



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA DETERMINACIÓN DE
HUMEDAD TOTAL EN MAÍZ DURO (Zea Mays L.)

AUTORA

Daniela Monserrat Villamarín Rodríguez

AÑO
2018



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA DETERMINACIÓN DE
HUMEDAD TOTAL EN MAÍZ DURO (Zea Mays L.)

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniera Agroindustrial y de Alimentos.

Profesor Guía

Ph. D. Héctor Abel Palacios Cabrera

Autora

Daniela Monserrat Villamarín Rodríguez

Año

2018

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido el trabajo, Comparación de metodologías para terminación de humedad total en maíz duro (Zea Mays L.), a través de reuniones periódicas con el estudiante Daniela Monserrat Villamarín Rodríguez, en el semestre 2018-2, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Héctor Abel Palacios Cabrera
Doutor em Tecnologia de alimentos
CI: 0912277480

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, Comparación de metodologías para terminación de humedad total en maíz duro (Zea Mays L.), de Daniela Monserrat Villamarín Rodríguez, en el semestre 2018-2, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Santiago Mauricio Olmedo Ron
Máster en Gestión de la Producción
CI: 1705972394

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”

Daniela Monserrat Villamarín Rodríguez
CI: 1717603797

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a mis padres por acompañarme en cada paso de mi vida.

A mi tutor por su apoyo para la culminación de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres Yuri y Edita por su apoyo y amor incondicional, a mis hermanas Alejandra y Tatiana por tantas enseñanzas en el camino y a mi mejor amigo Sebastián por tanta complicidad.

RESUMEN

El maíz (*Zea mays L.*) de origen mexicano es una gramínea y su producción mundial es de 3 millones de toneladas anuales. La importancia de la determinación de humedad para el almacenaje y la cosecha radica en la calidad e inocuidad de materia prima, control de procesos y conservación de alimentos. Existen investigaciones de comparación de metodologías de humedad, pero ninguna aplicada en maíz duro por lo que en el presente trabajo se plantean los siguientes objetivos: 1) Desarrollar estándares de granos de maíz duro con siete grados de humedad para garantizar la homogeneidad. 2) Comparar seis diferentes metodologías de determinación de humedad en los rangos de 10-16%. El desarrollo de estándares se realizó tras dos fases: secado y acondicionamiento. Para la comparación de metodologías se realizó un ensayo de homogeneidad usando la ecuación de (Gough, 1986) y un (DBCA) estadístico. Tras constatar que los lotes de maíz eran homogéneos dentro y entre las fundas se procedió a la comparación de cinco metodologías donde se aplicó un análisis de varianza, seguido de una prueba de tukey al 5%. Para los resultados de homogeneidad dentro y entre las fundas se obtuvo que el valor de F calculado no sobrepasa a los valores de F crítico, siendo 2,262 y 2,045 por lo tanto los lotes con rango de humedad del 10-16% fueron homogéneos. Para los resultados de la comparación de metodologías se encontró diferencias estadísticas significativas en aplicación de un método frente al otro, siendo el método más preciso el infrarrojo y el menos preciso el de capacitancia. El método del INIAP e INEN muestran valores semejantes. El dato más relevante es la diferencia significativa de 2 puntos porcentuales comparando el método de capacitancia frente al método INEN 1513. Se concluye que tras someter al grano a procesos de secado y homogeneidad se logra obtener los 7 rangos de humedades deseadas. Finalmente, tras estandarizar los lotes y avalar la homogeneidad de los lotes con rangos de humedad del 10 al 16 % se logró realizar la comparación de 5 metodologías.

Palabras clave: humedad, maíz, métodos, homogeneidad

ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) of Mexican origin is a grass and its world production is 3 million tons per year. The importance of moisture determination for storage and harvesting lies in the quality and safety of raw materials, process control and food preservation. There is research comparing methodologies with significant differences, but none applied in hard corn, so in this paper the following objectives are set: 1) Develop standards of hard corn with seven degrees of humidity to ensure homogeneity. 2) Compare six different methodologies of determination of humidity in the ranges of 10-16%. The development of standards was carried out after two phases: drying and conditioning. For the comparison of methodologies, a homogeneity test was performed using the equation of (Gough, 1986) and a statistical (DBCA). After verifying that the batches of corn were homogeneous within and between the bags, we proceeded to compare five methodologies where an analysis of variance was applied, followed by a Tukey test at 5%. For the homogeneity results inside and between the covers, it was obtained that the calculated F value does not surpass the critical F values; being 2,262 and 2,045 therefore, the lots with a humidity range of 10-16% were homogeneous. For the results of the comparison of methodologies, significant statistical differences were found in the application of one method over the other, with the infrared method being the most accurate and the capacitance method less precise. The INIAP and INEN method show similar values. The most relevant data is the significant difference of 2 percentual points comparing the capacitance method against the INEN 1513 method. It is concluded that after subjecting the grain to drying and homogeneity processes, it is possible to obtain the 7 ranges of humidity desired. Finally, after standardizing the batches and endorsing the homogeneity of the batches with humidity ranges of 10 to 16%, a comparison of 5 methodologies was made.

Keywords: moisture, corn, methods, homogeneity

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo General	2
1.2 Objetivo Especifico.....	3
2. MARCO TEORICO	3
2.1. Generalidades del maíz.....	3
2.2. Producción	4
2.3. Importancia comercial	4
2.4. Variedades de Maíz	5
2.5. Parámetros importantes para evaluar la calidad e inocuidad del maíz nacional e internacional	6
2.6. Concepto de humedad, calidad e inocuidad y su importancia en los granos de maíz	8
2.7. Importancia de medir humedad en los procesos relacionados con la cadena agro productiva del maíz	9
2.8. Denominación del maíz según el contenido de humedad..	11
2.9. Métodos de determinación de humedad.....	12
2.10. Comparación de metodologías de determinación de humedad.....	13
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1 Localización	15
3.2 Material Vegetal	16
3.3 Métodos	16
3.3.1 Proceso de Secado.....	16
3.3.2 Desarrollo de estándares.....	17
3.3.3 Ensayo de Homogeneidad.....	18

3.3.4 Comparación de metodologías	18
3.3.4.1 Método de estufa (Método AACC 44-15 A)	19
3.3.4.2 Método de rutina para granos enteros recopilado del manual INEN1 513 (estufa)	19
3.3.4.3 Método por equipo infrarrojo	19
3.3.4.4 Método con equipo Agratronix MT-16 (Capacitancia).....	20
3.3.4.5 Método con equipo eléctrico (Metodología de humedad de granos-INIAP)	20
3.3.4.6 Método con prototipo	20
3.4 Estadística.....	20
3.4.1 Diseño Experimental.....	20
3.4.2 Tratamientos	21
3.4.3 Análisis de factibilidad.....	21
3.4.4 Variables evaluadas.....	21
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1 Secado.....	22
4.2 Acondicionamiento	23
4.3 Ensayo de Homogeneidad	24
4.3.1 Ensayo de homogeneidad dentro las fundas.....	24
4.3.2 Ensayo de homogeneidad entre las fundas.....	24
4.4 Comparación de metodologías.....	25
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	32
5.1 Conclusiones.....	32
5.2 Recomendaciones.....	32
REFERENCIAS	34
ANEXOS	40

1. INTRODUCCIÓN

El maíz, también conocido con el nombre científico de *Zea mays* L. proviene del griego *Zeo*, que significa vivir y *Mahíz* que significa grano (Maya, 2017). Forma parte de la familia de las gramíneas y su origen se les atribuye a México (Serratos, 2009). La producción mundial es de aproximadamente 3 millones de toneladas anuales y a esto se le acredita su importancia comercial (INTA, 2018).

El maíz es una gramínea que se comercializa en todo el mundo (Cuevas, J., 2016). La región costa del país abarca el 80% de la producción de maíz duro, el 17% restante corresponde a la región sierra y finalmente solo un 3% de la producción corresponde a la Amazonía (Quiroz, D. y Merchán, M., 2016). Los mejores rendimientos se observan en la provincia de Los Ríos, con aproximadamente 23 toneladas métricas (MAG, 2018).

En el Ecuador la cadena agro productiva del maíz duro involucra desde productores hasta las grandes industrias de alimentos y balanceados para animales (AFABA, 2018). Se estima que el cultivo representa alrededor del 2% del PIB agrícola nacional (Quiroz, D. y Merchán, M., 2016) y es por tal motivo que se considera al maíz como un cultivo de elevada importancia comercial y económica (Farm Agro, 2015).

Las variedades más importantes a nivel mundial son el maíz duro, reventón, dentado, harinoso, baby, ceroso, dulce y común. Entre las variedades más producidas en el Ecuador, se puede mencionar al maíz amarillo arenoso, maíz blanco arenoso, maíz suave seco, maíz blanco amorochado, maíz duro seco y maíz suave choclo (Sánchez I. , 2014).

El principal motivo por el cual las grandes industrias, productores y comercializadores de maíz buscan determinar el contenido de humedad en los cereales, es debido a que la humedad determina calidad e inocuidad en el grano (Banderas, 2012). Los conceptos de calidad e inocuidad al momento de medir la humedad en cereales tienen su importancia debido a que garantiza un

grano con características físicas y microbiológicas apropiadas para su comercialización y consumo (INTA, 2015). Para determinar la calidad e inocuidad en los granos de maíz se establecen ciertos parámetros, los mismos que establecen requisitos fundamentales para no comprometer la salud del consumidor (Tuitise, 2016). La FAO establece que el rango ideal para comercialización de maíz debe ser de 14, 50 % y que el grano debe estar libre de materias extrañas, componentes orgánicos o inorgánicos que puedan restar crédito al mismo (FAO, 2007).

Existen varios métodos directos e indirectos, los cuales son usados en todo el mundo para determinar la humedad en todo tipo de granos (INTA, 2009). Los métodos directos se caracterizan por ser poco destructivos y además proporcionan mayor exactitud en los resultados al momento de analizar una muestra. Los métodos indirectos en cambio, se caracterizan por ser más destructivos que los métodos directos. Para determinar la humedad en maíz duro se pueden aplicar métodos directos como: estufa, infrarrojo y destilación e indirectos, siendo el más conocido el equipo eléctrico (Luz, 2002).

Aun cuando existen varias metodologías y aparatos usados para determinar el contenido de humedad en granos de maíz (Martínez, E., 2006), el problema radica en la variabilidad de resultados obtenidos al usar un aparato frente a otro (INTA, 2009). Realizar la comparación de metodologías para determinar la humedad en maíz duro beneficiará a toda la cadena agro productiva del país, ya que se podrá conocer de manera exacta el contenido de humedad que brinda cada aparato.

1.1 Objetivo General

Comparar metodologías para determinación de humedad en maíz duro (*Zea mays L.*)

1.2 Objetivo Especifico

- Desarrollar estándares de granos de maíz duro con siete grados de humedad.
- Comparar seis diferentes metodologías de determinación de humedad en los rangos de 10-16%.

2. MARCO TEORICO

2.1. Generalidades del maíz

El maíz duro (*Zea mays L.*) es una planta monocotiledónea muy cultivada en todo el mundo y de abundante consumo a nivel mundial. Se originó en México y posteriormente, con el transcurso del tiempo el cultivo emigró hacia otros sitios de América (Sánchez I. , 2014). El maíz pertenece a la familia Poaceae, subfamilia Panicoideae, al género *Zea* (Instituto Nacional de Innovación Agraria- INIA, 2008). Las condiciones climáticas para el cultivo son suelos francos- arcillosos, profundos con buen drenaje en temperaturas desde 18 °C a 30 °C (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2014). Esta planta se encuentra presente en las tres regiones del Ecuador: Sierra, Costa, Oriente (Quiroz, D. y Merchán, M., 2016).



Figura 1. Maíz Duro.

Tomado de (*Instituto Nacional de Innovación Agraria, 2013*)

2.2. Producción

La producción mundial de maíz es de 1036,90 millones de toneladas entre el año 2017 al 2018 (United States Department of Agriculture- USDA, 2017). Según datos obtenidos por la FAO la producción de maíz en Sudamérica es de 162,5 millones de toneladas (FAO, 2017). Finalmente la producción de maíz duro seco en Ecuador es de 3.14 hectáreas (MAG, 2017).

2.3. Importancia comercial

El maíz es una planta con relevante importancia comercial a nivel mundial debido a su amplio uso y aprovechamiento en la cadena de valor (Mejía, 2003). A nivel mundial existen 180 millones de hectáreas plantadas de maíz (USDA, 2016). Las principales aplicaciones de este cereal se encuentran destinadas para alimentación animal y humana. Otro aprovechamiento comercial es el procesamiento agroindustrial para la obtención de múltiples productos alimenticios que benefician al área de explotación agroindustrial (MAG, 2013). Además de los usos antes mencionados, el maíz también puede aprovecharse para la elaboración de biocombustibles como bioetanol y biodiesel (High Level Panel of Experts - HLPE, 2013).

En el Ecuador existen aproximadamente 500 mil hectáreas de maíz sembradas; con un 50 % de maíz amarillo duro y otro 50% correspondiente al maíz de altura. La importancia comercial del maíz, se debe a que el cultivo representa alrededor del 2 por ciento del PIB agrícola nacional. Debido a la explotación agroindustrial y a su consumo alimenticio se considera como uno de los cultivos económicamente más importantes para el país (Quiroz, D. y Merchán, M., 2016).

Tabla 1.

Uso del maíz en diferentes industrias

Uso	Producto	Proceso
Alimentación Humana	Harina de Maíz	Molienda
	Fécula de Maíz	Molienda
	Pan de Maíz	Horneado
	Tortilla de Maíz	Molienda
	Refrescos	Mezclado
	Bebidas Alcohólicas	Fermentación y Destilación
	Confitería	Mezclado
	Snacks	Molienda
	Helados	Mezclado
	Carnes Procesadas	Cocción
	Aceite	Molienda
Alimentación Animal	Forraje	Almacenamiento
	Piensos	Almacenamiento
Industrial	Pegamentos	Mezclado
	Textil	Mezclado
	Biocombustibles	Mezclado
	Plásticos	Mezclado
	Químicos	Mezclado
Medicinal	Penicilina	Mezclado
	Té medicinal	Secado

Adaptado de (Paliwal, 2001)

2.4. Variedades de Maíz

El maíz puede variar según factores como color, apariencia, composición o textura. Las variedades de maíz con mayor relevancia a nivel mundial son: el maíz dentado, maíz duro, el maíz reventón, el dulce, maíz harinoso, maíz ceroso y tunicado, todos con variabilidad en su contenido amiláceo. En términos económicos, las variedades de maíz más importantes son duro, dentado y harinoso (Paliwal, 2001).

Maíz Duro: Este tipo de granos poseen una forma redonda de textura dura. Germina en suelos húmedos y fríos. Esta variedad se seca con mayor facilidad luego de alcanzar su madurez fisiológica. Además, es menos propensa al ataque de mohos e insectos durante su almacenamiento. Esta variedad se usa

para alimentación humana y animal. Entre los subproductos podemos mencionar a la maicena, snacks a base de maíz (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2014).

Aunque existen múltiples tipos de maíz a nivel mundial, específicamente en nuestro país existen variedades que se producen en mayor cantidad dependiendo de las regiones donde se siembra el cultivo. A continuación, presentamos la siguiente tabla, en la cual se detalla las variedades de maíz más producidas en cada región del país.

Tabla 2.

Variedades más relevantes de maíz por región

Región	Variedad
Sierra	Amarillo arenoso Blanco arenoso Maíz seco suave Blanco amorochado Maíz duro seco Maíz suave choclo
Costa	Maíz duro seco
Oriente	Maíz duro seco
Galápagos	-

Adaptado de (INIAP, 2013)

2.5. Parámetros importantes para evaluar la calidad e inocuidad del maíz nacional e internacional

Los parámetros más importantes para garantizar la calidad del maíz es su inocuidad de manera que sea apto para el consumo humano, además, debe estar libre de sabores y olores extraños, insectos vivos, y suciedad en cantidades que presenten un riesgo a la salud del consumidor (FAO, 2007).

Se solicita un contenido de humedad de 15,5 % m/m máximo y contenidos de humedad más bajos en condiciones de transporte o almacenamiento dependiendo del ambiente. Además, no se acepta más del 1,5 % m/m en componentes orgánicos como semillas extrañas, tallos, etc. No se acepta componentes inorgánicos que no sean maíz, como granos rotos u otro tipo de granos, y solo se aceptará un 0,1 % m/m máximo de suciedad como piedras, polvo, etc. (FAO, 2007).

Respecto a los contaminantes, en el Codex Alimentarius se establece que el maíz debe estar exento de metales pesados en cantidades que puedan afectar la salud humana (FAO, 2007).

El maíz debe ajustarse a los niveles máximos de mico toxinas, siendo este de 2000 µg/kg (Comisión del Codex Alimentarius, 2015). Respecto a la higiene, se establece que el maíz debe estar exento de parásitos, microorganismos o sustancias de microorganismos en cantidades inapropiadas de manera que pueda comprometer la salud de quien lo consuma (FAO, 2007).

Es importante seguir parámetros que nos permitan asegurar la calidad e inocuidad en el maíz. En todo el mundo existen diferentes entidades que controlan dichos factores. A continuación, se detalla una tabla con las organizaciones internacionales y nacionales que regulan factores de calidad e inocuidad en el maíz y los respectivos rangos para comercialización establecidos según cada entidad regulatoria.

Tabla 3.

Organizaciones Nacionales e Internacionales que establecen los rangos de humedad para su comercialización

Entidades Internacionales	Rangos de Humedad	Entidades Nacionales	Rangos de Humedad
----------------------------------	--------------------------	-----------------------------	--------------------------

USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos	10%	INIAP	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias	13-35 %
CCA	Comisión del Codex Alimentarius	15,5 %	MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería	13%
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación	14,50%			
OMS	Organización Mundial de la Salud	15,50%			
EFSA	Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria	14 - 14,5 %			

Adaptado de (USDA, 2016; MAG, 2018; FAO, 2002 y Comisión del Codex Alimentarius, 2015)

2.6. Concepto de humedad, calidad e inocuidad y su importancia en los granos de maíz

La humedad se refiere al contenido de agua que está presente en una materia con relación a la masa total. La importancia de medir la humedad en granos y cereales radica en dos aspectos fundamentales que son la inocuidad y calidad, ya que la humedad puede tener efectos negativos durante el almacenamiento y en las propiedades de los granos (Martines, E., 2012).

La calidad de un alimento es la capacidad de nutrir sin dañar o causar lesiones al consumidor (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2015). La calidad implica evitar el deterioro de las características físicas y organolépticas como color, sabor y olor del alimento. El desarrollo y las condiciones del cultivo, así

como el trato que tiene la semilla hasta el proceso de almacenaje ejercen influencia en la calidad del mismo. La calidad del grano de maíz se ve afectada por factores abióticos como: luz, temperatura y humedad y factores bióticos como: pájaros, roedores, hongos e insectos (Centro Nacional de Metrología - CENAM, 2012).

La inocuidad se asocia a todos los riesgos involucrados a la alimentación que puedan dañar la salud del consumidor, como riesgos por contaminación, por incidencia de patógenos (FAO, 2002). Para eliminar en un gran porcentaje las pérdidas por ausencia de inocuidad en granos es necesario mencionar que sus principales causantes son los insectos y los hongos, por lo que brindar un buen manejo de temperatura y humedad del grano para prevenir el desarrollo de estos organismos es fundamental durante la etapa de pos cosecha (Castellari, A. , Cendoyaa, M. , Valle, F. y Barrerab, V., 2015). Es importante mantener los granos en temperaturas frías y reducir fuentes de calor y agua, ya que los hongos e insectos no pueden desarrollarse bajo estas condiciones (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - INTA, 2013). Para mantener la inocuidad en los granos, este debe estar libre, tierra y de materias extrañas que pueden contener grandes porcentajes de humedad, hongos y mico toxinas que disminuyen en un 25% la inocuidad de los cultivos a nivel mundial (Murphy, P. ,Hendrich, Z. y Landgren, C., 2006).

2.7. Importancia de medir humedad en los procesos relacionados con la cadena agro productiva del maíz

La importancia de la determinación de humedad en cereales y principalmente en maíz se ve ligada con factores como calidad de materia prima, control de procesos en diferentes industrias alimenticias y sobre todo para garantizar la conservación de alimentos (Banderas, 2012) .Para las industrias es muy importante conocer el contenido de humedad de su materia prima debido a que el comprador desea adquirir una materia prima de calidad con el contenido justo tanto en materia seca como en humedad. Otra razón para conocer el contenido de humedad en maíz, radica en la calidad y conservación de materia

prima, ya que a menor contenido de agua menor será el desarrollo de microorganismos (Tuitise, 2016).

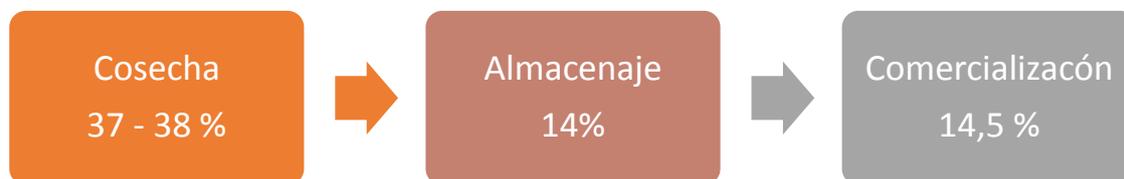


Figura 2. Representación de la cadena agro productiva del maíz. Cosecha, Almacenaje y comercialización y los rangos de humedad en cada proceso.

Para que el grano de maíz haya alcanzado su madurez fisiológica y la mazorca se encuentre apta para la cosecha, el contenido de humedad debe estar en un rango de 37 al 38 %, tomando en cuenta que, al realizarse una cosecha manual, el factor de humedad depende de condiciones climáticas y mano de obra (Rousseau, 1998).

Para el almacenaje, la temperatura y el contenido de humedad son los aspectos más influyentes en la calidad del grano de maíz (FAO, 1993). Se almacena con 14% de humedad en temperaturas de 25 ° C (INTA, 2009). Mientras más seco y frío sea el medio de conservación del grano durante el almacenamiento, más amplio será el periodo en el que el grano se encuentre en buenas condiciones para su aprovechamiento. El tiempo de almacenamiento y la conservación de su calidad son factores que se encuentran directamente relacionados con el porcentaje de humedad y la temperatura de la masa de granos (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria , 2016).

La comercialización del maíz debe estar en 14,5 % de humedad. Su porcentaje de humedad es importante ya que el comprador quiere pagar por una materia prima de calidad, que valga su precio tanto en contenido de materia seca, como materia húmeda, mas no solo pagar por agua, sino por un precio justo, donde el productor y consumidor se vean beneficiados (Agrosíntesis).

Conocer factores como temperatura, ambiente y rangos de humedad adecuados para el almacenaje y la cosecha son factores clave para garantizar la calidad e inocuidad de cereales y granos, como en este caso el maíz duro (Suleiman, R., Bern, C.J. , Brumm, T.J. y Rosentrater, K.A., 2018).

Tabla 4.

Importancia y rangos de humedad en los múltiples procesos de la cadena agro productiva del maíz

Procesos relacionados a la cadena de maíz		Rangos de humedad	Importancia de los rangos de humedad en los procesos
Cosecha		37- 38 %	Conocer el tiempo óptimo de cosecha.
Almacenaje		14%	Mayor será el estado de conservación del grano.
Comercialización		15%	Conocer el contenido total de materia seca, para pagar por un precio justo.
Industrialización Alimenticia	Molienda (harina)	22-25%	Aumenta el rendimiento en la molienda y en la calidad de la harina.
	Cocción(Jaleas)	18%	Evita la cristalización.
	Secado después de destilación	10-12%	Obtención de subproductos como granos o piensos para animales de calidad.
Industrialización Farmacéutica	(Almidón de maíz)	15%	Obtención de agente lubricante, aglutinante, diluyente de calidad.
Industrialización Textil	(almidón de maíz)	15%	Obtención de aditivo farmacéutico

Adaptado de (Agrosíntesis, 2016; FAO, 1993; FEDNA, 2012; Guevara 2015, Brites, Haros, Trigo y Pedroza 2007)

2.8. Denominación del maíz según el contenido de humedad

Según el contenido de humedad, los granos se clasifican en: grano seco, el cual contiene un 14 % de humedad. El grano húmedo, el mismo que posee más de 14% y menos de 18% de humedad y finalmente el grano mojado, el

cual cuenta con 18% de humedad (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2015).

2.9. Métodos de determinación de humedad

Los métodos para determinar la humedad se clasifican en métodos destructivos o también conocidos como indirectos, los cuales destruyen, rompen o modifican el grano al momento de medir su humedad y métodos directos o no destructivos, los cuales preservan la integridad del grano. Los métodos indirectos se relacionan con propiedades químicas o eléctricas donde el contenido de humedad se obtiene por cálculos matemáticos o de manera empírica, mientras que los métodos directos se encargan de medir el contenido propio del agua (Luz, 2002).

Entre los métodos directos para determinación de humedad están: el método de secado en horno (gravimetría), reacción química (Karl Fisher), destilación, radiación por microondas (secado) y radiación por infrarrojo (secado). Entre los principales métodos indirectos se encuentran: métodos eléctricos, métodos espectroscópicos y de humedad relativa (Centro Nacional de Metrología - CENAM, 2012).

Para determinar la humedad específicamente en granos de maíz se pueden aplicar diferentes métodos, directos e indirectos. Los métodos directos más utilizados para medir humedad en maíz son:

Método de Estufa: Se debe tomar una muestra de granos, pesar la muestra, secarla y calcular el porcentaje de humedad mediante el peso que se pierde en el proceso de secado (D'Antonino, 1993).

Infrarrojo: Se toma una pequeña muestra que debe estar expuesta a rayos infrarrojos, en un tiempo estimado de 5 a 30 minutos. La humedad se determina con el peso de la muestra y el peso luego de haberla secado (D'Antonino, 1993).

Destilación: Se somete a una porción de granos ya sean molidos o enteros al calor. Se expone a la muestra a un líquido donde la temperatura de ebullición

sea mayor a la del agua. Finalmente se toma una probeta y se mide el vapor de agua que proviene del proceso de condensación (D'Antonino, 1993).

Los métodos indirectos más utilizados para medir humedad en maíz son:

Equipo eléctrico: basado en el principio eléctrico se han creado diversos aparatos que miden la humedad, se caracterizan por la facilidad operacional y la rapidez para arrojar resultados. Se pesa la muestra, se coloca en el aparato y este arrojará un resultado (D'Antonino, 1993).

Medidor de humedad modelo universal: este aparato brinda resultados para humedad entre 8 al 22 %. Es un aparato de fácil manipulación, sin embargo, si se desea obtener resultados reales es importante que los granos estén secos (D'Antonino, 1993).

2.10. Comparación de metodologías de determinación de humedad

Existen varias evidencias de comparación de metodologías usadas para demostrar las variaciones de resultados obtenidos al medir humedad con un aparato frente a otro. A continuación, se exponen ejemplos de diferentes metodologías aplicadas en granos y cereales.

En los casos que se presenta a continuación, se observan evidencias de diferencias en porcentajes de humedad considerando las mismas matrices y obteniendo diferencias significativas en los resultados.

Tabla 5.

Ejemplos de comparación de metodologías en diferentes granos

Tema	Granos	Metodología usada	Diferencias significativas	Autores	Año
Comparación de determinación de humedad en Garbanzo (Cicer arietinum L.) por método de estufa y a través de instrumentos de determinación electrónicos.	Garbanzo, Soja	Método de estufa / Aparatos electrónicos: Delver 1021	2 puntos de diferencia en el valor más alto y 1,7 en el valor más bajo.	Julia Carreras y Gustavo Giambastiani	2014
Comparación de metodologías de secado para la determinación de humedad en bagazo.	Bagazo	Método de estufa/ Horno de microondas	1,08 puntos de diferencia en el valor más alto y – 1,14 en el valor más bajo.	G. del H. Zamora Rueda, C. E. Gutiérrez, M.G. Mistretta, F. L. Peralta., M. A. Golato, M. Ruiz Y D. Paz	2015
Comparación de determinación de humedad de semillas de especies forrajeras por método de estufa y a través de instrumento de medición electrónico por capacitancia.	Semillas Forrajeras	Método de estufa/ instrumento electrónico DICKEY-john	7,7 puntos de diferencia en el valor más alto y –0,3 en el valor más bajo.	Ricardo Bartosik, Leandro Cardoso, Enzo Daniel Piñeiro e Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)	2009

Medición del contenido de humedad en granos básicos con el determinador Motomco 919.	Arroz en granza y frejol.	Método de horno/Destilación con tolueno/ Método Brow Duvel	5,8 puntos de diferencia para el arroz en granza y entre 1,2 y 1,7 para el frejol	Ramiro Alizaga y Miguel Mora	1982
--	---------------------------	--	---	------------------------------	------

Adaptado de (Carreras y Giambastiani, 2014; Zamora, 2015; Bartosik y Alizaga, 1982)

Un factor importante para comparación de metodologías, es tener matrices con humedad específica de característica homogénea, es decir donde no exista diferencias significativas entre los desvíos medios de un mismo lote.

Conforme a esto, el presente trabajo tiene el objetivo de realizar comparación de determinación de humedad en granos de maíz duro en rango de 10 a 16 % de humedad (b.h) a través de métodos validados: método de horno de aire o Método 44-15 A, método de rutina para granos enteros, método por equipo infrarrojo con ayuda del equipo analizador de Humedad MB45 de OHAUS, método usando medidor de humedad MT-16, método por ayuda del equipo eléctrico Steinlite Moisture Tester, Método con ayuda del prototipo desarrollado en la UDLA y de este modo mediante los resultados obtenidos con cada método y equipo, homologar y armonizar los diferentes datos a través de ecuaciones de corrección.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización

Este proyecto de investigación se realizó en instalaciones de la Universidad de las Américas (UDLA). Se utilizó el laboratorio de alimentos para secado y acondicionamiento del grano de maíz; en el laboratorio de investigación de post grado se realizó el ensayo de homogeneidad y comparación de cinco metodologías. Finalmente se utilizó el laboratorio del instituto nacional de

investigaciones agropecuarias (INIAP) en de la Estación Experimental Santa Catalina para llevar a cabo un poco de la parte metodológica del proyecto.

3.2 Material Vegetal

Se utilizó una variedad de maíz duro (*Zea Mays*. L) 551 INIAP El material vegetal se adquirió del instituto nacional de investigaciones agropecuarias (INIAP) de la estación experimental de Pichilingue en Quevedo.

3.3 Métodos

Para realizar esta investigación se llevarán a cabo cuatro fases. La primera fase consistió en el proceso de secado del grano de maíz. La segunda fase consistió en el desarrollo de estándares de granos de maíz duro con humedad de 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16% de base húmeda (b.h). La tercera fase consistió en realizar el ensayo de homogeneidad y una vez que se obtuvieron las fundas con los porcentajes de humedad y homogeneidad deseada se procedió a la cuarta y última fase, la misma que consistió en la comparación de metodologías.

3.3.1 Proceso de Secado

Para la primera fase se realizó el proceso de secado con ayuda del secador proingel, modelo 0A a una temperatura de 60 °C. Se tomaron 5 bandejas de 1,5 kilos, los cuales ingresaron al secador por un tiempo estimado de 4 horas. Con el fin de lograr una adecuada homogeneidad en el secado, se procedió a rotar las 5 bandejas cada media hora. Este procedimiento se repitió durante cuatro semanas, con el objetivo de secar un total de 40 kilogramos de maíz duro y llevar toda esta cantidad a un porcentaje aproximado del 9% de humedad, ya que desde esta humedad se partió para realizar todo el trabajo de investigación. Para calcular el peso que equivale a la humedad deseada en el proceso de secado del maíz se ocupó la siguiente fórmula:

$$W2= W1- \left(\frac{W1 (M1 - M2)}{100 - M2} \right) \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Tomado de (FAO, 2011)

Donde:

W1: peso grano a secar (kg)

W2: peso grano seco (kg)

M1: humedad del grano a secar (%)

M2: humedad del grano seco (%)

Después de aplicar la fórmula, se obtuvo un valor aproximado de la masa en el grano de maíz y posteriormente, para constatar que se llegó a la humedad inicial de 9 % en contenido de humedad se procedió a constatar los resultados en tiempo real con ayuda del aparato agratronix MT-16 y la verificación de la humedad con el método de estufa INEN 1513.

3.3.2 Desarrollo de estándares

El condicionamiento de humedad del maíz en un rango de 10-17 % se realizó en 7 lotes aproximadamente de 1 kg cada uno

La humedad inicial de los lotes fue determinada por la metodología del INEN 1513.

Se utilizó la metodología de Gough para estandarizar el procedimiento mediante la siguiente ecuación de (Gough, 1986):

$$Q = \frac{A(b-a)}{100-b} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Tomado de (Gough, 1986)

Donde:

Q = peso del agua que se va a añadir

A = peso inicial de la sub-muestra

a = contenido de humedad inicial de la sub-muestra

b = contenido de humedad final deseada de la sub-muestra

Después de aplicar la fórmula, se sellaron las bolsas de aluminio y se sometieron a refrigeración 5 ± 3 ° C. Posteriormente se realizará homogenización manual una vez al día durante 7 días.

3.3.3 Ensayo de Homogeneidad

El ensayo de homogeneidad de los lotes consiste en verificar si los mismos dentro y entre las 6 fundas no tienen diferencias significativas con relación al valor de humedad requerido. Se realizó análisis previos de homogeneidad utilizando el medidor de humedad Agratronix MT-16 con la finalidad de tener resultados más rápidos y que nos presenten una tendencia de homogeneidad. Posteriormente se tomaron de forma aleatoria 10 porciones de cada funda (6 fundas por lote de humedad) y se llevaron las muestras a la estufa por 38 horas, aplicando así la metodología INEN 1513. Para la obtención de los resultados de la prueba se utilizó la siguiente fórmula:

$$H = \frac{(M1 - M02) * 100}{(M1 - M0)} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Tomado de (INEN 1513, 2016)

Donde:

M1= masa de la cápsula, la tapa con la muestra, sin secar (g)

M02= masa de la cápsula, la tapa con la muestra seca (g)

M0= masa de la cápsula vacía y tapa (g)

H= contenido de humedad en porcentaje de la masa (%)

3.3.4 Comparación de metodologías

La cuarta y última fase de la investigación consistió en la aplicación de 5 metodologías como: dos métodos de estufa, un método con equipo infrarrojo, un método por equipo eléctrico y un método con equipo de capacitancia. Todas las comparaciones fueron realizadas en sextuplicata y se detallan a continuación:

3.3.4.1 Método de estufa (Método AACC 44-15 A)

Este método se realiza a través de una estufa y está basado en el principio de termo gravimetría. La termo gravimetría es la técnica donde se mide el peso de una masa o muestra respecto al tiempo o a la temperatura mientras se somete a la masa a una temperatura controlada en una atmósfera específica (Wiley, 1999).

Para llevar a cabo esta metodología, inicialmente se pesaron 30 gramos de maíz duro. Se colocó al maíz dentro de cada cápsula, las mismas que ingresaron dentro de una estufa Memmert SNB400 durante un tiempo de 72 horas a una temperatura de $103^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ} \text{C}$. Finalmente para medir el contenido de humedad de la muestra se aplicó la misma ecuación que se detalla en la tercera fase del trabajo (NIST, 2012). Otra metodología similar es usada en el artículo Popping Behavior and Zein coating of popcorn (American Association of Cereal Chemist, 1981).

3.3.4.2 Método de rutina para granos enteros recopilado del manual INEN 1 513 (estufa)

Este método se realiza con ayuda de una estufa Memmert SNB400. Se basa en el mismo principio de termo gravimetría, el mismo que inicialmente se describió. Primero se colocaron de 15 gramos de maíz duro en capsulas de aluminio, las cuales ingresaron a la estufa por 38 horas a temperatura entre 130°C . Finalmente se calculó la humedad de la muestra mediante la misma fórmula del método de horno, la cual consta inicialmente (INEN 1 513, 2013).

3.3.4.3 Método por equipo infrarrojo

Este método al igual que los dos primeros métodos antes mencionados está basado en el principio de termo gravimetría. Este equipo infrarrojo de Ohaus determinó el peso de la muestra que, al ser calentada por medio de la unidad halógena desecadora, evaporó el agua presentando así un resultado de porcentaje de humedad. Se molió el maíz con ayuda de un molino KitchenAid KSM2FPA con Origen en Usa, y se colocaron 2 gramos de maíz dentro del equipo con temperatura de 130°C en un tiempo estimado de 15 minutos (Ohaus, 2011). Existen trabajos similares donde se aplicó esta metodología

como una investigación denominada Mezcla de harina de arroz, maíz y almidón de mandioca la producción de pan blanco sin gluten del autor (Ballesteros, A.; Guimarães, A. y Gonçalves, R., 2004).

3.3.4.4 Método con equipo Agratronix MT-16 (Capacitancia)

Este método está basado en el principio de capacitancia. La capacitancia eléctrica es una propiedad física que expresa la habilidad de un conductor para adquirir carga sin un cambio sustancial en su potencial (Vásquez, s.f) . Para llevar a cabo la medición con este método se pesó 48 gramos (+, - 1), libre de granos partidos. Se colocó la muestra dentro del equipo cilíndrico Agratronix MT-16. Se realizó el ensayo en temperaturas de 20 a 25°C. Finalmente se activó el botón, el cual generó un valor con porcentaje de humedad de manera inmediata (Agrotronix, 2010).

3.3.4.5 Método con equipo eléctrico (Metodología de humedad de granos- INIAP)

Basado en el principio de impedancia. La impedancia es una medida que presenta oposición a un circuito o a una corriente cuando se aplica un voltaje (Orozco, 2014). Inicialmente se pesaron 100 gramos de maíz los mismos que fueron colocados dentro del equipo Steinlite Moisture Tester 400 gramos. La temperatura de este equipo se obtiene mediante la temperatura del grano que lee el equipo más la tabla del (anexo 4).El tiempo estimado para que el equipo arroje el resultado es de 3 minutos por muestra (The Steinlite Corporation, 2001).

3.3.4.6 Método con prototipo

Esta metodología no se pudo llevar a cabo debido a que existieron problemas técnicos con el prototipo.

3.4 Estadística

3.4.1 Diseño Experimental

Para la primera parte, es decir la prueba de homogeneidad dentro y entre las fundas de maíz duro se aplicó estadística con ayuda del programa Excel 2016.

Respecto a la segunda parte, es decir la comparación de metodologías se aplicó un diseño de bloques completamente al azar.

3.4.2 Tratamientos

Para la primera parte, es decir el ensayo de homogeneidad se aplicó dos tratamientos en capa (a) alta y (b) baja dentro de cada funda. Para la segunda parte, es decir la comparación de metodologías existieron 5 tratamientos, siendo los tratamientos cada una de las metodologías que se van a evaluar, es decir la metodología del INEN1513, la metodología del Nist, metodología con equipo infrarrojo, metodología por equipo de capacitancia y metodología con equipo del INIAP.

3.4.3 Análisis de factibilidad

Para la comparación de metodologías se realizó un diseño de bloques completamente al azar donde se aplicó un análisis de separación de medias de Tuckey al 5%.

3.4.4 Variables evaluadas

Para el ensayo de homogeneidad la variable evaluada fue la humedad del grano (%), la cual se midió por el método de estufa que establece el INEN 1513, con el fin de constatar la homogeneidad del grano y se mide justo después de acondicionar el grano de maíz. El ensayo se realizó en 3 fundas de aluminio que contienen maíz, midiendo la homogeneidad dentro de la bolsa y entre las tres bolsas de aluminio. Se realizaron un total de 30 ensayos, de cada funda se separaron aleatoriamente 5 repeticiones para evaluar la homogeneidad dentro de la funda en 7 humedades en el rango de 10 al 16 %.

Para la comparación de metodologías las variables evaluadas son los rangos de humedad de 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16 %, con la finalidad de comparar 5 metodologías diferentes y esto se realizó después de confirmar la homogeneidad del grano.

3.4.5 Análisis estadístico

Para el ensayo de homogeneidad se utilizó el programa Excel 2016 el cual permitió obtener los resultados de homogeneidad dentro y entre las fundas con humedades comprendidas en los rangos del 10 al 16 %.

Para la comparación de metodologías se utilizó el programa InfoStat/E 2018, el cual permitió determinar la variabilidad de resultados obtenidos de un método frente a otro.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Secado

Para iniciar el proceso de secado, primero se determinó la humedad inicial del grano, la cual se obtuvo a partir de la metodología del INEN 1513 dando como resultado una humedad inicial de 15,35 %. A partir de este dato se procedió al proceso de secado.

Según la fórmula mencionada en la metodología se manejaron 40 kg de maíz duro. Inicialmente se tomaron 6 Kg de maíz duro, los cuales se dividieron en 5 bandejas con 1,5 Kg en cada bandeja.

A continuación, se expone la fórmula y un ejemplo de la aplicación de la misma para el proceso de secado.

W2: peso grano seco (kg)

W1: peso grano a secar (kg)

M1: humedad del grano a secar (%)

M2: humedad del grano seco (%)

Fórmula:

$$W2 = W1 - \left(\frac{W1 (M1 - M2)}{100 - M2} \right)$$

Ejemplo:

(Ecuación 1-1)
Tomado de (FAO, 2011)

$$W2 = 1,5 \text{ Kg} - \frac{1,5 (15,35 - 9)}{100 - 9}$$

W2 = 1,395 Kg

W2 es el valor en peso que equivale al 9 % de humedad teórico. A partir de este porcentaje se procedió a realizar todo el acondicionamiento de las humedades comprendidas en el rango del 10 al 16%.

4.2 Acondicionamiento

De acuerdo a la fórmula de Gough descrita en la metodología se procedió al acondicionamiento de cada lote en el rango del 10-16% de humedad. De este procedimiento se obtuvieron valores teóricos que después fueron confirmados por el método del INEN 1513.

Se inició con una humedad de 9 %, para el proceso de acondicionamiento en el cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{A(b-a)}{100-b} \quad (\text{Ecuación 2-1})$$

Tomado de (Gough, 1986)

Donde:

Q= peso de agua a añadir

A= Peso inicial de la sub-muestra

a= Contenido de humedad inicial de la su-muestra

B= Contenido de humedad final deseada de la sub-muestra

A continuación, se expone un ejemplo del proceso de acondicionamiento:

$$Q = \frac{838,52(10-9)}{100-10} \quad (\text{Ecuación 2-2})$$

Q= 9,32 g de agua adicionada

Para acondicionar las muestras restantes, es decir del 11 al 16 % se aplicó el mismo procedimiento. Es importante resaltar que en la ecuación de la fórmula utilizó el valor teórico de la humedad, el mismo que fue constatado a través de la metodología del INEN 1513.

4.3 Ensayo de Homogeneidad

4.3.1 Ensayo de homogeneidad dentro las fundas

Se obtuvo el valor del desvío y de la media mediante 10 repeticiones dentro de cada funda.

Tabla 6.

Análisis de varianza de homogeneidad del contenido de humedad de los granos de maíz duro dentro de las fundas.

Maíz % b.h.	Homogeneidad	F calculado	F crítico
Lote 1 (10,00 ± 0,06)	sub - lote	4,99779E-13	2,262
Lote 2 (11,23 ± 0,08)	sub - lote	4,60045E-13	2,262
Lote 3 (12,26 ± 0,06)	sub - lote	9,61586E-14	2,262
Lote 4 (13,28 ± 0,12)	sub - lote	1,43966E-13	2,262
Lote 5 (14,33 ± 0,14)	sub - lote	6,00775E-14	2,262
Lote 6 (15,32 ± 0,09)	sub - lote	2,21731E-14	2,262
Lote 7 (16,02 ± 0,06)	sub - lote	7,44578E-15	2,262

Nota: Mientras menor sea el valor de F calculado, más homogénea se presenta la muestra. Si F crítico sobrepasa a F calculado la muestra no se encuentra homogénea.

4.3.2 Ensayo de homogeneidad entre las fundas

Para la evaluación de la homogeneidad también se efectuó el análisis de homogeneidad en las fundas con los mismos rangos de humedad. Se obtuvo el valor del desvío y de la media mediante 30 repeticiones entre 3 fundas.

Tabla 7.

Análisis de varianza de homogeneidad del contenido de humedad de los granos de maíz duro entre las fundas.

Maíz % b.h.	Homogeneidad	F calculado	F crítico
Lote 1 (10,00 ± 0,18)	sub - lote	6,89874E-33	2,045
Lote 2 (11,23 ± 0,11)	sub - lote	2,94349E-33	2,045
Lote 3 (12,26 ± 0,19)	sub - lote	2,52967E-33	2,045
Lote 4 (13,28 ± 0,16)	sub - lote	4,09096E-35	2,045
Lote 5 (14,33 ± 0,21)	sub - lote	8,18241E-36	2,045
Lote 6 (15,32 ± 0,18)	sub - lote	1,38008E-36	2,045
Lote 7 (16,02 ± 0,12)	sub - lote	2,75605E-38	2,045

Nota: Mientras menor sea el valor de F calculado, más homogénea se presenta la muestra. Si F crítico sobrepasa a F calculado la muestra no se encuentra homogénea.

En ambas tablas se puede constatar que los valores de F calculado tanto para el ensayo de homogeneidad dentro de las fundas (tabla 6), como para el ensayo de homogeneidad realizado entre las fundas (tabla 7) no sobrepasa a los valores de F crítico 2,262 y 2,045 respectivamente, es decir que se han obtenido lotes de humedad homogéneos en el rango de 10-16%, esto también evidencia que se realizó un buen proceso de secado y acondicionamiento de granos. Cabe resaltar que el almacenamiento de los granos en fundas impermeables de aluminio contribuyó a evitar la variabilidad de los resultados.

Se ha encontrado una investigación de (Mortiz, A., Ortíz, T., De Souza, A., Assari, L. y Zucareli, C., 2012), en la cual se menciona que previo al proceso de comparación de metodologías de humedad en maíz, se realizó un ensayo de homogeneidad de la humedad y además los granos partidos e impurezas fueron retiradas con el fin de obtener resultados más precisos, sin embargo no se presentan datos en el estudio que evidencien que las muestras estaban homogéneas. En el presente trabajo si se expone el proceso y las formulas aplicadas al ensayo de homogeneidad lo que favorece a la confiabilidad de los resultados, principalmente cuando el estudio compara diferentes metodologías y equipamientos diferentes.

Algunos estudios de comparación de metodologías de humedad de granos de maíz y garbanzo han sido realizados, pero en su contenido no consta la realización previa de un ensayo de homogeneidad de las respectivas muestras. (Carreras, J. y Giambastiani, G., 2014)

4.4 Comparación de metodologías

En la tabla 8 se presentan los resultados de comparación de 5 metodologías en el rango de 9-16%. No fueron incluidos los resultados de la metodología del prototipo en la comparación de metodologías porque todavía no se consiguió las técnicas adecuadas para manejar el prototipo y obtener datos cuantificables.

Tabla 8.

Análisis de varianza de 5 metodologías para evaluar la variabilidad de 7 humedades de granos de maíz duro del litoral ecuatoriano, 2018.

Metodología	10%	11%	12%	13%	14%	15%	16%
Infrarrojo	7,52 ± 0,25 A	8,67 ± 0,09 A	9,11 ± 0,11 A	10,28 ± 0,21 A	11,46± 0,21A	12,52 ± 0,30 A	13,31 ± 0,15 A
AACC-44-15A (Estufa)	9,39 ± 0,14 B	10,04 ± 0,06 B	11, 18 ± 0,09 B	12,30 ± 0,10 B	13,23± 0,14 B	15,18 ± 0,13 B	15,24 ± 0,12 B
INIAP	10,05 ± 0,11 C	11,07 ± 0,12 C	12, 12 ± 0,16 C	13,07 ± 0,07 C	14,16± 0,13 C	15,22 ± 0,09 B	16,2 ± 0,09 C
INEN (estufa)	10,21 ± 0,16 C	11,1 ± 0,07 C	12, 32 ± 0,13 C	13,15 ± 0,10 C	14,28± 0,09 C	15,27 ± 0,12 B	16,28 ± 0,11 C
Capacitancia (agratronix)	12,28 ± 0,13 D	13,48 ± 0,16 D	14, 50 ± 0,19 D	15, 47 ± 0,24D	15,65± 0,16 D	16, 38± 0,18 C	17, 73± 0,12 D
CV)%	1,65	0,99	1,24	1,37	0,9	1,16	0,76

Nota: Los promedios seguidos de las mismas letras en la columna son estadísticamente iguales utilizando la prueba de Tuckey al 5 %.

Tabla 9.

Primera investigación sobre comparación de dos metodologías de estufa para determinar humedad en maíz

Titulos de las investigaciones comparadas	Comparación de metodologías para determinación de humeada total en maíz duro(*)		Comparación de métodos para la determinación de contenido de humedad en granos de maíz (Mortiz, A.,Ortiz, T.,De Souza, A.,Assari, L. y Zucareli, C., 2012) (**)	
Método patrón	Método de estufa INEN 1513 (patrón)	Método de estufa AACC-44-15	Método de estufa	Método de estufa
Temperatura usada	130 ° C	103 ° C	105° C	103°C
Tiempo	38 horas	72 horas	24 horas	72 horas
Diferencias significativas de ocupar un método frente al otro	0,09 a 1,14		0,5	

Nota: Los dos asteriscos (**) representan las investigaciones encontradas y el uso de un solo asterisco (*) representa nuestra investigación.

Se han realizado varias investigaciones donde se compararon dos o más metodologías, en las cuales se han encontrado diferencias significativas en sus resultados aplicando un método frente a otro.

Uno de los principales ejemplos encontrados es el trabajo de Comparación de métodos para la determinación de contenido de humedad en granos de maíz donde se desconoce la variedad usada pero se observa (tabla 9) que, al aplicar 2 diferentes metodologías, siendo estas, método de estufa a 105° C por un tiempo de 24 horas y un método de horno a 103°C durante 72 horas, se han encontrado diferencias significativas al aplicar un análisis de varianza y Tukey para la comparación de los promedios (Mortiz, A.,Ortiz, T.,De Souza, A.,Assari, L. y Zucareli, C., 2012).A diferencia de nuestro trabajo en el cual si se especifican los rangos de humedad (10 -16 %) con los que se trabajaron, en esta investigación solo se menciona que los rangos de humedad son altos (mayores al 25%) y bajos (menores al 25%). A semejanza de nuestro trabajo, en esta investigación se aplicó un método patrón y un método de 72 horas a 103°C. Para esta comparación consta que para niveles con humedades menores al 25 % se observó una diferencia de 0,5 puntos porcentuales (ver tabla 9) (BRASIL, 1992) (BRASIL, 1992)y en nuestro trabajo la diferencia fue de 0,82 para el 10 %, 1,06 para el 11 %, 1,14, para el 12 %, 0,85 para el 13 %, 1,5 para el 14 % 0,09 para el 15 % y 1,04 puntos porcentuales para el 16 % (ver tabla 8).

Como se visualiza en la (tabla 8), la letra (A) simboliza el método más eficiente, mientras que las letras siguientes representan menor eficiencia en secuencia con la escala antes mencionada, sin embargo, la eficiencia puede cambiar con el rango de humedad en el que se mide. El coeficiente de variación va de 1, 65 a 0,76 % lo cual nos indica que las diferencias significativas están debajo del 10 %, es decir que las diferencias observadas se deben estrictamente a la diferencia entre los métodos ensayados y no a factores externos.

La metodología del equipo infrarrojo (ver tabla 8) es la más eficiente en evaluar la humedad de los granos de maíz duro respecto a las otras metodologías utilizadas, sin embargo, la metodología de capacitancia se muestra como la menos eficiente. Es importante mencionar que en la investigación presentada (ver tabla 8), el método de estufa a 105 °C por 24 horas se observa como el método más eficiente y el de capacitancia el menos eficiente, esta última observación coincide con nuestro trabajo. También se observa que en nuestra investigación la metodología del INIAP, es la única que presenta comportamiento similar al método patrón del INEN 1513 dentro de los rangos de humedad aplicados en esta investigación, mientras que en la investigación encontrada el método de estufa de 72 horas a 103°C es el que presenta similitud frente al método patrón de 24 horas a 105 °C. Finalmente se observa que, en nuestra investigación, únicamente para el rango de humedad del 15 % el método del INIAP, INEN y AACC-44-15A no tienen diferencias significativas

Tabla 10.

Segunda investigación sobre comparación de dos metodologías (infrarrojo y capacitancia) para determinar humedad en maíz

Titulos de las investigaciones comparadas	Comparación de metodologías para determinación de humeada total en maíz duro (*)		Evaluación de un medidor de contenido de humedad en granos basado en el principio de capacitancia eléctrica (Martines, E., 2006).(**)	
Método patrón	Método estufa INEN 1513 (patrón)	Método capacitivo (agratronix)	Método estufa (patrón)	Método de capacitancia eléctrica
Temperatura usada	130 ° C	20 a 25 ° C	130 ° C	-.
Tiempo	38 horas	1 minuto	28 horas	-
Diferencias significativas de ocupar un método frente al otro	2,07		0,09	

Nota: En los lugares donde se observa el símbolo (-) quiere decir que no consta la temperatura ni hora aplicada en dicha investigación. Los dos asteriscos (**) representan las investigaciones encontradas y el uso de un solo asterisco (*) representa nuestra investigación.

Otro ejemplo de comparación de metodologías es la investigación realizada por (Martines, E., 2006) , donde se compara metodologías aplicadas en maíz (ver tabla 10) . Se observa que, a diferencia de nuestro trabajo se aplicó la comparación de metodologías a diversas semillas, como: frejol, arroz, lenteja, garbanzo y maíz, siendo esta ultima la de nuestro interés. En la investigación encontrada no se menciona la aplicación de un ensayo de homogeneidad de los lotes de humedad, previo a la comparación de metodologías pero se sabe que los métodos a comparar fueron el método de estufa a 130 °C por 28 horas (patrón) frente al equipo de capacitancia eléctrica, mientras que en nuestro trabajo se comparan el método de estufa a 130°C por 38 horas frente al método capacitivo a 25 °C por 1 minuto aplicados únicamente al maíz. A semejanza de nuestra investigación, en la cual se observan diferencias de 2,07 puntos porcentuales entre el método capacitivo (agratronix) frente al método de estufa INEN 1513, en la investigación encontrada también existe diferencia de 0,09 puntos porcentuales, al aplicar el método de estufa frente al de capacitancia. Al usar equipos similares en ambos trabajos la diferencia significativa de una comparación de metodologías frente a otra no debería ser tan marcada respecto a las diferencias significativas en puntos porcentuales, sin embargo, como se observa en la (tabla 8) y (tabla 10) si lo es. Esto diferencia puede darse debido a la falta de limpieza del grano previo a la comparación de metodologías, así como a una diferente variedad de maíz usada.

Tabla 11.

Tercera investigación sobre comparación de dos metodologías (estufa y eléctrica) para determinar humedad en garbanzo.

<p>Titulos de las investigaciones comparadas</p>	<p>Comparación de metodologías para determinación de humedad total en maíz duro (*)</p>	<p>Comparación de determinación de humedad en garbanzo(Cicer arietinum L.) por método de estufa y a través de instrumentos de determinación eléctricos (Carreras, J. y Giambastiani, G., 2014). (**)</p>
---	---	---

Método patrón	Método de estufa INEN 1513 (patrón)	Equipo eléctrico (INIAP)	Método de estufa (patrón)	Método electrónico Delver 1021
Temperatura usada	130 ° C	temperatura autocorregida	105°C	–
Tiempo	38 horas	3 minutos	38 horas	–
Diferencias significativas de ocupar un método frente al otro en puntos porcentuales	2,2		0,16	

Nota: En los lugares donde se observa el símbolo (-) quiere decir que no consta la temperatura ni hora aplicada en dicha investigación. Los dos asteriscos (**) representan las investigaciones encontradas y el uso de un solo asterisco (*) representa nuestra investigación.

Existe una investigación de (Carreras, J. y Giambastiani, G., 2014) sobre comparación de metodologías aplicada al garbanzo. En esta investigación se comparan únicamente 2 métodos: el método de estufa por 38 horas a 105°C (patrón) frente a un aparato electrónico Delver 1021 (ver tabla 11), donde no constan resultados sobre la aplicación de un ensayo de homogeneidad en las matrices de humedad a ensayar, previo a la comparación de los métodos. Los rangos de humedad aplicados son de 7 a 11 % de humedad, mientras que en nuestro trabajo se realiza a rangos del 10 al 15 %. En ambos trabajos existen diferencias significativas al comprar una metodología frente a otra. En nuestra trabajo la diferencia es de 2,2 puntos porcentuales mientras que en la investigación se evidencia una diferencia de 0,16 puntos porcentuales.

Tabla 12.

Ecuaciones de regresión y coeficientes de correlación entre el método INEN 1513 (Y) y el porcentaje de humedad determinado por otras metodologías (X)

Estadística	Metodologías		
	AACC 44-15A (Estufa)	Capacitancia	Infrarrojo
			Conductancia (INIAP)

Ecuación de regresión	$Y=0,9273x + 1,6951$	$Y=1,1797X - 4,6181$	$Y=1,0246X + 2,4934$	$Y=0,975x + 0,2963$
Coefficiente de correlación	0,9818	0,9686	0,9926	0,9976

Después de obtener los resultados de la comparación de metodologías se procedió a establecer un factor de corrección para armonizar los datos obtenidos con relación a la metodología oficial ecuatoriana del INEN 1513.

De acuerdo al (anexo 5), (anexo 6) y a la (tabla12) se puede observar que todos los resultados son lineales y presentan un buen R^2 . La tabla indica que es factible la corrección de los valores independiente al método y rangos específicos utilizados en este trabajo. El método del INIAP presenta el mejor R^2 seguido del método infrarrojo, estufa y capacitancia respectivamente. Es importante recalcar que estas ecuaciones de corrección son útiles y validas cuando son utilizadas en la variedad de maíz duro y dentro del rango de humedad de estudio (10-16%). Esta ecuación se refiere a la corrección de todas metodologías (X) al método de referencia del INEN 1513 (Y). Sin embargo, utilizando los datos de la (tabla 8) se pueden cambiar las ecuaciones de acuerdo a la metodología patrón con la que se desea trabajar.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Tras someter al grano a un proceso de secado, acondicionamiento y posteriormente realizar un ensayo de homogeneidad en el cual se constató que lotes con maíces comprendidos en humedades del 10 al 16 % estaban homogéneos en ensayos de dentro de la misma funda y entre la comparación de tres fundas diferentes.

Se logró realizar la comparación de las metodologías, donde primero se estandarizaron los lotes con las humedades comprendidas en el rango del 10 al 16 %, después se avaló la homogeneidad del grano aplicando la metodología del INEN 1513 para confirmar que los valores obtenidos estén dentro de cada rango pertinente y finalmente se realizó la comparación de 5 metodologías con el fin de encontrar las diferencias en porcentaje al usar un aparato frente al otro. Como anteriormente se menciona, no se pudo llevar a cabo la comparación de las 6 metodologías debido a que la metodología para usar el prototipo de la UDLA no estaba lista para arrojar datos cuantitativos apropiados para ser comparados.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar no menos de 10 repeticiones para el ensayo de homogeneidad dentro de las fundas de maíz duro con el fin de tener menor variabilidad al momento de constatar el rango de humedad al que se desea llegar.

Se recomienda que se disponga de secadores modernos programables de mayor capacidad, con el fin de optimizar el tiempo y uniformidad en el secado.

Se recomienda el uso de fundas aluminizadas o de algún material que sea impermeable y resistente durante todo el proceso de acondicionamiento, homogeneidad y comparación de metodologías, con el fin de evitar la variabilidad de humedad del maíz, ya que al ser un grano higroscópico tiende a ganar o perder humedad tras la constatare manipulación.

Se recomienda la realización de trabajos similares en maíz y otros granos y semillas donde se realice comparación de metodologías en distintos rangos de humedad, como por ejemplo investigaciones con rangos comprendidos entre 17 a 35 % que son humedades de cosecha y parte del rango del secado de los granos y semillas.

REFERENCIAS

- AFABA. (2018). Asociación Ecuatoriana de Fabricantes de Alimentos Balanceados para Animales. Recuperado el 22 de Mayo de 2018, de <http://www.afaba.org/portal/>
- Agrosíntesis. (s.f.). Humedad del grano del maíz y su importancia en la comercialización. Recuperado el 30 de Junio de 2018, de <https://www.agrosintesis.com/humedad-del-grano-del-maiz-importancia-la-comercializacion/>
- Agrotronix. (2010). Medidor De Humedad Para Granos Digital Portatil MT-16 FARMEX Manual Español. Recuperado el 24 de Julio de 2018, de <https://www.agratronix.com/shop/grain/mt-16/>
- American Association of Cereal Chemist. (1981). *Approved Methods of the AACC. Method 44-1SA*. Recuperado el 22 de Abril de 2018, de <https://www.aaccnet.org/Pages/default.aspx>
- Ballesteros, A.; Guimarães, A. y Gonçalves, R. (2004). Mezcla de harina de arroz, maíz y almidón de mandioca para la producción de pan blanco sin gluten. Recuperado el 11 de Marzo de 2018, de Brazilian Archives of Biology and Technology: <file:///C:/Users/VAIO/Downloads/10%20g%20105%20Irojo.pdf>
- Banderas, M. (2012). Análisis proximal de los principales componentes nutricionales de arroz pulido, harina de. Recuperado el 11 de Abril de 2018, de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/5359/T-PUCE-5585.pdf;sequence=1>
- BRASIL. (1992). Regras para análise de sementes. Recuperado el 23 de Enero de 2018, de Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf
- Carreras, J. y Giambastiani, G. (2014). Comparación de determinación de humedad en Garbanzo (*Cicer arietinum* L.) por método de estufa y a través de instrumentos de determinación electrónicos. Recuperado el 12 de Marzo de 2018, de <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/1840>
- Castellari, A. , Cendoyaa, M. , Valle, F. y Barrerab, V. (2015). Factores extrínsecos e intrínsecos asociados a poblaciones fúngicas micotoxigénicas de granos de maíz (*Zea mays* L.) almacenados en silos bolsa en Argentina. Recuperado el 2 de Marzo de 2018, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0325-75412015000400012

- Centro Nacional de Metrología - CENAM. (2012). Importancia de la metrología en la determinación del contenido de humedad en granos. Recuperado el 3 de Julio de 2018, de <http://www.cenam.mx/eventos/enme/docs/5%20Importancia%20metrolog%C3%ADa%20humedad%20en%20granos%20final.pdf>
- Comisión del Codex Alimentarius. (2015). Programa Conjunto FAO/OMS sobre normas Alimentarias. Recuperado el 24 de Marzo de 2018, de http://www.fao.org/tempref/codex/Reports/Alinorm10/al33_13s.pdf
- Cuevas, J. (2016). El Economista. Recuperado el 3 de Julio de 2018, de <https://www.economista.com.mx/opinion/Situacion-actual-del-mercado-del-maiz-I-20161128-0007.html>
- D'Antonino, L. (1993). Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural. Recuperado el 4 de Febrero de 2018, de <http://www.fao.org/docrep/x5027s/x5027S00.htm>
- FAO. (1993). Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural. Recuperado el 4 de Julio de 2018, de <http://www.fao.org/docrep/X5027S/x5027S01.htm>
- FAO. (2002). Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA) Centroamérica. Recuperado el 22 de Abril de 2018, de <http://www.fao.org/in-action/pesa-centroamerica/temas/conceptos-basicos/es/>
- FAO. (2007). Cereales, Legumbres, Leguminosas y Productos Proteínicos Vegetales. Recuperado el 12 de Abril de 2018, de <http://www.fao.org/3/a-a1392s.pdf>
- FAO. (2017). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado el 11 de Abril de 2018, de Pr: <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/1072212/>
- Farm Agro. (2015). La importancia del maíz en el Ecuador. Recuperado el 11 de Mayo de 2018, de Noticias Agricultura: <https://www.farmagro.com/noticias/149-la-importancia-del-ma%C3%ADz-en-el-ecuador>
- Gough. (1986). Teoría de las necesidades de Doyal y Gough. Recuperado el 15 de Abril de 2018, de <http://www.julioboltvinik.org/documento/Tesis%20Ampliar%20la%20mirada%20PDF/Vol%20I/Cap%C3%ADtulo%206.%20Doyal%20y%20Gough.pdf>
- High Level Panel of Experts - HLPE. (2013). Los Biocombustibles y la Seguridad Alimentaria. Recuperado el 16 de Abril de 2018, de <http://www.fao.org/3/a-i2952s.pdf>

- INEN 1 513. (2013). Granos y Cereales. Maíz. Determinación del contenido de humedad. Recuperado el 12 de Abril de 2018, de <https://archive.org/details/ec.nte.1513.1987>
- INIAP. (2013). Guía de producción de maíz para pequeños Agricultores y Agricultoras. Recuperado el 22 de Abril de 2018, de [file:///C:/Users/VAIO/Downloads/iniapscg96%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/VAIO/Downloads/iniapscg96%20(1).pdf)
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (8 de Agosto de 2013). Actualidad Avipecuaria. Obtenido de El efecto del cambio climático en el cultivo del maíz amarillo duro: <http://www.actualidadavipecuaria.com/articulos/el-efecto-del-cambio-climatico-en-el-cultivo-del-maiz-amarillo-duro.html>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria- INIA. (2008). Origen y distribución del maíz. Recuperado el 12 de Mayo de 2018, de <http://www.inia.gob.pe/>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2014). INIAP. Recuperado el 23 de Abril de 2018, de <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcereal/rmaizd>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria . (2016). Determinación del momento óptimo de cosecha en maíz tardío. Evolución del rendimiento, calidad e inocuidad de granos durante el secado a campo. Recuperado el 25 de Abril de 2018, de <https://inta.gob.ar/documentos/determinacion-del-momento-optimo-de-cosecha-en-maiz-tardio-evolucion-del-rendimiento-calidad-e-inocuidad-de-granos-durante-el-secado-a-campo>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - INTA. (12 de Agosto de 2013). Manual de buenas prácticas en poscosecha de granos. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_de_buenas_practicas_en_poscosecha_de_granos_reglon_48-2.pdf
- INTA. (2009). Comparación de determinación de humedad de semillas de especies forrajeras por método de estufa y a través de instrumento de medición electrónico por capacitancia. Recuperado el 12 de Marzo de 2018, de <http://www.cenam.gob.mx/memsimp06/Trabajos%20Aceptados%20para%20CD/Octubre%2025/Bloque%20A/A5-Propiedades%20Termofisicas%20y%20Humedad/A5-2.pdf>
- INTA. (2015). Maíz: claves para asegurar la calidad e inocuidad. Recuperado el 29 de Marzo de 2018, de <http://intainforma.inta.gov.ar/?p=27692>
- INTA. (2018). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Recuperado el 22 de Julio de 2018, de <https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-mercado-granos.calcular-o-especular.febrero-2018.pdf>

- Luz, M. (Enero de 2002). Medidores de Humedad. Recuperado el 11 de Abril de 2018, de http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed61/artigocapa61_esp.shtml
- MAG. (2013). Boletín Situacional. Recuperado el 24 de Abril de 2018, de <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2013/maizduro.pdf>
- MAG. (2017). Rendimiento de Maíz Duro. Recuperado el 2 de Mayo de 2018, de <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/estudios-del-agro/rendimiento-del-maiz>
- MAG. (2018). Rendimiento nacional del cultivo de maíz duro seco 2017. Recuperado el 1 de Julio de 2018, de <https://elproductor.com/estadisticas-agropecuarias/rendimiento-nacional-del-cultivo-de-maiz-duro-seco-2017/#>
- Martines, E. (2006). Centro Nacional de Metrología. Recuperado el 22 de Abril de 2018, de División de Termometría: <http://www.cenam.gob.mx/memsimp06/Trabajos%20Aceptados%20para%20CD/Octubre%2025/Bloque%20A/A5-Propiedades%20Termofisicas%20y%20Humedad/A5-2.pdf>
- Martínes, E. (2006). Evaluación de un medidor de contenido de humedad en granos basados en el principio de capacitancia eléctrica. Recuperado el 9 de Junio de 2018, de Centro Nacional de Metrología, División de Termometría: <http://www.cenam.gob.mx/memsimp06/Trabajos%20Aceptados%20para%20CD/Octubre%2025/Bloque%20A/A5-Propiedades%20Termofisicas%20y%20Humedad/A5-2.pdf>
- Martines, E. (2012). Importancia de la metrología en la determinación del contenido de humedad en granos. Recuperado el 20 de Abril de 2018, de <http://www.cenam.mx/eventos/enme/docs/5%20Importancia%20metrolog%C3%ADa%20humedad%20en%20granos%20final.pdf>
- Maya. (2017). MAYA S.L. Recuperado el 16 de Abril de 2018, de <https://www.mayasl.com/maiz-origen-anatomia-usos/>
- Mejía, D. (2003). Maíz. Recuperado el 1 de Junio de 2018, de <http://www.fao.org/docrep/t0395s/t0395s00.htm>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2014). Buenas Prácticas Agrícolas para maíz duro. Recuperado el 3 de Mayo de 2018, de <http://www.agrocalidad.gob.ec/documentos/dia/guia-maiz-duro.pdf>
- Mortiz, A., Ortíz, T., De Souza, A., Assari, L. y Zucareli, C. (2012). *Comparação de métodos para a determinação do teor de umidade em grãos de milho*

e de soja. Recuperado el 24 de Marzo de 2018, de [file:///C:/Users/intel/Downloads/1648-9726-1-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/intel/Downloads/1648-9726-1-PB%20(1).pdf)

Murphy, P. ,Hendrich, Z. y Landgren, C. (2006). *Understanding Micotoxins*. Recuperado el 12 de Mayo de 2018, de <https://www.colorado.gov/pacific/aginspection/understanding-mycotoxins>

NIST. (2012). *Grain Moisture Air-Oven Reference Methods in the United States*. Recuperado el 27 de Marzo de 2018, de <https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/2017/04/28/WMConnections-Vol3-Issue6-Nov19-2012.pdf>

Ohaus. (2011). Manual de instrucciones , Analizador de Humedad MB45. Recuperado el 12 de Junio de 2018, de <file:///C:/Users/intel/Downloads/e645ac66c2e444118ff9ecf4490b12275.pdf>

Orozco, O. (2014). Nociones de electroacústica. Recuperado el 2 de Julio de 2018, de https://www.csmcordoba.com/sites/default/files/plan_de_estudios_loe/especialidad_composicion/16-gd-composicion-con-medios-electroacusticos.pdf

Paliwal, R. (2001). El maíz en los Trópicos: Mejoramiento y Producción. Recuperado el 26 de Abril de 2018, de <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s14.htm>

Quiroz, D. y Merchán, M. (2016). Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo integrado de cultivo de maíz duro(Zea. mays. L). Recuperado el 12 de Abril de 2018, de http://sinagap.agricultura.gob.ec/infoproductor/maiz/descargas/buenas_practicas/iniap.pdf

Rousseau, J. (1998). Cosecha de Maíz. Recuperado el 17 de Mayo de 2018, de <http://www.fao.org/docrep/x5051s/x5051s00.htm>

Sánchez, I. (2014). Aspectos Botánicos y Taxonómicos del Maíz. Recuperado el 10 de Junio de 2018, de <https://eprints.ucm.es/27974/1/MAIZ%20I.pdf>

Sánchez, I. (2014). Maíz I (Zea mays). Recuperado el 16 de Junio de 2018, de <http://revistareduca.es/index.php/biologia>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2015). Manual Técnico del cultivo de Maíz bajo Buenas Prácticas Agrícolas. Recuperado el 15 de Marzo de 2018, de <https://conectarural.org/sitio/material/manual-t%C3%A9cnico-del-cultivo-de-ma%C3%ADz-bajo-buenas-pr%C3%A1cticas-agr%C3%ADcolas>

Serratos, J. (2009). The origin and diversity of maize in the american continent. Recuperado el 18 de Abril de 2018, de

<https://www.greenpeace.org/mexico/PageFiles/44856/el-origen-y-la-diversidad-del-2.pdf>

- Suleiman, R., Bern, C.J. , Brumm, T.J. y Rosentrater, K.A. (2018). *Impact of moisture content and maize weevils on maize quality during*. Recuperado el 7 de Marzo de 2018, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022474X18301061>
- The Steinlite Corporation. (2001). *The Steinlite Moisture Tester-Operating Instruction model 400G*. Recuperado el 18 de Junio de 2018, de <http://www.steinlite.com/>
- Tuitise, R. (2016). Análisis de productos Agroindustriales. Recuperado el 28 de Marzo de 2018, de <https://www.scribd.com/document/296118180/PRINCIPALES-METODOS-DE-DETERMINACION-DE-HUMEDAD-Y-CENIZAS-pdf>
- United States Department of Agriculture- USDA. (2017). Reporte de Oferta y Demanda USDA. Recuperado el 3 de Julio de 2018, de <http://www.granar.com.ar/listado.asp?tid=8>
- USDA. (2016). Panorama Agroalimentario. Recuperado el 24 de Abril de 2018, de <http://www.unida.org.ar/Virtuales/Problemas%20Ambientales/M3/Soja%20transgenica%20y%20crisis%20modelo%20agroalimentario.pdf>
- Vásquez, O. (s.f). Capacitancia y Dieléctricos. Recuperado el 22 de Julio de 2018, de <http://emilioescobar.org/u3/capacitancia.htm>
- Wiley, J. (1999). *Thermal Analysis. Fundamentals and applications to polymer science*. Recuperado el 12 de Junio de 2018, de http://dspace.elib.ntt.edu.vn/dspace/bitstream/123456789/4446/1/ThermalAnalysis%20Fundamentals%20and%20ApplicationstoPolymerScience_KINGDWARF.pdf

ANEXOS

Anexo 1: Proceso de secado de maíz duro.



Anexo 2: Proceso de acondicionamiento de maíz.



Anexo 3: Ensayo de homogeneidad de maíz.



Anexo 4: Comparación de metodologías.



Anexo 5: Tablas para la obtención de temperatura para maíz del equipo STEINLITE ELECTRONIC TESTER del INIAP.

STEINLITE ELECTRONIC TESTER					MODEL G				
CORN		100 GRAMS Sample Weight			80° F <small>Convert All Readings To 80° F.</small>		56 LBS <small>Correct All Tests To 56 lb. Base</small>		
SELECTOR BUTTON					SELECTOR BUTTON				
Meter	B	C	D	E	Meter	B	C	D	E
PERCENT MOISTURE					PERCENT MOISTURE				
5					53	11.56	23.40	33.28	42.08
6					54	11.73	23.56	33.40	42.19
7					55	11.90	23.72	33.52	42.30
8					56	12.07	23.88	33.64	42.41
9					57	12.24	24.04	33.76	42.52
10					58	12.41	24.20	33.88	42.63
11					59	12.58	24.36	34.00	42.74
12					60	12.75	24.42	34.12	42.85
13					61	12.92	24.68	34.24	42.96
14		16.88			62	13.09	24.84	34.36	43.07
15		17.06		37.90	63	13.25	25.00	34.48	43.18
16		17.24		38.01	64	13.39	25.16	34.60	43.29
17		17.42		38.12	65	13.53	25.32	34.72	43.40
18		17.60		38.23	66	13.67	25.48	34.84	43.51
19		17.78		38.34	67	13.79	25.64	34.96	43.62
20		17.96		38.45	68	13.91	25.80	35.08	43.73
21		18.14	29.42	38.56	69	14.03	25.95	35.20	43.84
22		18.32	29.55	38.67	70	14.15	26.10	35.32	43.95
23		18.50	29.68	38.78	71	14.27	26.25	35.44	44.06
24		18.68	29.80	38.89	72	14.39	26.40	35.56	44.17
25		18.86	29.92	39.00	73	14.51	26.55	35.68	44.28
26		19.04	30.04	39.11	74	14.63	26.70	35.80	44.39
27		19.22	30.16	39.22	75	14.75	26.85	35.92	44.50
28		19.40	30.28	39.33	76	14.87	27.00	36.04	44.61
29		19.56	30.40	39.44	77	14.99	27.14	36.16	44.72
30	6.45	19.72	30.52	39.55	78	15.11	27.28	36.28	44.83
31	6.78	19.88	30.64	39.66	79	15.23	27.42	36.40	44.94
32	7.10	20.04	30.76	39.77	80	15.35	27.56	36.52	45.05
33	7.35	20.20	30.88	39.88	81	15.47	27.70	36.64	45.16
34	7.62	20.36	31.00	39.99	82	15.59	27.82	36.75	45.27
35	7.87	20.52	31.12	40.10	83	15.71	27.94	36.85	45.38
36	8.11	20.68	31.24	40.21	84	15.83	28.06	36.95	45.49
37	8.35	20.84	31.36	40.32	85	15.94	28.18	37.05	45.60
38	8.58	21.00	31.48	40.43	86	16.05	28.30	37.15	45.71
39	8.80	21.16	31.60	40.54	87	16.15	28.42	37.25	45.82
40	9.02	21.32	31.72	40.65	88	16.25	28.54	37.35	45.93
41	9.24	21.48	31.84	40.76	89	16.35	28.66	37.45	46.04
42	9.46	21.64	31.96	40.87	90	16.45	28.78	37.55	46.15
43	9.67	21.80	32.08	40.98	91	16.55	28.90	37.65	46.26
44	9.88	21.96	32.20	41.09	92	16.64	29.02	37.75	46.37
45	10.08	22.12	32.32	41.20	93	16.73	29.14	37.85	46.48
46	10.28	22.28	32.44	41.31	94	16.82	29.26	37.95	46.59
47	10.47	22.44	32.56	41.42	95	16.91	29.38	38.05	46.70
48	10.66	22.60	32.68	41.53	96	17.00	29.50	38.15	46.81
49	10.84	22.76	32.80	41.64	97	17.09	29.62	38.25	46.92
50	11.02	22.92	32.92	41.75	98	17.18	29.74	38.35	47.03
51	11.20	23.08	33.04	41.86	99	17.27	29.86	38.45	47.14
52	11.38	23.24	33.16	41.97	100	17.36	29.98	38.55	47.25

Steinlite ELECTRONIC TESTER Model G

TEMPERATURE CORRECTION

°F.	ADD	%
32	ADD	4.36
34	"	4.12
36	"	3.88
37	"	3.76
38	"	3.64
39	"	3.52
40	"	3.40
41	"	3.28
42	"	3.16
43	"	3.04
44	"	2.92
45	"	2.80
46	"	2.69
47	"	2.58
48	"	2.47
49	"	2.36
50	"	2.25
51	"	2.15
52	"	2.05
53	"	1.95
54	"	1.85
55	"	1.75
56	"	1.66
57	"	1.57
58	"	1.48
59	"	1.39
60	"	1.30
61	"	1.22
62	"	1.14
63	"	1.06
64	"	0.98
65	"	0.90
66	"	0.83
67	"	0.76
68	"	0.69
69	"	0.62
70	"	0.55
71	"	0.49
72	"	0.43
73	"	0.37
74	"	0.31
75	"	0.25
76	"	0.20
77	"	0.15
78	"	0.10
79	"	0.05
80	"	0.00
81	SUBTR.	0.05
82	"	0.10
83	"	0.15
84	"	0.20
85	"	0.25
86	"	0.30
87	"	0.35
88	"	0.40
89	"	0.45
90	"	0.50
91	"	0.55
92	"	0.60
93	"	0.65
94	"	0.70
95	"	0.75
96	"	0.80
97	"	0.85
98	"	0.90
99	"	0.95
100	"	1.00

WEIGHT PER BUSHEL CORRECTION

FIRST MAKE THE TEMPERATURE CORRECTION THEN APPLY THE WT. PER BUSHEL CORRECTION USING THE TABLE SHOWN BELOW.

Example: After the temperature correction, the moisture content is 23%. The Wt. Per Bushel is 46 lbs. Follow down the Weight Per Bushel column to 46 lbs., then over to the right until column 22.1 - 26.0 is reached. The correction is .50% which is subtracted from 23% giving the final moisture of 22.50%. (see other example below).

WEIGHT PER BUSHEL CORRECTION TABLE

Weight per Bushels (lbs.)	Moisture Range (%)						
	6.0	20.1	22.1	26.1	30.1	35.1	Over 40.0
	20.0	22.0	26.0	30.0	35.0	40.0	40.0
	Add	Subt.	Subt.	Subt.	Subt.	Subt.	Subt.
40	1.60	0.00	0.80	1.60	2.40	3.20	4.00
41	1.50	0.00	0.75	1.50	2.25	3.00	3.75
42	1.40	0.00	0.70	1.40	2.10	2.80	3.50
43	1.30	0.00	0.65	1.30	1.95	2.60	3.25
44	1.20	0.00	0.60	1.20	1.80	2.40	3.00
45	1.10	0.00	0.55	1.10	1.65	2.20	2.75
46	1.00	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
47	0.90	0.00	0.45	0.90	1.35	1.80	2.25
48	0.80	0.00	0.40	0.80	1.20	1.60	2.00
49	0.70	0.00	0.35	0.70	1.05	1.40	1.75
50	0.60	0.00	0.30	0.60	0.90	1.20	1.50
51	0.50	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25
52	0.40	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
53	0.30	0.00	0.15	0.30	0.45	0.60	0.75
54	0.20	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50
55	0.10	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
57	Subt.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
58	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
59	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
61	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
62	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
63	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

EXAMPLE

Meter reading 63 B button
 Moisture on chart opposite above reading 13.25%
 Temperature of sample 63° F
 Temperature correction at 63° F (see the temp. correction column) Add 1.06%
 14.31%
 Weight per bushel on sample — 50 lbs.
 Wt. correction at 50 lbs. (see wt./bu. correction column 6-20%) Add .60%
 Final moisture 14.91%

IMPORTANT

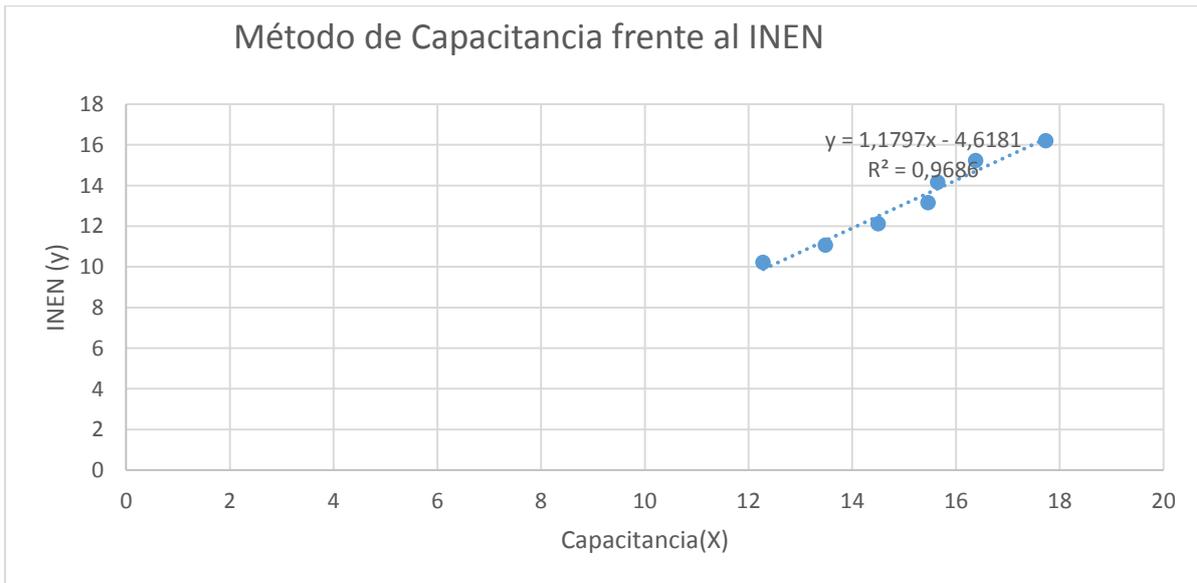
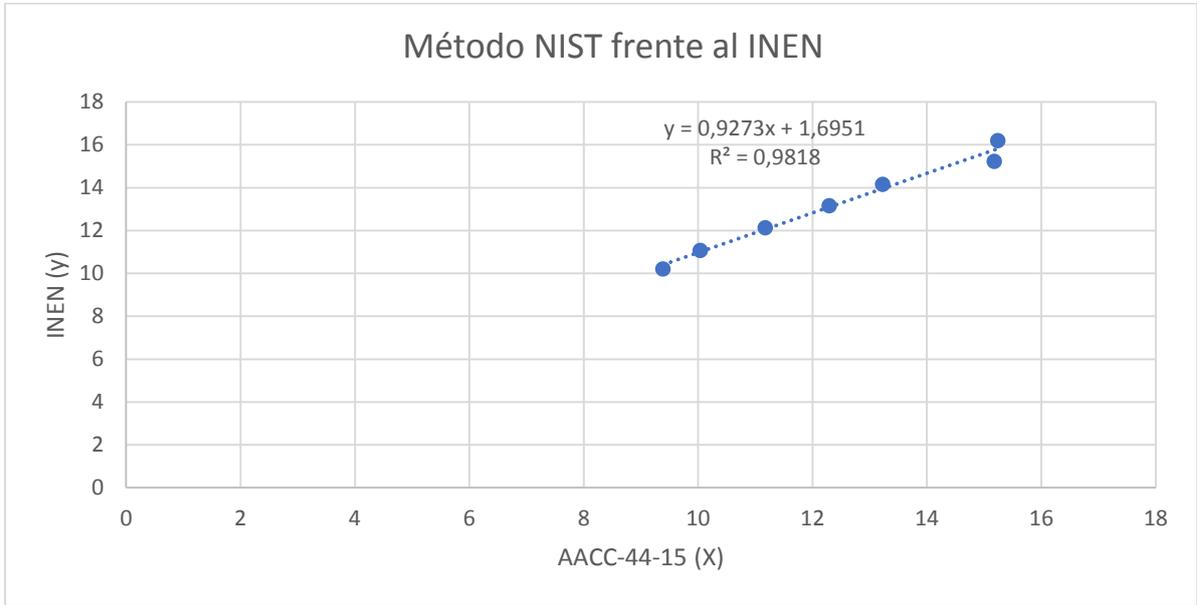
Refer to the instruction manual for detailed operating instructions and testing procedures.

For temperature differences outside range of temperature correction chart, refer to instruction manual.

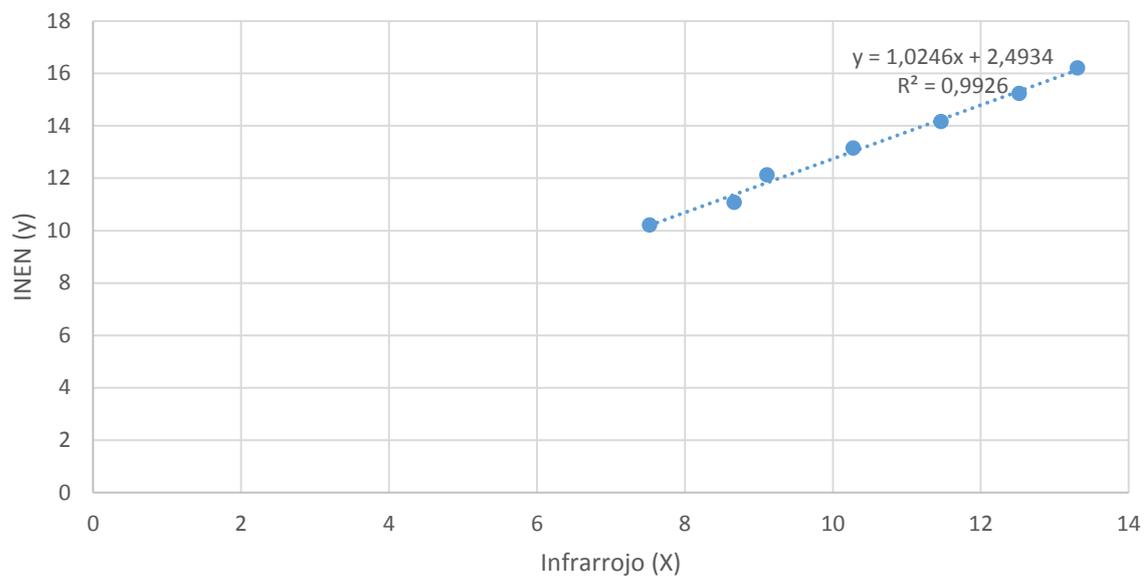
For tests on cold samples, allow at least 3 minutes for temperature determinations and be sure that the thermometer has stopped dropping. Shaking the grain box slightly will hasten the action on very cold samples. Refer to instruction manual.

This chart is tabulated to give comparable results against the Federal Inspection. (Because of the variables involved in the testing of grain, we suggest that you advise us immediately of your tests are not in reasonable agreement with those of the Federal Inspection).

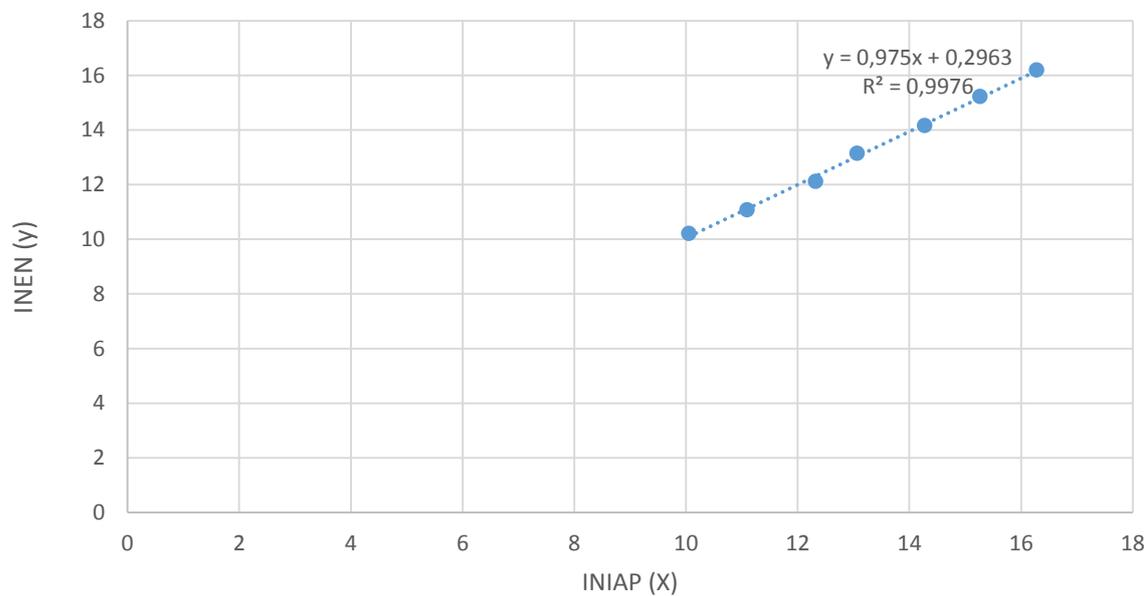
Anexo 6: Tablas



Método de Infrarrojo frente al INEN



Método del INIAP frente al INEN



Anexo 7:

