilizando papel de filtro estriado, posteriormente 10ml del filtrado se mezcló con 40 ml de solución 1x 0.1% Tween 20/2.5% PEG/PBS y se sometió a un segundo filtrado usando un filtro de microfibra. Se tomó 5 ml del extracto y se pasaron por las columnas FumoniTest™ a velocidad de 1 gota por segundo. Posteriormente, se pasaron 10 ml de solución 1x 0.1% Tween 20/2.5% PEG/PBS por la columna. También 10 ml de solución 1x PBS en dos ocasiones a velocidad de 1-2 gotas por segundo. Después se realizó la elusión utilizando 1 ml de metanol grado HPLC al 100%. Finalmente, se agregó 1 ml de solución desarrolladora a la elusión, se mezclaron y se midió la concentración de fumonisinas en ppm utilizando el fluorómetro VICAM serie-4EX (VICAM 2015).

Análisis de aflatoxinas.

Se pesaron 25 g de maíz molido, 5 g de sal y 125 ml de Metanol grado HPLC al 70% como solución extractora. El mezclado se realizó en una licuadora Oster® por 2 minutos. Se filtró utilizando papel de filtro estriado. Posteriormente, 15 ml del filtrado se mezcló con 30 ml de H₂O y sometió a un segundo filtrado usando un filtro de microfibra. Se tomó 15 ml del extracto y se pasaron por las columnas AflaTest™ a velocidad de 1 gota por segundo. Después, se pasaron 10 ml de H₂O por la columna en dos ocasiones a velocidad de 1-2 gotas por segundo. La elusión se realizó utilizando 1 ml de metanol grado HPLC al 100%. Finalmente se agregó 1 ml de solución desarrolladora a la elusión, se mezclaron y se midió la concentración de aflatoxinas en ppb, utilizando el fluorómetro VICAM serie-4EX (VICAM 2014).

Análisis de resultados.

Se utilizó un diseño de muestras independientes. Los datos recolectados se analizaron con la prueba t de estudiante y se obtuvieron las medidas de tendencia central y de dispersión para ciertas variables. De igual forma, se midió la independencia de variables y su distribución según el origen de muestras y presencia de micotoxinas mediante pruebas de Chi Cuadrado. Los datos fueron analizados con el programa “Statistical Analysis Software” (Base SAS versión 9.4®).

Basado en los datos recolectados se realizó un análisis de exposición dietaria de fumonisinas y aflatoxinas. Para lo cual se tomó el consumo diario por familia y el peso global. Se asumió el peso de adultos en 60 kg y de un niño de 3 años equivalente a 14.4 kg (OMS 2008) y se calculó la ingesta diaria probable usando las ecuaciones 2 y 3 (FAO 2004; FAO y WHO 2009, 2017; Knutsen *et al.* 2018).

$$\text{Peso total por familia (Kg)} = (\text{No. Adultos} \times 60 \text{ kg} + \text{No. Niños} \times 14.4 \text{ kg}) \quad [2]$$

$$\text{Exposición dietaria } \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{kg}} \right) = \frac{\text{Consumo Diario familiar (g)} \times \text{Concentración ppm}}{\text{Peso total por familia (kg)}} \quad [3]$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contaminación de micotoxinas según departamento y temporada de producción.

La prueba t aplicada a los resultados de análisis de fumonisinas y aflatoxinas demuestra que no existen diferencias significativas de contaminación entre maíz producido en el departamento de Santa Bárbara y Copán a una $Pr > 0.05$ (cuadro 2).

Cuadro 2. Comparación de niveles de micotoxinas en maíz (*Z. mays* L.) procedente de Santa Bárbara y Copán Honduras.

Micotoxina	Varianzas	Método	GL	Valor t	Pr > t
Fumonisin	No iguales	Satterthwaite	118.37	0.58	0.56
Aflatoxina	No iguales	Satterthwaite	31.689	1	0.3254

De acuerdo con Samapundo (2006), existen diversos factores eco fisiológicos que permiten la supervivencia y desarrollo de hongos. Se menciona: la disponibilidad de agua, temperatura, inóculo presente, interacción con otros organismos y la susceptibilidad de los granos. En adición a estos, (Mendoza *et al.* 2018), estudiaron el efecto de la altitud sobre los niveles de micotoxinas sin encontrar relaciones significativas.

Las temperaturas reportadas durante el periodo de estudio se mantuvieron entre 23.6 y 27.6 °C para Santa Bárbara y entre 21.9 y 25.8 °C para Copán (SAG 2018). (Bhatnagar *et al.* 2018) sostienen que la germinación ideal de los conidios de *Aspergillus* sp. ocurre entre los 25 y 30 °C pero también puede suceder a temperaturas menores a los 20 °C. De forma similar, la temperatura para desarrollo de micelio de *Fusarium* sp. es de 25 °C y la inducción máxima de producción de fumonisinas es a los 20 °C (Marín *et al.* 2010). Por consiguiente, la similitud de temperaturas revela -en parte- porqué la concentración de micotoxinas es igual en ambos departamentos.

Considerando el nivel de humedad en el grano como factor importante y la disponibilidad de agua en los campos de producción, y considerada la distribución bimodal de lluvias en la región se evaluó el efecto de la época de producción (primera y postrera). La prueba t indicó que no hay diferencias significativas a una $Pr < 0.05$ en concentración de fumonisinas y aflatoxinas (cuadro 3).

Cuadro 3. Comparación de niveles de micotoxinas en maíz (*Z. mayz* L.) procedente de la primera y postrera temporada de producción.

Micotoxina	Varianzas	Método	GL	Valor t	Pr > t
Fumonisin	No iguales	Satterthwaite	143.81	-1.3	0.1971
Aflatoxina	Iguales	Pooled	163	-0.48	0.6329

La precipitación estimada para la primera temporada de producción es de 1260 y 1398 mm para Copán y Santa Bárbara respectivamente. Para la segunda temporada se reportan 380 y 500 mm (SAG 2018). Se consideró que las fechas de siembra varían para cada productor y municipio específico, pero se efectúan en un rango de 10 semanas para la primera temporada y se extiende hasta 16 en la temporada postrera. Por lo tanto, la precipitación y consecuente humedad trasladada a la mazorca difieren ampliamente.

También hay que tener en cuenta la actividad de agua, en las etapas fenológicas R4 y R5 son de 0.976 y 0.958 (Bhatnagar *et al.* 2018). Por lo anterior, puede afirmarse que los niveles de humedad son condición necesaria para la producción de micotoxinas mas no suficiente. Algunos autores sobreponen la temperatura como detonante para la expresión de genes micotoxigénicos (Schmidt-Heydt *et al.* 2008) además, la sequía, daños de insectos, daños mecánicos y concentraciones de CO₂ -relacionado al cambio climático- pueden inducir el estrés oxidativo (Medina *et al.* 2014; Raiola *et al.* 2014).

Comprobado que los criterios evaluados no ejercen efecto sobre la contaminación de micotoxinas puede suponerse que las prácticas de manejo son indistintas en los departamentos estudiados. Por consiguiente, la caracterización del sistema post producción y demás análisis se presentan como un solo grupo.

Materiales genéticos y origen de semillas.

En la figura 1 se observa la distribución de materiales genéticos utilizados en la producción de maíz en la región estudiada. Con mayor frecuencia se reportó la semilla denominada criolla con un 38% que corresponde a una categoría que abarca diversos materiales no caracterizados. En seguida con 26% se encuentra un material conocido con diferente nombre según el departamento (Raque en Copán y Olotillo en Santa Bárbara) pero con igual expresión fenotípica. En orden de frecuencia prosigue un grupo de variedades aisladas con 11%, Guayape con 10%, Round up con 4% y finalmente Montaña y Valle verde con 2% cada uno.

El material genético utilizado puede ser trascendental en el sistema post producción por su respuesta en grado de susceptibilidad, tolerancia o resistencia ante adversidades de origen biótico o abiótico. Los materiales recomendados a utilizar en la región estudiada son: DICTA-LADERA, DICTA-SEQUÍA, GUAYAPE, VICTORIA (maíz amarillo) y DICTA 96 para la segunda temporada de siembra donde se han reportado casos de mancha de asfalto (provocada por *Phyllachora maydis* Maubl. y *Monographella maydis*) (SAG 2017).

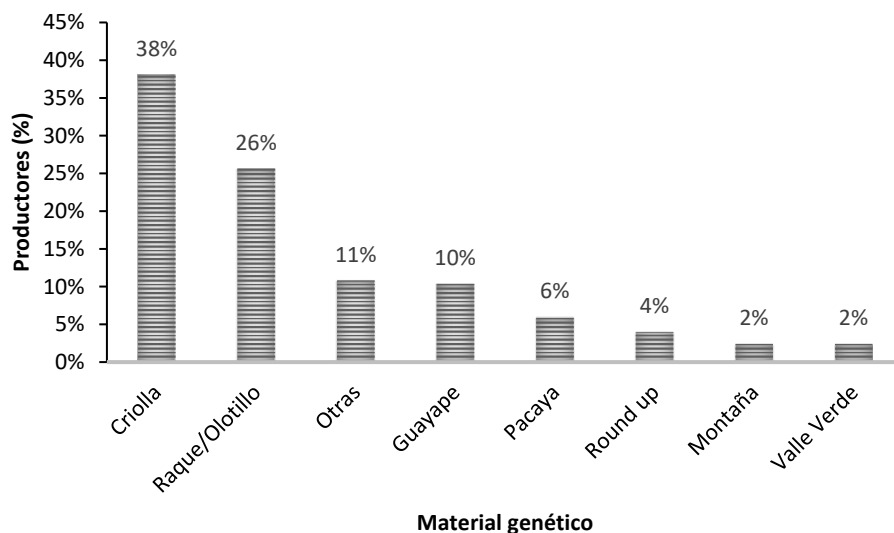


Figura 1. Materiales genéticos utilizados en la producción de maíz (*Z. mays* L.) en Santa Bárbara y Copán Honduras.

De todos los materiales recomendados solo se utiliza Guayape por un 10% de los productores lo cual obedece a varios factores. En primer lugar, las diferencias sensoriales de los productos a base de maíz cuando se utilizan otros materiales no criollos. Otro aspecto que influye es la adaptación que las variedades criollas presentan al ataque de plagas en el almacenamiento. De acuerdo con Suleiman *et al.* (2015) las variedades de maíz indurata - la mayoría de criollas- son menos susceptibles que las indentata -todas las mejoradas- por la dureza de su pericarpio. Finalmente, la falta de recursos es otra explicación de por qué las personas no siguen las recomendaciones proveídas. Pese a la adaptación de semillas criollas, las semillas mejoradas podrían comportarse mejor en las condiciones de variabilidad y cambio climático que se presentan en el corredor seco. Por lo anterior el incremento de uso de variedades mejoradas constituye un reto para la Secretaría de Agricultura y Ganadería en Honduras.

La proporción de origen de semilla es de 90% criollas y 10% mejoradas. Se considera mejorado si los productores adquieren la semilla en casas comerciales y criollo si seleccionan semilla de cosechas anteriores. Al interpolar la información en mención, puede verificarse que la semilla utilizada no necesariamente cuenta con la pureza genética que se esperaría. La proporción reportada en la figura 1 de variedades no criollas (Guayape, Round up, Montaña y Valle verde) supera el 10% de semillas mejoradas mencionado anteriormente. Lo anterior deriva de la práctica de comprar semillas mejoradas y seleccionar semilla en temporadas siguientes. Consecuentemente, la frecuencia de genes de interés se ve reducida siguiendo el principio de segregación mendeliana.

Dobla y cosecha del maíz.

Una buena proporción de productores entrevistados (94%) afirma realizar la dobla de maíz en campo. Esta práctica consiste en doblar el tallo de la planta debajo de las mazorcas con el propósito que seque más rápido. Sin embargo, lo que se produce es una suspensión del transporte de agua y nutrientes hacia el grano. Hay algunas ventajas como: evitar el ingreso de agua por las puntas de la mazorca durante la época lluviosa y reducir daño por pájaros. El tiempo ideal para realizar esta práctica es cuando el grano está en madurez fisiológica y coincide con la coloración amarillenta de las hojas (DICTA 2013). El tiempo después de siembra para realizar esta práctica puede variar entre los 80 a 105 días (Piñar Ballesteros 2012; ICTA 2014).

Sin considerar la edad de la plantación, los productores entrevistados se basan en diferentes criterios para realizar la dobla. El 73% considera el color de hojas, un 14% realizan muestreo de incrustar la uña en el grano para determinar su dureza y asociarla al contenido de humedad, un 4% se guía por el color de la mazorca, un 3% considera el punto oscuro de abscisión entre el grano y raquis, y finalmente un 5% observa otros indicadores como color de flor o brácteas.

En cuanto a la cosecha -llamada tapisca-, se recomienda hacerla 25 a 30 días después de la dobla (Piñar Ballesteros 2012; ICTA 2014). En ese periodo se espera que los niveles de humedad descendan de 30-35% en madurez fisiológica a 22-24% al momento de cosecha (DICTA 2013). Parecido a lo que sucede en la dobla, los criterios de cosecha son: que la planta esté totalmente seca (57%), color de hojas (30%), muestreo bucal (11%) o muestreo de uña (9%), finalmente, puede apreciarse el color de bráctea o facilidad de desgrane (4%).

Se estimó el tiempo que pasa entre la dobla y la cosecha. La distribución de frecuencias se detalla en la figura 2. Los valores tienen una media de 66 días y desviación estándar de 46 días. Se debe subrayar que el 78.5% de entrevistados no cumplen con el periodo recomendado.

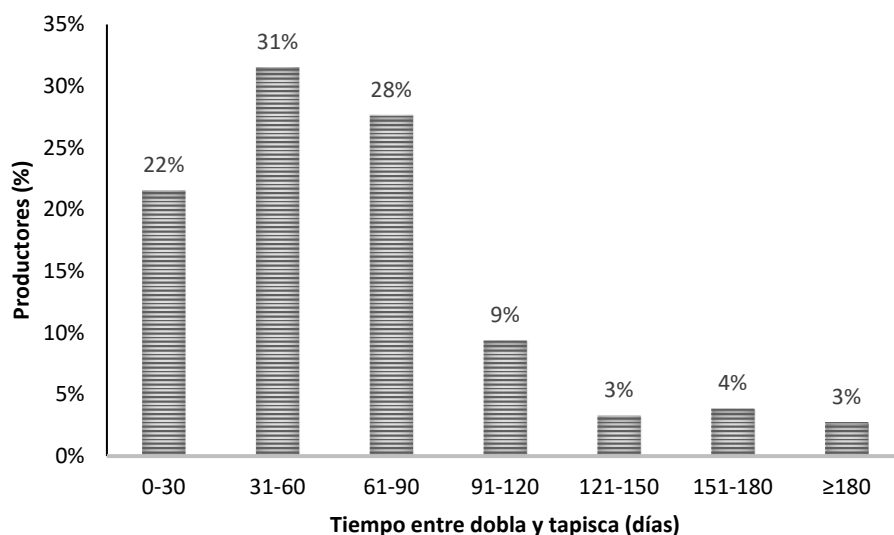


Figura 2. Tiempo transcurrido entre dobla y cosecha de maíz (*Z. mays* L.) en Santa Bárbara y Copán Honduras.

Selección y secado de maíz.

Todas las personas realizan algún tipo de selección de maíz. Puede ser para obtener semilla para la siguiente temporada o granos de calidad para consumo o almacenamiento. Evaluaciones similares en Guatemala revelan que los indicadores comunes evaluados son: color de la mazorca, tamaño del grano, granos por mazorca y con menor frecuencia el peso -selección para semilla-. Los criterios al seleccionar para consumo y almacenamiento son: granos limpios y sin contaminación por hongos (Mendoza *et al.* 2017).

La fase del proceso donde se realiza la selección varía; el 29.52% de los productores indicó hacerlo en campo, otro 29.52% previo al secado y el restante 40.97% lo hace antes de almacenar. Lo expuesto debe considerarse pues cuanto antes el grano malo sea desechado la diseminación de plagas y hongos presentes puede evitarse. Las mazorcas o granos no seleccionados se consideran como descarte y las diferentes acciones aplicadas o usos dados se discutirán más adelante.

El secado por su parte constituye un punto crítico del sistema post producción después de tiempo entre dobla y cosecha. Lo anterior se sustenta en que el grado de humedad en el grano puede favorecer el desarrollo de hongos, principalmente del género *Aspergillus* sp. Se ha reportado que la contaminación de aflatoxinas puede aumentar en 10 veces en tan sólo tres días cuando el maíz es almacenado con alto contenido de humedad (Hell *et al.* 2008). La encuesta aplicada revela que el 97% de los agricultores realiza la práctica de secado lo cual es alentador.

Como se observa en la figura 3, el 16% del total de agricultores realizan el secado en milpa mediante la dobla. Por otro lado, el 24% secan los granos en mazorca. Principalmente al sol sobre nylon (14%), dentro de casa (2%), en el techo (1%). Por su parte, las personas que secan el maíz desgranado representan el 59%. De estos, la mayor parte (43%) lo hace al sol

sobre nylon y en menor proporción dentro de casa (2%). Tanto para secado en mazorca como desgranado se reportan otras técnicas (7 y 14% respectivamente). Las principales mencionadas fueron: secado con deshidratador solar, al sol sobre mantas, al sol sobre costales, en toldos, al sol sobre el suelo y al sol sobre papel periódico.

Expuesto lo anterior se analiza lo determinado por Hell *et al.* (2008). La ocurrencia de *Aspergillus* sp. y *Fusarium* sp. fue de 4.7 y 99% respectivamente cuando las mazorcas se secaron en campo -la dobla-. La frecuencia paso a 21 y 95% para los mismos géneros de hongos al secar sobre el suelo. Al secar sobre nylon la ocurrencia bajó a 18% para *Aspergillus* sp. La prevalencia más baja (2%) se reportó cuando las mazorcas se secaron sobre plataformas.

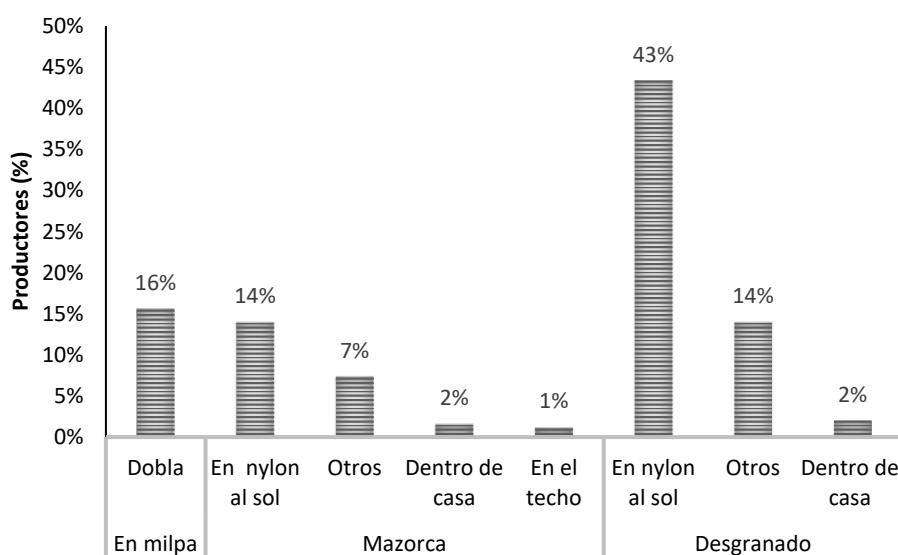


Figura 3. Metodología y momento de secado de maíz (*Z. mays* L.) en Santa Bárbara y Copán Honduras.

La técnica de secado en plataforma fue evaluada por Kamala *et al.* (2018) que combinada con otras prácticas logró eficientemente reducir la contaminación del maíz con micotoxinas. En virtud de lo expuesto, esta se considera una práctica potencial para transferir a los productores de la región.

Las recomendaciones comunes para almacenar granos indican que el secado debería llevar la humedad a un nivel entre 10 y 13%. Los análisis de humedad revelan que el 51% de las muestras analizadas están sobre el umbral máximo recomendado. Lo anterior se explica por la subjetividad en las técnicas para determinar humedad posterior al secado. Las personas se basan en el sonido que los granos generan al ser agitados dentro de recipientes (45%), otros realizan muestreos bucales (34%), muestreos de uña (14%), pruebas de tacto (4%) y otras técnicas (4%) que incluyen observaciones de olor y color.

Como solución al problema anterior se podrían implementar técnicas de bajo costo como la prueba de la sal. Esta antigua técnica, fue validada por la Secretaría de Alimentos y Medicamentos de Tanzania (TFDA por sus siglas en inglés) y aplicada efectivamente en la reducción de micotoxinas en maíz (Kamala *et al.* 2018). Otra alternativa es el uso de las DryCardsTM desarrolladas por UC Davis. Determinan la humedad de equilibrio generada en un ambiente sellado como referencia, mediante el uso de tiras de cloruro de cobalto. Presentan un costo de 4 centavos de dólar y además son reutilizables por lo que sería una herramienta ideal para pequeños productores (UC DAVIS 2018).

Almacenamiento de granos y uso de insecticidas.

El almacenamiento es un proceso que posee influencia sobre el crecimiento de hongos en los granos de maíz, particularmente el crecimiento de *Aspergillus* sp. Si se almacena en forma de grano el maíz tiene una mayor aireación, reduciendo las probabilidades de crecimiento fúngico, además, se logra una mayor eficiencia en el almacenamiento y facilita la aplicación de insecticidas. El maíz almacenado en mazorca al ser guardado con las brácteas -llamadas tuzas- ofrece mayor protección de las condiciones ambientales, sin embargo, se merma el intercambio gaseoso entre los granos evitando la pérdida de la humedad (Mejía [actualizado 2003]).

El 88% de los productores almacenan el maíz a granel mientras que el otro 12% en forma de mazorca, esto es motivante ya que la mayoría almacena desgranado dándole mejores condiciones para evitar el crecimiento de *Aspergillus* sp. De los productores que guardan en mazorca, la técnica predominante fue el uso de costales (45%), seguido de la troja tradicional (36%), en menor proporción el tapanco (15%) y finalmente la troja mejorada (3%) como se presenta en la figura 4.

La Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria de Honduras (DICTA 2013) recomienda evitar el contacto del maíz con el suelo durante el almacenamiento. Por otro lado, cuando el maíz se almacena en mazorca se genera un efecto invernadero con el techo de las estructuras, que al aumentar la temperatura propicia el daño de los granos (Mendoza *et al.* 2017). Por lo tanto, la mejor estructura es la troja mejorada ya que posee patas que le permiten la separación del suelo. De esta forma se evitan plagas como los roedores y se aumenta la aireación de las mazorcas (DICTA 2013).

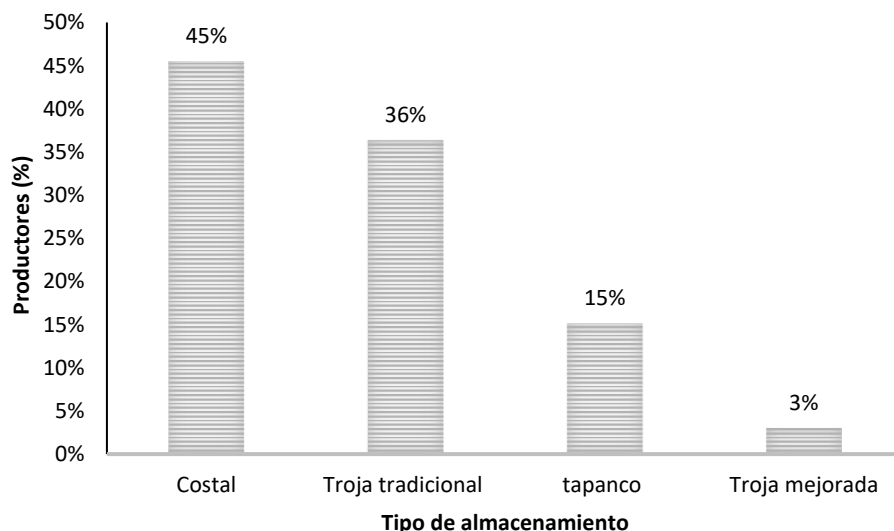


Figura 4. Tipo de almacenamiento para maíz (*Z. mays* L.) en mazorca en Santa Bárbara y Copán Honduras.

El desgranado consiste en la remoción de los granos de maíz del raquis, el 80% de los agricultores lo realiza en forma manual, un 10% lo hace mediante aporreo y el 10% restante utiliza máquina. El desgrane se ve influenciado por la humedad del grano, si esta se encuentra por encima del 25% el grano es más susceptible a daños por efecto mecánico y además, hay reducción de rendimiento. El método manual es generalmente realizado por miembros de la familia. Este es un trabajo tedioso y de baja productividad alcanzando flujos entre 10-25 kg/hr. Se estima que el uso de maquinaria como el desgranador rotatorio de Chietze y Atlas incrementaría la eficiencia en las familias con una productividad hasta 100 kg/hr (FAO 2003).

Las estructuras de almacenamiento de maíz desgranado también inciden en la humedad. Los costales de polipropileno ofrecen menor protección dada la falta de hermetismo (Walker *et al.* 2018). Por otro lado, el silo puede proporcionar una mejor protección a los granos pues tiene la capacidad de mantenerse hermético, mayor durabilidad y resistencia a las condiciones del ambiente -siempre que haya sido bien secado-. La mayoría de la población de productores mantiene su maíz almacenado en silos metálicos (50%), mientras el resto recurre a otras técnicas de menor costo, en su mayoría, costales (41%) seguido de toneles (5%), barriles (3%) y cajones (1%) como se observa en la figura 5.

Una buena estructura del almacenamiento debe tener las propiedades de contener granos por largos periodos de tiempo con la mínima pérdida de calidad y cantidad de maíz. El almacenamiento utilizado por pequeños productores debe ser simple y de fácil adquisición, así como manejo y traslado de un lugar a otro (Manandhar *et al.* 2018). Por lo tanto, una alternativa eficaz puede ser el uso de bolsas herméticas o mejoradas. Un ejemplo de estas son las bolsas PICS (*Purdue Improved Crop Storage*); las cuales tienen la ventaja de tener menor costo comparado con los silos metálicos y la capacidad de mantener estable la humedad largos periodos de tiempo (Williams *et al.* 2014).

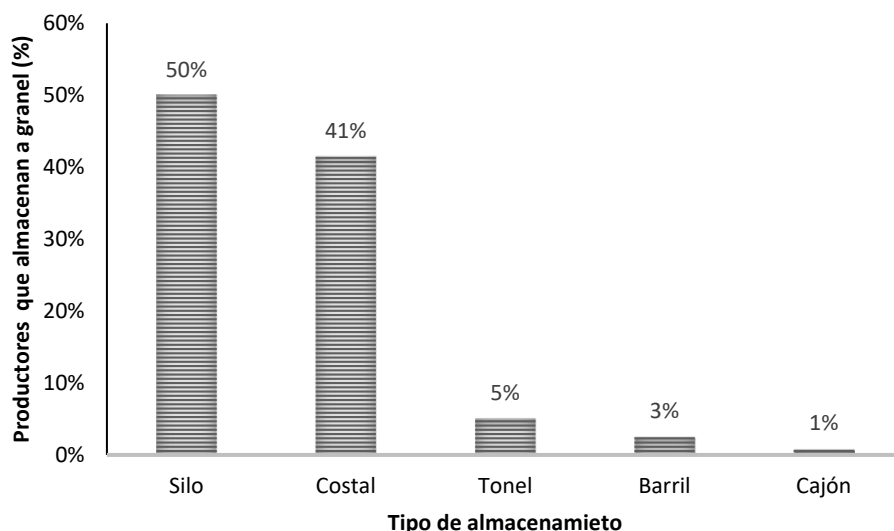


Figura 5. Tipo de almacenamiento de maíz (*Z. mays* L.) a granel en Santa Bárbara y Copán Honduras.

Respecto a los insecticidas, el 88% de los productores que usan silo aplican pastillas de fosfina para controlar insectos en el maíz almacenado. La fosfina son tabletas de Fosfuro de Aluminio que al reaccionar con la humedad producen un gas sumamente toxico que interviene con la síntesis de proteínas en el ciclo de respiración de las mitocondrias y desencadena la muerte de los insectos (NPIC [actualizado 2017]).

Pérdidas de maíz en periodo post producción.

Las causas de perdida de granos a partir de la post producción pueden ser variado y ocurrir simultáneamente. En la figura 6 se reportan pérdidas por daño de insectos (56%), humedad en campo (48%), hongos (22%), roedores (12%), viento (11%) y pájaros (9%). De acuerdo con observaciones hechas por los productores, buena parte de los problemas se explican por la deficiencia en estructuras de almacenamiento y falta de tiempo para realizar labores en la época oportuna.

El daño por insectos y roedores se reportan como principal causa de perdida de granos almacenados. Los primeros atacan frecuentemente en almacenamiento y los roedores también pueden hacerlo en campo (Rajendran y Sriranjini 2008). Los datos mencionados tienen coherencia puesto que en conjunto alcanzan una frecuencia de 68%. De acuerdo con Manandhar *et al.* (2018) el insecto más común es el gorgojo del maíz (*Sitophilus zeamais*). Generalmente la infestación de *Sitophilus* sp, propicia la aparición de *Tribolium* sp. Dado el contexto anterior, es necesario comentar que el daño por insectos facilita el desarrollo de hongos y potencial producción de micotoxinas. Esto obedece al aumento de higroscopicidad del grano y facilidad de desarrollo y penetración del micelio por ruptura de la testa.

Parte de los entrevistados atribuyen sus pérdidas a la humedad, tanto en campo como en almacenamiento. Esto está relacionado directamente con el posterior desarrollo de hongos. Por su parte, los fuertes vientos mientras el maíz se encuentra doblado pueden favorecer la caída de plantas y pérdida de mazorca por pudrición o porque roedores se alimentan de ella. Finalmente, los pájaros son un problema de campo y la intensidad puede variar dependiendo de la zona y condiciones ambientales.

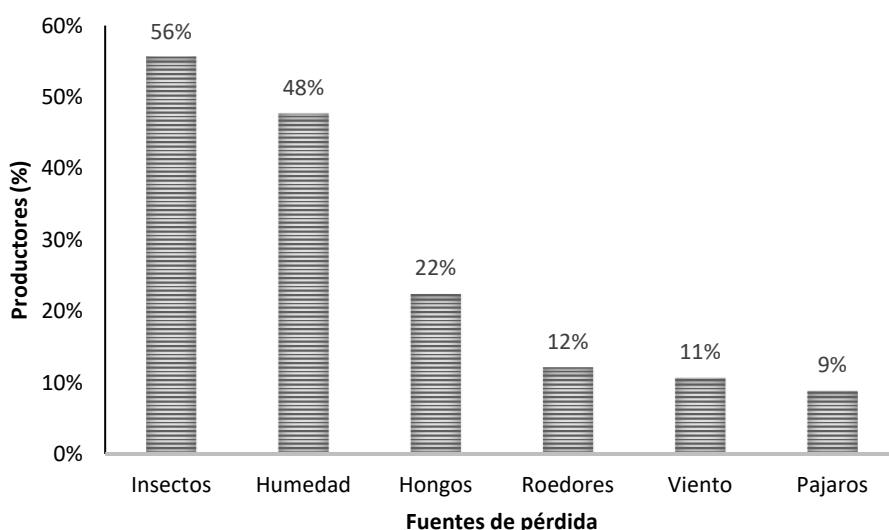


Figura 6. Principales razones de pérdida de granos de maíz (*Z. mays* L.) en periodo post producción de acuerdo a los productores en Santa Bárbara y Copán Honduras.

Uso del maíz.

Los propósitos de producción de granos en esta región están ligados a la condición socioeconómica de sus habitantes. De acuerdo con los entrevistados, el 67% indicó que la producción es destinada al consumo familiar, por otro lado, un 2% para comercialización exclusiva y un 31% que comercializa excedentes después de suplir el consumo. La mayoría de productores realiza la venta de excedentes al momento de la cosecha cuando el producto es abundante. Cuando las reservas de consumo se acaban recurren a la compra en centros de venta.

Parámetros de calidad evaluados por vendedores.

Los excedentes vendidos por los productores generalmente llegan a bodegas o centros de venta donde se distribuyen al consumidor. Previo a la compra, los distribuidores realizan lo que podría considerarse un control de calidad. Dichos criterios se reflejan en la figura 7, principalmente se mencionan: la humedad (88%), limpieza del grano (75%), presencia de granos podridos (54%), presencia de plagas insectiles (34%), color (5%) y una menor proporción no realiza ninguna revisión (2%).

Ejemplos de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC) contemplan como puntos críticos: el secado en campo, clasificación de mazorcas, almacenamiento, desgranado, comerciante primario y comerciante secundario, finalmente la fábrica de piensos. De todos los puntos críticos mencionados vale la pena resaltar el rol de los comerciantes primarios y secundarios. El parámetro definido en estos puntos críticos son la humedad, teniendo como límites: <16% y <14% respectivamente (FAO 2003).

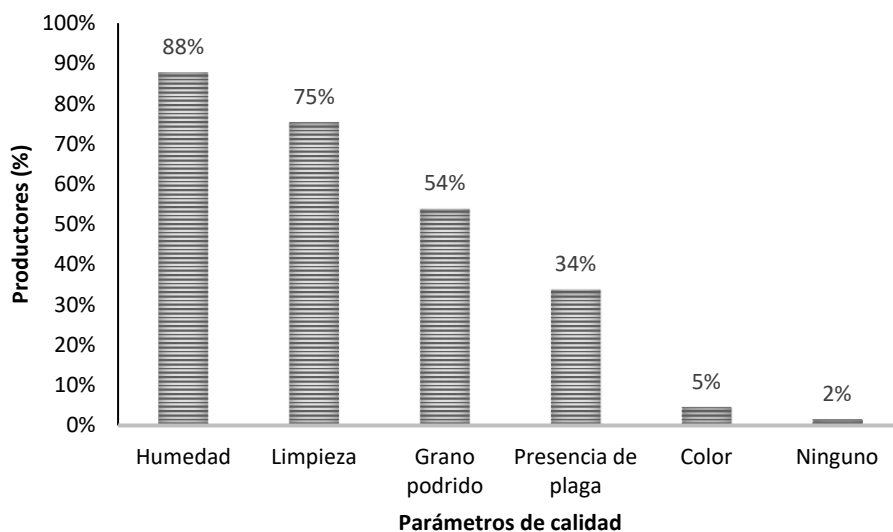


Figura 7. Parámetros de calidad evaluados por comerciantes para la compra de maíz (*Z. mays* L.) en Santa Bárbara y Copán Honduras.

Idealmente la cadena de valor del maíz debería estar resguardada por la aplicación de un plan APPCC. Aunque existen criterios definidos por los compradores, el factor precio tiene mayor importancia. En el caso de la humedad, todas las medidas se hacen de forma subjetiva, por lo que valdría la pena implementar medidas normalizadas y discutidas en secciones anteriores (selección y secado de maíz). Además, los registros son necesarios en la cadena de comercialización, esto permitiría en el futuro medio facilitar la implementación de planes APPCC.

Periodo de almacenamiento.

Este es un factor incidente en la calidad y pérdida de granos, además, podría influir en la contaminación de micotoxinas (Hell *et al.* 2008; Manandhar *et al.* 2018). Como se observa en la figura 8, buena parte de los productores (35%) almacena por periodos menores a los 25 días. Un 44% de productores y 4% de productores almacenan el grano por periodos entre los 26 y 50 días. Otro 11% de productores y vendedores almacenan entre 51 y 75 días. A partir de ese tiempo se comienza a observar un cambio en tendencia pues los productores almacenan por más tiempo. Sólo el 5% de los vendedores almacena de 76 a 100 días, en cambio el 30% de los productores se encuentra en esta clasificación. En la clase que va de 101 a 120 días se encuentra el 5% de los vendedores y solamente 1% de los productores.

Finalmente, el 54% de los agricultores indica que almacenan sus granos por periodos de tiempo superiores a los 125 días.

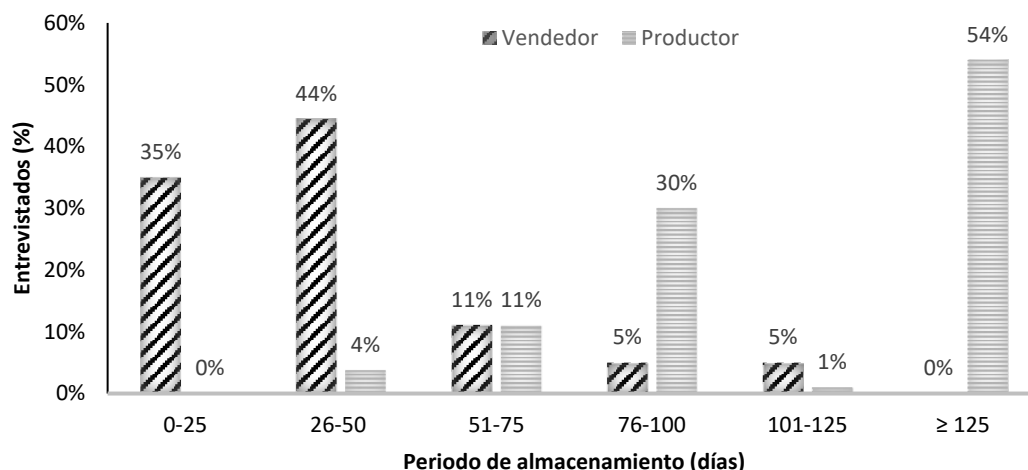


Figura 8. Periodo de almacenamiento de maíz (*Z. mays* L.) por productores y vendedores en Santa Bárbara y Copán Honduras.

La distribución anterior es el reflejo fiel del sistema de comercialización entre pequeños productores y comercializadores. Los vendedores compran los excedentes de los pequeños productores, tempranos y tardíos. El 90% de ellos almacenan como máximo 75 días, ese periodo es aproximadamente el tiempo necesario para que las primeras cosechas de la siguiente temporada comienzan a salir. Por su parte, los productores almacenan para consumo y su periodo de almacenamiento se rige a la siguiente cosecha, por tal razón, las frecuencias se encuentran desplazadas a la derecha.

De acuerdo con Hell *et al.* (2008) los periodos de almacenamiento deberían ser como máximo 150 días para mantener niveles bajos de aflatoxinas. Conforme a lo anterior, el 46% de las muestras de productores y el 100% de las muestras de vendedores se encuentran en un periodo adecuado. Esto suponiendo que todo el producto que los vendedores obtienen viene directo de la cosecha de los productores. Respecto al 54% de los productores no puede hacerse aseveración alguna dado que no se conoce el límite superior de la clase.

Manejo de maíz dañado.

El maíz de descarte, o grano dañado es el producto de la selección en etapas anteriores de la poscosecha. Puede producirse en campo, antes del secado, antes del almacenamiento y antes del consumo. Como se describe en la figura 9, el 68% de los vendedores destina el grano dañado a la venta para alimento animal, un 88% de los productores mencionó el mismo uso. Por su parte un 2% de los vendedores y un 10% de los productores aseguro desechar el grano. Un 1% de los productores dijo que lo consumían sin importar el daño y el 30% restante de los vendedores bajan el precio para poder venderlo.

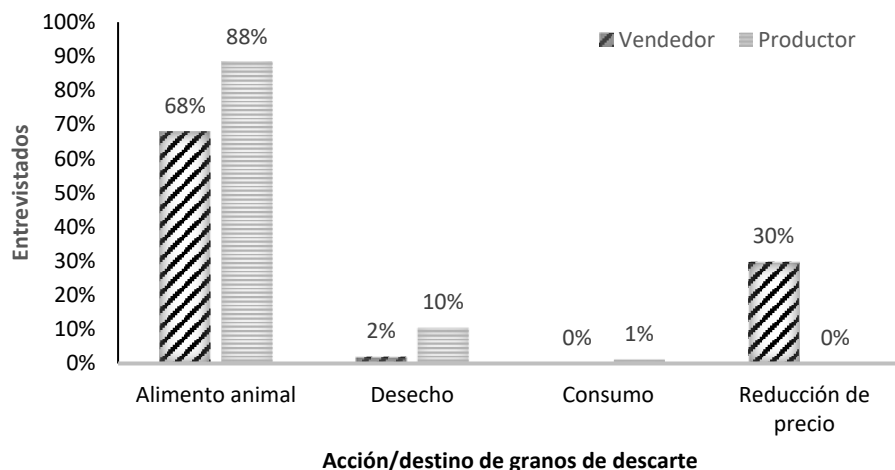


Figura 9. Acción o uso de granos de maíz (*Z. mays* L.) de descarte por productores y vendedores en Santa Bárbara y Copán Honduras.

Estudios similares en China y Guatemala reportan que entre el 70.6 y 100% del maíz de descarte se utiliza para alimentación animal (Liu Z *et al.* 2016; Mendoza *et al.* 2017). Las implicaciones de utilizar este maíz en la alimentación animal serán discutidas en secciones posteriores. Respecto a la práctica de desecho debe considerarse la forma correcta de realizarlo pues algunas veces se clasifica en campo y el grano dañado queda como fuente de inóculo y plagas para la siguiente temporada.

Consumo de maíz.

El consumo de maíz ocurre mayormente en forma de tortillas. Este grano se constituye como la principal fuente de carbohidratos para las personas de escasos recursos en esta región. En la figura 10, se observa la distribución de frecuencias de consumo familiar. El consumo puede ser menor a las 2 libras (13%), entre 2 y 3 libras (31%), entre 3 y 4 (15%), 4 a 5 (15%) y finalmente mayor a 5 libras (26%).

La distribución bimodal es explicada por los modelos y número de integrantes por familia. Una buena parte de las familias se conforman por madres, padres, hijos, también abuelos y ocasionalmente tíos. Esto proporcionalmente aumenta el consumo familiar. El efecto del consumo sobre la exposición dietaria se discute en otra sección.

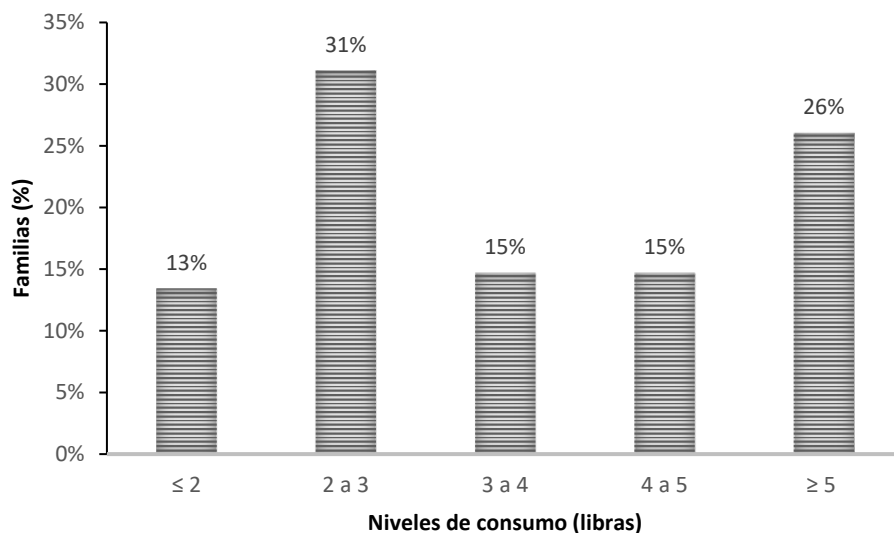


Figura 10. Consumo de maíz (*Z. mayz* L.) por familia en Santa Bárbara y Copán Honduras.

Presencia de micotoxinas en muestras analizadas.

De acuerdo con las pruebas de independencia realizadas (cuadro 4), la probabilidad de contaminación de maíz con aflatoxinas es diferente según el uso para el maíz (descarte o alimentación). En el caso de fumonisinas, ambos tipos de muestra tienen igual probabilidad de resultar contaminados. Por su parte, la frecuencia de maíz contaminado con aflatoxinas es independiente del nivel de humedad de las muestras.

Cuadro 4. Prueba de Chi Cuadrado para independencia de variables respecto a la presencia de micotoxinas en maíz usado para descarte y alimentación.

Variables	GL	Valor	Probabilidad
Tipo de muestra y presencia de fumonisinas	1	0.8398	0.3595
Tipo de muestra y presencia de aflatoxinas	1	5.1728	0.0229
Nivel de humedad y presencia de aflatoxinas	1	0.6841	0.4082

Como puede verse en el cuadro 5, la contaminación con fumonisinas se detectó en el 97.74% y en el 24.91% para aflatoxinas de todas las muestras analizadas. Por otro lado, las muestras de maíz de descarte analizadas presentan un 100% de incidencia de fumonisinas y 56.25% para aflatoxinas.

La distribución de los niveles de contaminación de fumonisinas para 97.74% de las muestras de consumo puede observarse en la figura 11. Los valores presentan una mediana de 1.6 y pueden variar entre 0.25 y 25 ppm. El 52% de las muestras tiene niveles de contaminación entre 0.25 y 2 ppm, otro 26% entre 2 y 3.75 ppm. Las frecuencias para niveles más altos de contaminación son menores.

Cuadro 5. Incidencia de micotoxinas en muestras de maíz (*Z. mayz* L.) usado para descarte o alimentación.

Tipo de muestra	Incidencia de Fumonisinas	Incidencia de Aflatoxinas
Consumo	97.74%*	24.91%*
Descarte	100%	56.25%

*Existen diferencias significativas a un nivel de $Pr < 0.05$ en prueba de Chi Cuadrado.

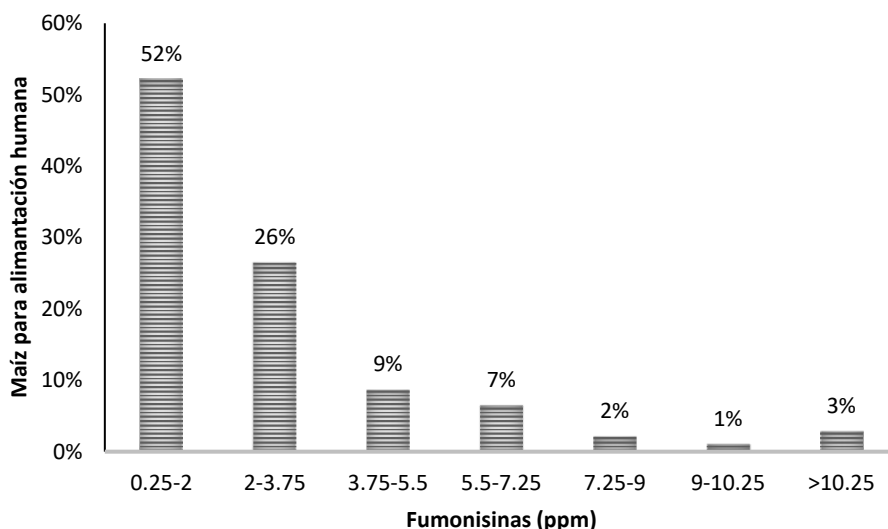


Figura 11. Niveles de fumonisinas totales en maíz en Santa Bárbara y Copán Honduras.

La media mundial de contaminación de alimentos con fumonisinas es de 310 ppm con un máximo de 23,800 ppm (FAO y WHO 2017). Estudios realizados en países cercanos como Guatemala reportan 98% de muestras positivas con niveles entre 0.4 y 17 ppm (Torres *et al.* 2015). Zacapa, Chiquimula e Izabal, los departamentos de Guatemala más cercanos a Copán y Santa Bárbara presentan niveles medios de 1.9, 4.6 y 2.5 ppm respectivamente (Torres de Matute 2013). De acuerdo con el análisis de reglamentos a nivel mundial para micotoxinas en los alimentos y en las raciones en el año 2003, cuatro países mantienen el límite máximo de 1ppm, otros dos en 2 y 3 ppm respectivamente (FAO 2004). Dicho lo anterior puede decirse que los niveles de micotoxinas en Copán y Santa Bárbara son bajos en comparación a la media mundial, equiparables a los de Guatemala.

Pese a lo anterior, el efecto que las fumonisinas ejercen sobre la salud depende de la interacción entre el nivel de contaminación y consumo. Por consiguiente, aunque los granos tengan -aparentemente- bajos niveles de contaminación, podrían estar afectando a una población por su alto consumo. De tal manera que el papel de los límites máximos permitidos queda relegado a negociaciones de comercio internacional de granos.

Una idea más certera del impacto de las fumonisinas se concibe cuando se analiza la exposición dietaria. La ingesta diaria provisional permitida (PMTDI por sus siglas en inglés) para fumonisinas individuales o totales fue definida en el 2002 y reafirmada en el

2011 por el comité mixto FAO/WHO de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA por sus siglas en inglés) la cual es de 2 µg/kg de peso corporal. Por su parte, la Autoridad Europea de Inocuidad Alimentaria (EFSA por sus siglas en inglés) mediante el Panel Europeo de Contaminantes en la Cadena Alimentaria (COMTAM por sus siglas en inglés) definió en el 2018 la ingesta diaria tolerable para fumonisinas B1 en 1 µg/kg de peso corporal (Knutsen *et al.* 2018).

De acuerdo a los valores analizados el 8% de las personas presenta una exposición dietaria bajo la ingesta provisional propuesta por el JECFA. El valor mínimo reportado es de 0.85 µg/kg y el máximo 200.76 µg/kg. En la figura 12 se denota la distribución que siguen los niveles de exposición dietaria. Entre 0.85 µg/kg y 10 µg/kg se encuentra el 49% de los consumidores, seguidos de un 25% que consumen entre 10 y 20 µg/kg, otro 10% entre 20 y 30 µg/kg. El comportamiento indica menor frecuencia a medida que los niveles de consumo aumentan.

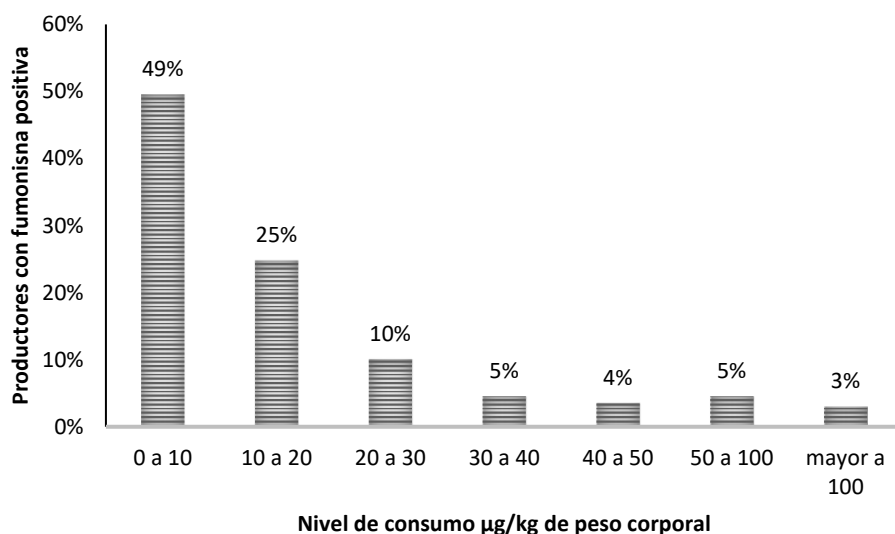


Figura 12. Ingesta diaria de fumonisinas totales por consumo de maíz (*Z. mays* L.) en Santa Bárbara y Copán Honduras.

La distribución de los niveles de contaminación para las muestras de consumo positivas para aflatoxinas totales puede observarse en la figura 13. Los valores presentan una mediana de 3.6 ppb y pueden variar entre 1 y 430 ppb. El 57% de las muestras tiene niveles de contaminación entre 1 y 20 ppb, seguido de un 21% entre 20 y 40 ppb. Las frecuencias disminuyen cuando los valores de clase aumentan.

Al igual que para las fumonisinas, muchos países han establecido niveles máximos. El informe de la FAO en el 2003 revela que dichos límites estaban entre 0 y 35 ppb. Con mayor frecuencia de países estaba 4 y 20 ppb. Actualmente en Estados Unidos se mantiene el límite de 20 ppb de aflatoxinas totales en todos los alimentos con excepción de la leche (Cornell University 2018).

Teniendo la referencia, puede afirmarse que el 57% de las muestras positivas para aflatoxinas se encuentran bajo el nivel máximo establecido en Estados Unidos. No obstante, la interpretación carece de sentido si se considera que el consumo per cápita de maíz en 2015 fue de 15.44 kg para dicho país (statista 2018) y en este estudio se estimó que para Copán y Santa Bárbara es de 140 kg con una desviación estándar de 60 kg.

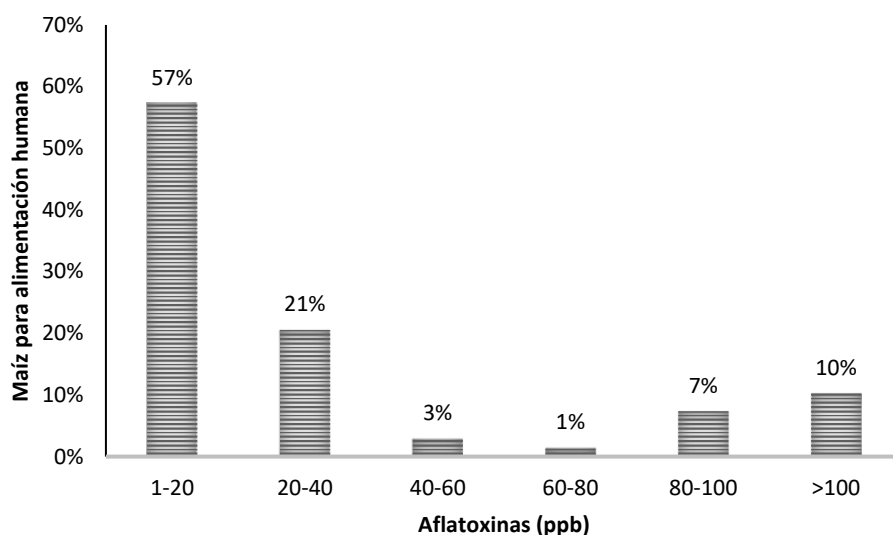


Figura 13. Aflatoxinas en maíz (*Zea mays* L.) destinado a consumo en Santa Bárbara y Copán Honduras.

De acuerdo con la clasificación del Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC por sus siglas en inglés), las aflatoxinas son carcinogénicas en humanos -grupo 1- a diferencia de las fumonisinas que podrían ser carcinogénicas -grupo 2B- (Ostry *et al.* 2017). Dada la clasificación, no existen niveles tolerables de consumo para las aflatoxinas. Sin embargo, si se reportan y se describen en la figura 14. El 31% de las personas cuyas muestras dieron positiva para aflatoxinas totales están expuestos al consumo de 0.0001 a 0.01 $\mu\text{g/kg}$. Otro 34% podría consumir entre 0.01 a 0.1 $\mu\text{g/kg}$, otro 31% entre 0.1 y 1 $\mu\text{g/kg}$ y finalmente un 5% con consumos superiores a 1 $\mu\text{g/kg}$.

De acuerdo con estudios, ingestas diarias mayores a 20 $\mu\text{g/kg}$ de peso corporal en un adulto pueden ocasionar aflatoxicosis o muerte. El periodo para que los efectos se manifiesten es difícil de predecir, pero podría estar entre una a tres semanas (Wild y Gong 2010). El valor mínimo encontrado fue de 0.0006 $\mu\text{g/kg}$ y el máximo 3.63 $\mu\text{g/kg}$. Dicho lo anterior es satisfactorio saber que ninguno de los entrevistados está en un riesgo alto, sin embargo, esto no es motivo para quitar interés a la problemática.

La exposición de los infantes desde pequeñas etapas mediante consumo de leche contaminada es preocupante. A tempranas edades las aflatoxinas pueden reducir la inmunoglobulina IgA secretora, por lo tanto, la capacidad de respuesta a infecciones y

parásitos se ve menguada (Turner *et al.* 2003). Por lo anterior, el enfoque de solución debe ser la aplicación del principio ALARA -por sus siglas en inglés-. Este se centra en reducir los niveles de un contaminante a niveles tan bajos como sea razonablemente posible.

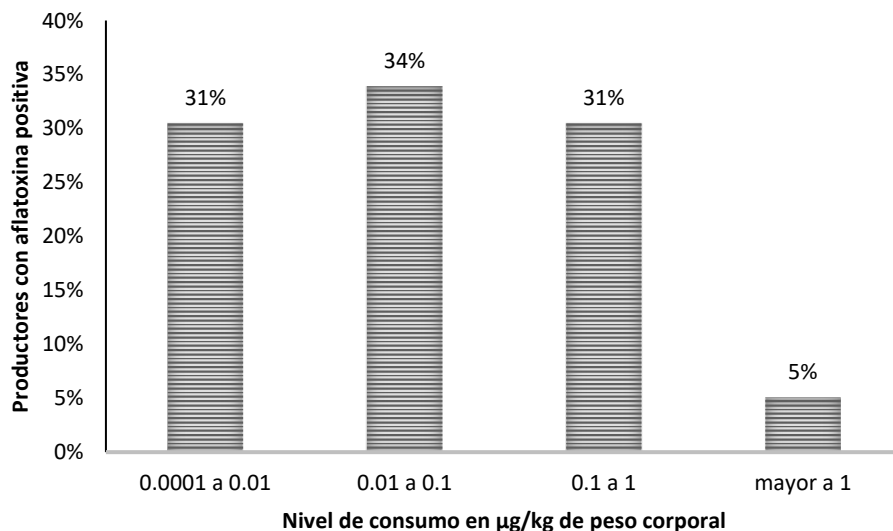


Figura 14. Ingesta diaria de aflatoxinas totales por consumo de maíz (*Zea mays* L.) en Santa Bárbara y Copán Honduras.

Finalmente, debe considerarse seriamente la exposición simultánea a fumonisinas y aflatoxinas con probabilidad latente de 0.24. En relación a esto, (Carlson *et al.* 2001) realizaron un estudio con truchas arcoíris y demostraron que dichas toxinas pueden actuar sinérgicamente aumentando su potencial carcinogénico siete veces. Estudios más recientes respaldan la hipótesis y aseveran que la frecuencia de tumores puede aumentar de 7.3 a 12.9 veces y el tamaño de 6 a 7.5 veces (Qian *et al.* 2016).

Micotoxinas en maíz de descarte.

Como se detalla en el cuadro 6, los niveles de fumonisinas son superiores en maíz de descarte comparado con el maíz destinado a consumo a una $Pr < 0.05$. En cambio, los niveles de contaminación de aflatoxinas son iguales en maíz de consumo y descarte.

Lo anterior obedece a la selección que se hace en etapas posteriores o durante la cosecha como ya se discutió. En ese momento las mazorcas que vienen de campo tienen niveles de contaminación más altos de fumonisinas que aflatoxinas. De manera que esta práctica solo ejerce efecto reductivo en fumonisinas.

Las aflatoxinas en maíz de descarte pueden variar sus niveles desde 2.20 hasta 490 ppb. Por su parte, las fumonisinas pueden variar entre 0.34 y 20 ppm y están concentradas 2.66 veces más que en el maíz de consumo. Como se mencionó en secciones anteriores, una práctica común es ofrecer maíz de descarte como alimento a los animales. Se reportan efectos

negativos sobre la postura, producción de leche, conversión alimenticia y ejerce supresión de la inmunidad. Además, posterior a la modificación de su estructura, las micotoxinas son transferidas a la leche y huevos (Cornell University 2018). Por lo anterior, lo más conveniente es desechar el maíz descartado.

Cuadro 6. Comparación de niveles de micotoxinas entre maíz (*Zea mays* L.) destinado a consumo y maíz destinado a descarte.

Micotoxina	Varianzas	Método	GL	Valor t	Pr > t
Fumonisina	No iguales	Satterthwaite	23.081	-3.39	0.0025
Aflatoxina	No iguales	Satterthwaite	14.302	-1.48	0.1598

Micotoxinas en maíz en centros de venta.

Los resultados de la prueba t indican que no existe diferencia en concentración de fumonisinas entre el maíz dispuesto a la venta en pulperías y el almacenado por los productores. En cambio, sí lo hay para la concentración de aflatoxinas a una $Pr < 0.05$. Los niveles aflatoxinas en maíz de almacenado por productores es 2.66 veces más que en el maíz dispuesto a la venta en las pulperías.

De acuerdo a los periodos de almacenamiento discutidos anteriormente, los productores en su mayoría almacenan por más de 125 días y los vendedores menos de 50 días. Las aflatoxinas generalmente se producen en malas condiciones de almacenamiento. Por lo anterior, las diferencias en contaminación obedecen al tiempo de almacenamiento. Respecto a las fumonisinas, cuando los productores venden su maíz a los comerciantes las fumonisinas ya están presentes y se mantienen constantes.

Cuadro 7. Comparación de niveles de micotoxinas en maíz (*Zea mays* L.) de productores y centros de venta en los departamentos de Santa Bárbara y Copán Honduras mediante una prueba t.

Micotoxina	Varianzas	Método	GL	Valor t	Pr > t
Fumonisina	No iguales	Satterthwaite	106.26	0.96	0.3377
Aflatoxina	No iguales	Satterthwaite	61.249	2.45	0.0171

Aflatoxinas y nivel de humedad.

Como se demostró mediante la prueba de independencia de variables, el nivel de humedad no tiene influencia sobre la presencia de aflatoxinas. Sin embargo, en el cuadro 8 se expone que sí ejerce efecto sobre la concentración cuando esta almacenada a humedades superiores a 13%. Asintiendo lo dicho por Bhatnagar *et al.* (2018), *Aspergillus* sp. se desarrollan de manera óptima en un rango de humedad superior al 15% de humedad lo cual puede causar incrementos de la concentración de 200 a 2000 ppn en un periodo de nueve días a temperaturas de ambiente entre 26-34 °C (Bhatnagar *et al.* (2018). La concentración de aflatoxinas en muestras con humedades superiores al 13% es de 3.78 veces más que las que tienen menor humedad.

Los agricultores de la región conocen la referencia de secar el maíz por debajo del 13%. Una vez más, la falta de revisión de humedad o aplicación de técnicas empíricas para ello explica el problema.

Cuadro 8. Comparación de niveles de micotoxinas en maíz (*Zea mayz* L.) almacenado con humedad superior e inferior al 13% mediante una prueba t.

Micotoxina	Varianzas	Método	GL	Valor t	Pr > t
Aflatoxina	No iguales	Satterthwaite	34.836	-2.61	0.0133

Micotoxinas y su relación con los materiales genéticos utilizados.

Se determinó diferencia significativa entre los niveles de aflatoxina presentes en maíz producido a partir de semillas criollas y mejoradas (cuadro 9). Respecto a esto, materiales híbridos resistentes estudiados presentan menores velocidades de colonización por *Aspergillus* sp. y niveles de acumulación de aflatoxinas respecto a materiales susceptibles (Windham *et al.* 2018). Lo anterior podría explicar la diferencia, pero ningún material mejorado de los mencionados por los productores se declara como resistente o tolerante a hongos. Por su parte, Fuentes López y Quemé (2008) indican que la resistencia a sequías y/o insectos de forma indirecta reducen la concentración de aflatoxinas. Ademán, hacen hincapié en el efecto de segregación de genes de interés en los materiales, por la práctica de selección de semillas para siguientes temporadas lo cual también afecta.

Cuadro 9. Comparación de niveles de micotoxinas en maíz (*Zea mayz* L.) producido a partir de material genético criollo y mejorado.

Micotoxina	Varianzas	Método	GL	Valor t	Pr > t
Fumonisina	Iguales	Pooled	116	-1.14	0.257
Aflatoxina	No iguales	Satterthwaite	108.19	2.54	0.0125

En ambos departamentos el 90% de la semilla utilizada proviene de materiales criollos que se han mezclado genéticamente a través de los años ya que son materiales de polinización abierta. La semilla proviene del cultivo que es destinado para consumo, y el productor la selecciona de acuerdo al tamaño y daño físico. Este aspecto técnico puede ser un punto de partida a modificar para procurar una reducción de micotoxinas en maíz.

4. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los niveles de exposición a fumonisinas encontrados en Copán y Santa Bárbara existe alta probabilidad de sobrepasar la ingesta diaria provisional permitida por el comité mixto FAO/OMS de expertos en aditivos alimentarios.
- Existe menor posibilidad de ocurrencia de aflatoxinas que de fumonisinas en Copán y Santa Bárbara, pero con mayor potencial de daño si acontece la presencia simultánea.
- El sistema post producción de maíz en Copán y Santa Bárbara tuvo periodos largos entre madurez fisiológica y cosecha, métodos empíricos para medir humedad, métodos variados de almacenamiento y con periodos que pueden extenderse hasta la recolección de la siguiente cosecha favoreciendo el ataque de plagas y la incidencia de hongos.

5. RECOMENDACIONES

- Establecer un estudio con factores controlados para medir de una forma más exacta el efecto de variables post producción sobre la concentración de fumonisinas y aflatoxinas en maíz.
- Impulsar proyectos de asistencia técnica mediante escuelas de campo con énfasis en manejo de registros, prácticas de secado, medición objetiva de humedad y almacenamiento eficaz de granos considerando tecnologías de bajo costo.

6. LITERATURA CITADA

Bhatnagar D, Rajasekaran K, Gilbert M, Cary JW, Magan N. 2018. Advances in molecular and genomic research to safeguard food and feed supply from aflatoxin contamination. *World Mycotoxin Journal*. 11(1):47–72. doi:10.3920/WMJ2017.2283.

Black RE, Victora CG, Walker SP, Bhutta ZA, Christian P, Onis M de, Ezzati M, Grantham-McGregor S, Katz J, Martorell R 2013. Maternal and child undernutrition and overweight in low-income and middle-income countries. *The Lancet*. 382(9890):427–451. doi:10.1016/S0140-6736(13)60937-X.

Carlson DB, Williams DE, Spitsbergen JM, Ross PF, Bacon CW, Meredith FI, Riley RT. 2001. Fumonisin B1 promotes aflatoxin B1 and N-methyl-N'-nitro-nitrosoguanidine-initiated liver tumors in rainbow trout. *Toxicol Appl Pharmacol*. 172(1):29–36. eng. doi:10.1006/taap.2001.9129.

Cornell University. 2018. Aflatoxins: Occurrence and health risks. US: [sin editorial]; [consultado 2018 sep 04]. <http://poisonousplants.ansci.cornell.edu/toxicagents/aflatoxin/aflatoxin.html>.

DICTA (Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria) 2013. El cultivo del maíz: Manual para el cultivo del maíz en Honduras. Tegucigalpa Honduras: Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria; [consultado 2018 sep 03]. <http://www.dicta.hn/files/2013,-Manual-cultivo-de-maiz--G.pdf>.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2003. Manual sobre la aplicación del sistema de análisis de peligros y de puntos críticos de control (APPCC) en la prevención y control de las micotoxinas. Roma: FAO; [actualizado 2017 ene 08; consultado 2018 ago 28]. <http://www.fao.org/docrep/005/y1390s/y1390s00.htm>.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2004. Reglamentos a nivel mundial para las micotoxinas en los alimentos y las raciones en el año 2003. Roma: Food & Agriculture Organi. ISBN: 92-5-305162-0; [consultado 2018 sep 04].

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), WHO (World Health Organization). 2009. Principles and methods for the risk assessment of chemicals in food. Geneva: World Health Organization. 1 v. (various pagings) (Environmental health criteria; vol. 240). ISBN: 924157240X. eng.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), WHO (World Health Organization). 2017. Evaluation of certain contaminants in food: Eighty-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Geneva Switzerland: World Health Organization. xi, 166 pages ; (WHO Technical report series; vol. 1002). ISBN: 978-92-4-069642-6.

Fuentes López MR, Quemé W. 2008. Evaluación de híbridos de maíz de grano amarillo y blanco en diferentes ambientes de América Latina. Guatemala: ICTA, INTA, INTA Costa Rica, Semillas del Trópico; [consultado 2018 sep 05]. <http://www.semillasdeltropico.net/home.html>.

Gong Y, Hounsa A, Egal S, Turner PC, Sutcliffe AE, Hall AJ, Cardwell K, Wild CP. 2004. Postweaning exposure to aflatoxin results in impaired child growth: A longitudinal study in Benin, West Africa. *Environ Health Perspect.* 112(13):1334–1338. doi:10.1289/ehp.6954.

Hell K, Fandohan P, Ranajit B, Kiewnick S, Sikora R, Cotty PJ. 2008. Pre- and postharvest management of aflatoxin in maize: An African perspective. En: Leslie JF, Bandyopadhyay R, Visconti A, editores. *Mycotoxins: detection methods, management, public health and agricultural trade*. Wallingford: CABI. p. 219–229.

ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola) 2014. Recomendaciones técnicas para el cultivo de maíz para zonas de producción comprendidas entre 0 a 1400 msnm. Guatemala: Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola; [consultado 2018 ago 29]. <http://www.icta.gob.gt/publicaciones/Maiz/Recomendaciones%20tecnicas%20de%20maiz%20ICTA.pdf>

Kamala A, Kimanya M, Meulenaer B de, Kolsteren P, Jacxsens L, Haesaert G, Kilango K, Magoha H, Tiisekwa B, Lachat C. 2018. Post-harvest interventions decrease aflatoxin and fumonisin contamination in maize and subsequent dietary exposure in Tanzanian infants: A cluster randomised-controlled trial. *World Mycotoxin Journal.* 1–12. doi:10.3920/WMJ2017.2234.

Knutsen H-K, Barregård L, Bignami M, Brüschweiler B, Ceccatelli S, Cottrill B, Dinovi M, Edler L, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C. 2018. Appropriateness to set a group health-based guidance value for fumonisins and their modified forms. *EFSA J.* 16(2):1. doi:10.2903/j.efsa.2018.5172.

Kowalska A, Hajok I, Piekut A. 2017. Assessment of the contamination level by fumonisins B1 and B2 of the corn food products available on Polish Consumer Market. *Pol. J. Environ. Stud.* 26(6):2595–2601. doi:10.15244/pjoes/70386.

Liu Z, Zhang G, Zhang Y, Jin Q, Zhao J, Li J. 2016. Factors controlling mycotoxin contamination in maize and food in the Hebei province, China. *Agron. Sustain. Dev.* 36(2):47. doi:10.1007/s13593-016-0374-x.

Manandhar A, Milindi P, Shah A. 2018. An Overview of the Post-Harvest Grain Storage Practices of Smallholder Farmers in Developing Countries. *Agriculture*. 8(4):57. doi:10.3390/agriculture8040057.

Marín P, Magan N, Vázquez C, González-Jaén MT. 2010. Differential effect of environmental conditions on the growth and regulation of the fumonisin biosynthetic gene FUM1 in the maize pathogens and fumonisin producers *Fusarium verticillioides* and *Fusarium proliferatum*. *FEMS Microbiol Ecol*. 73(2):303–311. eng. doi:10.1111/j.1574-6941.2010.00894.x.

Medina A, Rodriguez A, Magan N. 2014. Effect of climate change on *Aspergillus flavus* and aflatoxin B1 production. *Front Microbiol*. 5:348. eng. doi:10.3389/fmicb.2014.00348.

Mejía D. [actualizado 2003]. MAIZE: Post-Harvest Operation. Roma: FAO; [consultado 2018 ago 28]. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/inpho/docs/Post_Harvest_Compndium_-_MAIZE.pdf.

Mendoza JR, Rodas A, Oliva A, Sabillón L, Colmenares A, Clarke J, Hallen-Adams HE, Campabadal C, Bianchini A. 2018. Safety and Quality Assessment of Smallholder Farmers' Maize in the Western Highlands of Guatemala. *J Food Prot*. 81(5):776–784. eng. doi:10.4315/0362-028X.JFP-17-355.

Mendoza JR, Sabillón L, Martinez W, Campabadal C, Hallen-Adams HE, Bianchini A. 2017. Traditional maize post-harvest management practices amongst smallholder farmers in Guatemala. *Journal of Stored Products Research*. 71:14–21. doi:10.1016/j.jspr.2016.12.007.

Micotoxinas: Datos y cifras. 2018. Suiza: [sin editorial]; [consultado 2018 ago 28]. <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mycotoxins>.

Missmer SA, Suarez L, Felkner M, Wang E, Merrill AH, Rothman KJ, Hendricks KA. 2006. Exposure to fumonisins and the occurrence of neural tube defects along the Texas–Mexico border. *Environ Health Perspect*. 114(2):237–241. doi:10.1289/ehp.8221.

NPIC (National Pesticide Information Center). [actualizado 2017]. Zinc phosphide technical fact sheet. US: Oregon State Univesity; [consultado 2018 sep 03]. <http://npic.orst.edu/factsheets/archive/znptech.html>.

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2008. Curso de capacitación sobre la evaluación del crecimiento del niño. Ginebra: OMS.

OMS (Organización Mundial de la Salud) 2018. Micotoxinas: Datos y cifras. Suiza: [sin editorial]; [consultado 2018 ago 28]. <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mycotoxins>.

Ostry V, Malir F, Toman J, Grosse Y. 2017. Mycotoxins as human carcinogens-the IARC Monographs classification. *Mycotoxin Res.* 33(1):65–73. eng. doi:10.1007/s12550-016-0265-7.

PESA-PRESANCA II-PRESISAN. 2013. Centroamérica en cifras: Datos de seguridad alimentaria nutricional 2013. [sin lugar]. 52 p; [consultado 2018 jun 10]. <http://www.fao.org/3/a-at771s.pdf>.

Piñar Ballester R. 2012. Manejo poscosecha del maíz des una perspectiva integral que involucra la cosecha, secado, desgrane y almacenamiento. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica; [consultado 2018 ago 29]. <http://www.infoagro.go.cr/Infoagro/HojasDivulgativas/Manejo%20poscosecha%20del%20ma%C3%ADz.pdf>.

Qian G, Tang L, Lin S, Xue KS, Mitchell NJ, Su J, Gelderblom WC, Riley RT, Phillips TD, Wang J-S. 2016. Sequential dietary exposure to aflatoxin B1 and fumonisin B1 in F344 rats increases liver preneoplastic changes indicative of a synergistic interaction. *Food Chem Toxicol.* 95:188–195. eng. doi:10.1016/j.fct.2016.07.017.

Raiola A, Causin R, Ferrigo D. 2014. Plant stress and mycotoxin accumulation in maize. *Agrochimica -Pisa-*. 58(special issue):116–127.

Rajendran S, Sriranjini V. 2008. Plant products as fumigants for stored-product insect control. *Journal of Stored Products Research.* 44(2):126–135. doi:10.1016/j.jspr.2007.08.003.

Samapundo S. 2006. Post-harvest strategies for the prevention of fungal growth and mycotoxin production in corn. France: Université de Bourgogne,. XXII, 297. ISBN: 90-5989-135-X.

Schmidt-Heydt M, Magan N, Geisen R. 2008. Stress induction of mycotoxin biosynthesis genes by abiotic factors. *FEMS Microbiol Lett.* 284(2):142–149. eng. doi:10.1111/j.1574-6968.2008.01182.x.

SAG (Secretaria de Agricultura y Ganadería). 2017. Boletín agroclimático del Departamento de Santa Bárbara para la temporada de primera, 2017. Honduras: Secretaría de Agricultura y Ganadería; [consultado 2018 ago 30]. <http://www.sag.gob.hn/boletin/recomendaciones-primera>.

SAG (Secretaría de Agricultura y Ganadería). 2018. Reporte agrometereologico. Honduras: Secretaría de Agricultura y Ganadería; [consultado 2018 ago 30]. <http://infoagro.sag.gob.hn/agrometeorologia/reporte-agrometeorologico-vigente/>.

Shuaib FMB, Jolly PE, Ehiri JE, Yatich N, Jiang Y, Funkhouser E, Person SD, Wilson C, Ellis WO, Wang J-S. 2010. Association between birth outcomes and aflatoxin B1 biomarker blood levels in pregnant women in Kumasi, Ghana. *Trop Med Int Health.* 15(2):160–167. eng. doi:10.1111/j.1365-3156.2009.02435.x.

statista. 2018. Per capita consumption of corn products in the U.S., 2015. U.S.: [sin editorial]; [consultado 2018 sep 04]. <https://www.statista.com/statistics/184202/per-capita-consumption-of-corn-products-in-the-us-since-2000/>.

Suleiman R, Williams D, Nissen A, Bern CJ, Rosentrater KA. 2015. Is flint corn naturally resistant to *Sitophilus zeamais* infestation? Journal of Stored Products Research. 60:19–24. doi:10.1016/j.jspr.2014.10.007.

Sun G, Wang S, Hu X, Su J, Zhang Y, Xie Y, Zhang H, Tang L, Wang J-S. 2011. Co-contamination of aflatoxin B1 and fumonisin B1 in food and human dietary exposure in three areas of China. Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess. 28(4):461–470. eng. doi:10.1080/19440049.2010.544678.

Torres O, Matute J, Gelineau-van Waes J, Maddox JR, Gregory SG, Ashley-Koch AE, Showker JL, Voss KA, Riley RT. 2015. Human health implications from co-exposure to aflatoxins and fumonisins in maize-based foods in Latin America: Guatemala as a case study. World Mycotoxin Journal. 8(2):143–159. doi:10.3920/WMJ2014.1736.

Torres de Matute O. 2013. Determinación, caracterización y evaluación de aflatoxinas que influyen en el retardo de talla para edad en niños de Guatemala. Guatemala: SENACYT. 109 p; [consultado 2018 ago 25]. <http://glifos.concyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt%202012>.

Turner PC, Moore SE, Hall AJ, Prentice AM, Wild CP. 2003. Modification of immune function through exposure to dietary aflatoxin in Gambian children. Environ Health Perspect. 111(2):217–220. eng. doi:10.1289/ehp.5753.

UC DAVIS. 2018. DryCard. California US.: UCDAVIS; [actualizado 2018 ago 31; consultado 2018 sep 2]. <https://horticulture.ucdavis.edu/drycard>.

USAID. 2015. Honduras Feed the Future Zone of Influence interim assessment report. Washington, DC.: United States Agency for International Development. 183 p; [consultado 2018 ago 22]. <https://www.feedthefuture.gov/resource/honduras-feed-the-future-baseline-report/>.

VICAM. 2014. AflaTest® fluorometer instruction manual. US.

VICAM. 2015. FumoniTest Fluorometer. US.

Walker S, Jaime R, Kagot V, Probst C. 2018. Comparative effects of hermetic and traditional storage devices on maize grain: Mycotoxin development, insect infestation and grain quality. Journal of Stored Products Research. 77:34–44. doi:10.1016/j.jspr.2018.02.002.

Wild CP, Gong YY. 2010. Mycotoxins and human disease: A largely ignored global health issue. Carcinogenesis. 31(1):71–82. eng. doi:10.1093/carcin/bgp264.

Williams SB, Baributsa D, Woloshuk C. 2014. Assessing Purdue Improved Crop Storage (PICS) bags to mitigate fungal growth and aflatoxin contamination. *Journal of Stored Products Research*. 59:190–196. doi:10.1016/j.jspr.2014.08.003.

Windham GL, Williams WP, Mylroie JE, Reid CX, Womack ED. 2018. A Histological Study of *Aspergillus flavus* Colonization of Wound Inoculated Maize Kernels of Resistant and Susceptible Maize Hybrids in the Field. *Front Microbiol*. 9:799. eng. doi:10.3389/fmicb.2018.00799.

7. ANEXOS

Anexo 1. Modelo de encuesta aplicada a productores.

EVALUACIÓN DE MICOTOXINAS EN LA CADENA DE VALOR DEL MAÍZ EN EL OCCIDENTE DE HONDURAS			
FEED:FUTURE The U.S. Government's Global Hunger & Food Security Initiative		ENCUESTA - PRODUCTOR	
FEED:FUTURE The U.S. Government's Global Hunger & Food Security Initiative		FEED:FUTURE The U.S. Government's Global Hunger & Food Security Initiative	
I. DATOS GENERALES DEL ENTREVISTADO			
Departamento:		Fecha de Entrevista	
Municipio:		PARA USO EXCLUSIVO DE OFICINA FINTRAC Número de Identificación de la Muestra	
Comunidad:			
Nombres y Apellidos del Entrevistado(a)			
		Sexo:	F ☐ M ☐
Instrucciones Generales: Escuche atentamente las respuestas del entrevistado. Por cada pregunta, encierre con un círculo la opción u opciones de respuesta(s) apropiada(s) y marcar con una "X" la casilla correspondiente. Cuando aplique, escribir la respuesta del entrevistado.			
II. SECCION AGRICULTURA Y CULTIVO DE MAIZ			
1	¿Cuándo sembró usted el maíz? (Fecha)	Fecha: / / Día Mes Año	☐
2	¿Qué tipo de variedad de maíz cultiva usted?	A. B. C.	☐
3	¿La semilla que utiliza para su cultivo es criolla o mejorada?	A. Criolla (escogen la mejor semilla) B. Mejorada (comprada en agropecuarias)	☐
4	¿Dobra usted la planta de maíz en el campo?	A. No (pase a la pregunta 6) B. Si	☐
5	¿Basado en que hace usted la dobra de la planta de maíz?	A. Por el color de la flor B. Por el color de las hojas C. Por muestreo de uña D. Por muestreo bucal E. Por punto negro F. Otros:	☐
6	¿Siembra usted el maíz junto con frijol u otro cultivo?	A. No B. Si Especifique el cultivo:	☐
7	¿En qué momento hace la tapisca o cosecha?	A. Color de la flor B. Color de las hojas C. Por muestreo de uña D. Por muestreo bucal E. Cuando la planta está totalmente seca F. Otros:	☐
8	¿Cuándo cosechó usted el maíz? (Fecha)	Fecha: / / Día Mes Año	☐
9	¿Para qué utiliza su cosecha?	A. Para consumo en el hogar B. Para comercialización o venta C. Ambos D. No sabe/no responde	☐
10	¿Cuándo y en qué momento realiza la selección de mazorcas?	A. En el campo durante la cosecha (milpa) B. Antes de secarlo C. Cuando se está almacenando el maíz	☐

Continuación del **Anexo 1.**

 FEED FUTURE The U.S. Government's Global Hunger & Food Security Initiative		ENCUESTA - PRODUCTOR		 FEED FUTURE The U.S. Government's Global Hunger & Food Security Initiative	
11	¿Secan el maíz antes de guardarlo?	A. No (pase a la pregunta 14) B. Si			
12	¿Cómo o de que forma secan usted el maíz?	1. En la milpa, antes de cortar la mazorca (dobla) 2. En la mazorca, después de haber sido cortada A. Colocan las mazorcas sobre el techo B. Colocan las mazorcas en nylon y las ponen al sol C. Dentro de la casa D. Utilizan una maquina de secado E. Otra forma: _____ 3. Después de desgranado A. En nylon secado al sol B. Dentro de la casa o alguna galera C. Utilizan alguna maquina de secado D. Otra forma: _____			
13	¿Cómo se prueba el maíz para verificar si está seco para guardarlo o almacenarlo?	A. Por prueba de uña B. Por prueba bucal C. Por prueba de campo (sonido) D. Otros: _____			
III. SECCION DE MANEJO Y CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO					
14	¿Guarda su maíz en grano o en mazorca?	A. En mazorca B. Desgranado (pase a la pregunta 17)			
15	¿Si lo guardan en mazorca, dónde o cómo lo guardan?	A. Troja tradicional B. Troja mejorada C. Tapanco D. Costales E. Mancuerna			
16	¿Si lo guardan en mazorca, por cuanto tiempo lo guardan?	A. Un mes B. Dos meses C. Tres meses D. Cuatro meses o mas			
17	¿Si desgranar las mazorcas, cómo las desgranar?	A. Manualmente B. Utiliza una desgranadora (maquina) C. Otro (especifique): _____			
18	¿Después de desgranado, limpia usted el maíz?	A. No (pase a la pregunta 20) B. Si			
19	¿Cómo o de qué manera limpian el maíz en grano?	A. Manualmente (escogiendo uno por uno los granos malos y dañados) B. Lanzándolo de un lado al otro para que el aire lo limpie (dejando que se "airee") C. Lavándolo D. Cernido E. No lo limpia F. No sabe/no responde			

Continuación del **Anexo 1.**

 FEED the FUTURE The U.S. Government's Global Hunger & Food Security Initiative		ENCUESTA - PRODUCTOR		 FEED the FUTURE The U.S. Government's Global Hunger & Food Security Initiative	
20	¿Cómo guardan el maíz desgranado?	A. Costales B. Silo C. Tonel D. Cajón E. Otros _____			
21	¿Si lo guardan en silo, utilizan pastillas para curar el maíz?	A. Si B. No C. No usa silo D. No sabe/no responde			
22	¿Por cuánto tiempo guardan el maíz producido?	A. Un mes B. Dos meses C. Tres meses D. Cuatro meses o mas			
23	¿Durante el tiempo que guarda el maíz, revisa usted la calidad del grano y del lugar de almacenaje? (humedad, picado, ratones, goteras, insectos, etc.)	A. Si B. No (pase a la pregunta 25) C. No sabe/no responde			
24	¿Con qué frecuencia revisa su maíz durante el tiempo de almacenamiento?	A. Una vez por semana B. Una vez cada 15 días C. Una vez por mes D. Una vez cada dos meses E. No sabe/no responde			
25	¿Hace un control de plagas (insectos, ratones, hongos) durante el periodo de almacenamiento de maíz?	A. Si B. No (pase a la pregunta 27) C. No sabe/no responde			
26	¿En que momento hace usted control de plagas?	A. _____ B. _____ C. _____			
27	¿Cuáles son las principales razones de las pérdidas de maíz, desde la cosecha hasta el consumo final?	A. _____ B. _____ C. _____ D. _____			
28	¿Qué se hace con el maíz que tiene mala calidad (roto, con plagas)?	A. Se lo dan a los animales B. Lo tiran o lo desechan C. Lo consumen en la casa D. No sabe / no responde			
29	¿Cuántas personas viven en el hogar?				
30	¿Cuántas personas menores de cinco (5) años viven en el hogar?				

Continuación del **Anexo 1.**

 FEED FUTURE The U.S. Government's Global Hunger & Food Security Initiative		ENCUESTA - PRODUCTOR		 FEED FUTURE The U.S. Government's Global Hunger & Food Security Initiative	
31	¿Cuánto maíz se necesita diariamente para mantener su hogar?	A. Menos de 2 libras			
		B. De 2 a 3 libras			
		C. De 3 a 4 libras			
		D. De 4 a 5 libras			
		E. Más de 5 libras			
32	¿Cuánto maíz se necesita mensualmente para mantener su hogar?	A. Menos de 5 libras			
		B. 10 libras			
		C. De 10 a 20 libras			
		D. De 20 a 30 libras			
		E. De 30 a 40 libras			
		F. Más de 40 libras			
REVISE QUE TODAS LAS PREGUNTAS QUE APLIQUEN, HAYAN SIDO CONTESTADAS POR EL ENTREVISTADO					
DE LAS GRACIAS AL ENTREVISTADO POR EL TIEMPO CEDIDO PARA ESTE ESTUDIO					
IV. SECCION ADMINISTRATIVA					
Nombre del Entrevistador(a)					
Firma de Revisión del Supervisor de Campo					
Fecha de Revisión					

Anexo 2. Modelo de encuesta aplicado a vendedores.

 FEED: FUTURE THE U.S. GOVERNMENT'S LEADERSHIP IN FEED SECURITY FOR THE WORLD		ENCUESTA - VENDEDOR		 FEED: FUTURE THE U.S. GOVERNMENT'S LEADERSHIP IN FEED SECURITY FOR THE WORLD	
I. DATOS GENERALES DEL ENTREVISTADO					
Departamento:			Fecha de Entrevista		
Municipio:			PARA USO EXCLUSIVO DE OFICINA FINTRAC Número de Identificación de la Muestra		
Comunidad:					
Nombres y Apellidos del Entrevistado(a)	Sexo: F ☐ M ☐				
Instrucciones Generales: Escuche atentamente las respuestas del entrevistado. Por cada pregunta, encierre con un círculo la opción u opciones de respuesta(s) apropiada(s) y marcar con una "X" la casilla correspondiente. Cuando aplique, escribir la respuesta del entrevistado.					
II. SECCION DE COMPRA Y CALIDAD					
1	¿Qué variedades de maíz vende usted?	A. B. C. D.			
2	¿De dónde proviene el maíz que vende (dónde fue cultivado, cosechado)? ¿Dónde lo compra?	Procedencia: Compra:			
3	¿Qué parámetros de calidad usas para comprar el maíz que vendes?	A. B. C. D. E.			
4	¿Revisa usted la humedad del maíz antes de comprarlo? Si la revisa, ¿Cuál es el porcentaje de humedad que se considera seguro para comprar el maíz?	A. No B. Si Porcentaje de humedad: %			
5	¿Cómo se prueba el maíz para verificar si está seco o si tiene un contenido de humedad seguro?	A. Por prueba de uña B. Por prueba bucal C. Por prueba de contenido de humedad D. Otro, especifique:			
III. SECCION DE MANEJO Y CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO					
6	¿Después de comprado, limpia usted el maíz?	A. No (pase a la pregunta 8) B. Si			
7	¿Cómo o de qué manera limpia el maíz?	A. Manualmente B. Maquina C. Cernido D. No lo limpia E. Otros, especifique: F. No sabe/no responde			

Continuación del **Anexo 2.**

 ENCUESTA - VENDEDOR 		
8	¿Cómo guardan/almacenan el maíz que compra?	A. Costales B. Silo C. Tonel E. Otro, especifique: _____
9	¿Si lo guardan en silo, utilizan pastillas para curar el maíz?	A. No B. Si C. No usa silo D. No sabe/no responde
10	¿Por cuánto tiempo permanece almacenado el maíz antes de su venta?	A. Un mes B. Dos meses C. Tres meses D. Cuatro meses E. Otro, especifique: _____
11	¿Durante el tiempo que el maíz pasa almacenado antes de venderlo, revisa usted la calidad del grano y del lugar de almacenaje? (humedad, picado, ratones, goteras, insectos, etc.)	A. No (pase a la pregunta 13) B. Si C. No sabe/no responde
12	¿Con qué frecuencia revisa el maíz durante el tiempo de almacenamiento?	A. Una vez por semana B. Una vez cada 15 días C. Una vez por mes D. Una vez cada dos meses E. Otro, especifique: _____ F. No sabe/no responde
13	¿Hace un control de plagas (insectos, ratones, hongos), durante el periodo de almacenamiento de maíz?	A. Si B. No C. No sabe/no responde
14	¿En que momento hace usted control de plagas?	A. _____ B. _____ C. _____
15	Si usted detecta que el maíz a bajado su calidad durante el almacenamiento, ¿Qué hace con ese maíz de baja calidad?	A. Lo vende como alimento animal B. Lo vende a menor precio para consumo humano C. Lo tira o lo desecha D. No sabe / no responde
REVISE QUE TODAS LAS PREGUNTAS QUE APLIQUEN, HAYAN SIDO CONTESTADAS POR EL ENTREVISTADO		
DE LAS GRACIAS AL ENTREVISTADO POR EL TIEMPO CEDIDO PARA ESTE ESTUDIO		
IV. SECCION ADMINISTRATIVA		
Nombre del Entrevistador(a)		
Firma de Revisión del Supervisor de Campo		
Fecha de Revisión		