Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Departamento de Agroindustria Alimentaria

Ingeniería en Agroindustria Alimentaria

Proyecto Especial de Graduación

Comparación de maíz amarillo producido en Honduras con maíz amarillo importado de Estados Unidos de América usado en la elaboración de concentrado para ganado lechero de alta producción de Zamorano

Estudiantes

Omar Ariel Herrera Centeno

Dalne Marielba Sinclair Wood

Asesores

Raúl Espinal, Ph.D.

Edward Moncada, Mgtr.

Honduras, agosto 2022

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

ADELA M. ACOSTA MARCHETTI

Directora Departamento de Agroindustria Alimentaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros 5

Índice de Figuras 7

Índice de Anexos 8

Resumen 9

Abstract 10

Introducción 11

Materiales y Métodos 14

Ubicación del Estudio 14

Enfoque 14

Diseño Experimental y Análisis Estadístico 14

Procedimientos de Muestreo de la Materia Prima 15

Análisis Físicos 16

Descripción de los Métodos e Instrumentos del Análisis Físico 16

Análisis Proximal Completo 19

Descripción de los Métodos e Instrumentos del Análisis Proximal Completo 19

Perfil de Ácidos Grasos 25

Descripción de la Metodología e Instrumentos Para la Determinación del Perfil de Ácidos Grasos ... 25

Calorimetría 27

Descripción y Evaluación de Valor Energético Utilizando Método de Calorimetría DIN 51900 -3 27

Evaluación del Aporte del Maíz Amarillo Nacional e Importado en una Dieta para Ganado Lechero de Alta Producción 27

Resultados y Discusión 28

Análisis Proximal Completo para Maíz Amarillo 28

Cenizas 32

Minerales 33

Proteína 35

Grasa Cruda 36

Carbohidratos 37

Fibra Cruda 38

Perfil de Ácidos Grasos 39

Calorimetría 41

Análisis Físicos 42

Evaluación del Aporte del Maíz Amarillo a una Dieta de Ganado Lechero de Alta Producción en Zamorano 46

Conclusiones 48

Recomendaciones 49

Referencias 50

Anexos 54

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Empresas nacionales e importadoras de maíz amarillo utilizadas para investigación 15

Cuadro 2 Métodos utilizados para la evaluación de la composición química de cuatro tipos de maíz amarillo. 19

Cuadro 3 Dieta implementada en Ganado Lechero de Alta Producción de Zamorano 27

Cuadro 4 Resultados del Análisis Proximal de las Empresas de Maíz Amarillo Expresado en 100 Gramos por Muestra 29

Cuadro 5 Resultado de análisis de humedad de cada tratamiento. 30

Cuadro 6 Porcentajes de humedad para granos y oleaginosas (FAO 2007). 31

Cuadro 7 Resultado de análisis de ceniza de cada tratamiento. 32

Cuadro 8 Resultados de Análisis de Minerales para Maíz Amarillo Expresados por Muestra de 100 miligramos. 34

Cuadro 9 Composición de Minerales de Maíz Amarillo USDA 2013. 35

Cuadro 10 Resultados de Análisis de Proteína de cada Tratamiento. 36

Cuadro 11 Resultado de Análisis de Grasa Cruda de cada Tratamiento. 37

Cuadro 12 Resultado de Análisis de Extracto Libre de Nitrógeno de Cada Tratamiento. 38

Cuadro 13 *Resultado de Análisis de Fibra Cruda de cada Tratamiento.* 38

Cuadro 14 Composición nutricional general 39

Cuadro 15 Resultados del análisis de perfil de ácidos grasos del aceite de las empresas productoras e importadoras de maíz amarillo en 100 gramos de aceite. 40

Cuadro 16 Resultados del Análisis de Calorimetría realizado a Cuatro Empresas Productoras e Importadoras de Maíz Amarillo. 41

Cuadro 17 44

Cuadro 18 Grados y requisitos de grado para el maíz. 45

Cuadro 19 Factores y grados de calidad del maíz. 46

Cuadro 20 Aporte de Nutrientes de Maíz Amarillo en una Dieta de Ganado Lechero de Zamorano en 100 libras 47

Índice de Figuras

Figura 1 Flujo de Proceso de la realización de Análisis Físico propuesto por la Planta de Granos y Semillas de Zamorano. 16

Índice de Anexos

Anexo A Resultados de Análisis de Aflatoxinas Realizado a Maíz Amarillo de Empresas Productoras e Importadoras. 54

Anexo B Hoja de Evaluación utilizada en Análisis Físicos 55

Resumen

En la presente investigación se realizaron análisis físicos y un análisis proximal de maíz producido localmente e importado de cuatro empresas productoras localizadas en Olancho, Honduras (HN1, HN2, USA1 y USA2) con el fin de evaluar el valor nutritivo del maíz como materia prima en un concentrado para ganado lechero de alta producción en Zamorano, de igual manera, obtener su composición nutricional y estado físico. Se llevó a cabo un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones, con un total de doce unidades experimentales. Se realizó un análisis de varianza con una separación de medias DUNCAN. Los resultados indicaron que el maíz amarillo de la empresa importadora "USA2" obtuvo el mayor porcentaje de humedad (10.35%) y el menor porcentaje de grasa cruda (4.07%) y fibra cruda (6.61%), la empresa USA1 obtuvo el porcentaje de extracto libre de nitrógeno más elevado (75.42%) y el menor porcentaje de fibra (1.87%) y cenizas (1.53%). En cuanto a las empresas productoras de maíz amarillo nacional (HN1 y HN2), HN1 obtuvo los mayores porcentajes en cenizas (3.31%), materia orgánica (93.64%), grasa cruda (10.57%) y fibra cruda (8.25%) y los menores en humedad (9.67%) y el maíz amarillo de HN2 obtuvo porcentajes altos en proteína (9.12%). Esto datos fueron comparados con la Tabla de Composición Nutricional general del USDA. Se acentuó la importancia de realizar análisis de Perfil de Ácidos Grasos y Calorimetría utilizados para la determinación del valor energético. Asimismo, los análisis físicos incluyeron, evaluación organoléptica y evaluación selectiva, dicho resultados se compararon con la tabla de Factores y grados de calidad del maíz, PRODEPAH, para determinar la calidad del maíz amarillo. Se recomienda realizar un análisis de aflatoxinas, determinar el contenido total de minerales y realizar análisis fisicoquímicos a las materias primas que complementan el concentrado con el fin de hacer este estudio más significativo.

Palabras clave: alta producción, análisis físicos, calorimetría, extracto libre de nitrógeno, perfil de ácidos grasos, proximal completo.

Abstract

In the present investigation, physical analyzes and a proximal analysis of corn produced locally and imported from four producing companies located in Olancho, Honduras (HN1, HN2, USA1 and USA2) were carried out to evaluate the nutritional value of corn as raw material. in a concentrate for high production dairy cattle in Zamorano, in the same way, obtain its nutritional composition and physical state. A Completely Random Design (CRD) was carried out with four treatments and three replicates, for a total of twelve experimental units. An analysis of variance was performed with a DUNCAN separation of means. The results indicated that the yellow corn from the importing company "USA2" obtained the highest percentage of moisture (10.35%) and the lowest percentage of crude fat (4.07%) and crude fiber (6.61%), the company USA1 obtained the percentage highest nitrogen-free extract (75.42%) and the lowest percentage of fiber (1.87%) and ashes (1.53%). Regarding the companies producing national yellow corn (HN1 and HN2), HN1 obtained the highest percentages in ashes (3.31%), organic matter (93.64%), crude fat (10.57%) and crude fiber (8.25%) and the lower in humidity (9.67%) and the yellow corn from HN2 obtained high percentages in protein (9.12%). This data was compared with the general USDA Nutritional Composition Table. The importance of carrying out analyzes of the Fatty Acid Profile and Calorimetry used to determine the energy value was emphasized. Likewise, the physical analyzes included, organoleptic evaluation and selective evaluation, said results were compared with the table of Factors and degrees of quality of corn, PRODEPAH, to determine the quality of yellow corn. It is recommended to carry out an aflatoxin analysis, determine the total mineral content and carry out physical chemical analyzes on the raw materials that complement the concentrate to make this study more meaningful.

Keywords: calorimetry, complete proximal, fatty acid profile, high production, nitrogen free extract, physical analysis.

Introducción

La ganadería de leche intensiva en el trópico depende en alto grado del suministro de alimentos balanceados (concentrados), los cuales dentro de su fórmula incluyen materias primas importadas para su elaboración, lo que hace a este sistema dependiente, poco sostenible y de alto costo. Por otra parte, el incremento en el uso de alimento balanceado, así como el empleo de otros insumos alimenticios de menor calidad nutricional (subproductos agroindustriales y otros), coinciden con la disminución de la oferta forrajera durante al menos cuatro a seis meses del año (Tobía et al. 2007).

El maíz es un cereal originario de México y junto con todos los cereales constituye la principal fuente de alimentación para la humanidad porque aporta más del 50% de la energía consumida en la alimentación humana (Sánchez et al. 2007). En producción, en 2012 ocupó el primer lugar a nivel mundial, seguido del arroz cáscara y trigo (Cruz 2013). Esto es más relevante en países en vías de desarrollo porque constituyen la fuente de nutrientes requeridos para el crecimiento y desarrollo, por ello el maíz es el cereal de mayor importancia para la alimentación latinoamericana (Coutiño et al. 2008). En Honduras, el maíz ocupa el primer lugar tanto en área sembrada como en el volumen producido, es un cultivo de crecimiento rápido en donde su rendimiento óptimo son las temperaturas de entre 25 a 35 °C, de ese modo, adaptándose fácilmente a los climas trópicos del territorio hondureño (Cruz 2013). Se cultiva en todas las regiones del país y su producción es destinada mayormente para satisfacer la demanda del mercado nacional. Los principales departamentos productores en Honduras son Olancho, El Paraíso, Yoro y Santa Barbara representando un 83% de la producción nacional.

La producción mundial de maíz se estima en más de 800 millones de toneladas métricas por año, de éstas 730 millones son de maíz amarillo y 70 millones de maíz blanco (Sosa 2018). En Honduras, se produce una gran cantidad de maíz blanco y una menor de maíz amarillo; el maíz blanco se utiliza para la alimentación humana, tortillas y otros derivados, por otro lado, el maíz amarillo se utiliza en alta proporción para construir alimentos balanceados para animales.

El maíz amarillo a nivel mundial ocupa uno de los primeros lugares en cuanto a producción y comercialización, destacándose Estados Unidos como el primer productor seguido por la China (Peralta 2015). El mercado del maíz está concentrado en los Estados Unidos de América, de este país se adquirió en el 2017 el 93.6% del volumen del total de las importaciones los Estados Unidos cultivaron más de 366 millones de toneladas de maíz. Aproximadamente el 14.3 por ciento de la producción se exportó a más de 73 países diferentes (U.S. Grains Council 2018).

La calidad nutricional del maíz depende de diversos factores como la genética, las condiciones de cultivo y el manejo postcosecha; además la interacción entre el ambiente y el genotipo también influye sobre las características del grano (Mex-Álvarez 2016).

La alimentación de los animales en los sistemas de producción pecuaria representa alrededor del 60 al 70% del costo de producción, lo que evidencia la necesidad de trabajar en la optimización de la misma (Núñez 2017). Lo señalado justifica plenamente la necesidad de utilizar correctamente los componentes de las dietas, considerando sobre todo valores nutritivos, de tal forma que en las formulaciones se disminuya el nivel de los ingredientes más costosos cuyo aporte desde el punto de vista nutritivo es fundamentalmente energético (Núñez 2017). Por otro lado, según la FAO en el 2019, la mayor producción mundial de leche por especie es la vaca que representa el 81% por encima de búfalo, cabra y oveja (FAO 2019). De igual manera, se prevé que la producción mundial de leche crecerá 1.6% al año durante el periodo de proyección (para llegar a 997 Mt hacia 2029 lo que indica un ritmo más rápido que el de cualquiera de los demás productos agrícolas básicos importantes) (OECD 2020). Dando a entender la importancia de buscar materias primas que puedan eficientizar y aumentar la producción también que generen un valor igual o mayor nutricionalmente.

La tendencia mundial a la producción intensiva de los animales exigirá el aumento del uso de los concentrados energéticos en los alimentos balanceados, entre ellos el maíz. Es por ello, existe la necesidad de analizar y evaluar el maíz amarillo como materia prima para la dieta de alimentos balanceado específicamente en ganado lechero. En esta investigación se evaluarán los diferentes

parámetros físicos y químicos para la determinación en calidad del maíz amarillo de empresas importadoras y productoras de Honduras.

En el presente estudio se definieron como objetivos comparar las características físicas y químicas del maíz amarillo producido en Honduras e importado de Estados Unidos y diferenciar el aporte nutricional del maíz amarillo producido en Honduras con el importado de Estados Unidos en una dieta para ganado lechero de alta producción de Zamorano.

Materiales y Métodos

Ubicación del Estudio

El proyecto se llevó a cabo en la Escuela Agrícola Panamericana, ubicada en el Valle del Yeguare, Departamento de Francisco Morazán, 32 km al Este de Tegucigalpa, Honduras, C.A. El tiempo del estudio fue desde febrero a junio del 2022. Las evaluaciones de las muestras se llevaron a cabo en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ), en donde se realizaron los análisis químicos y en el Laboratorio de Granos y Semillas donde se realizaron los análisis físicos. Las muestras r se obtuvieron de cuatro diferentes empresas, tanto productoras como importadoras de maíz, todas ubicadas en Honduras, C.A.

Enfoque

El enfoque consistió en estudiar la composición proximal química y física del maíz amarillo procedente de cuatro empresas, tanto productoras como importadoras de maíz amarillo. Posterior a este proceso se evaluaron los costos que representa el maíz amarillo como materia prima para la dieta de ganado lechero en Zamorano. La secuencia de la investigación consistió en tres fases de estudio para la evaluación de cuatro muestras de maíz amarillo de distintas empresas y evaluar los costos que implican los mismos en dietas de ganado lechero.

Fase 1: Evaluación de propiedades químicas del maíz amarillo nacional e importado.

Fase 2: Evaluación física de maíz amarillo nacional e importado.

Fase 3: Evaluación del aporte del maíz amarillo nacional e importado como materia prima en ganado lechero de alta producción.

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos fueron cada una de las empresas: HN2, HN1, USA2 y USA1. Se extrajeron las muestras de estas empresas, tanto productoras como importadoras de maíz amarillo localizadas en Honduras para obtener un total de 12 unidades experimentales (Cuadro 1).

Para el análisis estadístico de las variables en el estudio, se utilizó el programa “Statistical Analysis System” (SAS) versión 9.4®. El objetivo fue comparar los tratamientos, por lo que, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con una separación de medias DUNCAN para observar las diferencias estadísticas entre los resultados de los parámetros nutricionales de cada grano con un nivel de significancia de 95%.

Procedimientos de Muestreo de la Materia Prima

La determinación exacta de la concentración de humedad, impurezas, insectos, hongos, germen café o calentamiento dentro de un lote son complejas de determinar, dado la distribución heterogénea de las mismas en su almacenamiento. El muestreo de granos es un procedimiento mediante el cual se obtiene una muestra representativa de un lote, usualmente está formada por varias submuestras que cuando se juntan conforman una muestra global dos kilogramos, de los cuales la mitad será destinada para determinar su calidad y la otra como muestra testigo, con propósito de poder repetir cualquier análisis que fuera necesario. El recolectar una muestra que brinde un 100% de confianza es muy poco probable, dado que se tienen diversos errores al momento de realizar el muestreo, proporcionando un 83% de variación del resultado en un mismo lote (Henry et al. 2001). La toma de muestras para el análisis de calidad del maíz fue realizada siguiendo el método descrito por la norma "ISO 950 1981 Cereales Métodos de Toma de Muestras (producto en grano)". Asimismo, se observa en el Cuadro 1 las empresas de maíz amarillo que se muestrearon. De ellas se obtuvieron una muestra representativa por empresa de un kilogramo, que se utilizarán para la realización de análisis físicos y químicos.

Cuadro 1

Empresas nacionales e importadoras de maíz amarillo utilizadas para investigación

Cultivo	Origen	Empresa
Maíz Amarillo	Nacional	HN1
	Nacional	HN2
	Importado	USA1
	Importado	USA2

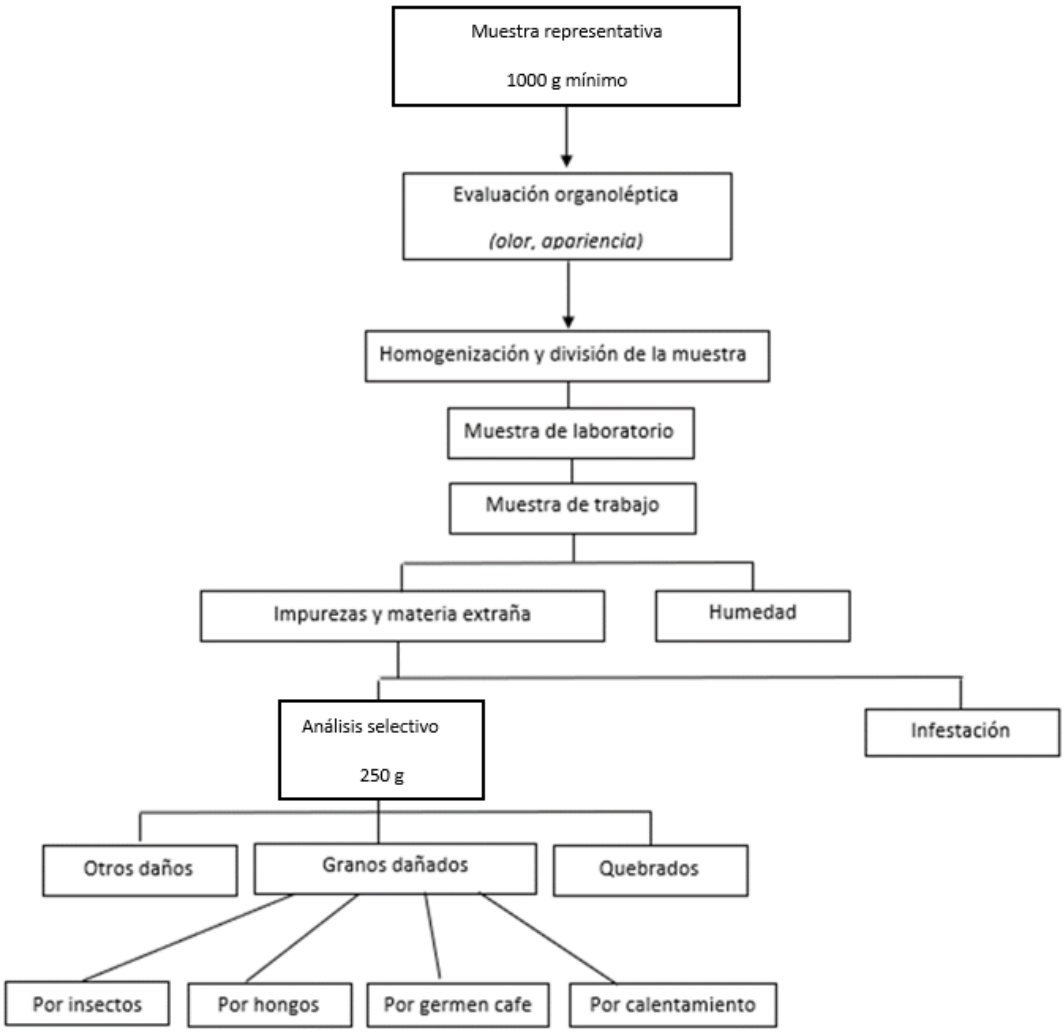
Análisis Físicos

Descripción de los Métodos e Instrumentos del Análisis Físico

Este análisis junto al análisis proximal completo, proporcionan información relevante para determinar la calidad de un grano. En la Figura 1 se describe el procedimiento utilizado en dicho análisis.

Figura 1

Flujo de Proceso de la realización de Análisis Físico propuesto por la Planta de Granos y Semillas de Zamorano.



Análisis Organoléptico Sensorial.

Se procedió a tener las muestras de maíz amarillo previamente identificadas y señaladas. Primeramente, se realizó la evaluación organoléptica que consiste en determinar olor, lote infestado (insectos primarios o secundarios), excretas y apariencia, utilizando los sentidos.

Se homogenizaron 1000 gramos de muestra a través de un divisor tipo *Divisor tipo Boerner*. Dicho aparato dividió la muestra obteniendo 500 gramos de muestra para archivo y 500 gramos de muestra para laboratorio. La muestra de laboratorio posteriormente fue sometida al analizador de grano Dickey- John GAC2100 para obtención de los siguientes análisis:

Temperatura. Se determina el calentamiento del grano en este analizador. Si la temperatura del grano es mayor a la temperatura del ambiente, se considera que el lote está presentando calentamiento.

Peso Volumétrico. Es el peso de un volumen dado de grano. Se expresa por hectolitro, o libras por bushel. Se considera maíz con buena formación cuyo peso volumétrico expresado en kilogramos/hectolitros es de 72 kg/hect o 56 lb/bushel.

Análisis Selectivo.

Impurezas. Es toda aquella materia que pase a través de un tamiz (impurezas menores) o aquel material extraño que quede retenido sobre dicho tamiz, pueden ser: piedras, terrones, olotes granos de otras semillas, separando manualmente. Se entenderá como lote limpio, aquel que no contenga más de 1.0% de impurezas, utilizando la Ecuación 1.

$$\text{\% de impureza: } \frac{\text{Gramos de impurezas} \quad \text{X} \quad 500}{100} \qquad [1]$$

Se homogenizaron 500 gramos separando 250 gramos que fueron utilizados para los siguientes análisis:

Daño por Insecto. Es todo grano entero o pedazo de grano que presente orificios o galerías internas visibles producidas por insectos, utilizando la Ecuación 2.

$$\text{\% por insecto: } \frac{Gramos\ daño\ por\ \ insecto\ \ X \quad 250}{100} \qquad [2]$$

Daño por Hongo. El daño por hondo se considera como todo grano entero o pedazo de grano que presente cambios de color debido a la acción del crecimiento de microorganismos y que cubra al menos un tercio de la superficie del grano, utilizando la Ecuación 3.

$$\% \text{ por hongo: } \frac{Gramos\ de\ daño\ por\ hongo\ \ X\ \ 250}{100} \qquad [3]$$

Daño por Germen Café. Es todo grano entero que presenta cambios de coloración café en el germen producidos por un calentamiento severo, Utilizando la Ecuación 4.

$$\% \text{ por germen café: } \frac{Gramos\ de\ daño\ por\ germen\ café\ \ X\ \ 250}{100} \qquad [4]$$

Daño por Calentamiento. Es todo grano entero o pedazo de grano que presente una coloración café cubriendo al menos un tercio de la superficie del grano. Incluye al grano con germen café, utilizando la Ecuación 5.

$$\% \text{ por calentamiento: } \frac{Gramos\ por\ calentamiento\ \ X\ \ 250}{100} \qquad [5]$$

Otros Daños. Estos representan daños ocasionados por factores climatológicos y biológico como: grano germinado, grano pequeño grano chupado, otros granos (soya, sorgo), utilizando la Ecuación 6.

$$\% \text{ otros daños: } \frac{Gramos\ de\ otros\ daños\ \ X\ \ 250}{100} \qquad [6]$$

Grano Quebrado. Es aquel grano que por efecto de la manipulación golpeteo o cualquier situación mecánica se ha roto o presenta menos de un 50% de su volumen, utilizando la Ecuación 7.

$$\% \text{ quebrado: } \frac{Gramos\ de\ grano\ quebrado\ \ X\ \ 250}{100} \qquad [7]$$

Análisis Proximal Completo

Para la elaboración de los análisis proximales se prepararon las muestras de las cuatro empresas involucradas en el estudio, en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ). Se hizo uso de un molino "FOSS CT 193 Cyclotec™" para la reducción del tamaño granulométrico entre 0.7 y 1.0 milímetro. La metodología de los siguientes análisis se llevó a cabo de acuerdo con métodos oficiales establecidos por distintas sociedades científicas enlistadas en el Cuadro 2.

Cuadro 2

Métodos utilizados para la evaluación de la composición química de cuatro tipos de maíz amarillo.

Método de referencia	Procedimiento/ análisis	Unidad
AOAC 945.15/950.46B	Humedad	g/100 g
AOAC 923.03	Cenizas	g/100 g
21 CFR 101.9(c)(6)	Materia Orgánica	g/100 g
AOAC 2001.11	Proteína Cruda	g/100 g
AOAC 2003.06	Grasa Cruda	g/100 g
AOAC 962.09	Fibra Cruda	g/100 g
AOCS Ce 2b 11/AOCS Ce 1j-07	Perfil de Ácidos Grasos	g/100 g
21 CFR 101.9(c)(6)	Extractos Libre de Nitrógeno	g/100 g
DIN 51900 -3	Calorimetría	Kcal/100 g

Nota. AOAC: Association of Official Analytical Chemists (por sus siglas en inglés). AOCS: American Oil Chemists' Society (por sus siglas en inglés. CFR: Code of Federal Regulations (por sus siglas en ingles). Kcal: kilocalorías. g: gramos

Descripción de los Métodos e Instrumentos del Análisis Proximal Completo

Humedad (AOAC 950.46B).

Como referencia para realizar el análisis de humedad se utilizó el Método Oficial AOAC 950. 6B, obtenido del AOAC Methods Resource (Latimer 2012). Este procedimiento se basa en una comparación del peso de la muestra seca con el de la muestra húmeda. Se pesaron 3.000 g ± 0.005 g del grano molido y se colocó en un crisol de porcelana. Los crisoles se enfriaron a temperatura ambiente en un desecador. Después e calentaron en un "Fisher Scientific 750 F Oven" a 105 °C. Luego de 18 h de secado, se transfirieron a un desecador de gel de sílice para evitar la desecación y se enfriaron antes de pesarlos en la balanza analítica "OHAUS® AX22/E". Al obtener los resultados, se utilizó la Ecuación 8.

$$H = \frac{((C+MH)-(C+MS))}{(MH)} \times 100 \quad [8]$$

Donde:

%H: Porcentaje de humedad

MS: Peso de la muestra seca

C: Peso del crisol

MH: Muestra húmeda

Cenizas (AOAC 923.03).

Se utilizó el método oficial AOAC 923.03 para la determinación de cenizas descrito en el libro de métodos de la AOAC (Latimer 2012). En el cual se deben pesar 3.000 ± 0.005 g en un crisol de porcelana. Consiguientemente se debe pasar por el incinerador "Sybron" a 550 °C durante 7-8 horas hasta que las muestras se vuelvan cenizas de color gris claro. Enfriar en un desecador con gel de sílice durante 30 min y pesar los resultados en una balanza analítica “OHAUS® AX22/E” (Ecuación 9).

$$\%Cz = \frac{(Cz-C)}{MH} \text{ x } 100 \quad [9]$$

Donde:

Cz: Porcentaje de Cenizas

Cz: Peso final + crisol

C: Peso del crisol

MH: Muestra húmeda

Minerales.

Se determinó la cantidad de minerales (P, K y Ca) presente en cada muestra de maíz amarillo por medio del método oficial AOAC 985.35. Utilizando la ceniza previamente obtenida según el método AOAC 925.03 se agregó 0.5-3 mL de HNO_3 1 M en el crisol, para así proseguir a calentar en un baño de vapor o una estufa a 95 °C por 2-3 minutos para disolver. Luego, se añadió la solución a un matraz volumétrico de 50 mL, realizando lavador con dos porciones de 5 mL de HNO3 1 M. Para Ca se debe añadir 8.8 mL de solución de LaCl3 1% a la dilución final de 50 mL de cada estándar y la muestra

para obtener una concentración de 0.1% (p/v) de Lantano. Así mismo, para K se añadió 3.15 mL de solución de CsCl 10% a la dilución final de 50 mL de cada estándar y la muestra para obtener una concentración de 0.5% (p/v) de Cs y diluir con HNO3 1M. Las diluciones adicionales necesarias se calcularon dependiendo de la concentración teórica de cada mineral presente en el producto analizado. Se prepararon dos blancos que representan a toda la cristalería y reactivos empleados a través de todo el procedimiento. Luego, se preparó la curva de calibración para cada mineral que se determine. Las soluciones de ensayo se determinaron de forma similar en el espectrofotómetro de absorción atómica. Finalmente, se realizaron los cálculos tomando en cuenta el peso de la muestra y las diluciones realizadas y se presentaron los resultados como promedio de los miligramos (mg) del mineral analizado por cada 100 g del alimento.

Materia Orgánica.

La determinación de materia orgánica se realizó por medio de una resta del contenido de humedad menos las cenizas del peso original de las muestras y se reportó como porcentaje. Para ello se utilizó la Ecuación 10.

$$\% \, MO = 100 - (\% \, H - \% Cz) \qquad [10]$$

Donde:

%MO: Materia Orgánica

%M: Porcentaje de humedad

%Cz: Porcentaje de ceniza

Proteína Cruda.

La metodología empleada para este análisis se basó en el Método Oficial de la AOAC 2001.11, el cual describe el procedimiento por destilación Kjeldahl para medición de proteína cruda. El método se llevó a cabo por medio de tres pasos fundamentales: digestión, destilación y titulación. El porcentaje de proteína fue calculado mediante la expresión (Horwitz y Latimer 2005)(Ecuación 11)

$$\%\mathrm{P} = \frac{\mathrm{VHCL} * \mathrm{NHCL} * 0.014 * \mathrm{F}}{\mathrm{M}} * 100 \qquad [11]$$

Donde:

%P: porcentaje de proteína cruda;

VHCl: volumen de HCl consumido en la titulación;

NHCl: normalidad del HCl utilizado en la titulación;

F: factor utilizado para la conversión de porcentaje de nitrógeno a porcentaje de proteína; para la mayoría de los alimentos el factor que se utiliza es 6.25 ya que se considera que el porcentaje de nitrógeno es 16%.

M: gramos de muestra utilizada.

Previamente, se necesitó conocer el porcentaje de grasa cruda por medio de literatura para indicar la cantidad que se necesita de muestra. Primero, se pesaron las muestras individuales en papel café libre de nitrógeno la cantidad de 1± 0.0050 g en una balanza analítica "OHAUS® AX224/E". Luego, fueron colocadas en tubos Kjeltec con dos tabletas catalíticas (2.5 g K2SO4 y 0.4 g CUSO4) y una cantidad de 12 mL de ácido sulfúrico, esta cantidad varía según el porcentaje de grasa cruda, en el caso del maíz este contiene menos del 10%, posteriormente, se llevaron al digestor Tecator™ D 20, el tiempo para esta etapa fue de 60 minutos a una temperatura de 420 °C. Por último, se dejó enfriar el equipo durante 90 minutos.

El siguiente paso consistió en colocar un para cada muestra un Erlenmeyer de 300 mL y un tubo kjeltec en el destilador FOSS Kjeltec 8200, este programa trabaja con 80 mL de agua desionizada, 60 mL de hidróxido de sodio (NaOH) al 40% y 30 mL de ácido bórico (H_3BO_3), estos fueron preparados con verde bromocresol y rojo metilo el tiempo. El objetivo principal es la obtención de amoniaco en el medio. Sin embargo, para esta etapa el tiempo por muestra fue de cuatro minutos aproximadamente.

Finalmente, se usó una bureta de 50 mL con 0.0944 N cargada de ácido clorhídrico en su forma hidratada, debajo de la bureta se colocó el Erlenmeyer que contiene la muestra destilada y un agitador magnético para posteriormente titular el medio hasta obtener un color rosado. Luego, se registró el volumen gastado de ácido clorhídrico.

Fibra Cruda.

Para el análisis de fibra cruda se empleó el método AOAC 962.09 con el objetivo de determinar fibra cruda con el uso del equipo analizador de fibra de ANKOM A200 (Latimer 2012).

La preparación de muestras se llevó a cabo con la identificación y el registro del pesado de los filtros ANKOM F-57. Primeramente, se obtuvo el peso vacío de cada uno de los filtros, Luego, se pesó 1 ± 0.005 g de cada una de las muestras homogeneizadas este proceso se realizó para cada repetición. Posteriormente, cada filtro fue sellado con una selladora "ATW Manufacturing" de 220V.

Como segundo paso, se elaboraron los reactivos para la digestión. En este caso se realizó la preparación de 2000 mL de ácido sulfúrico 0.255±0.005N al 1.25%, de igual manera, se prepararon 2000 ml de hidróxido de sodio 0.313±0.005N al 1.25%.

En el proceso de digestión se utilizó el analizador de fibra el cual fueron puestos los filtros que contienen las muestras. Se vertió el ácido sulfúrico al 1.25% y se encendieron las funciones de agitación y calor durante una hora hasta alcanzar una temperatura de 70 °C. Luego, se apagó el equipo, se abrió la válvula para despachar el HCL y verter el NaOH y esperar una hora más. Al finalizar, se realizaron tres lavados con agua. Una vez terminado el proceso de digestión de muestra se transfirieron los filtros del equipo digestor a un equipo de secado "Horno Fisher Scientific 750 F" a una temperatura de 105° Celsius durante dos horas. Por último, se tomó el peso para los filtros luego del secado. Para la determinación de fibra cruda se utilizó la Ecuación 12.

$$\%\text{Fibra cruda} = \frac{(W3-W1)}{W2} * 100 \qquad [12]$$

Donde:

W1: peso de tara del filtro

W2: peso de la muestra

W3: peso final después del secado

Extracto Libre de Nitrógeno (21 CFR 101.9(c)(6)).

La determinación de extractos libre de Nitrógeno se calculó haciendo una diferencia entre el peso total del alimento y la suma de la proteína cruda, la grasa total, la humedad, fibra, cruda y cenizas en gramos (FDA 2022). Se utilizó la Ecuación 13.

$$\mathrm{ELN} = \mathrm{M} - (\mathrm{PC} + \mathrm{H} + \mathrm{GC} + \mathrm{Cz} + \mathrm{FC}) \qquad [13]$$

Donde:

ELN: Extractos Libre de Nitrógeno

M: Muestra

PC: Proteína cruda

H: Humedad

GC: Grasa cruda

Cz: Cenizas

FC: Fibra cruda

Grasa Cruda (AOAC 2003.06).

Para el análisis de lípidos se empleó el método AOAC 2003.06 con el objetivo de determinar grasas crudas. Se utilizó el equipo "Soxtec™ 8000 Extraction Unit" de la línea "Tecator™, básicamente, la función de este es hervir el solvente (hexano) para separar las grasas, aceites y otros compuestos solubles. Se comenzó agregando 2.000 ± 0.005 g de célite 545 ® con un tamaño de partícula: 0.01mm-0.04mm (PQ-202) a los dedales de celulosa con dimensiones (46 × 80) mm. Luego, se pesó la cantidad de muestra, esta dependerá del porcentaje de grasa cruda que presenta. El maíz presenta menos del 10%, por la cual, se decidió utilizar 4.000 ± 0.005 g de muestra, por último, se agregó el algodón desgrasado.

Por otro lado, se colocaron cuatro perlas de ebullición en las tazas del equipo Soxtec, fueron trasladadas al "Horno Fisher Scientific 750 F" durante 30 minutos con el objetivo de eliminar humedad, una vez ubicadas las tazas y dedales en el equipo se procedió a encender el Soxtec. Se aseguró que sea el programa uno ya que es el que cuenta con los parámetros de extracción.

El proceso del Soxtec se dividió en tres etapas con sus respectivos tiempos: Ebullición durante 20 minutos, lavado durante 40 minutos y recuperación de n-hexano para análisis EMSURE® durante ocho minutos.

Al obtener los resultados del equipo, las tazas metálicas fueron trasladadas al "Horno Fisher Scientific 750 F" 102 ± 2 °C en el horno por 30 minutos para remover la humedad, no obstante, se llevaron las muestras al desecador generándoles una temperatura ambiente por un tiempo de 30 minutos y se midió el peso de la muestra con una balanza analítica. Para calcular el porcentaje de grasa se utilizó la Ecuación 14:

$$\%\mathrm{GC} = \frac{\mathrm{Tf} - \mathrm{Ti}}{\mathrm{S}} \cdot 100 \qquad [14]$$

Donde:

%GC: Porcentaje de grasa cruda

T_i= Residuo de grasa (g) + Peso taza (g)

T_f= Peso taza vacío (g)

S= Peso de la muestra

Perfil de Ácidos Grasos

Descripción de la Metodología e Instrumentos Para la Determinación del Perfil de Ácidos Grasos

La determinación del perfil de ácidos grasos cis y trans se realizó a través del método oficial AOCS Ce 1j-07. De igual manera, se utilizó un equipo de cromatografía de gases, este trabaja con gas de arrastre H_2 y gas aire para la combustión de la muestra. El equipo reportó y registró los resultados por medio de un detector de ionización de flama. La cromatografía separa por afinidad a través de una fase móvil. Sin embargo, esto conllevó a poder identificar y clasificar los ácidos grasos de cada muestra.

Se trabajó con tubos de ensayo marca Pyrex previamente rotulados como medios para realizar el paso de transesterificación, este a través del método AOCS Ce 2b 11. La muestra se extrajo por medio del isooctano, se realizó este paso por la solidificación de la grasa del maíz, se puede omitir con materias primas distintas, posteriormente, se agregó 200 – 250 mg de muestra a cada uno de los tubos. Se le adicionó 2 mL de isooctano para análisis EMSURE® y 0.5 mL KOH metanólico solución 2 M

(Hidróxido de potasio número CAS: 1310-58-3), luego se agitó en el vórtex “Fisher Digital Vortex 120V” durante ocho minutos y se dejó reposar 10 minutos.

Se notó la separación de los ácidos grasos y el glicerol, por lo tanto, se tomó 1 mL de la fase superior (ácidos grasos) del tubo de ensayo por medio de una pipeta “Rainin Pipet lite XLS” para luego llevarlo hacia los nuevos tubos de ensayo rotulado según los tratamientos. Después, se adicionó 4 mL de isooctano y 1 g de sulfato de sodio. Luego se agitó cada uno de los tubos durante ocho minutos en el equipo vórtex y se dejó en reposo durante 10 min. Por medio de una pipeta electrónica, se transfirió 1 mL de la fase del isooctano a los viales rotulados que se corresponden al cromatógrafo de gases.

Se empleó una temperatura de puerto de inyección de 235 °C y una temperatura de detector de 325 °C. Se utilizó hidrógeno como gas de arrastre, el programa en el horno inició a 180 °C por 32 min, incrementando a 20 °C/min hasta 215 °C en un tiempo de espera de 31.22 min. Este proceso fue realizado por medio del método AOCS Ce 1j-07.

Para mayor eficacia, se comprobó las temperaturas del horno, inyector y el detector, se verificó la llama y las condiciones de flujo, velocidad y tiempo de corrida. Se analizó el estándar GLC-463 (Nu-Chek Prep) y cada muestra de maíz. Es importante destacar que el estándar de perfil de ácidos grasos GLC-463 sirve como referencia para comparar con las muestras a evaluar. El volumen de inyección que se utilizó para cada uno de los viales fue de 1 µL y su flujo de aire fue de 450 mL/min con nitrógeno de 46 mL/min.

Por último, se corrigió el cromatógrafo, el tiempo por cada vial fue aproximadamente 60 minutos. Una vez finalizado, se evaluó la precisión tanto en la parte cualitativa (tiempo de elusión) como cuantitativa (área del pico de cada ácido graso) del análisis. Finalmente, se procedió a identificar cuáles son los ácidos grasos presentes en la muestra con el objetivo de reportar y clasificar los porcentajes de ácidos grasos.

Calorimetría

Descripción y Evaluación de Valor Energético Utilizando Método de Calorimetría DIN 51900 -3

Para este análisis se empleó el "Calorímetro Compensado Parr 6100" con una dimensión de 57 ancho x 40 profundidad x 43 altura, es una unidad operativa compacta que utilizó una bomba de oxígeno estilo 1108 y cubeta ovalada provista con el 6200. Está compuesto por un sistema de llenado automático de oxígeno y termómetro electrónico de alta presión. A través del teclado de panel táctil se ingresó los datos de la cantidad de muestra 1.0000 ± 0.0050 g, por medio de la pantalla LCD se observaron las indicaciones del operador, indicación de estado, verificación de datos y visualización de los informes. El tiempo por prueba fue de seis minutos.

Evaluación del Aporte del Maíz Amarillo Nacional e Importado en una Dieta para Ganado Lechero de Alta Producción

Se solicitó la dieta para la alimentación de ganado lechero de alta producción elaborada en la unidad de concentrados (Cuadro 3) para posteriormente evaluar el aporte químico de cada muestra después de haber realizado el análisis proximal completo.

Cuadro 3

Dieta implementada en Ganado Lechero de Alta Producción de Zamorano

Dieta de Vacas de Alta Producción	
Ingrediente	Cantidad (Kg)
Bicarbonato de Sodio	0.7
Fertilizante Urea	0.3
Salvado de Trigo	4.1
Sal Común	0.2
Maíz Comercial	20.1
Semolina de Arroz	3.2
Melaza	2.7
Harina de Coquito	1.9
Harina de Soya	10
Grasa Soprepasante	1.0
Núcleo Estándar	1.1

Nota. Dieta implementada en la unidad de Ganado Lechero para ganado lechero de alta producción en Zamorano.

Resultados y Discusión

Análisis Proximal Completo para Maíz Amarillo

El principal objetivo del análisis proximal es conocer el porcentaje de los macronutrientes o componentes mayoritarios de un alimento para poder describir las características de la variedad y del tipo de la especie estudiada pues las características fisicoquímicas del recurso vegetal varían por la influencia de factores genéticos, climáticos, edafológicos (Romo et al. 2006).

Los resultados obtenidos por medio de un análisis proximal para las distintas empresas se muestran en el Cuadro 4 en el cual se reporta el valor de cada parámetro. Se puede apreciar que el maíz de las empresas USA1 y USA2 provenientes de Estados Unidos tuvieron los porcentajes más altos en humedad (10.25 y 10.35%) y no presentaron diferencias significativas entre sí, en comparación con los producidos en Honduras. Sin embargo, estos niveles de humedad son apropiados así como mostraron Valdes et al. (2016), en su estudio "Efecto de la temperatura y la humedad en la conservación de granos de maíz en silos metálicos refrigerados" a través de literatura que los valores óptimos de conservación de granos de maíz son de 13 - 15%. Por otro lado, se puede observar que los porcentajes de las empresas USA1 y USA2 para los parámetros de cenizas (1.53 y 1.58%), grasa (4.27 y 4.07%) y proteína (6.66% y 6.61%) no presentan diferencias significativas ($P < 0.05$) entre sí, de igual forma, son de menor porcentaje comparados con los provenientes de empresas hondureñas. La empresa HN1 presento los porcentajes más altos en grasa (10.57%) y en fibra (8.25%). Por su parte, el maíz de la empresa HN2 presentó el mayor porcentaje de proteína (9.12%).

Cuadro 4

Resultados del Análisis Proximal de las Empresas de Maíz Amarillo Expresado en 100 Gramos por Muestra

Tratamiento	Humedad	Cenizas	Grasa	Proteína	Fibra	ELN
	Media (g) ± DE	Media (g) ± DE	Media (g) ± DE	Media (g) ± DE	Media (g) ± DE	Media (g) ± DE
HN1	9.67 ± 0.06^{B}	3.31 ± 0.01^{A}	10.57± 0.09^{A}	7.16 ± 0.41^{B}	8.25 ± 0.68^{A}	61.04 ± 0.34^{D}
HN2	9.77 ± 0.02^{B}	2.70 ± 0.04^{B}	7.47 ± 0.04^{B}	9.12± 0.35^{A}	6.46 ± 0.56^{B}	64.47 ± 0.31^{C}
USA1	10.25 ± 0.08^{A}	1.53 ± 0.03^{C}	4.27 ± 0.39^{C}	6.66 ± 0.08^{CB}	1.87 ± 0.06^{D}	75.42 ± 0.28^{A}
USA2	10.35 ± 0.15^{A}	1.58 ± 0.01^{C}	4.07 ± 0.18^{C}	6.61 ± 0.16^{C}	2.97 ± 0.07^{C}	74.42 ± 0.15^{B}
P	<0.001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
C.V.	0.70	1.24	4.06	3.37	7.91	0.42

Nota. P: valor de probabilidad estadística. DE.: Desviación Estándar. A-E.: Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa (P < 0.05). g: gramos. ELN: Extracto libre de nitrógeno. C.V.: Coeficiente de variación

Humedad

La determinación del porcentaje de humedad puede ser el análisis más importante llevado a cabo en un producto alimentario y sin embargo, el análisis más difícil de obtener resultados exactos y precisos. Se conoce como sólidos totales a la materia seca que permanece en el alimento posterior a la remoción del agua. Este valor analítico es de gran importancia económica para un fabricante de alimentos, ya que el agua es un factor de calidad en la conservación de algunos productos. Dentro de los métodos para esta determinación están: pérdida por secado (gravimétrico), destilación, métodos químicos e instrumentales (Banderas 2012).

En el Cuadro 5 puede apreciar que no existe diferencia significativa ($P < 0.05$) entre las empresas nacionales HN1 y HN2 (9.67^{A} , 9.77^{A}). de igual forma, se determinó que son los mejores tratamientos para este parámetro. Por otra parte, las empresas provenientes de EE. UU USA1 y USA2 (10.25^{B} , 10.35^{B}) no presentaron diferencias significativas ($P<0.05$).

Cuadro 5

Resultado de análisis de humedad de cada tratamiento.

Tratamiento	Medias (g) ± DE
HN1	9.67 ± 0.06^{B}
HN2	9.77 ± 0.02^{B}
USA1	10.25 ± 0.08^{A}
USA2	10.35 ± 0.15^{A}
P	< 0.001
C.V.	0.70

Nota: P: valor de probabilidad estadística. DE: Desviación Estándar. C.V.: Coeficiente de Variación. A-E: letras diferentes indican diferencia significativa ($P<0.05$). g: gramos

Según la FAO (1994), el porcentaje máximo de humedad permitido para maíz es de 13.5% con tolerancias hasta 14% (Cuadro 6). Sin embargo, se observa que todos los tratamientos están por debajo de dicha cifra, dando como consecuencia la aceptación de las empresas a nivel de parámetro físico. Es muy importante mencionar que realizar un buen secado y contar con temperaturas optimas de almacenamiento determinan el éxito de materias primas a granel ya que la humedad está ampliamente relacionada con la inocuidad, proliferación de hongos (microorganismos), estos pueden ocasionar reducción en la vida anaquel, pérdida de peso (volumen) y a su vez, perdidas monetarias.

En algunos granos la humedad es uno de los factores principales que influyen en el rendimiento industrial. Los granos se deben guardar limpios, secos (13.5% de humedad de recibo) y sin daño mecánico, con lo cual el riesgo de deterioro es mínimo. Para esto, se debe considerar el acondicionamiento, el almacenamiento y el control de calidad de los granos durante esta etapa (Nuss y Tanumihardjo 2010). La humedad y la temperatura son las dos variables que más afectan la actividad de los granos y la de los organismos que viven en el granel. A mayor temperatura y humedad, mayor actividad microbiana. El manejo del grano húmedo es un aspecto que frecuentemente constituye un problema a la hora de cosechar, y ese problema puede ser tanto económico como logístico (Chulze 2010). En regiones tropicales húmedas, con predominio de altas temperaturas y de humedad relativa, la conservación de granos representa un serio desafío, ya que bajo estas condiciones ecológicas se favorece el desarrollo de los principales factores que ocasionan las pérdidas en los granos y las semillas; por lo que garantizar el almacenamiento del grano después de la cosecha, ha sido una gran preocupación de los agricultores ya que la presencia de plagas o problemas de humedad, no solo reducen el volumen de maíz almacenado, sino que afecta la calidad del grano y por consiguiente afectará la economía, al reducir sus ventas, vender más barato, al tener que comprar más grano para la alimentación o siembra (Blanco et al. 2016).

Cuadro 6

Porcentajes de humedad para granos y oleaginosas (FAO 2007).

Grano	Base o Tolerancia	Diferencia	Humedad final para el cálculo de la merma
Maíz	14.5	1.0	13.5
Sorgo	15.0	1.5	13.5
Avena, cebada, centeno – trigo, trigo – pan, arroz ciscara	14.0	0.5	13.5
Mijo	15.0	0.5	14.5
Cartamo	10.0	0.5	9.5
Lino		0.5	9.5
Colza	8.0	0.5	7.5
Girasol	11.0	0.5	10.5
Maní (descarado)	9.0	0.5	8.5
Soja	13.0	0.5	12.5

Cenizas

En el análisis de los alimentos, las cenizas se definen como el residuo inorgánico que se obtiene al incinerar la materia orgánica en un producto cualquiera. Cuando los alimentos son tratados térmicamente a temperaturas entre 500 y 600 °C, el agua y otros constituyentes volátiles son expulsados como vapores en tanto los constituyentes orgánicos son transformados en presencia del oxígeno del aire en dióxido de carbono (CO2) y óxido de nitrógeno (NO2) mientras el hidrógeno es expulsado en forma de vapor de agua (Kirk et al. 1996). El maíz desde su producción hasta su comercialización está expuesto a factores ambientales, climáticos, biológicos tales tierras, arena, sal, calcio, fertilizantes, etc. Estos a su vez, pueden provocar adulteraciones en su composición nutricional y, por ende, problemas por eso la importancia de realizar previamente análisis químicos como cenizas para la determinación de ellos. En el Cuadro 7 se observa que los porcentajes de los tratamientos provenientes de EE. UU. no presentan diferencias significativas (P<0.05) USA1 y USA2 (1.53^{C}, 1.58^{C}). De igual forma, presentan los porcentajes más bajo para este parámetro. El tratamiento HN1 presenta el mejor tratamiento según la prueba DUNCAN obteniendo un porcentaje de (3.31^{A}).

Cuadro 7

Resultado de análisis de ceniza de cada tratamiento.

Tratamiento	Medias (g) ± DE
HN1	3.31 ± 0.01^{A}
HN2	2.70 ± 0.04^{B}
USA1	1.53 ± 0.03^{C}
USA2	1.58 ± 0.01^{C}
P	< 0.001
C.V.	1.24

Nota: P: Valor de probabilidad estadística. DE: Desviación Estándar. C.V.: Coeficiente de Variación. A-E: letras diferentes indican diferencia significativa (P < 0.05). g: gramos. HN1: Empresa nacional 1. HN2: Empresa nacional 2. USA1: Empresa importadora 1. USA2: Empresa importadora 2.

Dentro de los parámetros brindándonos por el USDA (Cuadro 13), se determinó que todos los tratamientos están por encima del rango máximo expresado en porcentaje (1.20%). El maíz desde su producción hasta su comercialización está expuesto a factores ambientales, climáticos, biológicos tales tierras, arena, sal, calcio, fertilizantes, etc. Estos a su vez, pueden provocar adulteraciones en su

composición nutricional, y por ende, problemas por eso la importancia de realizar previamente análisis químicos como cenizas para la determinación de ellos. Por otra parte, la determinación de cenizas permite detectar posibles contaminaciones metálicas en los alimentos, las cuales pueden ocurrir durante el proceso de producción (Hartmann et al. 2008). Cuando hay un alto contenido de cenizas se sugiere la presencia de un adulterante inorgánico, a menudo es aconsejable, además, la determinación de cenizas insolubles en ácidos (Márquez 2014).

Minerales

Los minerales son elementos químicos simples cuya presencia e intervención es imprescindible para la actividad y salud de las células, se ha demostrado que intervienen en funciones de: transporte, plásticas y reguladoras. Se conocen más de veinte minerales necesarios para controlar el metabolismo o que conservan las funciones de los diversos tejidos. Los minerales no se sintetizan dentro del organismo, por esto estos deben provenir de la ingesta diaria de los alimentos (Banderas 2012). Dentro de esta investigación se estudiaron los minerales más importantes y necesarios para la dieta destinada a ganado lechero. El P es importante en el aprovechamiento de la energía de los alimentos, participa en el metabolismo de los carbohidratos, contribuye en la absorción de la glucosa en el intestino y su reabsorción en los riñones, es indispensable en el proceso de oxidación de la glucosa y producción de energía (fosfocreatina, ATP, etc.) (Villanueva 2010). En el Cuadro 8 se observan los resultados de análisis de minerales, en el caso del fosforo los tratamientos empresas hondureñas HN1 y HN2 tuvieron los porcentajes más altos (51.16^{A} , 54.22^{A}). Se identificó que no tuvieron diferencias significativas entre sí ($P < 0.05$). De igual manera, los tratamientos procedentes de EE. UU USA1 y USA2 (27.82^{B} , 10.35^{B}) presentan los porcentajes más bajos de dicho parámetro. Se identificó que no tuvieron diferencias significativas entre sí.

Cuadro 8

Resultados de Análisis de Minerales para Maíz Amarillo Expresados por Muestra de 100 miligramos.

Empresa	Fósforo	Potasio	Calcio
	Media (mg) ± DE	Media (mg) ± DE	Media (mg) ± DE
HN1	51.16 ± 1.80^{A}	838.89 ± 7.94^{A}	158.23 ± 5.12^{B}
HN2	54.22 ± 4.34^{A}	578.58 ± 7.76^{C}	90.56 ± 2.07^{C}
USA1	27.82 ± 0.35^{B}	421.74 ± 3.40^{D}	263.17 ± 2.82^{A}
USA2	10.35 ± 1.74^{C}	742.06 ± 8.59^{B}	261.76 ± 5.44^{A}
P	<.0001	<.0001	<.0001
C.V.	6.20	3.24	2.26

Nota. P: valor de probabilidad estadística. DE.: Desviación Estándar. A-D: Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa (P < 0.05). mg: miligramos. C.V.: Coeficiente de Variación.

Con apoyo de la prueba DUNCAN se determinó que las empresas nacionales hondureñas presentan los mejores tratamientos estadísticamente, pero, de acuerdo con la Tabla de Composición de Minerales brindada por el USDA (Cuadro 9) el valor de fosforo para Maíz Amarillo corresponde a un 210% valor expresado en 100 mg. Los tratamientos HN1 y USA2 representan como se mencionó las medias más altas expresadas en miligramo, pero mostrando en base a 100 gramos representa el 0.05%. Para ganado lechero en producción; 0.35 a 0.5% (Villanueva 2010) con esta comparación se consideraron valores bajos y deficientes. Este tipo de deficiencia podría causar pérdidas importantes en producción de leche debido a que los minerales cumplen un rol importante en la síntesis de leche, metabolismo y salud en general (Gómez y Fernández 2009).

Con respeto al mineral potasio, se presentaron diferencias significativas, de igual manera, el tratamiento HN1 presento el porcentaje más alto y por ende catalogándose como el mejor tratamiento según la prueba DUNCAN (838.89^{A}). Según la Tabla de Composición de Minerales brindada por el USDA para Maíz Amarillo (Cuadro 13) la cantidad de potasio que debe contener en valor de 100 gramos con 287 mg de potasio. Se observa que la cantidad excede de este mineral, siendo de beneficio ya que el potasio es un macronutriente que cumple funciones tales como; absorción de nutrientes, desechos metabólicos de la célula, entre otros.

Por último, el calcio es un macronutriente esencial para bovinos lecheros. Las vacas en producción requieren de niveles elevados de calcio en el alimento (Vidaurreta 2016). Dentro del

análisis de Calcio, los tratamientos USA1 y USA2 presentaron los porcentajes más altos (263.17[A] y 261.76[A]) sin diferencias significativas entre sí. De acuerdo Tabla de Composición de Minerales brindada por el USDA (Cuadro 9). para Maíz Amarillo la cantidad de Calcio que debe contener en valor de 100 gramos son 7 mg de Calcio. Sin embargo, vemos todos los tratamientos presentan cantidades por ese encima de esa cifra, pero hay que tomar en cuenta de que son porcentajes demasiados alto y puede tener repercusiones también. Para las secas suministrar un alto nivel de calcio tiene como consecuencia desfavorable una disminución de calcio en el suero sanguíneo (hipocalcemia), en el parto o cerca de él. La hipocalcemia está asociada con un aumento en la incidencia de mastitis, cetosis, desplazamiento de abomaso, retención de placenta y menor fertilidad (Pérez et al. 2011).

Cuadro 9

Composición de Minerales de Maíz Amarillo USDA 2013.

		Maíz Blanco	Maíz Amarillo	Pasta De Maíz Seca	Pasta De Maíz Cocinada
Nutriente	Unids.	Valor por 100g	Valor por 100g	Valor por 100g	Valor por 100g
Minerales					
Calcio (Ca)	mg	7	7	4	1
Hierro (Fe)	mg	2.71	2.71	0.98	0.25
Magnesio (Mg)	mg	127	127	125	36
Fosforo (P)	mg	210	210	266	76
Potasio (K)	mg	287	287	309	31
Sodio (Na)	mg	35	35	3	0
Zinc (Zn)	mg	2.21	2.21	1.88	0.63
Cobre (Cu)		0.314	0.314	0.212	0.064
Manganeso (Mn)	mg	0.485	0.485	0.507	0.153
Selenio (Se)	mg	15.5	15.5	8.3	2.8

Proteína

La cantidad de proteína es un parámetro que difiere grandemente entre los cereales e inclusive entre el mismo tipo de cereal dependiendo de la variedad o aun de una cosecha a otra (Mex-Álvarez 2016); esto se debe a la interacción el genotipo y los factores ambientales presentes durante el desarrollo y maduración del grano; de acuerdo con el Cuadro 10, la mayor concentración proteínica se encontró en la empresa productora nacional HN2 un valor de 9.12%. Dicha empresa presentó

valores cercanos a los resultados reportados por el USDA en el Composición nutricional general (2013). De igual forma, la segunda empresa nacional "HN1" presentó valores elevados en proteína con 7.16% y teniendo una diferencia de 1.96% en comparación a la empresa HN2. Por otro lado, las empresas importadoras de maíz amarillo demostraron tener contenidos bajos en proteína en comparación a los establecidos por la USDA (9.62%) para maíz amarillo en el 2013 (Cuadro 13), USA2 con 6.61% y Matura con valores de 6.66%. Una desventaja de este análisis es que el método utilizado de Kjeldahl mide el total de nitrógeno orgánico y luego este tiene que ser multiplicado por el factor de conversión, por lo que es un método de baja precisión (Nielsen 2017).

Cuadro 10

Resultados de Análisis de Proteína de cada Tratamiento.

Tratamiento	Medias (g) DE
HN1	7.16 ± 0.41^{B}
HN2	9.12 ± 0.35^{A}
USA1	6.66 ± 0.08^{CB}
USA2	6.61 ± 0.16^{C}
P	< 0.001
C.V.	3.37

Nota: P: valor de probabilidad estadística. DE: Desviación Estándar. C.V.: Coeficiente de Variación. A-E: letras diferentes indican diferencia significativa (P<0.05). g: gramos.

Grasa Cruda

Las grasas se definen bioquímicamente como sustancias insolubles en agua y solubles en compuestos apolares como el éter, este es el principio de la determinación de grasa en el análisis de laboratorio que involucra esta propiedad de solubilidad para su determinación, por ello algunos especialistas en el tema tiendan a llamarle extracto etéreo propiamente dicho (Borrego-Avila et al. 2016).

Se observa que la empresa HN1 presenta el porcentaje más alto (10.57). Comparando con el cuadro de Composición Nutricional General del USDA excede el 4.74% (Cuadro 13) que contiene el maíz amarillo. La grasa en exceso puede afectar y obstruir procesos ruminales en el bovino. Es por esto que la dieta no debe contener más de 5% de grasa; si se sobrepasa puede afectar la fermentación ruminal y causar una diarrea fisiológica, acidificar el recto y causar una diarrea patológica, además

producir descenso de la grasa en la leche y reducir la ingesta de alimento (González y Bas 2001). Es por ello, se determina que no sería el mejor tratamiento, con respecto a este parámetro, por otro lado, los tratamientos USA1 y USA2 representan porcentajes por debajo de lo establecido por el USDA (4.27^{C} y 4.07^{C}), sin diferencias significativas entre sí, catalogándose como los mejores tratamientos con respecto al análisis de grasa.

En el Cuadro 11 se observa que la empresa HN1 presenta el porcentaje más alto (10.57). Comparando con el cuadro de Composición Nutricional General del USDA excede el 4.74% (Cuadro 13) que contiene el Maíz Amarillo en estudios. La grasa en exceso puede afectar y obstruir procesos ruminales en el bovino. Es por esto que la dieta no debe contener más de 5% de grasa; si se sobrepasa puede afectar la fermentación ruminal y causar una diarrea fisiológica, acidificar el recto y causar una diarrea patológica, además producir descenso de la grasa en la leche y reducir la ingesta de alimento (González y Bas 2001). Es por ello, se determina que no sería el mejor tratamiento, con respecto a este parámetro, por otro lado, los tratamientos USA1 y USA2 representan porcentajes por debajo de lo establecido por el USDA (4.27 y 4.07), sin diferencias significativas entre sí, catalogándose como los mejores tratamientos con respecto al análisis de grasa.

Cuadro 11

Resultado de Análisis de Grasa Cruda de cada Tratamiento.

Tratamiento	Medias (g) ±DE
HN1	10.57 ± 0.09^{A}
HN2	7.47 ± 0.04^{B}
USA1	4.27 ± 0.39^{C}
USA2	4.07 ± 0.18^{C}
P	< 0.001
C.V.	4.06

Nota: P: valor de probabilidad estadística. DE: Desviación Estándar. C.V.: Coeficiente de Variación. A-E: letras diferentes indican diferencia significativa (P<0.05). g: gramos.

Carbohidratos

Se conoce que los carbohidratos son las biomoléculas de mayor componente de los granos de cualquier cereal; según el Cuadro 12, todos los maíces tuvieron un alto porcentaje de carbohidratos, entre 61 y 75%, siendo las empresas importadoras las que presentaron el mayor

porcentaje, USA2 con 74.42 g y USA1 75.42 g; los carbohidratos son la fuente de energía primaria de un alimento que aporta la mayor cantidad de calorías metabolizable de los cereales y la principal razón de que los cereales sean la fuente de nutrientes requeridos para el crecimiento y desarrollo; también un mayor porcentaje de carbohidratos influirá sobre el sabor del alimento al conferir una mayor dulzura al grano (Rosli 2013). Las empresas hondureñas contaron con bajo nivel de carbohidratos siendo HN1 la más baja (61.04 g) seguida por HN2 (64.47 g).

Cuadro 12

Resultado de Análisis de Extracto Libre de Nitrógeno de Cada Tratamiento.

Tratamiento	Medias (g)± DE
HN1	61.04 ± 0.34^{D}
HN2	64.47 ± 0.31^{C}
USA1	75.42 ± 0.28^{A}
USA2	74.42 ± 0.15^{B}
P	< 0.001
C.V.	0.42

Nota: P: valor de probabilidad estadística. DE: Desviación Estándar. C.V.: Coeficiente de Variación. A-E: letras diferentes indican diferencia significativa (P<0.05). g: gramos. ELN: Extracto Libre de Nitrógeno.

Fibra Cruda

La fibra es importante no sólo como precursora de la grasa de la leche, sino que de ella depende en gran medida el normal funcionamiento del rumen. Promover la motilidad ruminal, mantener el pH ruminal por su capacidad de intercambio catiónico y estimular la rumia son otras importantes funciones que cumple. Entre sus numerosas funciones podemos destacar su estimulación sobre la rumia y en consecuencia sobre la secreción de saliva, y su aporte de celulosa y hemicelulosa digestibles que al ser degradadas por los microorganismos del rumen aportan los ácidos precursores de la grasa de la leche (Gorosito 1997).

En el Cuadro 13 se observa que, para el análisis de fibra, se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos, siendo el porcentaje más alto el tratamiento HN1 (8.25).

Cuadro 13

Resultado de Análisis de Fibra Cruda de cada Tratamiento.

Tratamiento	Medias (g)±DE
HN1	8.25 ± 0.68[A]
HN2	6.46 ± 0.56[B]
USA1	1.87 ± 0.06[D]
USA2	2.97 ± 0.07[C]
P	< 0.001
C.V.	7.91

Nota: P: valor de probabilidad estadística. DE: Desviación Estándar. C.V.: Coeficiente de Variación. A-D: letras diferentes indican diferencia significativa (P<0.05). g: gramos.

Comparando este resultado con el cuadro de la Composición Nutricional General del USDA (Cuadro 14), en Valor de 100 gramos la fibra tiene 7.3%. Sin embargo, solamente el tratamiento HN1 supera este porcentaje, justificando de esa forma el tratamiento más importante en este parámetro.

Cuadro 14

Composición nutricional general

		Maíz Blanco	Maíz Amarillo	Pasta De Maíz Seca	Pasta De Maíz Cocinada
Nutriente	Unids.	Valor por 100g	Valor por 100g	Valor por 100g	Valor por 100g
Agua	g	10.37	10.37	10.0	68.31
Energía	Kcal.	365	365	357	126
Energía	Kj	1527	1527	1494	527
Proteínas	g	9.42	9.62	7.46	2.63
Grasas totales	g	4.74	4.74	2.08	0.73
Ceniza	g	1.20	1.20	1.20	0.42
Carbohidratos	g	74.26	74.26	79.26	27.91
Azucares totales	g	---	0.64		
Fibra total	g	---	7.3	11.0	4.8

Nota. Tomado de USDA (2013).

Perfil de Ácidos Grasos

A través de la técnica de cromatografía de gases, se encontró que los aceites de los granos tienen altas cantidades de ácidos ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados. La literatura menciona que los aceites vegetales provenientes de los granos oleaginosos son altos en ácidos grasos poliinsaturados de 18 carbonos (Kontogiorgos 2021). A partir de estos resultados destacan los siguientes ácidos grasos: palmítico, esteárico, oleico y linoleico al igual que un estudio de caracterización de proteínas, grasa y perfil graso de maíces criollos, realizado por Pliego (2021).

En la empresa USA2 se encontró el mayor porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados (52.74%) (Cuadro 15) que son considerados benéficos para la salud humana y animal, puesto que

poseen omega-6 y omega-3, aceites esenciales que estos organismos no pueden sintetizar (Masson 1994). Se evidenció en los resultados una alta proporción de la sumatoria de ácidos grasos poliinsaturados con respecto a la sumatoria de ácidos grasos saturados y monoinsaturados. Los resultados del Cuadro 15 demuestran que HN2 y USA1 presentan la mayor proporción de ácidos grasos monoinsaturados, comparado con la cantidad de saturados. Torres-Morales et al (2010) evaluaron el perfil de ácidos grasos de granos de maíz en función de la zona geográfica de cultivo, contemplando variables como ciclo agrícola, altitud y precipitación, y encontraron diferencias significativas entre el perfil de ácidos grasos de cada una de las localidades evaluadas, lo que los llevó a concluir que los factores ambientales son determinantes en la expresión génica de los ácidos grasos.

Cuadro 15

Resultados del análisis de perfil de ácidos grasos del aceite de las empresas productoras e importadoras de maíz amarillo en 100 gramos de aceite.

Análisis	HN1	HN2	USA1	USA2
	Medias (g)±DE	Medias (g)±DE	Medias (g)±DE	Medias (g)±DE
Total Grasa Saturada	14.48±0.60^{A}	13.2±0.46^{B}	14.36±0.32^{A}	14.58±0.05^{A}
C16:0	12.15 ± 0.02^{A}	11.11 ± 0.01^{B}	11.90 ± 0.01^{A}	12.41 ± 0.06^{A}
C18:0	2.31 ± 1.15^{A}	1.93 ± 0.11^{B}	2.37 ± 0.53^{A}	2.10 ± 1.79^{B}
Total Grasa Monoinsaturada	35.54±0.82^{B}	37.93±0.37^{A}	37.25±0.33^{A}	32.4±0.63^{C}
C18:1	35.50 ± 0.09^{B}	37.47 ± 0.02^{A}	37.01±0.00^{A}	32.23 ± 0.14^{C}
Total Grasa Poliinsaturada	49.93±0.43^{B}	48.3±0.08^{C}	48.08±0.76^{C}	52.74±0.73^{A}
C18:2	49.93 ± 0.84^{B}	48.31 ± 0.05^{B}	48.08 ± 0.17^{B}	52.74 ± 0.25^{A}

Nota. P: valor de probabilidad estadística. DE.: Desviación Estándar. A-C.: Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa ($P < 0.05$). g: gramos. C.V.: Coeficiente de Variación.

Calorimetría

Debido a que se encontró diferencia significativa en los componentes nutricionales del maíz amarillo de las cuatro empresas, se esperó que estos tuvieran un aporte energético distinto. Esto se ve evidenciado por la diferencia estadísticamente significativa con una probabilidad ($P<0.05$) para cada tratamiento (Cuadro 16). La empresa con el grano con mayor densidad energética fue HN1 seguido por HN2, que son las dos empresas hondureñas evaluadas en el estudio. Los resultados de mayor densidad energética correspondieron con los resultados de los granos que presentaron mayor contenido de grasa cruda. El macronutriente que más aporta energía es el lípido (9 Kcal por cada gramo). Al tener mayor concentración de grasa cruda, estos cultivos pueden a su vez aumentar en su densidad energética (Nascimento et al. 2021).

Cuadro 16

Resultados del Análisis de Calorimetría realizado a Cuatro Empresas Productoras e Importadoras de Maíz Amarillo.

Tratamiento	Medias (Kcal) ± DE
HN1	426.64 ± 1.64^{A}
HN2	410.83 ± 1.89^{B}
USA1	382.11 ± 1.71^{D}
USA2	383.77 ± 1.10^{C}
P	< 0.001
C.V.	0.17

Nota. P: valor de probabilidad estadística. DE.: Desviación Estándar. A-D.: Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa ($P < 0.05$). Kcal: kilocalorías. C.V.: Coeficiente de Variación.

Análisis Físicos

En Cuadro 17 se observa que para el parámetro de impurezas hay diferencia significativa entre los tratamientos, en el caso de los tratamientos USA1 y USA2 representan las medias más altas en cuanto a impurezas (4.21, 2.63). Es importante mencionar las razones por la cual pudieron haber sido afectado, estos lotes en su evaluación sensorial y organoléptica presentaron restos de fragmentos de otros granos, suciedad, terrones, etc. Esto es consecuencia de falta de limpieza generada en el almacenamiento. La limpieza busca reducir el contenido de impurezas (grano quebrado) y de materias extrañas (residuos vegetales, semillas de otras especies, terrones, piedras etc.). Esta puede ser manual (aventando el grano o con zarandas) o mecánicamente por medio de máquinas de limpieza, bajo el principio de aire y zarandas, que además clasifican el grano por tamaño, combinando diferentes tamaños de criba (Peralta 2015). Por otro lado, el tratamiento USA1 presentó diferencias significativas en cuanto a daño por hongos, otros daños, total de grano dañado y granos quebrados. Cabe mencionar que, total de grano dañado incluyen; daño por calentamiento y por hongos. De la misma manera, el secado del grano, luego de la cosecha, es importante debido a que evita el aumento de calor, disminuye el proceso respiratorio, disminuye la reproducción de hongos y reduce el riesgo de germinación del grano en el almacén (Defaz 2012). El factor daño por germen café ocurre por un calentamiento generado al grano, dando como resultado como muestra su palabra germen café.

Según Enamorado (2007) y Meggs (2009), categorizan al daño por calentamiento como un daño principal en almacenamiento al momento de no haber controles adecuados de temperatura. De igual manera, en granos secos este daño también puede ser atribuible a la incidencia de insectos que se desarrollan a contenidos de humedad cercanas al 15% de humedad o menos, dando como resultado un aumento en la temperatura del grano (FAO 1994).

Los tratamientos HN1 (Honduras) y USA2 (EE. UU) presentaron diferencias significativas con respecto al parámetro daño por calentamiento, dándonos a entender sin importar la geografía ambas

empresas supieron manejar parámetros de temperatura, humedad y humedad relativa en los diferentes almacenamientos.

Cuadro 17

Medias de los Daños, Impurezas y Grano Quebrado Presentes en las cuatro Empresas de Maíz Amarillo Evaluadas.

Empresa	Impureza Media (%) ± DE	Daño por Insecto Media (%) ± DE	Daño por Hongo Media (%) ± DE	Daño por germen café Media (%) ± DE	Daño por calentamiento Media (%) ± DE	Otros daños Media (%) ± DE	Total de granos dañados Media (%) ± DE	Granos quebrados Media (%) ± DE	Peso Bushel Media (%) ± DE
HN1	1.59 ± 0.21^{C}	0.00 ± 0.00^{A}	0.00 ± 0.00^{C}	0.42± 0.09^{B}	2.12 ± 0.10^{A}	6.42 ± 0.35^{A}	8.96 ± 1.17^{B}	1.22 ± 0.12^{C}	60.30 ± 0.35^{A}
HN2	1.02 ± 0.10^{D}	0.00 ± 0.00^{A}	0.25 ± 0.04^{B}	0.00 ± 0.00^{B}	0.36 ± 0.04^{B}	5.65 ± 0.16^{B}	6.26 ± 0.20^{C}	1.22 ± 0.13^{C}	60.10 ± 0.00^{BA}
USA1	4.21 ± 0.28^{A}	0.00 ± 0.00^{A}	6.16 ± 0.21^{A}	0.00 ± 0.00^{B}	0.39 ± 0.04^{B}	5.05± 0.13^{C}	11.60 ± 0.15^{A}	4.47 ± 0.39^{A}	59.70 ± 0.00^{C}
USA2	2.63 ± 0.31^{B}	0.00 ± 0.00^{A}	0.28 ± 0.03^{B}	1.78 ± 0.61^{A}	2.16 ± 0.15^{A}	1.00 ± 0.09^{D}	5.29 ± 0.85^{C}	2.26 ± 0.28^{B}	59.77 ± 0.06^{BC}
P	<.0001	N/A	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0194
C.V.	8.82	0.00	6.04	53.20	8.53	5.13	8.64	10.92	0.30

Nota. P: valor de probabilidad estadística. DE.: Desviación Estándar. A-C.: Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa (P < 0.05). %: porcentaje. C.V.: Coeficiente de variación.

El Departamento de agricultura de los Estados Unidos Servicio de Comercialización Agrícola y Servicio Federal de Inspección de Granos dicta sus propios grados y requisitos del maíz (Cuadro 18). Utilizando parámetros como Peso Bushel, Maíz quebrado y Material Extraño, Granos Dañado (Daño por calentamiento y total) y los clasifica según el grado desde U.S No 1 hasta el U.S No 5. Según el análisis realizado en el parámetro Impurezas se observa un sobrepaso en los tratamientos USA1 y USA2, como se mencionó anteriormente pudo haber sido por falta de limpieza. Por otro lado, todos los tratamientos exceden el límite máximo para los parámetros daño por calentamiento y total, generando problemas de calidad en el maíz. Sin embargo, ningún tratamiento entraría en las categorías dadas por el USDA.

Cuadro 18

Grados y requisitos de grado para el maíz.

Grado	Peso mínimo de prueba por bushel (libras)	Límites máximos de:		
		Granos dañados		Maíz roto y material extraño (%)
		Granos dañados (calor) (%)	Total (%)	
U.S. No. 1	56.0	0.1	3.0	2.0
U.S. No. 2	54.0	0.2	5.0	3.0
U.S. No. 3	52.0	0.5	7.0	4.0
U.S. No. 4	49.0	1.0	10.0	5.0
U.S. No. 5	46.0	3.0	15.0	7.0

Nota. Tomado de USDA 1996. Grado de muestra de los Estados Unidos. La calidad U.S. Sample es el maíz que (a) No cumple con los requisitos de los grados U.S. 1, 2, 3, 4 o 5; o (b) Contiene piedras con un peso agregado superior al 0,1 por ciento del peso de la muestra, dos o más trozos de vidrio, tres o más semillas de crotalaria (*Crotalaria spp*.), dos o más semillas de ricino (*Ricinus communis* L.), cuatro o más partículas de una(s) sustancia(s) extraña(s) desconocida(s) o de una(s) sustancia(s) nociva(s) o tóxica(s) comúnmente reconocida(s), ocho o más semillas de cucarachas (*Xanthium spp*.), o semillas similares solas o combinadas, o suciedad animal en un porcentaje superior al 0,20 por ciento en 1.000 gramos; o (c) Tiene un olor extraño mohoso, agrio o comercialmente objetable; o (d) Se calienta o es de baja calidad.

Se utilizó la tabla de porcentajes máximos de la Norma de Calidad de grano para Centroamérica propuesta por CITESGRAN y PRODEPAH (Cuadro 19), dando como resultado que todos los tratamientos no sobrepasan el total de grano dañado, pero si otros parámetros individuales, de tal forma, que los cuatro tratamientos pueden considerarse CA-1 de acuerdo con el Cuadro 19. Cabe recalcar que esta norma para realizar dichas clasificaciones se basa en cinco parámetros; quebrado y

materia extraña, recalentado, microorganismos, insectos, total. De igual manera, esta tabla clasifica los lotes según la muestra en A, b, C y D. Los lotes A son aquellos que no reúnen los requisitos de alguno de los grados 1, 2 y 3. Los lotes B son aquellos que en 1 kg se encuentren alguno de las siguientes materiales o semillas siete o más piedras u objeto metálicos que sobrepasen 02% en peso dos o más pedazos de vidrio, más de 20 semillas de chamico (Datura ferox), tres o más de semillas de Crotalana (Crotalana spp), cinco o más semillas tóxicas de otra plantas cuatro o más partículas de sustancias desconocidas o reconocidas como tóxicas más de 02% de excretas de roedores, pájaros o de otros animales. Se clasificará como lote C aquellos que tengan olor mohoso, agrio o cualquier olor comercialmente objetable. Por último, los lotes D serán aquello que estén calientes o que de alguna forma deba considerarse como indudable baja calidad.

Cuadro 19

Factores y grados de calidad del maíz.

Grado	Peso hectolitrito mínimo Kg/Hl	Porcentajes máximos					
		Quebrado y materia extraña	Granos dañados			Total 1/	Contrastantes 2/
			Recalentado	Microorganismos	Insectos		
CA-1		20	01	10	05	40	30
CA-2		30	03	20	10	60	50
CA-3		80	10	30	30	100	40

Nota. Adaptado y tomado de CITESGRAN (2019). La humedad y el contenido de impurezas son factores de negociación entre las partes. 1/ El dañado total es la suma de todos los daños incluyendo el recalentado, dañado por microorganismos por insectos y otros daños. 2/ El grano contrastante como factor de calidad se aplica solamente en el caso de los contrastantes por color en lotes de maíz blanco. Si este factor pasa de 70% el lote se clasifica como mezclado y no como según muestra.

Evaluación del Aporte del Maíz Amarillo a una Dieta de Ganado Lechero de Alta Producción en Zamorano

El grano de maíz representa para nuestro país y la mayoría de los países del mundo, el ingrediente más utilizado como suplemento energético en la alimentación del ganado bovino (Camps y González [updated 2003]). En el Cuadro 20 se puede observar el aporte de nutrientes en 45 libras de maíz amarillo, en una dieta de ganado lechero de Zamorano de 100 libras.

Cuadro 20

Aporte de Nutrientes de Maíz Amarillo en una Dieta de Ganado Lechero de Zamorano en 100 libras

Empresa	Humedad (lbs)	Cenizas (lbs)	Grasa Cruda (lbs)	Proteína (lbs)	Fibra Cruda (lbs)	ELN (lbs)
HN1	4.35	1.49	4.76	3.22	3.7125	27.47
HN2	4.40	1.21	3.36	4.10	2.91	29.01
USA1	4.61	0.69	1.92	3.00	0.84	33.94
USA2	4.66	0.71	1.83	2.97	1.34	33.49

Nota: lbs: Libras. ELN: Extracto Libre de Nitrógeno

Conclusiones

A través de los resultados del análisis físico se determinó que la empresa importadora de Maíz Amarillo “USA2” y “HN2” con maíz producido localmente presentaron los porcentajes más bajos (5.29 y 6.26) en el parámetro Total de Granos Dañados.

A través de los resultados del análisis químico se determinó que la empresa productora hondureña “HN1 “presentó los mejores porcentajes en cuanto a los parámetros de humedad, ceniza y fibra, asimismo, la empresa productora hondureña HN2 presentó el porcentaje más alto en cuanto a proteína. Las empresas importadoras de maíz amarillo “USA1 y USA2” presentaron los mejores porcentajes en grasa y Extracto libre de nitrógeno.

El análisis proximal completo demostró que la empresa productora hondureña “HN1” tiene un mayor aporte de nutrientes a una dieta de ganado lechero de alta producción en comparación con las empresas importadoras de maíz amarillo de Estados Unidos.

Recomendaciones

Realizar un análisis de aflatoxinas de las muestras evaluadas de cada una de las empresas bajo estudio.

Evaluar el contenido de magnesio (Mg), sodio (Na), hierro (Fe) y zinc (Zinc) presentes en cada muestra de las diferentes empresas evaluadas.

Tomar en consideración otras empresas productoras e importadoras de maíz amarillo con el fin de hacer un estudio más representativo del país.

Realizar una evaluación de costos de cada una de las empresas bajo estudio.

Utilizar maíz amarillo proveniente de Honduras con el fin de brindar un mayor aporte de nutrientes a dietas destinadas para ganado lechero de alta producción.

Referencias

Banderas MJ. 2012. Análisis proximal de los principales componentes nutricionales de arroz pulido, harina de trigo de flor, maíz amarillo y papa chola [Disertación]. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. spa; [consultado el 30 de jun. de 2022]. http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/5359.

Blanco Y, Durañona H, Acosta R. 2016. The effect of temperature and humidity on maize grains conservation in metal silos. Cultivos Tropicales; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 37(4):105–114. doi:10.13140/RG.2.2.13900.21127.

Borrego-Avila DA, Castilla-Arciniega MA, Gómez-González L, Chew Madinaveitia RG. 2016. Caracterización Bromatológica de Harina de Guamüchil (*Pithecellobium dulce*). Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 1(2):37–40. http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/1/7.pdf.

Camps D, González G. [actualizado 2003]. Grano de maíz en la alimentación del ganado ¿entero o partido?: Área de Nutrición y Alimentación Animal, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Veterinarias. [sin lugar]: UBA; [consultado el 30 de jun. de 2022]. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/04-grano_maiz.pdf.

CFR - Code of Federal Regulations Ttile 21 (2022).

Chulze SN. 2010. Strategies to reduce mycotoxin levels in maize during storage: a review. National Library of Medicine; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 27(5):651–657. eng. doi:10.1080/19440040903573032.

[CITESGRAN] Centro Internacional de Tecnologia de Semillas y Granos. 2019. Propuesta: Normas de Calidad de Grano para Centroamérica (PRODEPAH). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano: [sin editorial]; [consultado el 3 de jul. de 2022]. 63 p. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACE162.pdf.

Coutiño B, Vázquez G, Torres B, Salinas Yolanda. 2008. Calidad de grano, tortillas y botanas de dos variedades de maíz de la raza comiteco. Revista Fitotecnia Mexicana; [consultado el 25 de jun. de 2022]. 31(3):9–14. https://www.redalyc.org/pdf/610/61009703.pdf.

Cruz O. 2013. Manual para el cultivo del maíz en Honduras. 3ª ed. Tegucigalpa, M. D. C.: DICTA ; [consultado el 25 de jun. de 2022]. https://dicta.gob.hn/files/2013,-Manual-cultivo-de-maiz--G.pdf.

Defaz H. 2012. Guía Técnica del Cultivo de Maíz: IICA. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado 2012; consultado el 30 de jun. de 2022]. https://www.iica.int/Esp/regiones/central/salvador/Documents/Documentos%20PAF/GuiaTecnicaelCultivodelMaiz.pdf.

Enamorado SM. 2007. Evaluación de las condiciones de almacenamiento del frijol (*Phaseolus vulgaris*) en las bodegas del Instituto Hondureño de Mercadeo Agrícola (IHMA). [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano; [consultado el 30 de jun. de 2022]. http://hdl.handle.net/11036/643.

[FAO] The Food and Agriculture Organization. 1994. Grain storage techniques: Evolution and trends in developing countries. Rome: GASGA. 277 p. (FAO agricultural services bulletin; vol. 109). ISBN: 9789251034569; [consultado el 30 de jun. de 2022]. https://books.google.hn/books?id=-W-4fjtj5PMC.

[FAO] The Food and Agriculture Organization. 2007. Secado de granos y secadoras: El problema de la humedad, Tipos de secadoras, Energia y combustion. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 17 de feb. de 2021; consultado el 3 de jul. de 2022]. https://www.fao.org/3/x5028s/X5028S02.htm.

[FAO] The Food and Agriculture Organization. 2019. Estadísticas alimentarias y agrícolas: Estadísticas. FAOSTAT - Producción Agrícola. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 30 de jun. de 2022]. http:/www. fao.org/corp/statistics/es/.

Gómez C, Fernández M. 2009. Minerales para mejorar producción de leche y fertilidad en vacas lecheras.: Departamento de Nutrición. BM Editores; [consultado el 30 de jun. de 2022]. http:// www.infolactea.wordpress.com/2009/05/19/minerales-para-mejorar-produccion-de-leche-y-fertilidad-en-vacas-lecheras-4/.

González F, Bas F. 2001. Las grasas protegidas como fuente energética en la alimentación de vacas lecheras. [sin lugar]; [consultado el 30 de jun. de 2022]. http://www.agrominerales.com/interes/articulos_grasa_sobrepasante/GRASA%20PROTEGIDA%20COMO%20FUENTE%20ENERGETICA%20A%20VACAS%20LECHERAS%20CHIL.pdf.

Gorosito R. 1997. Cantidad, Calidad y Tamaño de Fibra en la Dieta de las Vacas Lecheras. Argentina: [sin editorial]; [actualizado 1997; consultado el 30 de jun. de 2022]. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/70-fibra_en_lecheras.pdf.

Hartmann BM, Vásquez-Caicedo A, Bell S, Krems C, Brombach C. 2008. The German nutrient database: Basis for analysis of the nutritional status of the German population. Journal of Food Composition and Analysis. 21:S115-S118. doi:10.1016/j.jfca.2007.03.008.

Henry SH, Whitaker TB, Rabbani I, Bowers J, Park D, Price W, Bosch FX, Pennington J, Verger P, Yoshizawa T. 2001. Aflatoxin M1. [sin lugar]: [sin editorial] ; [consultado el 30 de jun. de 2022]. https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqno115=127049.

Horwitz W, Latimer GW. 2005. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18ª ed. Estados Unidos: [sin editorial]. ISBN: 0935584773; [consultado el 30 de jun. de 2022]. https:// www.researchgate.net/profile/hayder-n-al-mentafji/publication/292783651_aoac_2005.

Kirk RS, Sawyer R, Egan H. 1996. Composición y Análisis de los Alimentos de Pearson. [sin lugar]: Grupo Patria Cultural. ISBN: 9682612640; [consultado el 30 de jun. de 2022].

Kontogiorgos V. 2021. Introduction to food chemistry. Cham, Switzerland: Springer. 205 p. ISBN: 978-3-030-85641-0; [consultado el 30 de jun. de 2022].

Latimer GW. 2012. Official methods of analysis of AOAC International. 19ª ed. Gaithersburg (Maryland): AOAC International. 2 v. ;. ISBN: 0-935584-83-8; [consultado el 30 de jun. de 2022].

Márquez B. 2014. Cenizas y Grasas: Refrigeración y congelación de alimentos: terminología, definiciones y explicaciones [Tesis]. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustin; [consultado el 30 de jun. de 2022]. http://190.119.145.154/handle/unsa/4188.

Masson L. 1994. Criterio de calidad para materias grasas utilizadas frecuentemente en la nutrición animal y de peces: Control de calidad de insumos y dietas acuícolas. Italia: [sin editorial]; [actualizado 1994; consultado el 30 de jun. de 2022]. Documento de Campo. http://www.fao.org /docrep/field/003/ab482s/AB482S00.htm.

Meggs Salguero FA. 2009. Evaluación del efecto de las condiciones de almacenamiento en el Instituto Hondureño de Mercadeo Agrícola sobre la calidad de frijol (*Phaseolus vulgaris*). [Tesis].

Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; [consultado el 30 de jun. de 2022]. https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/ef65662c-4fe9-4077-b466-312d84d30d59/content.

Mex-Álvarez R. 2016. Análisis proximal y fitoquímico de cinco variedades de maíz del Estado de Campeche, México: Facultad de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad Autónoma de Campeche. Latinoamericana de Recursos Naturales; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 12(2):74–80. http://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/254.

Nascimento CO, Pina DS, Cirne LGA, Santos SA, Araújo MLGML, Rodrigues TCGC, Silva WP, Souza MNS, Alba HDR, Carvalho GGP de. 2021. Effects of Whole Corn Germ, A Source of Linoleic Acid, on Carcass Characteristics and Meat Quality of Feedlot Lambs. Animals (Basel); [consultado el 30 de jun. de 2022]. 11(2). eng. doi:10.3390/ani11020267.

Nielsen SS, editor. 2017. Food analysis. 5ª ed. Cham, Switzerland: Springer. 649 p. (Food science text series). ISBN: 978-3-319-45774-1; [consultado el 30 de jun. de 2022].

Núñez O. 2017. Los costos de la alimentación en la producción pecuaria. Journal of the Selva Andina Animal Science; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 4(2):93–94. en. doi:10.36610/j.jsaas.2017.040200093.

Nuss ET, Tanumihardjo SA. 2010. Maize: A Paramount Staple Crop in the Context of Global Nutrition. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 9(4):417–436. eng. doi:10.1111/j.1541-4337.2010.00117.x.

[OECD] The Organisation for Economic Co-operation and Development. 2020. Lácteos y sus productos | OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2020-2029 | OECD iLibrary. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 30 de jun. de 2022; consultado el 30 de jun. de 2022]. https://www.oecd-ilibrary.org/sites/8b675a1a-es/index.html?itemId=/content/component/8b675a1a-es.

Peralta RJ. 2015. Propuesta para la optimización del proceso de recepción, clasificación y almacenamiento de maíz nacional en la Planta Pronaca - Quevedo del cantón Buena Fé, año 2014 [Tesis]. Quevedo - Ecuador: Universidad Técnica Estatal de Quevedo. spa; [consultado el 30 de jun. de 2022]. http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3455.

Pérez MA, Peña FA, Benítez MJ. 2011. Sales minerales en la ganadería de leche bovina. Revista Sistemas de Producción Agroecológicos; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 2(2):65–80. es. https://revistas.unillanos.edu.co/index.php/sistemasagroecologicos/article/view/583. doi:10.22579/22484817.583.

Pliego CE, Ramírez MdL, Ortíz R, Hidalgo B. 2021. Caracterización de proteínas, grasa y perfil graso de maíces criollos (*zea mays*) en poblados del estado de México. Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 21(42):154–169. https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpma/article/view/373/365.

Romo S, Rosero A, Forero CL, Ceron E. 2006. Potencial Nutricional de Harinas de Quinua (*Chenopodium Quinoa* W) Variedad Piartal en los Andes Colombianos. Facultad de Ciencias Agropecuarias; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 4(1):112–125. http://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/download/639/271.

Rosli W. 2013. The ability of *Zea mays* ears (Young Corn) powder in enhancing nutritional composition and changing textural properties and sensory acceptability of yeast bread. International Food Research Journal; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 2(20):799–804. https://

www.researchgate.net/publication/286221829_The_ability_of_Zea_mays_ears_Young_Corn_powder_in_enhancing_nutritional_composition_and_changing_textural_properties_and_sensory_acceptability_of_yeast_bread.

Sánchez FC, Salinas M. Y., Vázquez C. M. G., Velázquez C. G.A., Aguilar G. N. 2007. Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre la textura de la tortilla. Archivos Latinoamericanos de Nutrición; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 57(3). http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=s0004-06222007000300013&script=sci_arttext.

Sosa G. 2018. Maíces Híbridos en Honduras. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 30 de jun. de 2022]. https://grupocadelga.com/vive-tu-tierra/maices-hibridos-en-honduras.

Tobía C, Sequera C, Villalobos E, Cioffi R, Escobar O. 2007. Experiencias en la elaboración de silajes de maíz-soya en dos sistemas de producción bovina en Venezuela (Experiences of the combined ensiling of maize and soybean in two cattle production systems in Venezuela. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, San José; [actualizado 2007; consultado el 30 de jun. de 2022]. 78 p. https://www.researchgate.net/profile/enrique-villalobos-3/publication/285788602_experiencias_en_la_elaboracion_de_silajes_de_maiz-soya_en_dos_sistemas_de_produccion_bovina_en_venezuela_experiences_of_the_combined_ensiling_of_maize_and_soybean_in_two_cattle_production_systems_in_v.

Torres B, Coutiño B, Muñoz A, Santacruz A, Mejía, A: Serna, S., García S, Palacios N. 2010. Selección para contenido de aceite en el grano de variedades de maíz de la raza comi-teco de Chiapas, México: Agrociencia. Agrociencia; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 44(6):679–689. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-31952010000600007&lng=pt&nrm=iso.

U.S. Grains Council. 2018. Maíz - América Latina. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 8 de jun. de 2020; consultado el 29 de jun. de 2022]. https://grains.org/lta/buying-selling/maiz/.

[USDA] U.S. Department of Agriculture. 1996. United States Standards for Corn: U.S. Standards. 4ª ed. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 30 de jun. de 2022]. https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/CornStandards.pdf.

[USDA] U.S. Department of Agriculture. 2013. Food Data Central. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 30 de jun. de 2022]. https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html.

Valdes YB, Durañona H, Acosta R. 2016. The effect of temperature and humidity on maize grains conservation in metal silos. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 37(4):105–114. doi:10.13140/RG.2.2.13900.21127.

Vidaurreta I. 2016. Calidad y disponibilidad de agua para los bovinos en producción. [sin lugar]: Centro Consultor Ganadero; [consultado el 30 de jun. de 2022]. http://t3000493.ferozo.com/informe2.pdf.

Villanueva G. 2010. Nutrición del ganado: Fósforo. Jalisco, México: [sin editorial]; [consultado el 30 de jun. de 2022]. https://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion_mineral/128-fosforo.pdf.

Anexos

Anexo A

Resultados de Análisis de Aflatoxinas Realizado a Maíz Amarillo de Empresas Productoras e Importadoras.

	Resultado	Unidades	Método
HN1	37.23	/ppb	ELISA de Competencia Directa
HN2	<3	/ppb	ELISA de Competencia Directa
USA2	<3	/ppb	ELISA de Competencia Directa
USA1	<3	/ppb	ELISA de Competencia Directa

Anexo B

Hoja de Evaluación utilizada en Análisis Físicos

Análisis Físico

Clase: _____

Cliente Propietario:_____

Centro de Procedencia:_____

Almacenado Silo No._____ Bodega No._____Estiba No._____Fecha:_____

Evaluación Organoléptica

Olor:_____ No. Total de Insectos/Kg: Vivos:_____ Muertos:_____

Temperatura:_____

Apariencia: Buena_____ Regular:_____Mala:_____

Análisis Selectivo

Impurezas:_____

Daño por Insecto:_____

Daño por Hongo:_____

Daño por Germen Café:_____

Daño por Calentamiento:_____

Otros Daños:_____

Total de Grano Dañado:_____

Grano Quebrado:_____

Calificación

CA – 1 = Total de daño 0 a 4.0%

CA – 2 = Total de daño 4.1 a 7.0%

CA – 2 = Total de daño 7.0 a 10.0%

SM = Total de daño 10.0% en adelante