



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA DETERMINACIÓN DE
HUMEDAD TOTAL EN TRIGO IMPORTADO VARIEDAD CANADA WESTERN
RED SPRING (CWRS).

AUTORA

Melissa Gabriela Tulcán Escobar

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

Comparación de metodologías para determinación de humedad total en trigo
importado variedad Canada Western Red Spring (CWRS).

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

Melissa Gabriela Tulcán Escobar

Año

2020

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido el trabajo, Comparación de metodologías para determinación de humedad total en trigo importado variedad Canada Western Red Spring (CWRS), a través de reuniones periódicas con la estudiante Melissa Gabriela Tulcán Escobar, en el semestre 202010, 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”.



Hector Abel Palacios Cabrera

Ph. D. Tecnología de alimentos

CI: 091227748-0

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, Comparación de metodologías para determinación de humedad total en trigo importado variedad Canada Western Red Spring (CWRS), de Melissa Gabriela Talcán Escobar, en el semestre 202010, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.



Mauricio Andrés Racines Oliva
Doctor of Bioscience Engineering
CI: 171090216-2

DECLARACIÓN DE AUTORIA 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.”



Melissa Gabriela Tulcán Escobar

CI: 172472800-9

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, a mi hermana y amigos por su paciencia y apoyo incondicional a lo largo de mis estudios y mis aventuras. A mi mejor amiga por su ayuda en este trabajo.

A mi tutor y a mi profesor corrector por su apoyo continuo a lo largo de la investigación.

DEDICATORIA

Para mis padres y a mi hermana por esa confianza que me han dado, por guiarme a lo largo del camino y buscar siempre lo mejor para mí.

RESUMEN

El trigo es el principal alimento de consumo humano seguido por el maíz, arroz, papa y soja. Es uno de los principales cultivos de producción agrícola en América del Sur, sin embargo, actualmente la mayor producción y rendimiento se obtiene del hemisferio norte países como Canadá, Estados Unidos y continente europeo. La producción de trigo a nivel nacional abastece al 5% de la demanda actual, el 95% restante es trigo importado. La humedad es un factor importante para la calidad e inocuidad del trigo a lo largo de su procesamiento. Los objetivos del siguiente trabajo fueron: 1) Comparar metodologías para la determinación de humedad en trigo importado variedad CWRS. 2) Desarrollar 8 patrones de humedad entre 9 a 16 % b.h. 3) Comparar 7 metodologías de determinación de humedad entre 9 a 16 % b.h. 4) Proponer una ecuación de corrección para homologar las muestras de todas las metodologías. La investigación se realizó en cuatro fases: la primera fue el secado del grano hasta 9%, en la segunda fase se desarrolló la estandarización de granos de trigo con una humedad de 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16%, en la tercera fase se realizó un ensayo de homogeneidad aplicando la metodología de Gough y utilizando un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) en donde se analizaron los datos y se obtuvo un valor de F calculado menor al valor de F crítico, demostrando así la homogeneidad de las muestras. Finalmente se compararon las metodologías con un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores (humedad y métodos) y se aplicó una prueba de Tukey al 5% en donde ambos factores presentaron diferencias significativas. El mejor método fue el ASAE, seguido del método INEN. Mientras que el peor fue el método de capacitancia Agratronix. Con los valores obtenidos fue posible realizar la ecuación de corrección para ser aplicada en la variedad de trigo CWRS.

Palabras clave: trigo, metodologías, humedad, homogeneidad.

ABSTRACT

Wheat is the main food for human consumption followed by corn, rice, potatoes and soybeans. It is one of the main crops of agricultural production in South America, however, currently the greatest production and yield is obtained from the northern hemisphere countries such as Canada, the United States and European continent. Wheat production nationwide supplies 5% of current demand, the remaining 95% is imported wheat. Moisture is an important factor for the quality and safety of wheat throughout its processing. The objectives of the following investigation were: 1) Compare methodologies for the determination of moisture in imported wheat CWRS variety. 2) Develop 8 humidity patterns between 9 to 16% h.b. 3) Compare 7 moisture determination methodologies between 9 to 16% h.b 4) Propose a correction equation to standardize the samples of all methodologies. The investigation was carried out in four phases: the first was the drying of the grain up to 9%, in the second phase the standardization of wheat grains with a humidity of 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 and 16% was developed, in the third phase a homogeneity test was carried out applying the Gough methodology and using a completely randomized block design (DBCA) where the data was analyzed and a calculated F value lower than the critical F value was obtained, thus demonstrating the homogeneity of the samples. Finally, the methodologies were compared with a two-factor analysis of variance (ANOVA) (humidity and methods) and a 5% Tukey test was applied in which both factors presented significant differences. The best method was the ASAE, followed by the INEN method. While the worst was the Agratronix capacitance method. With the values obtained it was possible to perform the correction equation to be applied in the CWRS wheat variety.

Keywords: wheat, methodologies, humidity, homogeneity.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo general	2
2.2 Objetivos específicos	2
3. MARCO TEÓRICO.....	3
3.1 Generalidades del trigo	3
3.2 Requerimientos y rendimiento.....	4
3.3 Producción	4
3.4 Importancia comercial	6
3.5 Variedades del trigo	7
3.6 Manejo de la cadena agroproductiva del trigo	8
3.6.1 Cosecha.....	8
3.6.2 Almacenamiento	9
3.6.3 Procesamiento de trigo	10
3.7 Parámetros de calidad	15
3.8 Importancia de humedad en los granos de trigo	18
3.9 Métodos de determinación de humedad	19
3.10 Métodos utilizados internacional y nacionalmente.	21
3.11 Comparación de metodologías de determinación de humedad	21
4. MATERIALES Y MÉTODOS	23
4.1 Localización	23
4.2 Material vegetal.....	25
4.3 Materiales y equipos de laboratorio	25
4.4 Descripción de las metodologías	26
4.4.1 Proceso de secado	26
4.4.2 Desarrollo de estándares.....	28
4.4.3 Ensayo de homogeneidad	30
4.4.4 Comparación de metodologías	31
4.5 Estadística	35
4.5.1 Diseño Experimental.....	35
4.5.2 Tratamientos.....	36

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
5.1 Ensayo de homogeneidad	36
5.2 Comparación de metodologías	37
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
6.1 Conclusiones.....	47
6.2 Recomendaciones	48
REFERENCIAS.....	50
ANEXOS.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros físicos presentes en el grano de trigo.	10
Tabla 2 . Granulometrías del trigo.	14
Tabla 3. Métodos utilizados para los principales parámetros de calidad del trigo.	17
Tabla 4. Localización Universidad de las Américas	24
Tabla 5. Localización INIAP Santa Catalina.....	24
Tabla 6. Ubicación de la localidad que proporcionó las muestras de trigo.	25
Tabla 9. Análisis de varianza de homogeneidad de humedad en la variedad de trigo CWRS.	37
Tabla 10. Análisis de varianza de 7 metodologías para determinación de 8 niveles de humedad.	38
Tabla 11. Comparación de 7 metodologías en 8 diferentes niveles de humedad de trigo importado variedad CWRS.....	39
Tabla 12. Ecuaciones de regresión y coeficientes de correlación entre método INEN 1235 (Y) y las diferentes metodologías (X) en la variedad de trigo CRWS.	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales productores de trigo en el mundo en el año 2019 (Pérez, 2019).....	5
Figura 2. Curva de humedad relativa de equilibrio para soja, trigo y maíz a 25°C	12
Figura 3. Equipo para secar las muestras de trigo (deshidratador Proingel modelo 0A).....	28
Figura 4. Muestras listas para acondicionar.....	30
Figura 5. Metodología de estufa (A. Cápsulas abiertas en la estufa. B. Cápsulas cerradas previo a ser pesadas).....	33
Figura 6. Equipo infrarrojo (A. Termobalanza con muestra de trigo en funcionamiento. B. Termobalanza con resultado final de la muestra de trigo). 33	
Figura 7. Equipo Agratronix (A. Equipo cerrado en funcionamiento. B. Equipo al finalizar el cálculo de humedad).....	34
Figura 8. Equipo eléctrico Steinlite con muestra de trigo.	35
Figura 9. Comparación entre métodos de estufa con grano entero (ASAE e ISTA).....	41
Figura 10. Comparación entre métodos de estufa con grano molido (INEN 1235 y AACC).	42
Figura 11. Comparación entre método de capacitancia (AGRATRONIX) y equipo eléctrico (Steinlite).	43
Figura 12. Comparación de metodologías con grano entero (ASAE, ISTA, Agratronix y Steinlite).	43
Figura 13. Comparación de metodologías con grano molido (INEN 1235, AACC, Infrarrojo).....	44

1. INTRODUCCIÓN

El trigo es uno de los cereales esenciales como fuente de alimento a nivel mundial. Según la FAO (Food and Agriculture Organization), se destaca la importancia nutricional en la dieta diaria de la población. Acompañado del arroz y el maíz, el trigo ha sido uno de los cereales más cultivados por lo que se han realizado estudios y programas de mejora en variedades, manejo de cultivo, tecnología y procesamiento (FAO, 2019).

En el año 2016, la producción nacional de trigo alcanzó las 6,746 toneladas, cubriendo de esta forma cerca del 5% de la demanda nacional. Entre las importaciones de trigo se llegó a recibir 936 mil toneladas de trigo en grano por un valor de \$229 millones. La procedencia del trigo viene de Canadá con el 54%, Estados Unidos con el 30% y el 26% restante de países como Argentina, Brasil, Ucrania y Rusia (SINAGAP, 2016).

Las principales especies de trigo cultivadas actualmente son: *Triticum aestivum* o también conocido como: trigo pan y *Triticum durum* o también conocido como: trigo pasta. Ambas especies de trigo se han difundido por el mundo debido a su consumo en productos procesados como panes, tortas, galletas y pastas. Dentro de cada especie de trigo se encuentran diferentes variedades que poseen características diferentes en cuanto al contenido de proteínas, porcentaje de humedad y características del gluten (CIGI, 2013).

Entre los principales parámetros que se clasifican para conocer la calidad física del grano se encuentra la humedad, peso hectolítrico, peso de mil granos, tamaño y forma. La densidad del grano está determinada en base a la composición química y la humedad (Olán, Espitia y López, 2012), estos factores se toman en cuenta para el rendimiento harinero, por lo que mantener valores

estándar en cálculo de humedad por los diferentes métodos es de importancia para una mejor producción.

Existen investigaciones sobre la comparación de metodologías para el cálculo de humedad en granos, donde se puede ver una variabilidad en los valores obtenidos de los diferentes métodos, entre las principales investigaciones realizadas se encuentra el garbanzo, semilla de especies forrajeras, maíz, frejol y sorgo (Bartosik, Cardoso, y Enzo, 2009 - Raspo, 2014 - Alizaga y Mora, 1982)

El desarrollo de este trabajo ayudará a resolver la falta información sobre datos equivalentes para el cálculo de humedad de los granos de trigo de la variedad CWRS en diferentes niveles de humedad con diferentes metodologías utilizadas como son métodos de estufa, infrarrojo, capacitancia y eléctrico.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Comparar metodologías para la determinación de humedad en trigo importado variedad CWRS.

2.2 Objetivos específicos

- Desarrollar 8 patrones de humedad entre 9 a 16 % en base húmeda (b.h).
- Comparar 7 metodologías de determinación de humedad entre 9 a 16 % b.h.
- Proponer una ecuación de corrección para homologar las muestras de todas las metodologías.

Hipótesis

Ha: Existen diferencias significativas entre los valores obtenidos mediante los métodos de cálculo de humedad en el trigo variedad CRWS.

Ho: No existen diferencias entre los valores obtenidos mediante los métodos de cálculo de humedad en el trigo variedad CRWS

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Generalidades del trigo

El trigo (*Triticum ssp*) es un cereal originario del oeste de Asia, se ha cultivado desde hace más de 6000 años. Históricamente los cereales han sido el eje fundamental de la alimentación y agricultura. El trigo es considerado como el cereal más abundante y productivo a nivel mundial (FAO, 2015). Las primeras especies de trigo recolectadas fueron *Triticum monococcum* y *T. dicoccum*, que se caracterizan por sus frágiles espigas que se van separando al madurar (Rimache, 2008). Las principales especies cultivadas actualmente son: *Triticum aestivum* o también conocido como: trigo pan y *Triticum durum* o también conocido como: trigo pasta. Ambas especies de trigo se han difundido por el mundo debido a su consumo en productos procesados. Dentro de cada especie de trigo se encuentran diferentes variedades que poseen características diferentes en cuanto al contenido de proteínas, porcentaje de humedad y características del gluten (Biolatto, 2014).

El grano de trigo posee ventajas como son la fácil transportación y almacenamiento, se lo utiliza para tener una amplia variedad de productos provenientes de la harina, sémola y afrecho, los cuales constituyen como materia prima para elaboración de otros productos (Saldivar, 2007).

3.2 Requerimientos y rendimiento

Debido a su diversidad genética el trigo puede crecer en diferentes ambientes, por lo que también se la cataloga como una especie de gran adaptación ya que se la encuentra en diferentes países de los cinco continentes (Iglesias, 1996).

Entre los requerimientos climáticos y edáficos se deben tomar en cuenta las siguientes características: altitud entre 2000 a 3200 msnm, una temperatura entre los 14 y 22°C, precipitación de 60 mm a 700 mm durante el ciclo, un suelo franco arcilloso y franco arenoso con un pH de 6,5 a 7,5 (INIAP, 2014). Posee un ciclo vegetativo que se distingue por tres diferentes periodos los cuales son: período vegetativo, período de reproducción y período de maduración (FAO, 2015).

El rendimiento de trigo ha ido mejorando con el tiempo debido a los avances genéticos de las variedades. Para la obtención de un mejor rendimiento se debe basar en tres parámetros primordiales que son: número de plantas por unidad de superficie, número de granos por cada planta y por peso de gramo. Su rendimiento puede incrementar con la suficiente cantidad de recursos como con el agua, nutrientes y radiación (Castellarin, 2010).

El 80% de la variabilidad de rendimiento en granos se atribuye al ambiente al que se encuentran expuestos (Anderson, 2010). En los cultivares modernos de trigo el rendimiento se encuentra fuertemente asociado al número de granos (GN) el cual abarca: la duración del tiempo de crecimiento de la espiga, la tasa de crecimiento y el índice de fertilidad (Zhang, Richards y Riffkin, 2019).

3.3 Producción

La predicción más actual de la FAO en cuanto a la producción mundial de cereales en 2019 asciende a 2 714 millones de toneladas. En la actualidad se

prevé que la producción a nivel mundial de este cereal se aproxime a los 766,4 millones de toneladas en el 2019, es decir, un 4,8% por encima de la producción del año 2018 (FAO, 2019). Los países con alta producción de trigo son: Unión Europea, China, India, Rusia, EEUU, Canadá, Pakistán, Ucrania y Turquía (Sagarpa, 2018).

A continuación, en la figura 1 se muestran los principales productores de trigo en el mundo en el año 2019, por volumen de producción en toneladas métricas.

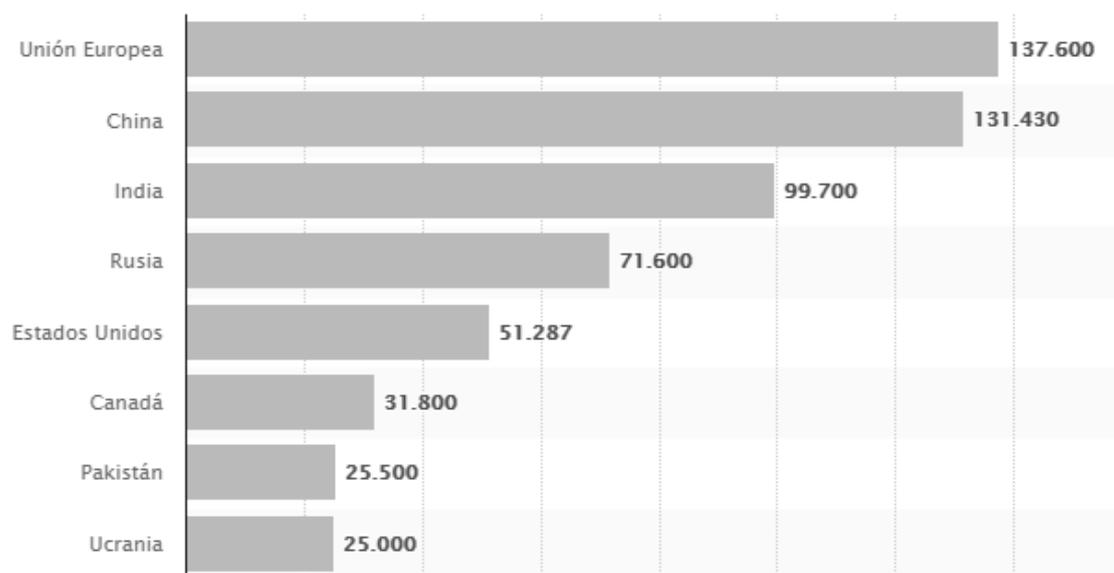


Figura 1. Principales productores de trigo en el mundo en el año 2019.

Tomado de (Pérez, 2019).

El trigo, así como también el arroz, el maíz y la cebada, son los cereales de mayor importancia en el Ecuador. Según datos del Censo Agropecuario citados en el boletín divulgativo N°411 del INIAP, el consumo nacional de trigo supera las 450 000 t/año (Garófalo, Ponce y Abad, 2011). La producción del trigo a nivel nacional se encuentra distribuida a lo largo del callejón interandino. No existen zonas específicas de producción debido a que las condiciones climáticas de la región Sierra son similares, sin embargo, las provincias como Imbabura, Pichincha, Chimborazo, Cañar y Loja muestran un gran aporte de grano a la molienda y mayor superficie sembrada (INIAP, 2014).

3.4 Importancia comercial

En base a la calidad comercial del grano de trigo o del producto obtenido como: harina o semolina se establecen estándares de comercialización. En el caso del grano de trigo se evalúan características físicas y químicas como son: granos blancos, granos dañados, granos quebrados, granos chupados, semillas externas, peso hectolítrico, humedad, proteína y gluten húmedo (Biolatto, 2014). En cuanto a la harina y semolina se evalúa: humedad, proteína, cenizas y gluten húmedo. Estas características son evaluadas de acuerdo a la necesidad del comprador o el mercado. Actualmente los parámetros para calidad comercial para el trigo abarcan un promedio deseado en cuanto a proteína en base húmeda (10,0%), proteína en base seca (11,6%), granos blancos (8,4%), granos dañados (0,3%) y peso hectolítrico (79,4 kg/hl), sin embargo, los parámetros aceptables pueden variar de acuerdo al comprador (Cámara Arbitral de Cereales Rosario, 2019).

Entre los usos industriales, el más común para las variedades de grano duro es la obtención de harinas que se destinan a panificadoras y elaboración de pastas alimenticias, mientras que las procedentes de trigos blandos se destinan a la elaboración de masas pasteleras (Instituto de Investigación y formación agraria y pesquera, 2007). El trigo también es destinado para la elaboración de cereales de desayuno y elaboración de bebidas como son cerveza, whisky y alcohol industrial (Arriola y Espina, 2017). Los subproductos obtenidos en la molienda y otros procesos se destinan para alimento animal, en particular para el ganado. Pequeñas cantidades se destinan para fabricar sucedáneos de café y utilizando el almidón de trigo se obtiene apresto de tejidos (Biolatto, 2014).

A nivel nacional el cultivo del trigo se constituye como uno de los más importantes cultivos de la región Interandina. Sin embargo, la producción abastece tan solo al 0,5% del total de la demanda anual nacional (Marquez, 2016). La superficie registrada del sembrío fue de 23 000 hectáreas en el 2013 y se prevee que se alcancen las 69 000 hectáreas en el 2023 (Holguín y

Alvarado, 2017). Las zonas de mayor producción se localizan en el callejón interandino, donde constan las provincias de Imbabura, Pichincha, Chimborazo, Bolívar, Cañar y Loja registrando el mayor aporte mayor superficie sembrada y de grano molido.

En Ecuador la harina de trigo es fundamental para otras industrias como son: industrias panaderas, pasteleras y galleteras. La harina en el Ecuador posee la siguiente clasificación según INEN: Harina panificable, harina integral, harinas especiales y harina para todo uso (INEN, 2015).

3.5 Variedades del trigo

El grano de trigo se clasifica de dos formas: trigo blando y trigo duro. El trigo blando es rico en almidón, pero contiene una calidad proteica baja, es ideal para elaboración de panes, tortas, pasteles etc. Mientras que el trigo duro es rico en proteínas por lo que posee un alto contenido de gluten y es utilizado en la producción de pastas secas que necesitan una mayor calidad como también de sémola (Salas, 2016).

Las principales especies cultivadas actualmente son: *Triticum aestivum* y *Triticum durum*, de estas especies se pueden encontrar diferentes variedades. En el caso de la especie *Triticum aestivum* o también conocido como trigo panadero las variedades más utilizadas son: Canadian wheat red spring (CWRS), soft red winter (SRW), soft White (SW), hard red spring (HRS), hard red winter (HRW) y hard White (HW). En el caso de la especie *Triticum durum* también conocido como trigo pasta la variedad más utilizada es: durum. Estas variedades de trigo son especialmente de Canadá y Estados Unidos (Cigi, 2013).

Principales variedades a nivel nacional son Cojitambo, San Jacinto- Mirador y Vivar. El ciclo de cultivo es de entre 170 – 190 días hasta alcanzar la madurez

fisiológica. Se lleva a un periodo de secado del grano, en donde debe encontrarse entre 13 - 15% de humedad (Sinagap, 2016).

3.6 Manejo de la cadena agroproductiva del trigo

La poscosecha es una etapa importante de la cadena productiva de cereales, siendo controlada desde el almacenamiento, transporte y acondicionamiento previo a su industrialización. En la cadena agroproductiva del trigo existen diferentes etapas que generan valor económico. El productor agrícola utiliza recursos naturales como son tierra y agua, por otro lado, los insumos básicos como: fertilizantes, equipos de producción, abono y herbicidas. Todo esto para posteriormente transformar el trigo en otros productos en manos de la industria molinera como son harina y sémola, los cuales se utilizan en industrias de panificación y pastificio. Toda la transformación de la materia prima necesitara de mano de obra, capital económico e infraestructura, lo cual representa un valor económico en la cadena agroproductiva (Oviedo y Casanova, 2013).

3.6.1 Cosecha

Al iniciar la cosecha del trigo se deben tomar en cuenta tres aspectos ambientales importantes como son: temperatura, clima y humedad (Mog, 2011). La cosecha debe realizarse cuando el cultivo alcance su madurez completa y se utiliza una trilladora estacionaria o combinada según sea el caso. Se recomienda cosechar el grano de trigo con una humedad de 13 o 14% (INIAP, 2014). Si la humedad sobrepasa ese valor se debe realizar un proceso de secado el cual debe ser controlado y no mayor a 45°C para mantener el porcentaje de proteína adecuado del grano (FAO, 2015). Por otro, el contenido de humedad es un factor crítico para la presencia de microorganismos, si existe un aumento de 0,5% en el rango de humedades entre 14,2 y 15,5% se pueden desarrollar mohos como son: *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Fusarium* y *Alternaria* (Carrillo y Audisio, 2007).

3.6.2 Almacenamiento

En la etapa de almacenamiento es importante preservar el grano por periodos prolongados de tiempo sin que se afecte o deteriore su calidad e inocuidad, lo ideal es mantener el grano en silos cilíndricos metálicos para evitar plagas e insectos, sirve de refugio ante lluvias y posible aumento de humedad del grano (Missouri University, 2013).

Para reducir pérdidas es importante conocer los principales enemigos: hongos e insectos. Los tipos de hongos que se pueden presentar en esta fase son los siguientes: *Aspergillus* que puede producir aflatoxina y ocratoxina, por otro lado, se halla *Penicillium* que puede producir ácido penicílico y citrinina. Los principales insectos contaminantes pueden ser: gorgojo del trigo (*Sitophilus granarius*), barrenador (*Rhyzopertha dominica*), escarabajo serrado (*Oryzaephilus spp*) y escarabajo chato (*Cryptolestes spp*). El gorgojo produce calor y agua provocando así el incremento de hongos y deterioro del grano (Bolívar, 2007). El barrenador produce formas dentro del grano, mientras que los otros insectos lo contaminan, pero no dañan el grano internamente (Pereira, 2013). Para prevenir cualquier afectación es fundamental controlar la temperatura y la humedad de los granos, lo más recomendable es mantenerlos en ambiente frío para evitar un cambio en su porcentaje de humedad (Abadía y Bartosik, 2013). En esta etapa se suele estandarizar entre 12 a 14 por ciento de humedad (Plains grains, 2018).

La adecuada conservación es esencial debido a los efectos que causa la respiración en los mismos granos, como son el desarrollo de hongos e insectos que se proliferan a ciertas condiciones de humedad y temperatura (Bartosik, Abadía, Cardoso, De la Torre y Gisele, 2017). El factor principal que se debe controlar en almacenamiento es el porcentaje de humedad al que se encuentre el grano, el cual se recomienda tener entre 11 a 14% para evitar

cualquier crecimiento de hongos y la posterior germinación del grano (Juárez, Bárcenas y Hernández, 2015).

Para el almacenamiento es importante la limpieza de las instalaciones por dos razones importantes: un control de plagas exitoso y obtención de granos inocuos removiendo posibles agentes microbiológicos. Se debe realizarla desde el transporte (camiones) hasta las estructuras de almacenaje (piso, ductos, cintas, ventiladores, etc). En la etapa de recepción del grano es indispensable realizar un muestreo y posterior clasificación según su calidad (Bolívar, 2007).

En la tabla 1 que se muestra a continuación se pueden ver los parámetros físicos presentes en el grano de trigo.

Tabla 1.

Parámetros físicos presentes en el grano de trigo.

Parámetro	Trigo
Densidad volumétrica (kg/m ³)	770
Peso de 1000 granos (g)	30-45
Humedad (%)	14
Espacio poroso (%)	0-45

Tomado de (Plains grains, 2018)

3.6.3 Procesamiento de trigo

Para industrializar el trigo se establecen parámetros de humedad que deben de cumplirse de acuerdo con las necesidades. El nivel óptimo de humedad se encuentra en el rango de 14-16% y que la humedad con niveles fuera de este rango tendrá un efecto negativo en el rendimiento (CODEX, 1995).

3.6.3.1 Recepción del grano

En la recepción del grano de trigo se debe tener previamente limpios y desinfectados los silos en donde se van a almacenar ya que una mala higiene puede favorecer al desarrollo de microorganismos que posteriormente pueden atacar al producto, generando pérdidas económicas y del producto como tal (Milling and grain, 2019).

Se muestrea el grano de trigo para posteriormente realizar una clasificación dependiendo de la calidad comercial. Se inicia el muestreo recolectando una muestra significativa de cada lote para realizar el respectivo análisis de calidad en donde se considera la humedad, granos rotos, granos blancos, granos chupados, impurezas, semillas y granos de otras variedades de trigo (Cámara arbitral de cereales, 2019).

Cuando el grano es transportado a granel, es decir en camiones, se debe tener al menos tres muestras, una de la mitad y dos de las esquinas a 40cm aproximadamente de la pared. Además, se debe tomar una muestra de 250g de la boquilla ubicada en la parte inferior del camión. Cuando el grano es transportado en sacos, el número de sacos a muestrear dependerá del total de sacos que haya, por ejemplo, cuando en un mismo lote hay menos de 100 sacos se debería muestrear como mínimo 10 sacos (Abadía y Bartosik, 2013).

El contenido de humedad en esta etapa es imprescindible para la adecuada conservación del grano ya que se determinará el periodo por el cual se puede conservar el grano (Valdes y Durañona, 2016). La humedad de los granos tiene una relación directa con la humedad relativa de equilibrio del ambiente ya que la humedad del grano determinará la humedad del espacio entre los granos dentro del lugar de almacenamiento sean silos, costales o camiones (Godoy, 2006). En la figura 2 se puede ver la curva de humedad relativa de equilibrio

dependiendo del grano. En el caso del trigo a una humedad superior de 15% es decir a 70% de humedad relativa puede ya existir presencia de hongos como: *Aspergillus glaucus* y *Apergillus restrictus* (INTA, 2013). Según Abadía y Bartosik la humedad relativa de equilibrio máxima a la que pueden llegar los cereales es de 67% y se la considera como “Humedad de almacenamiento seguro” ya que no hay probabilidades de presencia de hongos en el grano.

A continuación, en la figura 2 se muestra la curva de humedad relativa de equilibrio en soja, trigo y maíz a una temperatura de 25°C.

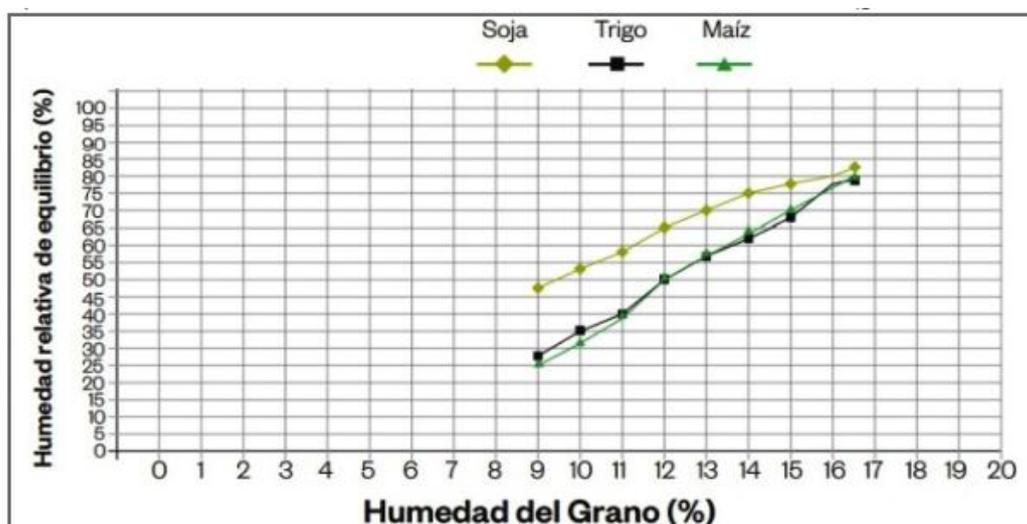


Figura 2. Curva de humedad relativa de equilibrio para soja, trigo y maíz a 25°C.

Tomado de (Abadía y Bartosik, 2013).

3.6.3.2 Limpieza

Entre los pasos críticos para la preparación del trigo a procesar se encuentra la limpieza. El objetivo fundamental de la limpieza es separar cualquier material no deseado como pueden ser: hojas, piedras, granza, materiales ferrosos, restos de otras semillas, granos contaminados etc. Ya que cualquier material extraño puede afectar los procesos posteriores (Buhler, 2018). Por otro lado, se reducen costos ya que se seca o se acondiciona solo granos de trigo y no otros

materiales los cuales pueden alargar el tiempo del proceso (INTA, 2013). Sobre todo, la limpieza reduce la probabilidad de tener insectos y presencia de plagas (OPS, 2015).

3.6.3.3 Acondicionamiento

En esta etapa se le agrega agua al trigo para aumentar su nivel de humedad y posteriormente se lo deja en reposo. En esta etapa el salvado se endurece y el endospermo se suaviza, lo que permite una separación más fácil de los dos (INTA, 2013). Después de haber acondicionado el grano se lo deja reposar entre 18 a 24 horas para fortalecer la fibra, aumentar la humedad del endospermo y así obtener un mejor desprendimiento del endospermo y una harina con 14 a 15% de humedad. El tiempo de reposo se lo establece de acuerdo a cada tipo de grano, sin embargo, hay normas donde se recomienda el tiempo de reposo después de ser acondicionado como es el caso de la norma argentina IRAM 15854. También se conoce como atemperado a este proceso ya que se ablanda el endospermo facilitando así la molienda (Hernández, Botín, Londoño y Mieres, 2013).

En las industrias molineras el acondicionamiento influye al rendimiento molinero y harinero. Es importante saber que, si la harina retiene más humedad entrante en relación con los componentes de salvado y germen de trigo, mayor humedad en el grano puede dar un mayor rendimiento de harina (Mog, 2011).

3.6.3.4 Molido

En la molienda se obtiene salvado (capas externas de grano), sémolas (partículas gruesas del endospermo) y harina (partículas más finas del endospermo) como derivados del proceso (García, 2011). La molienda tiene dos etapas importantes: la rotura del grano y reducción del tamaño de partícula. La rotura del grano se basa en romper el pericarpio (capa protectora del grano) para posteriormente separarlos en tamices superpuestos. La

reducción del tamaño de partícula se la realiza con cilindros lisos en donde se reducen las sémolas hasta convertirlas en harina (García, 2012).

En esta etapa la dureza del grano es imprescindible, ya que el rendimiento de la harina se ve influenciado directamente por este factor. La dureza es la resistencia a la acción mecánica y se encuentra relacionada con la dificultad o facilidad de moler, debido a la separación del grano en diferentes tamaños ya sean grandes pequeños o medianos, cada componente posee una dureza diferente (Cardós, Campaña y Abbade, 2017).

3.6.3.5 Cernido

Posterior al molido se hallan los cernedores los cuales separan las distintas partes de la semilla. Varios tamices son ocupados realizando un movimiento circular en donde se dividen los productos dependiendo de su tamaño (Buhler, 2018). Para lograr una mayor separación se suele repetir el proceso de molido y cernido para incrementar el tamaño de las partículas. La granulometría influye con el resultado del producto final ya que existen diferentes granulometrías para salvado, sémolas, semolinas y harina (García, 2012). En la tabla 2 que se muestra a continuación se puede ver las diferentes granulometrías.

Tabla 2 .

Granulometrías del trigo.

Denominación	Granulometría (µm)
Salvado	Partículas gruesas
Sémolas	1150 – 430
Semolinas	430 – 130
Harina	<130

Tomado de (García, 2012).

3.6.3.6 Almacenamiento y envasado

Al finalizar la extracción de la harina se envasa el producto terminado en sacos o bolsas mediante máquinas de envasado y se transportan hacia bodegas o depósitos de producto terminado en donde se los distribuye posteriormente (Cardós, Campaña y Abbade, 2017). Debe realizarse un almacenamiento seguro en sitios frescos, con ventilación y a una temperatura no superior de los 20°C. La humedad de la harina no debe sobrepasar el 15% ya que se provocan cambios físicos como aparición de bloques en los sacos y apelmazamiento (Asecnsa, 2010). Debe mantenerse la harina alejada del suelo a 15cm con ayuda de pallets de esta forma se evita la absorción de humedad hacia el producto (López, 2003).

3.7 Parámetros de calidad

Entre los principales parámetros de calidad para el grano de trigo se encuentran el peso hectolítrico, peso de mil granos, actividad enzimática, contenido de humedad, ceniza, gluten húmedo, contenido de las proteínas y color. El peso hectolitro es la relación directa entre peso del hectolitro de la variedad con su rendimiento de harina (Mellado, 1986). El peso de mil granos se obtiene en gramos y suele verse influido por el peso de las semillas, condiciones y calidad de la producción, presencia de enfermedades entre otros, lo que puede presentar pesos diferentes con muestras de un mismo lote (Castro, Domínguez, y Paccapelo, 2011).

El contenido de humedad es indispensable para mantener el grano en óptimas condiciones (CODEX, 1995). El contenido de proteínas se ve reflejado con la presencia de gluten, mientras más contenido de proteína posea mayor será la presencia de gluten (Horra, Seghezzi, Ribotta y León, 2012). La riqueza de la proteína se mantiene constante en las fases finales de maduración, mientras que el incremento de glucósidos se da hasta las fases finales de secado (Rimache, 2008).

Entre los análisis que se hacen para conocer la calidad de la harina se encuentra el análisis de panificación, esto es fundamental realizar ya que en la elaboración de los panes se puede ver cómo actúa la harina con los demás ingredientes. Cuando se realiza el amasado se puede ver que la harina se hidrata e inicia el desarrollo de gluten (Hernández, Botín, Londoño y Mieres, 2013). El gluten está compuesto por dos proteínas las cuales son: glutenina y gliadina. Estas proteínas son las encargadas de dar elasticidad y consistencia a la masa de pan (Face, 2018).

La masa se considera un material viscoelástico que es susceptible a la deformación. La glutenina y la gliadina interactúan mediante enlaces disulfuro e interacciones hidrofóbicas formando una red continua, la cual es esencial para el desarrollo y retención de gas en la masa de pan (Tronsmo, Mangus y Baardeseth, 2003). Cuando la consistencia de la masa es fuerte es señal de que existe una buena cantidad de gluten y puede absorber mucha agua, dando como resultado una masa consistente y panes con buen volumen y aspecto. A cantidades altas de glutenina incrementa el tiempo de expansión brindando una mayor solidez. Por el otro lado a altas cantidades de gliadina la formación del gluten es más blando (Cardós, Campaña y Abbade, 2017). Cuando la consistencia de la masa es débil, es señal de que no hay suficiente gluten y la absorción del agua es baja, formando masas flojas y panes de bajo volumen (Salinas, 2013).

A continuación, se muestra la tabla 3 con los valores adecuados sobre los parámetros de calidad del trigo establecidos por diferentes fuentes.

Tabla 3.

Métodos utilizados para los principales parámetros de calidad del trigo.

Parámetro	Método	Valor establecido	Autor
Peso hectolítrico	Balanza calibrada de ¼ lt de capacidad.	76 y 79 kg por hectolitro.	(Mellado, 1986)
Peso de mil granos	Promedio de 10 muestras de 100 gramos cada una.	n/a	(Castro, Domínguez y Paccapelo, 2011)
Actividad enzimática	Espectrofotómetro	n/a	(Bustamante, 2012)
Contenido de Humedad	Balanza termo analítica	14,5% (máximo)	(CODEX, 1995)
Contenido de las proteínas	AACC 46-10	15-20%	(Horra, Seghezzo, Ribotta y León, 2012)

Otros parámetros importantes que se detallan en la norma del Codex stan 199-1995 para trigo y trigo duro son: trigo en buenas condiciones exentos de sabores, olores anormales, de insectos y ácaros. No poseer materias extrañas ni impurezas (0,1% m/m máximo), las semillas deben estar exentas de variedades nocivas como: crotalaria (*Crotalaria spp.*), nequilla (*Agrostemma githago L.*) Castor, semilla de ricino (*Ricinus communis L.*), estramonio (*Datura spp.*) y demás semillas que normalmente se consideran dañinas para la salud. Los envases de trigo se deben salvaguardar las cualidades higiénicas, nutricionales, tecnológicas y organolépticas del grano (CODEX, 1995).

3.8 Importancia de humedad en los granos de trigo

El porcentaje de humedad es un punto importante en la cadena de suministro del trigo. Actualmente existen diferentes métodos para estimar el contenido de humedad, pocos de ellos se utilizan comercialmente (Usman, Mahesh y Salamdin 2015). Al momento de cosechar, todas las muestras primarias deben ser de similar tamaño y peso para mantener homogeneidad entre los granos a analizarse. Cambios bruscos en la respiración de grano pueden modificar su contenido de humedad. Si el contenido de humedad del grano alcanza el valor de equilibrio del aire del ambiente, su contenido de humedad puede ser mayor que el promedio (Bern y Olson, 2010). Para un almacenamiento seguro es recomendable tener una humedad de 14,5% (Abadía y Bartosik, 2013).

Existen estudios sobre la importancia de la humedad en el almacenamiento del trigo, donde se determina la tasa de deterioro del trigo almacenado a temperaturas constantes viendo cambios en la capacidad de germinación del grano, tasa de respiración y presencia de microorganismos. El trigo almacenado con una humedad de 15% y 16% a 25°C se mantiene constante durante 70 días. La tasa de respiración con un contenido de humedad de 17 a 19% a 25°C aumenta mientras que los porcentajes de germinación disminuyen con el tiempo de almacenamiento. En la investigación se concluyó que un almacenamiento seguro es cuando el trigo posee una humedad del 17% a 25–35 ° C ya que no existen presencia de microorganismos y el trigo se mantiene en perfectas condiciones (Karunakaran, Muir, Jayas, White y Abramson, 2001).

Otra investigación realizada en trigo de variedad durum da a conocer la humedad y temperatura segura para almacenamiento del grano. Al tener una humedad menor del 15% y una temperatura menor a 20°C no se reduce la calidad del grano. Con una humedad mayor al 16% los granos de trigo deber ser sometidos a un proceso de secado para prevenir que se deterioren. El

desarrollo de microorganismos incrementa cuando la humedad, temperatura y tiempo de almacenamiento se alargan (Nithya, Chelladurai, Jayas y White, 2011).

Por otro lado, el costo del trigo puede verse afectado por su contenido de humedad, en estados unidos los vendedores de trigo pierden aproximadamente 1% del valor de venta del trigo por cada 0,5% contenido de humedad adicional en el grano (Chang, 1987).

3.9 Métodos de determinación de humedad

Existen dos clasificaciones para los métodos aplicados en la determinación de contenido de humedad, los métodos directos y los indirectos. En los métodos directos se relaciona la cantidad de humedad pesada con la cantidad total de material original, por lo que se expresa el contenido de humedad en base húmeda o seca (Usman, Mahesh y Salamdin, 2015), a continuación, se detallan dichos métodos.

- Secado mediante aire caliente (calentamiento de horno): Se realiza al vacío y el contenido de humedad se determina por el peso diferencial antes y después del secado. Si el horno no alcanza la temperatura adecuada existirá una menor eliminación de humedad (Singh et al. 2003).
- Método Karl Fischer de determinación de humedad: Es un método realizado por titulación coulométrica (Hanna instruments, 2019). Se determina el contenido de agua con la adición de un reactivo en cantidades exactas hasta obtener la reacción química. Los reactivos que se utilizan son soluciones de dióxido de azufre, yoduro e imidazol. Los solventes utilizados son: metanol o etanol (Noria Latin America, 2011).
- Radiación infrarroja: se utiliza radiación infrarroja directa en lugar de aire caliente para secar la muestra. La muestra absorbe los rayos infrarrojos y la energía absorbida provoca el calentamiento deseado de la muestra. La

energía que se emite esta comprendida entre los 3000 y 3500 nanómetros para la absorción del agua (Unizar, 2014). Dentro de este método se encuentra la balanza termo analítica la cual posee una fuente de calor compuesta por dos radiadores oscuros de rayos infrarrojos al interior de la cubierta (Posada, Angulo y Restrepo, 2007). Esta balanza se basa en el principio de termo gravimetría, mediante uso del calor. La función del equipo es determinar el peso de la muestra que es calentada por medio de la unidad halógena desecadora, después de un tiempo determinado se evapora el agua y el equipo automáticamente presenta el resultado de porcentaje de humedad contenido en la muestra (SECOIN, 2017).

- Destilación: con este método la humedad se elimina calentando el grano en aceite y determinando el volumen o el peso del agua extraída del grano en vapor condensado o de la merma de peso de la muestra. Para determinar el contenido de humedad del grano se utiliza el método de destilación Brown Duvel, donde la muestra pesada se calienta en aceite y la humedad se condensa (Usman, Mahesh y Salamdin, 2015).

En los métodos indirectos se implica la medición de una propiedad del material que dependen del porcentaje de humedad presente. El contenido de humedad se mide con medidores de humedad especialmente diseñados, que son de dos tipos que se detallan a continuación:

- Método de capacitancia: Se trata de un sistema compuesto por dos placas conductoras con carga opuesta separadas por un aislante. El grano se coloca entre las placas en donde se detecta un cambio de capacitancia cuando se introduce una muestra estática de material granular (Ospina, 2001). McLendon et al. (1993) estudiaron que el cambio es causado por las propiedades dieléctricas del material, que varían tanto con el contenido de humedad como con la densidad aparente de la muestra.

- Presión de acetileno: El grano es molido y se mezcla con carburo de calcio, la humedad que se presenta en el grano reacciona con el resultado químico de la producción de gas acetileno. El volumen de gas producido es proporcional al contenido de la resistencia del líquido (Bern y Olson, 2010).

3.10 Métodos utilizados internacional y nacionalmente.

A nivel internacional y nacional la forma más tradicional y exacta para conocer la cantidad de humedad que posee el grano de trigo es con la utilización de una balanza termo analítica. El método se basa en la gravimetría y posee la misma calidad que el método Fisher, las balanzas termo analíticas poseen un porcentaje de error del 0,001% pero esto dependerá que cada marca comercial. Algunas de las balanzas poseen sensores SHS (Super Hybrid Sensor) que trabaja como sensor de peso, de esa forma se puede llevar a cabo una determinación precisa del contenido de humedad, a partir del cálculo de peso de alta precisión (Adam equipment, 2006).

A nivel nacional se realiza dos diferentes mediciones de humedad con ayuda de la balanza termo analítica. La primera medición se la realiza con el grano entero y en la segunda medición se tritura al grano, de esta forma se obtiene la humedad presente en todo el grano con el mínimo de diferencias (Yarad, 2018).

3.11 Comparación de metodologías de determinación de humedad

En una investigación realizada por Bartosik, Cardoso y Enzo a cerca de la comparación de metodologías para el cálculo de humedad en especies forrajeras, se llevó a cabo un ensayo de determinación de humedad de tres

especies forrajeras, Agropiro (*Agropirum elongatum*), Festuca (*Festuca arundinacea*) y Ryegrass (*Ryegrass multiflorum*) utilizando el método de estufa y por capacitancia manejando el instrumento electrónico por capacitancia DICKEY-john modelo GAC 2100. Para la determinación de la humedad con el método de estufa se hicieron tres repeticiones por cada nivel de humedad para cada una de las especies utilizadas. Se utilizaron aproximadamente 5 gramos de semilla en cada envase y se llevaron las muestras a la estufa a 130 °C durante 3 horas, ahí se retiraron las muestras y se obtuvo el peso de la semilla seca. Después, por diferencia de peso, se pudo determinar la humedad de la semilla. Se efectuaron mediciones entre 11 y 13% de humedad basado en los posibles riegos que se corren en la industria al momento de almacenar. La presencia de hongos y bacterias pueden influir en el proceso respiratorio del grano incrementando la temperatura del silo y afectando la calidad del grano. Se concluyó que la diferencia entre los valores obtenidos al calcular la humedad tubo una diferencia de entre el 1,5 a 7,7 % de humedad entre los dos métodos (Bartosik, Cardoso y Enzo, 2009).

En una investigación realizada por Ezequiel Raspo en el año 2104 sobre la comparación de determinación de humedad en Garbanzo (*Cicer arietinum* L.). Se utilizaron dos métodos diferentes, el método de estufa (ASAE S352.2) y el método de aparatos electrónicos (equipo Delver 1000D) ya que en la zona estudiada estos son los métodos más comunes. Se trabajó con humedades de entre 9 y 11% de humedad. Se tomaron 21 muestras de tres granos diferentes y se compararon las 2 metodologías antes mencionadas para conocer la diferencia entre los valores obtenidos. Se pudo ver que los valores de diferencia se encontraban entre 1,7 y 2 % de humedad y una desviación estándar entre 0,5 y 0,9 dando como más certero el método de estufa (Raspo, 2014).

En cuanto a granos secos la siguiente investigación sobre “Medición del contenido de humedad en granos básicos con el determinador motomco 919” realizada por Alizaga y Mora. Se basa en una comparación de humedad entre

los diferentes granos como son arroz, frijol, maíz y sorgo. Las muestras contenían de 8 a 28% de humedad debido a que se enfocaron en la etapa de cultivo hasta el almacenamiento de los granos. Al final no se encontraron diferencias significativas para el maíz y sorgo, mientras que para el frejol hubo diferencia de 1,2 hasta 1,7% de humedad y para el arroz una diferencia de 5,8 (Alizaga y Mora, 1982).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la investigación se necesitó de materiales y equipos con los cuales se realizaron las diferentes metodologías que se describen a continuación.

4.1 Localización

El presente trabajo de titulación se llevó a cabo en las instalaciones de laboratorio de investigación de la Universidad de las Américas en donde se realizaron los ensayos de secado, homogenización y comparación de metodologías, y en el laboratorio de granos y semillas del INIAP de Santa Catalina.

En la tabla 4 que se muestra a continuación se detalla la localización de los laboratorios de la universidad de las Américas.

Tabla 4.

Localización Universidad de las Américas

Características del Lugar	
Provincia	Pichincha
Cantón	Quito
Lugar	De los Granados E12-41y, Quito 170513
Altitud	3016 msnm
Temperatura	Media de 13,9 °C
Coordenadas	Latitud Sur 0,169° y. Longitud este 78,471°

En la tabla 5 que se muestra a continuación se detalla la localización de INIAP Santa Catalina.

Tabla 5.

Localización INIAP Santa Catalina

Características del Lugar	
Provincia	Pichincha
Cantón	Mejía
Lugar	D. Mejía, Quito
Altitud	3068 msnm
Temperatura	Media de 10 °C
Coordenadas	Latitud Sur 0,368° y. Longitud este 78,555°

En la tabla 6 que se muestra a continuación se encuentra la localización de la localidad donde se obtuvieron las muestras de trigo CWRS.

Tabla 6.

Ubicación de la localidad que proporcionó las muestras de trigo.

Características del Lugar	
Provincia	Pichincha
Cantón	Quito
Lugar	Cusubamba Oe1-17 y Av. Pedro Vicente Maldonado, sector Guajaló
Altitud	3050 msnm
Temperatura	Media de 10,9 °C
Coordenadas	Latitud Sur 0,2798° y. Longitud este 78,5150°

4.2 Material vegetal

La variedad Canada Western Red Spring (CWRS) o en español también conocido como: trigo rojo de primavera del oeste de Canadá, es un trigo duro con un alto contenido de proteína, debido a su calidad superior es considerado para molienda y panificación. Esta clase de trigo se obtiene del oeste de Canadá representando más del 75% de la producción anual. Esta variedad de trigo conserva una buena reputación debido a la tenacidad de la proteína, calidad del producto final y buenas características de molienda (CIGI, 2013).

Las muestras biológicas de la variedad Canada Western Red Spring (CWRS), fueron obtenidas de la molinera SUCESORES SA. ubicada en el sur de la ciudad de Quito. Se utilizó grano entero y grano molido para la investigación.

4.3 Materiales y equipos de laboratorio

A continuación, se enlistan los materiales y equipos utilizados a lo largo de la investigación.

- Estufa

- Capsulas de aluminio
- Bolsas de aluminio
- Balanza analítica
- Equipo infrarrojo Ohaus BOECO BMA 150
- Equipo Agratronix MT-16
- Equipo Steinlite Moisture Tester

4.4 Descripción de las metodologías

Se realizaron 4 fases a lo largo de la investigación. La primera consistió en secar el grano. En la segunda fase se desarrolló la estandarización de granos de trigo con una humedad de 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16%. En la tercera fase se realizó un ensayo de homogeneidad aplicando la metodología de Gough para el acondicionamiento de las muestras de trigo y finalmente en la cuarta fase se compararon las 7 metodologías de determinación de humedad establecidas.

En los siguientes puntos se detallan las diferentes fases de la investigación.

4.4.1 Proceso de secado

Se realizó el primer paso del secado con ayuda del secador Proingel (modelo 0A) en donde se controló la temperatura a 60°C con ayuda de un termómetro. El secador tiene una capacidad para 5 latas, por cada lata se utilizó una cantidad de 550g de trigo por bandeja por un tiempo aproximado de 2 horas, cada 30 minutos se procedió a rotar las 5 latas con el propósito de tener un secado homogéneo.

Se realizó un muestreo con las diferentes latas para saber la humedad a la que se encontraban, para eso se ocupó el equipo Agratronix y se confirmó con el método INEN 1235 de estufa que la humedad después del secado sea del 9% para proceder con la investigación. Este procedimiento se realizó durante una

semana para secar 13 750 g de trigo húmedo y dando como peso final 12 500 g de trigo seco al 9% de humedad.

Se utilizó la siguiente fórmula para conocer el tiempo de secado que debía tener el grano:

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

(Ecuación 1)

Tomado de (FAO, 2011)

Donde:

W1: Peso del grano a secar (kg)

W2: Peso del grano seco (kg)

M1: Humedad del grano a secar (%)

M2: Humedad del grano seco (%)

Ejemplo:

$$W2 = 550.03g - \left(\frac{550.03(14 - 9)}{100 - 9} \right)$$

$$W2 = 519,80g$$

En la figura 3 que se muestra a continuación se puede ver el equipo que se utilizó en esta etapa.



Figura 3. Equipo para secar las muestras de trigo (deshidratador Proingel modelo 0A)

4.4.2 Desarrollo de estándares

A partir de los 12 500 g, se realizó un acondicionamiento entre los valores de 9 y 16% de humedad debido a que estos niveles de humedad son los más comunes en la recepción de grano de trigo en industrias harineras. Por cada porcentaje de humedad se utilizó 1250g de trigo. En esta etapa se utilizó la metodología de Gough para estandarizar el proceso.

A continuación, se muestra la ecuación de Gough para acondicionar las muestras.

$$Q = \frac{A(b - a)}{100 - b}$$

(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

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para cada porcentaje.

Tabla 7.

Resultados obtenidos en el acondicionamiento de las muestras.

% de humedad deseado	Agua agregada
10%	$Q = \frac{250(10 - 9)}{100 - 10} = 2,77g$
11%	$Q = \frac{250(11 - 9)}{100 - 11} = 5,61g$
12%	$Q = \frac{250(12 - 9)}{100 - 12} = 8,52g$
13%	$Q = \frac{250(13 - 9)}{100 - 13} = 11,49g$
14%	$Q = \frac{250(14 - 9)}{100 - 14} = 14,53g$
15%	$Q = \frac{250(15 - 9)}{100 - 15} = 17,64g$
16%	$Q = \frac{250(16 - 9)}{100 - 16} = 20,83g$

- a) El agua añadida a las fundas de las diferentes humedades fue medida con una pipeta y se mezcló de forma manual con la funda bien sellada.

En esta fase se agregó el agua necesaria para alcanzar el porcentaje de humedad deseado. Se sellaron las muestras en diferentes bolsas de aluminio con un contenido de 250g de trigo por bolsa, se utilizaron 5 bolsas por cada porcentaje de humedad dando un total de 1250g de trigo por cada humedad. Se llevó a refrigeración a una temperatura entre 2 y 4°C las bolsas para posteriormente realizar una homogenización manual diaria. La homogenización manual consistió en mover las bolsas diariamente por un tiempo de 2, esto se realizó por 7 días.

En la figura 4 se puede ver las muestras de trigo con las respectivas fundas previo a ser acondicionadas.



Figura 4. Muestras listas para acondicionar.

4.4.3 Ensayo de homogeneidad

Se buscó verificar que no existan diferencias significativas en el contenido de humedad entre las 5 bolsas de cada porcentaje de humedad del 9 a 16% b.h. Para esto se utilizó el medidor de humedad Agratronix MT-16 para la obtención de resultados rápidos. Para asegurar que las muestras se encontraban homogéneas entre sí, se tomó de forma aleatoria 5 submuestras de cada humedad y se llevó a la estufa utilizando el método INEN 1235. En esta etapa se utilizó la siguiente fórmula de humedad:

$$H = \frac{(M1 - M2) * 100}{M}$$

(Ecuación 3)

Tomado de (Félix, 2015)

Donde:

M= masa de la muestra húmeda (g)

M1= masa de la muestra húmeda + masa de la cápsula

M2= masa de la muestra seca + masa de la cápsula

4.4.4 Comparación de metodologías

Se aplicaron 7 metodologías las cuales fueron: ASAE Standard S352.2, ISTA moisture, INEN 1235, AACC (metodologías en estufa), equipo infrarrojo, método capacitancia y método con equipo eléctrico.

4.4.4.1 Métodos de estufa

Esta metodología se basa en el secado mediante aire caliente o también conocido como calentamiento de horno. Se basa en el principio de termo gravimetría, en esta técnica se mide el peso de una muestra respecto al tiempo y temperatura bajo condiciones controladas en laboratorio. Se genera calor interno en el equipo mediante conjuntos de resistencias eléctricas, que transfieren la energía térmica a la estufa. El calor generado dentro de la cámara interna se transfiere y se distribuye mediante convección natural o convección forzada. El equipo en si dispone de aislamiento térmico para evitar que existan intercambio de calor con el ambiente exterior (Paho, 2015). La metodología general de estufa se realiza al vacío y el contenido de humedad se determina por el peso diferencial antes y después del secado (Singh et al. 2003).

Se determina la humedad con respecto al peso, tiempo y temperatura al cual se somete. En la investigación se llevaron a cabo 4 diferentes metodologías de estufa (ASAE S352.2, ISTA, INEN 1235 y AACC 4415A). En la siguiente tabla se explica cada una de ellas.

Tabla 8.

Metodologías de estufa para el cálculo de humedad en granos de trigo.

MÉTODO		DESCRIPCIÓN	FUENTE
ASAE Standard S352.2	Grano entero	19 horas en estufa a una temperatura de 130°C, se utilizan 15 gramos de muestra.	(HGCA, 1989)
ISTA	Grano entero	24 horas a una temperatura de 105°C, se utilizan 5 gramos de muestra.	(Nijenstein, 2008)
INEN 1235	Grano molido	2 horas a una temperatura de 130°C, se utilizan 5 gramos de muestra. La metodología se la realiza hasta llegar a peso constante.	(INEN, 2013)
AACC 4415A	Grano molido	1 hora a una temperatura de 130°C, se utilizan 2 gramos de muestra.	(National Institute of Standards and Technology, 2012)

En la figura 5 que se presenta a continuación se puede ver las capsulas utilizadas en las metodologías de estufa.



Figura 5. Metodología de estufa (A. Cápsulas abiertas en la estufa. B. Cápsulas cerradas previo a ser pesadas)

4.4.4.2 Método con equipo infrarrojo

La metodología se basa en la utilización del equipo infrarrojo marca BOECO BMA I50, se basa en el principio de termo gravimetría, mediante uso del calor. La función del equipo fue determinar el peso de la muestra que fue calentada por medio de la unidad halógena desecadora. Después de un tiempo determinado se evaporó el agua y el equipo automáticamente presentó el resultado de porcentaje de humedad contenido en la muestra de trigo (SECOIN, 2017). Para la metodología se colocaron 2 gramos de trigo molido en el equipo a una temperatura de 130°C por 15 minutos.

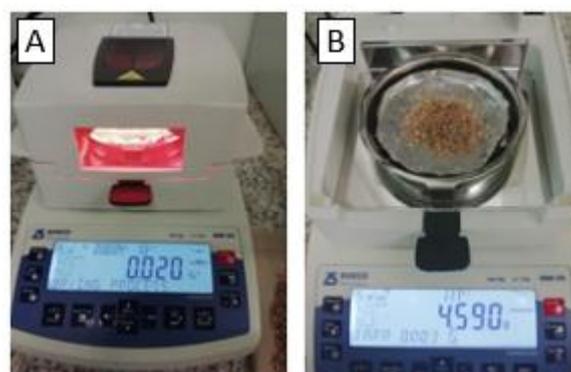


Figura 6. Equipo infrarrojo (A. Termobalanza con muestra de trigo en funcionamiento. B. Termobalanza con resultado final de la muestra de trigo).

4.4.4.3 Método de capacitancia

La metodología se basa en el principio de capacitancia, en donde se mide la humedad debido a la diferencia de un potencial eléctrico. Capacitancia se expresa como la relación entre la carga eléctrica de cada conductor y la diferencia de potencial o tensión entre los mismos (Fluke, 2019). Se utilizó el equipo Agratronix MT-16, el cual es utilizado en campo debido a su rapidez para obtener resultados. Se puede utilizar este equipo con 16 diferentes tipos de granos enteros. Su funcionamiento es simple; el equipo cuenta con dos partes importantes, la tapa que posee una placa interna que actúa como conductor mientras que el resto del equipo es el medio aislante en donde se introdujo la muestra, en la base del equipo se sitúa otra placa que genera una diferencia de potencial eléctrico (Agratronix, 2016).

A continuación, en la figura 7 se puede ver el equipo Agratronix en funcionamiento.

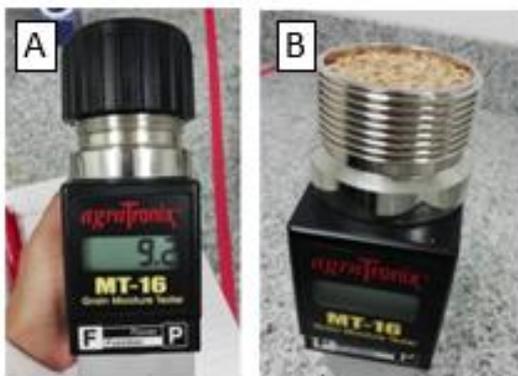


Figura 7. Equipo Agratronix (A. Equipo cerrado en funcionamiento. B. Equipo al finalizar el cálculo de humedad).

4.4.4.4 Método con equipo eléctrico

Se utilizó el equipo Steinlite que se encuentra en los laboratorios del INIAP. Este equipo mide la humedad por medio de las partículas de agua que se encuentran en el grano, mediante vibraciones eléctricas se desplazan las

partículas separando dos medios de diferente potencial eléctrico, sea positivo y negativo. El equipo cuenta con una matriz de corrección la cual muestra el resultado final para el contenido de humedad de la muestra (Vásquez, 2019). Se utilizaron 150 gramos de muestra (trigo) por análisis.

En la figura 8 que se muestra a continuación se puede ver el equipo Steinlite en funcionamiento.



Figura 8. Equipo eléctrico Steinlite con muestra de trigo.

4.5 Estadística

Con los valores obtenidos a lo largo de la investigación se llevaron a cabo diseños experimentales y tratamientos que se detallan a continuación.

4.5.1 Diseño Experimental

Para las pruebas de homogeneidad entre las fundas se aplicó estadística con ayuda del programa EXCEL en donde se analizaron los datos con la opción Prueba de T para medias de dos muestras emparejadas, obteniendo así el valor de F crítico y F calculado para la tabla de resultados de homogeneidad entre fundas. Se tomaron en cuenta los valores de las medias obtenidas en cada funda de acuerdo a su rango de humedad en la metodología patrón que fue INEN 1235.

Para la comparación de metodologías se aplicó un diseño de bloques completamente al azar con ayuda del programa InfoStat, el diseño utilizado ayuda a controlar variables existentes dentro de la investigación siempre y cuando se haya demostrado que los datos utilizados son estadísticamente homogéneos.

Posterior al diseño de bloques completamente al azar se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para ver el comportamiento de cada humedad en comparación a la metodología utilizada.

4.5.2 Tratamientos

Para la comparación de metodologías se tomaron en cuenta 2 factores los cuales fueron: humedad y métodos. Dentro del factor 1: humedad, se evaluaron 8 diferentes humedades (9,10,11, 12, 13, 14,15 y 16%) y dentro del factor 2: métodos, se evaluaron 7 metodologías diferentes (INEN 1235, ASAE Standard S352.2, AACC 4415A, ISTA, equipo infrarrojo, agratronix y equipo steinlite), posteriormente se realizó la interacción entre los dos factores (humedad y métodos) para la comparación de los valores obtenidos.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a lo largo de la investigación de manera experimental y estadística.

5.1 Ensayo de homogeneidad

En base a la media obtenida de cada porcentaje a evaluar se obtuvo la desviación estándar y como se puede ver la desviación es menor de 1 en todas las muestras de todos los diferentes porcentajes de humedad, por lo que se demuestra que el error es insignificante dando así una homogeneidad entre las muestras de cada porcentaje entre 9% al 16%.

En la tabla 9 que se muestra a continuación se detalla el análisis de varianza de homogeneidad en el trigo utilizado.

Tabla 7.

Análisis de varianza de homogeneidad de humedad en la variedad de trigo CWRS.

% Humedad	($\bar{x} \pm SD$)	F calculado	F crítico
9%	(9,324 \pm 0,192)	5,99E-08	2,131
10%	(10,039 \pm 0,072)	3,26813E-09	2,131
11%	(10,545 \pm 0,045)	7,04584E-10	2,131
12%	(11,675 \pm 0,035)	9,40795E-11	2,131
13%	(12,653 \pm 0,094)	8,86509E-09	2,131
14%	(13,732 \pm 0,078)	2,56826E-09	2,131
15%	(14,947 \pm 0,056)	1,16192E-09	2,131
16%	(15,839 \pm 0,040)	4,23945E-10	2,131

a) Cuando el valor de F calculado es menor que el valor de F crítico se considera una muestra homogénea.

Como se puede ver en la tabla 9 los valores de F calculado son menores que F crítico, dando así una homogeneidad entre todas las fundas del 9 al 16% de humedad. Se puede constatar que el método aplicado de homogeneidad es válido para el grano de trigo utilizado y que la desviación estándar (SD) por cada nivel de humedad es muy bajo, lo cual no representa mayor diferencia entre las medias obtenidos con el porcentaje de humedad buscado.

5.2 Comparación de metodologías

A continuación, en la tabla 10, se presentan los resultados de la comparación de 7 metodologías aplicadas en el presente estudio entre los rangos de humedad del 9 al 16%.

Tabla 8.

Análisis de varianza de 7 metodologías para determinación de 8 niveles de humedad.

F.V.	GI	SC	CM
Total	279	1976,95	
Métodos	6	528,94	88,16**
Rangos de humedad	7	1402,81	200,40**
Métodos*Rangos de humedad	42	41,21	0.98**
Repeticiones	4	0,06	0,02
Error	220	3,93	0,02
CV (%)	1,10		

Se obtuvo un coeficiente de variación del 1,10% lo que indica que el 99% de diferencia es debido a los métodos por lo que se concluye que las diferencias encontradas en la investigación se dan exclusivamente por las diferentes metodologías y no influyen mayormente los factores externos en los resultados obtenidos.

Como se puede observar en la tabla 11 que se presenta a continuación, los coeficientes de variación son 0,50% el más bajo y 1,57% el valor más alto. La variación existente se debe a los mismos métodos utilizados mas no en factores externos.

En la tabla 11 se pueden ver distribuidas las diferentes metodologías de acuerdo con el tipo de grano utilizado, siendo grano entero o grano molido. Para la metodología de estufa con grano molido se utilizó el método AACC e INEN. Para la metodología de estufa con grano entero se utilizó el método ISTA y ASAE. Por otro lado, para método de grano molido se ocupó el método de infrarrojo y para grano entero se ocupó Steinlite y Agratronix.

Tabla 11.
Comparación de 7 metodologías en 8 diferentes niveles de humedad de trigo importado variedad CWR5.

METODOS	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%	16%
AACC	6,95 ± 0,11 A	8,37 ± 0,16 B	8,61 ± 0,21 B	10,18 ± 0,24 B	11,18 ± 0,10 B	12,16 ± 0,11 A	13,52 ± 0,14 A	14,11 ± 0,11 B
INEN	9,33 ± 0,19 CD	10,04 ± 0,07 D	10,55 ± 0,04 D	11,68 ± 0,04 D	12,65 ± 0,09 D	13,73 ± 0,08 C	14,95 ± 0,06 C	15,84 ± 0,04 D
ISTA	7,89 ± 0,08 B	8,82 ± 0,08 C	9,86 ± 0,05 C	10,92 ± 0,06 C	11,86 ± 0,07 C	12,96 ± 0,05 B	14,39 ± 0,03 B	15,12 ± 0,07 C
ASAE	9,20 ± 0,05 C	10,22 ± 0,06 D	11,21 ± 0,05 F	12,11 ± 0,05 E	13,07 ± 0,05 E	14,07 ± 0,05 D	15,20 ± 0,03 D	16,19 ± 0,06 E
Infrarrojo	6,62 ± 0,12 D	7,55 ± 0,10 A	8,09 ± 0,12 A	9,46 ± 0,09 A	10,91 ± 0,12 A	12,15 ± 0,20 A	13,56 ± 0,14 A	14,38 ± 0,03 A
STEINLITE	9,50 ± 0,06 D	10,32 ± 0,05 D	10,88 ± 0,04 E	11,72 ± 0,03 D	13,14 ± 0,05 E	14,23 ± 0,08 D	15,26 ± 0,05 D	15,87 ± 0,06 D
AGRATRONIX	12,46 ± 0,12 E	13,36 ± 0,17 E	13,80 ± 0,16 G	14,28 ± 0,13 F	14,92 ± 0,14 F	15,66 ± 0,13 E	15,86 ± 0,04 E	17,56 ± 0,064 F
CV%	1,30	1,57	1,34	1,38	0,95	1,03	0,75	0,50

a) En el análisis se aplicó TUKEY al 5%. Los valores de las humedades y desvíos obtenidos son el resultado de 5 repeticiones

Basándose en la tabla 11 se puede decir que las metodologías INEN, Steinlite y ASAE poseen resultados en común en todos los porcentajes de humedad. Para las humedades de 9, 10, 12 y 16% el método INEN (grano molido) y Steinlite (grano entero) no poseen diferencias significativas. Para las humedades de 10,13, 14 y 15% el método ASAE (grano entero) y Steinlite (grano entero) no tienen diferencias significativas. Por lo que se puede decir que los tres métodos mencionados se relacionan en común debido a la cercanía de sus valores y sobre todo a los resultados que se aproximan al porcentaje de humedad deseado. En el caso de las humedades 9 y 10% los métodos INEN, Steinlite y ASAE no muestran diferencias significativas, por lo que usar cualquiera de los tres métodos en estas humedades es confiable para obtener un valor cercano al real. Es importante tomar en cuenta que los tres métodos mencionados, así sean métodos con grano entero y grano molido, los resultados son similares por cada porcentaje de humedad.

En la tabla 11 se puede ver que el mejor método para la mayoría de los diferentes porcentajes de humedad es el método ASAE, ya que los resultados obtenidos son los más cercanos al porcentaje de humedad buscado. El método ASAE e INEN son métodos de estufa, los que se aproximan a los valores reales al ser más precisos y controlados. En el caso de las humedades 9, 11, 12, 13, 14 y 16% el método ASAE es el más cercano al porcentaje de humedad buscado, mientras que para el 10 y 15% el método más cercano es del INEN.

Para el 9, 11, 12 13 y 16% de humedad el método que más se aproxima al valor buscado es ASAE mientras que el método más alejado es el Agratronix. Para el 10% de humedad el método más próximo en el INEN y el más alejado el Agratronix. Para el 14% de humedad el mejor método es ASAE y el más alejado del valor buscado es el método infrarrojo. Para el 15% de humedad el método más cercano es INEN y el más alejado AACC.

Al momento de industrializar el trigo se utiliza un rango de humedad entre el 13 y 15%. Como se ve en la tabla 11 los métodos que se aproximan al valor

buscado entre estas humedades son ASAE y Steinlite, sus valores no presentan diferencias significativas por lo que cualquiera de estos métodos se puede utilizar para garantizar un resultado cercano al valor deseado con la variedad de trigo CWRS.

En las figuras que se presentan a continuación de la 9 a la 13 se puede observar los resultados obtenidos a lo largo de la investigación. Cada figura compara las diferentes metodologías de acuerdo con el grano de trigo que se utilizó sea grano entero o molido, ya que en base a eso los valores de humedad pueden variar.

En la figura 9 que presenta a continuación, se puede ver la comparación entre los métodos de estufa con grano entero (ASAE e ISTA) los valores obtenidos poseen diferencias significativas basándose en los resultados estadísticos de la tabla 11, sus letras son diferentes y los valores del método ISTA son lejanos al valor buscado.

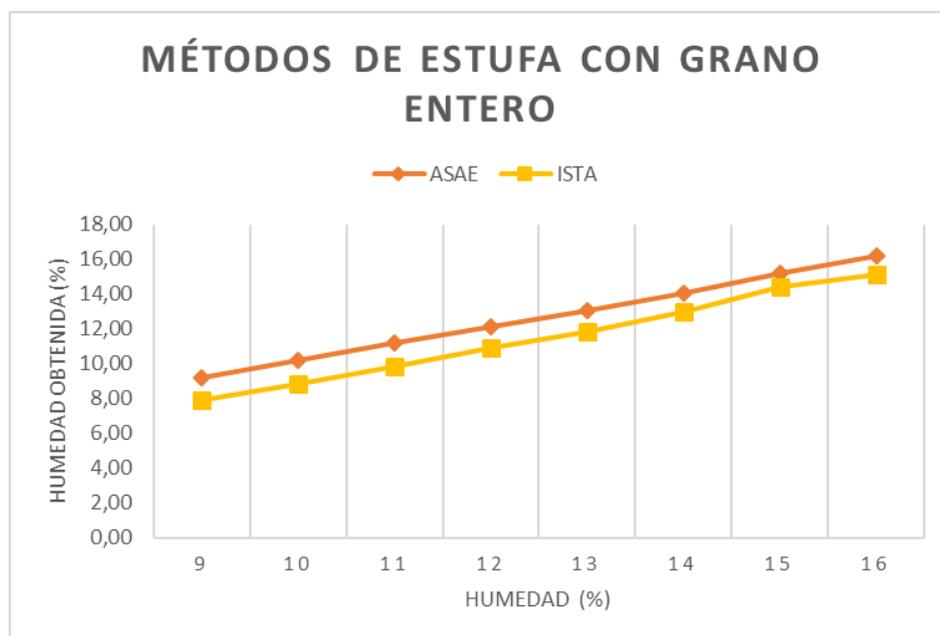


Figura 9. Comparación entre métodos de estufa con grano entero (ASAE e ISTA).

En la figura 10 se encuentra la comparación entre métodos de estufa con grano molido (INEN 1235 y AACC) se puede ver que la curva de AACC no se aproxima al valor de humedad buscado y en la tabla 11 se puede ver que los resultados de este método son lejanos al valor buscado. Existen claras diferencias significativas en el análisis estadístico y una gran diferencia con los valores obtenidos por el método INEN que fueron uno de los más cercanos a los valores buscados.

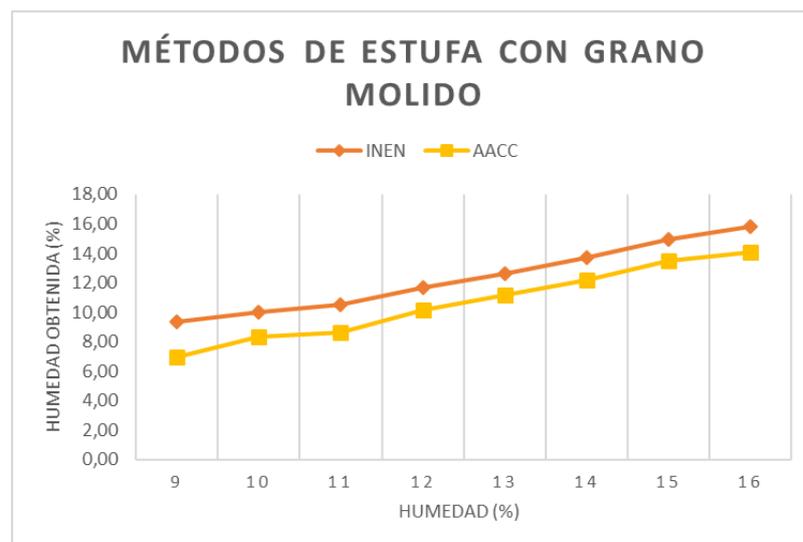


Figura 10. Comparación entre métodos de estufa con grano molido (INEN 1235 y AACC).

En la figura 11 se halla la comparación entre el método de capacitancia (Agratronix) y equipo eléctrico (Steinlite) ambos con grano entero. Posee diferencias significativas notorias que se puede comprobar con la tabla 11. En el caso del equipo eléctrico (Steinlite) se obtuvieron valores cercanos a los buscados por cada porcentaje de humedad y se lo tomó como uno de los métodos más confiables al igual que ASAE e INEN. Por otro lado, en el caso del equipo de capacitancia Agratronix, los valores obtenidos fueron totalmente lejanos a los valores buscados en todos los porcentajes de humedad.

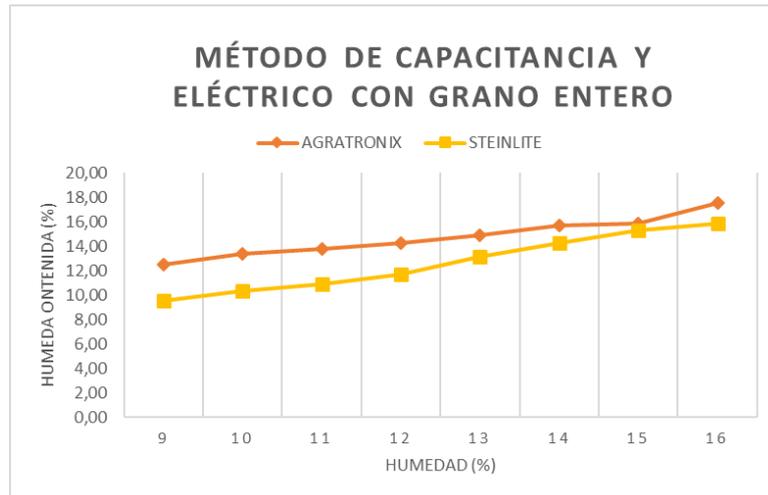


Figura 11. Comparación entre método de capacitancia (Agratronix) y equipo eléctrico (Steinlite).

En la figura 12 se puede ver claramente que el método con mayor variabilidad en los datos obtenidos es el de capacitancia (Agratronix), este método es el más rápido y de fácil acceso ya que el equipo se puede transportar fácilmente y da resultados automáticos, aun así, debe tomarse en cuenta que sus resultados no son completamente fiables y que puede presentar una humedad mayor a la que realmente tiene el grano. Por otro lado, el método ASAE y Steinlite coinciden con valores semejantes y se puede ver estadísticamente en la tabla 11 que no poseen diferencias significativas estos dos métodos.

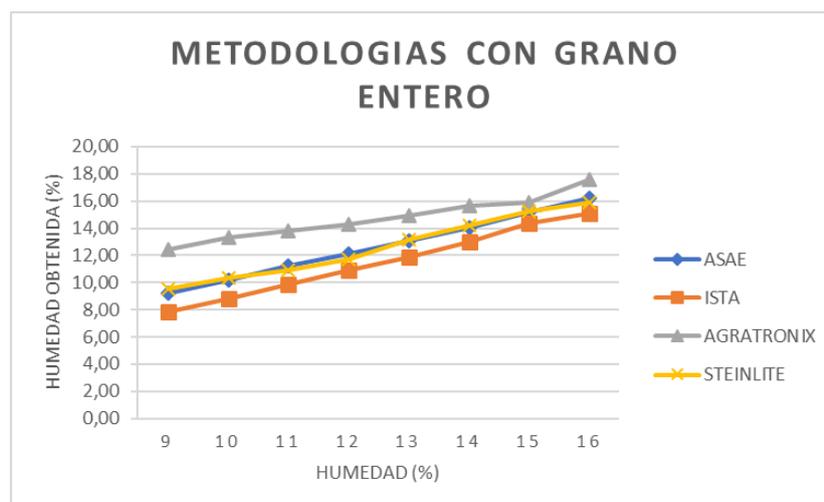


Figura 12. Comparación de metodologías con grano entero (ASAE, ISTA, Agratronix y Steinlite).

En la figura 13 se puede ver que los métodos AACC e infrarrojo poseen datos muy similares en todos los niveles de humedad establecidos sin embargo el método INEN 1235 que viene a ser el método estándar de estufa en Ecuador muestra valores diferentes, pero más precisos ya que es un método que busca llegar a un peso constante para determinar la humedad final de la muestra. Basándose en la tabla 11 se puede constatar que el método INEN posee diferencias significativas notorias a comparación de los métodos AACC e infrarrojo.

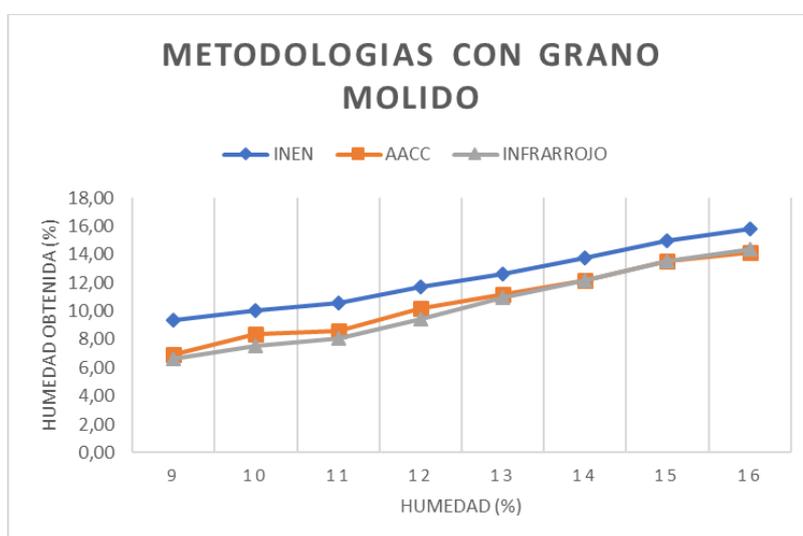


Figura 13. Comparación de metodologías con grano molido (INEN 1235, AACC, Infrarrojo).

Al obtener los resultados en la comparación de metodologías se estableció un factor de corrección para comparar los datos obtenidos con relación a la metodología INEN 1235. En la tabla 12 se puede ver las ecuaciones aplicables a cada metodología comparado con el método patrón de estufa INEN 1235. Las ecuaciones de regresión obtenidas en este trabajo son válidas cuando se trata de la variedad de trigo CRWS en un rango de humedad del 9 al 16%. La ecuación muestra una corrección de todas las metodologías aplicadas (X) al método de referencia INEN 1235 (Y). En los anexos 13 a 18 se muestra la ecuación con su respectivo gráfico.

Tabla 12.

Ecuaciones de regresión y coeficientes de correlación entre método INEN 1235 (Y) y las diferentes metodologías (X) en la variedad de trigo CRWS.

Metodologías	Ecuación de regresión	Coefficiente de correlación
Agratronix (capacitancia)	$Y = 1,4309x - 8,7418$	0,9573
Infrarrojo	$Y = 0,9175x + 2,59$	0,9903
Steinlite (Equipo eléctrico)	$Y = 0,8218x + 3,8466$	0,9981
AACC 4415A (Estufa)	$Y = 0,91x + 1,9005$	0,9938
ISTA (Estufa)	$Y = 0,9955x - 0,2138$	0,9943
ASAE Standard S352.2 (Estufa)	$Y = 0,9681x + 0,0887$	0,9916

Al comparar esta investigación con otras dos semejantes en cuanto a la comparación de metodologías en granos se pudo ver la importancia de realizar estudios de este tipo. A continuación, se detalla cada investigación.

En la investigación de Bartosik, Cardoso y Enzo sobre la comparación de determinación de humedad en semillas forrajeras se pudo ver que la metodología que ellos ocuparon fue el método de estufa ASAE S352 al igual que en esta investigación, sin embargo, el tiempo en la estufa fue menor al que se ocupó en este trabajo. Las humedades que se tienen en común en ambas investigaciones fueron 11, 12 y 13%. En ambos trabajos se comparó el método de estufa con un método de capacitancia y se puede ver que en la investigación de Bartosik, En ambos trabajos se encontraron diferencias significativas, sin embargo, en nuestra investigación del trigo las diferencias son altas según la humedad utilizada. En el trabajo de semillas forrajeras se trabaja con diferentes rangos de humedad: alto (32 a 22%), medio (20 y 16%) y bajo (11 a 13%) (Bartosik, Cardoso, & Enzo, 2009), mientras que en la comparación de metodologías para el trigo se utilizan humedades de 9 a 16%. Si se compara simplemente los valores de 11 a 13% de humedad en ambas investigaciones se puede ver que existen diferencias porcentuales distintas, en las semillas forrajeras el valor mínimo es de 0,3 y el máximo de 0,7, mientras

que en nuestro trabajo el valor mínimo es de 1,84 y el máximo de 2,58. Esto quiere decir que los métodos utilizados pueden variar de acuerdo con el grano o semilla utilizado. En el caso de nuestra investigación los valores porcentuales diferentes entre ambos métodos mencionados son los siguientes para todas las humedades trabajadas: 3,26 para 9%, 3,13 para 10%, 2,58 para 11%, 2,16 para 12%, 1,84 para 13%, 1,59 para 14%, 0,06 para 15% y 0,32 para 16%. Se puede ver que la humedad 15 y 16% poseen menos diferencia porcentual entre el método de capacitancia y método de estufa ASAE.

En la investigación de Chang sobre la comparación de diferentes metodologías para determinación de humedad en trigo blanco suave se trabajó con humedades entre 8 y 12%. En la investigación se trabaja con un método de capacitancia y uno eléctrico. En nuestro trabajo se utiliza el método Agratronix (capacitancia) y Steinlite (eléctrico), mientras que en la investigación de determinación de humedad en el trigo blanco suave se utiliza el Equipo Motomco 919 (capacitancia) y Tecator GP6010 (eléctrico) para comparar contenido de humedad en diferentes rangos de humedad. En nuestra investigación el valor mínimo es de 0,6 y el valor máximo es de 3,92 puntos porcentuales de diferencia entre los métodos utilizados, mientras que en la segunda investigación el valor mínimo es de 0,06 y el valor máximo es de 0,82 puntos porcentuales. Comparando ambas investigaciones se puede ver que el segundo trabajo posee menos diferencia porcentual entre los métodos utilizados, por lo que la variedad de trigo y los métodos ocupados influyen notoriamente.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se compararon las metodologías de estufa (ASAE S352.2, ISTA, INEN 1235 y AACC 4415A), equipo eléctrico (Steinlite), capacitancia (Agratronix) e infrarrojo para la determinación de humedad en trigo importado variedad CWRS en diferentes humedades desde 9% hasta 16% siguiendo el respectivo proceso de secado de trigo, acondicionamiento de las muestras, homogenización en cada porcentaje de humedad y comparación de los métodos establecidos. Se pudo ver que hubo diferencias significativas en los porcentajes de humedad establecidos. El mejor método para la mayoría de las humedades fue el método de estufa con grano entero ASAE, seguido del método de estufa con grano molido INEN. Mientras que el peor método o el menos exacto fue el método de capacitancia Agratronix.

Se desarrollaron 8 patrones de humedad los cuales fueron: 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16% para llevar a cabo la investigación, a lo largo del trabajo se confirmó los valores obtenidos con la metodología INEN 1235. Se trabajó con ese rango de humedades debido a la variabilidad de contenido de agua del trigo en diferentes condiciones ambientes, sin embargo, se controló minuciosamente cada etapa para la obtención de resultados exactos. En el desarrollo de patrones se tuvo que tomar en cuenta la homogenización de las muestras entre fundas dando como resultado final un F calculado menor que el F crítico en todos los porcentajes de humedad, de esta forma se comprobó que las muestras estuviesen listas para continuar con la comparación de metodologías.

Se compararon 7 metodologías para la determinación de humedad en el rango de humedad establecido de 9 a 16%. Se pudo ver que los resultados obtenidos varían con todos los métodos utilizados, en el caso de los métodos de estufa se obtuvieron valores diferentes ya que hubo muestras con grano entero y otras

con grano molido. Esto influye directamente en los resultados finales ya que la partícula es más pequeña al ser grano molido por ende la humedad registrada puede ser menor. En el método de capacitancia (Agratronix) se pudo constatar que al ser un método de resultados rápidos sus valores son instantáneos sin embargo existe una diferencia notoria en todas las humedades utilizadas con los métodos de estufa establecidos en la investigación, ya sea con grano entero (ASAE, ISTA) o grano triturado (INEN 1235, AACCC) debido a que estos métodos son más precisos por el procedimiento que se realiza a nivel de laboratorio.

Se propuso una ecuación de corrección en donde se tomaron en cuenta todos los valores obtenidos a lo largo de la investigación con las metodologías aplicadas en el rango de humedad establecido. La ecuación es válida para la variedad de trigo CWRS.

6.2 Recomendaciones

Al momento de realizar investigaciones en donde se necesite de humedad inicial de una muestra es importante realizar varias pruebas de comprobación como métodos de estufa que son los más precisos como también métodos instantáneos, debe realizarse varias repeticiones para incrementar el nivel de error o variabilidad que pueda existir.

Para la homogenización de las muestras es importante que los diferentes lotes tengan las mismas condiciones físicas y ambientales, ya que cualquier cambio o interacción con el ambiente exterior puede modificar la humedad de las muestras. En la investigación se separó cada lote en fundas bien selladas y a temperatura constante.

Es importante tomar en cuenta el tamaño de la partícula al momento de realizar cálculos de humedad ya que no es recomendable comparar dos métodos diferentes si en uno de ellos la partícula es más pequeña que la otra ya que los

resultados variaran completamente. No hay que fiarse de los resultados obtenidos al instante siempre se debe tomar muestras diferentes y hacer repeticiones para comparar los valores obtenidos y sacar promedios generales.

REFERENCIAS

- Abadía, B., y Bartosik, R. (2013). Manual de Buenas Prácticas en Poscosecha de granos. INTA. Recuperado el 10 de octubre del 2019 de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_de_buenas_practicas_en_poscosecha_de_granos_reglon_48-2.pdf
- Adam. (2006). Balanza de humedad AMB. Recuperado el 12 de noviembre del 2019 de <http://www.adamequipment.com/pdf/73.pdf>
- Agratronix. (2016). *MT-16 Operating instructions grain moisture tester*. Recuperado el 13 de septiembre del 2019 de https://www.agratronix.com/wp-content/uploads/2016/11/DOCUM0113_Manual_11-16.pdf
- Alam, M. (2015). *Grain Moisture Measuring Techniques - A Review. Agricultural Engineering Today*. India.
- Alizaga, R., y Mora, M. (1982). Medición del contenido de humedad en granos básicos con el determinador motomco 919. *Agronomía Costarricense*, 6, 35-41
- Anderson, W. (2010). *Closing the gap between actual and potential yield of rainfed wheat. The impacts of environment, management and cultivar. Field Crops Research*, 116, 14-22.
- Arriola, A., y La espina, B. (2017). Producción de malta cervecera. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza). Recuperado el 12 de noviembre del 2019 de https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/9257/arriola-la-spina-produccion-de-malta-cervecera-2017.pdf.
- Asecnsa. (2010). Almacenamiento de harinas. Recuperado el 16 de octubre del 2019 de <https://aseconsa.es/noticias/almacenamiento-de-harinas>
- Bartosik, R., Cardoso, L., y Enzo, P. (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. Research Gate. Recuperado el 5 de noviembre del 2019 de https://www.researchgate.net/publication/268353396_COMPARACION_DE_DETERMINACION_DE_HUMEDAD_DE_SEMILLAS_DE_ESPECIES_FORRAJERAS_POR_METODO_DE_ESTUFA_Y_A_TRAVES_DE_INSTRUMENTO_DE_MEDICION_ELECTRONICO_POR_CAPACITANCIA
- Bartosik, R., Abadía, B., Cardoso, L., De la Torre, D., & Gisele, M. (2017). Almacenamiento y acondicionamiento de trigo. CONICET. Recuperado el 30 de septiembre del 2019 de

<https://horizonteadigital.com/almacenamiento-acionamiento-trigo-ing-agr-ph-d-ricardo-bartosik-equipos/>

- Bern, C., & Olson, G. (2010). *Grain moisture content and its measurement Iowa State University*. Recuperado el 13 de diciembre del 2019 de <https://pdfs.semanticscholar.org/c5fc/d06c0fb119a743146036f5684c916c8aa8c9.pdf>
- Biolatto, M. (2014). Calidad comercial e industrial del trigo en la pampa: un abordaje actual desde los molinos harineros instalados en la provincia. Repositorio Universidad Nacional de la Pampa 24, 2.
- Bolívar, M. (2007). Manejo de granos en almacenamiento, causas de deterioro y prevención. Ilender Perú S.A, 15 (1). Recuperado el 6 de noviembre del 2019 de <http://www.bioline.org.br/pdf?la07050>
- Buhler. (2018). Limpieza y acondicionamiento. Recuperado el 13 de diciembre del 2019 de <https://former.buhlergroup.com/europe/es/soluciones-industriales/productos-agricolas/trigo-granos/molienda-de-trigo-durum/limpieza-y-acionamiento.htm#.Xjiv3mgzblU>
- Bustamante, B. (2012). Estudio comparativo de dos métodos físicos para evaluar la actividad enzimática de la alfa amilasa en la harina de trigo. (Tesis de posgrado, Universidad Nacional del Callao, Perú). Recuperado el 15 de septiembre del 2019 de <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/1813>
- Cámara arbitral de cereales. (2019). Norma de comercialización de trigo. Recuperado el 10 de noviembre del 2019 de https://www.cac.bcr.com.ar/sites/default/files/2018-04/normas_de_comercializacion_completa.pdf
- Cardós, M., Campaña, L., y Abbade, P. (2017). Capítulo XIII: Calidad, molienda y panificación del trigo pan del Manual del cultivo del trigo. Acassuso: International Plant Nutrition Institute. ISBN 978-987-46277-3-5
- Carrillo, L., y Audisio, C. (2007). Manual de microbiología de los alimentos. Alberdi: UNJU. ISBN: 978-987-05-3214-9
- Castro, N., Domínguez, R., y Paccapelo, H. (2011). Análisis del rendimiento de grano y sus componentes en cereales sintéticos (tríceps y triticales). Revista de la facultad de Agronomía, 22.
- Castellarin, J. (2010). Influencia de las prácticas de manejo sobre la generación del rendimiento en el cultivo de trigo. Para mejorar la producción Trigo. Recuperado el 7 de noviembre del 2019 de <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-influencia-practicas-manejo-sobre-la-generacion-de.pdf>

- Chang, W. (1987). *Comparing different methods for determining moisture in wheat using near infrared reflectance spectroscopy (Tesis de máster, Universidad Estatal de Utah, USA)*. Recuperado el 15 de octubre del 2019 de <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=5084&context=etd>
- CIGI. (2013). Trigo del oeste de Canadá. Las ventajas de la calidad. Manitoba: CIGI. Recuperado el 6 de noviembre del 2019 de https://cigi.ca/wp-content/uploads/2013/11/WheatClass_Spanish_13090901.pdf
- CODEX. (1995). Norma del codex para el trigo y trigo duro. Codex Standard 199-1995. Recuperado el 17 de septiembre del 2019 de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/CXS_199s.pdf
- Federación de asociaciones de celíacos de España. (2018). ¿Qué es el gluten? Recuperado el 10 de noviembre de del 2019 de <https://celiacos.org/ques-el-gluten/>
- Ferrari, E., y Pessina, D. (2012). *Measurement of Cereal Moisture Content with an Experimental Acoustic Device. Applied Engineering in Agriculture, 28 (3) 441-446. doi: 10.13031/2013.41483*
- Fluke. (2019). Fundamentos de la Electricidad. Recuperado el 23 de diciembre del 2019 de <https://www.fluke.com/es-pe/informacion/mejores-practicas/aspectos-basicos-de-las-mediciones/electricidad/que-es-la-capacitancia>
- García, M. (2012). Tecnología de los cereales. Recupero el 11 de diciembre del 2019 de <https://www.ugr.es/~mgroman/archivos/TC/mat.pdf>
- Garófalo, J., Ponce, L., y Abad, S. (2011). Guía del cultivo de trigo (Tesis posgrado, INIAP, Quito). Obtenido de <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/381>
- Godoy, A. (2006). Humedad apropiada para cosechar el poroto. Recuperado el 24 de enero del 2020 de http://www.agronoa.com.ar/noticias_desc.php?id=19730&catid=15
- Hanna instruments. (2019). HI904-01 Titulador coulométrico Karl Fischer. Recuperado el 16 de octubre del 2019 de <https://hannainst.com.mx/productos/linea/laboratorio/titulador-coulometrico-karl-fischer/>
- Hernández, C., Botín, A., Londoño, P., y Mieres, A. (2013). Efecto del acondicionamiento del trigo sobre la calidad de la harina panadera. *Ingeniería y sociedad*, 8 (1) 24-43.
- Holguín, B., y Alvarado, A. (2017). Comportamiento de la producción de harina de trigo en ecuador. *Observatorio de la economía latinoamericana*,

- Ecuador. Recuperado el 11 de enero del 2020 de <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ec/2017/produccion-harina-trigo.html>
- Horra, A., Seghezzo, M., Ribotta, P., y León, A. (2012). Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos. *Agriscientia* 29, 81-89.
- Iglesias, L. (1996). Dinámica de la germinación de la semilla de trigo (*Triticum aestivum* L.) con diferentes manejos del agua. *Cultivos Tropicales*.
- Infoagro. (2015). Industria de los cereales y derivados. Obtenido de Infoagro en Noviembre 26 del 2019 de sitio web: <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/trigo.htm>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2015). Harina de trigo, Requisitos 616:2006. Quito.
- INEN. (2013). Cereales y productos de cereales. Determinación del contenido de humedad 712:2013. Método de referencia.
- Instituto de Investigación y formación agraria y pesquera. (2007). Trigos, blandos y duros cebadas, triticales y avenas. Recuperado el 17 de septiembre del 2019 de https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337161241RAEA_Trigos_blandos_y_duros.pdf.
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2014). Cosecha y poscosecha. Recuperado el 13 de diciembre del 2019 <http://tecnologia.iniap.gob.ec/images/rubros/contenido/trigo/8cosecha.pdf>
- Juárez, Z., Bárcenas, M., y Hernández, L. (2014). El grano de trigo: características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento. *Temas selectos de Ingeniería en Alimentos*, 8 (2014): 79-93.
- Karunakaran, C., Muir, W., Jayas, D., White, N., y Abramson, D. (2001). Safe storage time of high moisture wheat. *J Stores Prod Res*, 37 (3): 303-312. doi: 10.1016/s0022-474x(00)00033-3
- Lee, D. (2012). *Grain Moisture Air-Oven Reference Methods in the United States. National Institute of Standards and Technology*, 3 (6). Recuperado el 6 de octubre del 2019 de <https://www.nist.gov/system/files/documents/2017/03/14/c-011.pdf>
- López, A. (2003). Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Boletín de servicios agrícolas de la FAO 151. Recuperado el 7 de diciembre del 2019 de <http://www.fao.org/3/Y4893S/Y4893S00.htm>

- Marquez, C. (2016, Ago 08). Un plan para producir más trigo en el país. Revista Líderes. Recuperado el 11 de diciembre del 2019 de <https://www.revistalideres.ec/lideres/produccion-trigo-ecuador-molinos-magap.html>
- Mellado, M. (1986). Peso del hectolitro en trigo. IPA, Quilamapu, 30 15-18.
- Milling and grain. (2019). Recepción eficiente de granos y almacenamiento seguro. Recuperado el 16 de octubre del 2019 de <https://millingandgrain.co/entrada/recepcion-eficiente-de-granos-y--almacenamiento-seguro-20955/>
- Missouri University. (2013). *Wheat harvest, drying and storage. Management of Soft Red Winter Wheat*, 33-37. Recuperado el 17 de octubre del 2019 de http://extension.missouri.edu/explorepdf/agguides/pests/ipm1022_Pp33-37.pdf
- Mog, D. (2011). *An analysis of factors influencing wheat flour yield* (Tesis de Máster, Universidad Estatal de Kansas, USA). Recuperado el 15 de noviembre del 2019 de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.836.2072&rep=rep1&type=pdf>
- Nijenstein, H. (2008). Grinding in ISTA moisture testing. *Seed Test*, 24.
- Nithya, U., Chelladurai, V., Jayas, D., y White, N. (2011). *Safe storage guidelines for durum wheat. Journal of Stored Products Research*, 47 328-333. doi: 10.1016/j.jspr.2011.05.005
- Noria Latin America. (2011). Determinación de agua mediante el método Karl-Fisher. Recuperado el 29 de noviembre del 2019 de <https://noria.mx/lublearn/determinacion-de-agua-mediante-el-metodo-karl-fischer/>
- Olán, M., Espitia, E., y López, H. (2012). Calidad física de grano de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) mexicanos de temporal. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3 (2) 271-283.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). Situación Alimentaria Mundial 2018. Recuperado el 15 de noviembre del 2019 de <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2019). Situación Alimentaria Mundial 2019. Recuperado el 15 de noviembre del 2019 de <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2015). Establecimiento: mantenimiento, limpieza y desinfección. Recuperado el 16 de octubre del 2019 de https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id

=10822:2015-establecimiento-mantenimiento-limpieza-desinfeccion&Itemid=42210&lang=es

- Ospina, J. (2001). Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogota.
- Oviedo, F., y Casanova, L. (2013). Principales aspectos de la cadena agroproductiva del trigo. Recuperado el 23 de octubre del 2019 de http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroeconomia/agroeconomia_trigo.pdf
- Pereira, F. (2013). Manual de manejo de poscosecha. Chile: FAO.
- Pérez, A. (Jul 4 de 2019). Ranking de los principales productores de trigo en el mundo de 2016/2017 a 2018/2019, por volumen de producción (en miles de toneladas métricas). Recuperado el 29 de noviembre del 2019 de <https://es.statista.com/estadisticas/634805/principales-paises-productores-de-trigo-en-el-mundo/>
- Plains grains inc. (2018). *Hard Red Winter Wheat*. Recuperado el 15 de noviembre del 2019 de <https://plainsgrains.org/wp-content/uploads/2019/11/Plains-Grains-2019-Winter-Wheat-Report-Web.pdf>.
- Posada, S., Angulo, J., y Restrepo, L. (2007). Validación de métodos de secado para la determinación de materia seca en especies forrajeras. *Livestock Research for Rural Development*, 19 (42). Recuperado el 15 de noviembre del 2019 de <http://www.lrrd.org/lrrd19/3/posa19042.htm>
- Raspo, E. (2014). Comparación de determinación de humedad en Garbanzo (*Cicer arietinum* L.) por método de estufa y a través de instrumentos de determinación electrónicos (Tesis de grado, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina). Recuperado el 17 de enero del 2020 de <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/1840/Raspo%20-%20Comparaci%C3%B3n%20de%20determinaci%C3%B3n%20de%20humedad%20en%20garbanzo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rimache, M. (2008). Cultivo de trigo, cebada y avena (Tesis de grado, Universidad de las Américas, Ecuador). Recuperado el 15 de diciembre del 2020 de [http://biblioteca.udla.edu.ec/client/en_US/default/search/detailnonmodal/ent:\\$002f\\$002fSD_ILS\\$002f0\\$002fSD_ILS:10323/ada?qu=COSECHA&qf=AUTHOR%09Autor%09Rimache+Artica%2C+Mijail%09Rimache+Artica%2C+Mijail&ic=true&te=ILS&ps=300](http://biblioteca.udla.edu.ec/client/en_US/default/search/detailnonmodal/ent:$002f$002fSD_ILS$002f0$002fSD_ILS:10323/ada?qu=COSECHA&qf=AUTHOR%09Autor%09Rimache+Artica%2C+Mijail%09Rimache+Artica%2C+Mijail&ic=true&te=ILS&ps=300)
- Saldivar, S. (2007). Variedades y características del trigo. *Ciencia Conocimiento Tecnología*, 50.

- Sagarpa. (2018). Principales países productores de trigo, 2017-2018. Recuperado el 27 de noviembre del 2019 de <http://www.numerosdelcampo.sagarpa.gob.mx/mapasTablero/principalesProductoresTrigoC.php>
- Salas, D. (2016). Características generales del trigo blando y duro para que se utiliza (Tesis de grado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México. Recuperado el 15 de diciembre del 2019 de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/8225>
- Salinas, M. (2013). Estudio de la calidad panadera, sensorial y nutricional de panes elaborados con harina de trigo fortificada con sales de calcio e inulina (Tesis de doctorado, Universidad Nacional de la Plata, Argentina). Recuperado el 17 de diciembre del 2019 de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/32115>
- SECOIN. (2017). Analizadores de humedad BOECO BMA H50 y BMA I50. Recuperado el 10 de diciembre del 2019 de <https://www.secoin.com.uy/productos/balanzas-y-componentes-de-pesaje/balanzas-de-laboratorio/analizadores-de-humedad-boeco-bma>
- SINAGAP. (2016). Boletín situacional trigo 2016. Recuperado el 29 de septiembre del 2019 de <https://fliphtml5.com/ijia/dqhx/basic>
- Tronsmo, K., Mangus, E., y Baardeseth, P. (2003). Comparison of small and large deformation rheological properties of wheat dough and gluten. Cereal chemistry, 80 (5), 587-595.*
- Unizar. (2014). Determinación de humedad en alimentos. Recuperado el 13 de diciembre del 2019 de https://ppcta.unizar.es/sites/ppcta.unizar.es/files/users/ARCHIVOS/Video_s_y_otros/Documentos/PRACTICAS_ANALISIS/practica_1_humedad.pdf
- Valdes, Y., y Durañona, H. (2016). Efecto de la temperatura y la humedad en la conservación de granos de maíz en silos metálicos refrigerados. *Cultivos Tropicales*, 37 (4). doi: 10.13140/RG.2.2.13900.21127
- Vásquez, J. (Mayo de 2019). Steinlite. (M. Tulcán, Entrevistador)
- Yarad, Y. (diciembre de 2018). Humedad en granos de trigo. (M. Tulcán, Entrevistador)
- Zhang, H., Richards, R., y Riffkin, P. (2019). *Wheat grain number and yield: The relative importance of physiological traits and source-sink balance in southern Australia. European Journal of Agronomy, 110. doi: 10.1016/j.eja.2019.125935*

ANEXOS

Anexo 1.

Valores obtenidos en la etapa de secado.

	Peso bandeja	g trigo inicial	Peso total	Peso 2 horas	gr trigo seco
LOTE A	1289,96	550,03	1839,99	1808,31	518,35
	1293,02	550,4	1843,42	1814,26	521,24
	1304,28	550,01	1854,29	1825,35	521,07
	1291,21	550,04	1841,25	1811,98	520,77
	1298,8	550,1	1848,9	1817,67	518,87
LOTE B	1287,08	550,07	1837,15	1806,49	519,41
	1292,12	550,08	1842,2	1809,46	517,34
	1304,31	550,04	1854,35	1821,62	517,31
	1361,25	550,03	1911,28	1879,73	518,48
	1298,52	550,07	1848,59	1817,55	519,03
LOTE C	1289,83	550,03	1839,86	1807,16	517,33
	1292,8	550,07	1842,87	1810,21	517,41
	1304,21	550,02	1854,23	1823,5	519,29
	1291,2	550,05	1841,25	1810,38	519,18
	1298,79	550,06	1848,85	1817,02	518,23
LOTE D	1289,77	550,03	1839,8	1809,16	519,39
	1292,92	550,05	1842,97	1811,4	518,48
	1304,12	550,01	1854,13	1824,09	519,97
	1291,03	550,07	1841,1	1810,27	519,24
	1298,83	550,03	1848,86	1816,83	518
LOTE E	1289,94	550,01	1839,95	1806,71	516,77
	1293,01	550,09	1843,1	1810,59	517,58
	1304,71	550,08	1854,79	1824,92	520,21
	1291,57	550,01	1841,58	1811,7	520,13
	1298,62	550,1	1848,72	1816,9	518,28
LOTE F	1290,02	550,05	1840,07	1806,82	516,8
	1293,04	550,06	1843,1	1812,91	519,87
	1305,03	550,05	1855,08	1825,2	520,17
	1291,59	550,05	1841,64	1810,28	518,69
	1298,8	550,01	1848,81	1815,9	517,1
LOTE G	1289,21	550,07	1839,28	1815,71	526,5
	1292,7	550,05	1842,75	1810,96	518,26
	1304,63	550,06	1854,69	1825,32	520,69
	1303,3	550,04	1853,34	1813,47	510,17
	1297,61	550,03	1847,64	1819,18	521,57

Anexo 2.

Comprobación con método de estufa para acondicionamiento de las muestras.

	Peso capsula	g trigo	Peso total	4 horas	% humedad	MEDIA
9%	93,539	5,0005	98,5395	98,0932	8,9251	8,99
	90,3927	5,0046	95,3973	94,9439	9,0597	
10%	92,1605	5,009	97,1695	96,6828	9,7165	9,70
	89,704	5,006	94,71	94,2248	9,6924	
11%	87,329	5	92,329	91,7931	10,7180	10,68
	89,374	5,005	94,379	93,846	10,6494	
12%	88,623	5,004	93,627	93,0217	12,0963	12,09
	88,606	5	93,606	93,0019	12,0820	
13%	85,351	5,003	90,354	89,7145	12,7823	12,79
	89,777	5,009	94,786	94,1447	12,8030	
14%	90,476	5,0272	95,5032	94,7974	14,0396	14,02
	90,942	5,001	95,943	95,243	13,9972	
15%	93,023	5,015	98,038	97,307	14,5763	14,57
	88,828	5,001	93,829	93,1011	14,5551	
16%	88,232	5,008	93,24	92,437	16,0343	16,02
	91,67	5,02	96,69	95,887	15,9960	

Anexo 3.

Acondicionamiento de las muestras para llegar al valor de humedad establecido.

Humedad (%)	ml agua
9	0,02
10	0,82
11	0,89
12	listo
13	0,60
14	listo
15	1,28
16	listo

Anexo 4.

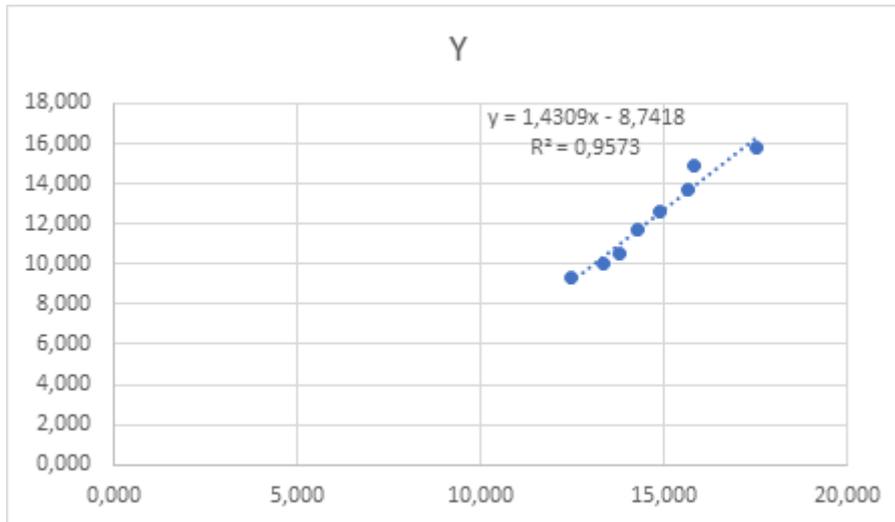
Valores obtenidos para cálculo de homogeneidad entre fundas.

	MEDIA	DESVIACIÓN	% HUMEDAD TOTAL
9%	9,13	0,15	9,33
	9,29	0,09	
	9,53	0,10	
	9,42	0,06	
	9,32	0,19	
10%	10,05	0,05	10,05
	10,06	0,06	
	10,04	0,07	
	10,06	0,03	
	10,02	0,09	
11%	10,71	0,10	10,56
	10,43	0,11	
	10,55	0,04	
	10,42	0,08	
	10,71	0,08	
12%	11,68	0,03	11,83
	11,63	0,07	
	11,65	0,06	
	11,68	0,09	
	11,63	0,03	
13%	12,78	0,04	12,69
	12,68	0,06	
	12,65	0,09	
	12,73	0,18	
	12,61	0,04	
14%	13,73	0,08	13,64
	13,59	0,11	
	13,57	0,10	
	13,67	0,17	
	13,62	0,06	
15%	14,95	0,06	14,92
	14,76	0,04	
	14,91	0,05	
	14,99	0,04	
	14,98	0,04	
16%	15,84	0,04	15,87
	15,79	0,06	
	15,94	0,07	
	15,82	0,07	

	15,99	0,05	
--	-------	------	--

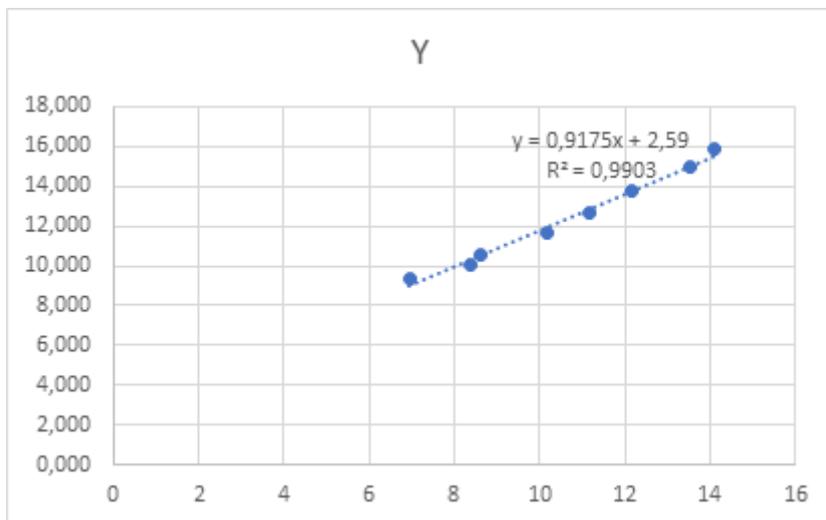
Anexo 5.

Ecuación de corrección entre Agratronix – INEN.



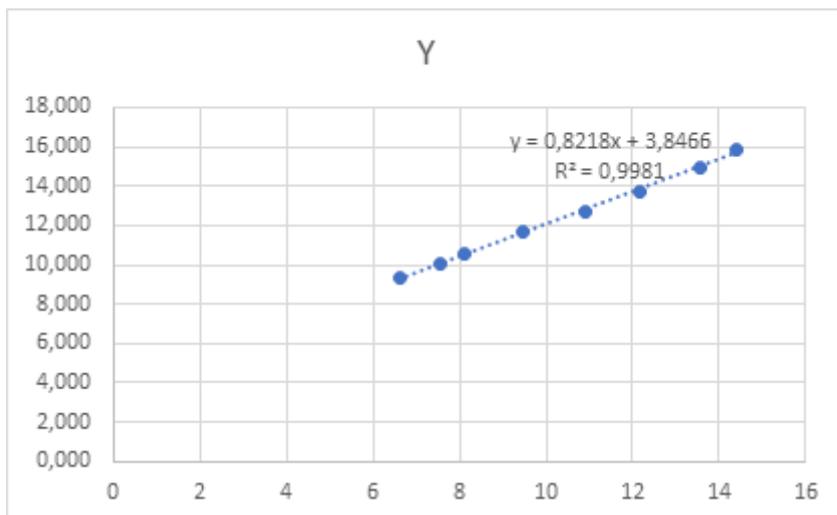
Anexo 6.

Ecuación de corrección entre Infrarrojo – INEN



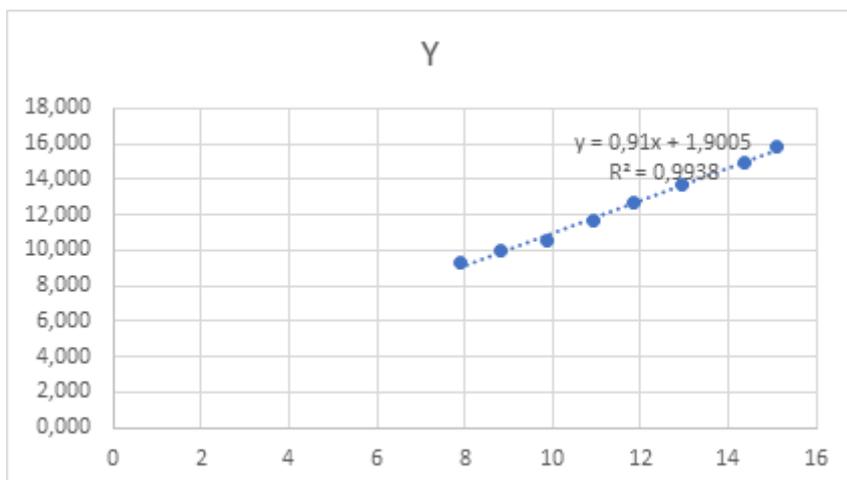
Anexo 7.

Ecuación de corrección entre Steinlite – INEN



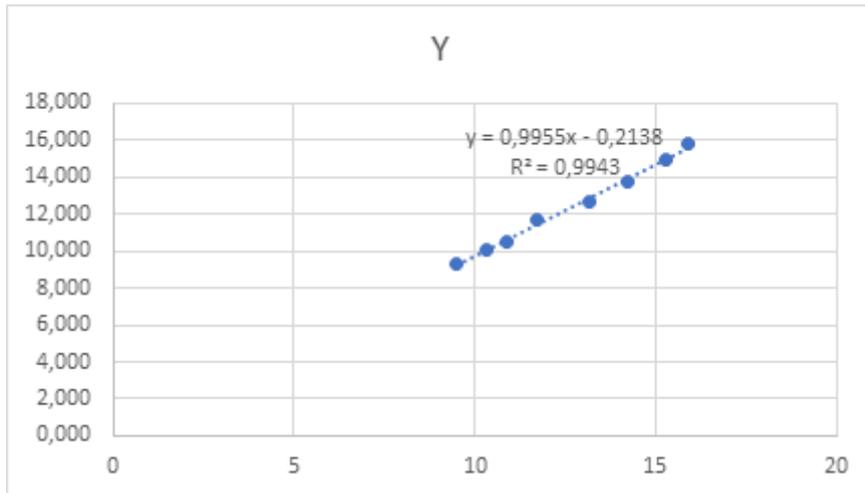
Anexo 8.

Ecuación de corrección entre AACC – INEN



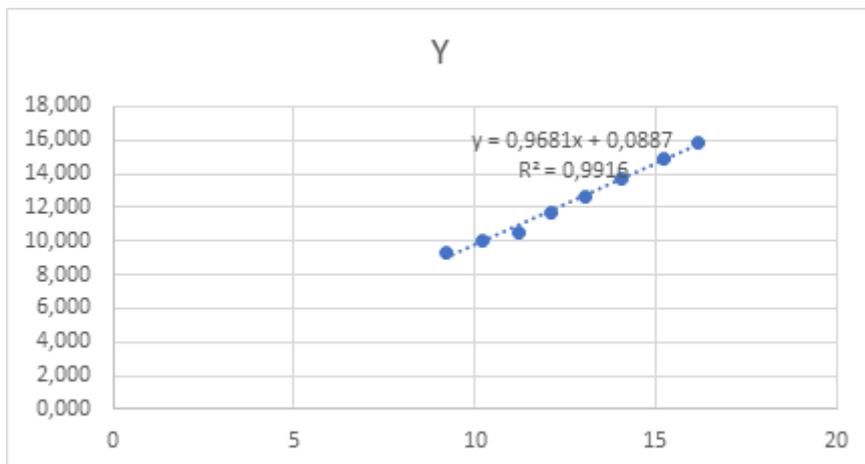
Anexo 9.

Ecuación de corrección entre ISTA - INEN



Anexo 10.

Ecuación de corrección entre ASAE – INEN



Anexo 11.

Hoja Guía para cálculo de humedad con el método Steinlite.

TEMPERATURE CORRECTION		SOFT RED WINTER WHEAT OR WHITE WHEAT (EASTERN PRODUCTION)			
°F	%	WEIGHT PER BUSHEL CORRECTION TO 59 LB. BASE			
40	Add 2.00	Bushel Weight	Moisture	Bushel Weight	Moisture
41	Add 1.95	48 lbs.	Add 1.10%	56 lbs.	Add .30%
42	Add 1.90	49 lbs.	Add 1.00%	57 lbs.	Add .10%
43	Add 1.85	50 lbs.	Add .90%	58 lbs.	Add .00%
44	Add 1.80	51 lbs.	Add .80%	59 lbs.	Add .10%
45	Add 1.75	52 lbs.	Add .70%	60 lbs.	Sub. .20%
46	Add 1.70	53 lbs.	Add .60%	61 lbs.	Sub. .30%
47	Add 1.65	54 lbs.	Add .50%	62 lbs.	Sub. .40%
48	Add 1.60	55 lbs.	Add .40%	63 lbs.	Sub. .40%
49	Add 1.55				
50	Add 1.50				
51	Add 1.45				
52	Add 1.40				
53	Add 1.35				
54	Add 1.30				
55	Add 1.25				
56	Add 1.20				
57	Add 1.15				
58	Add 1.10				
59	Add 1.05				
60	Add 1.00				
61	Add .95				
62	Add .90				
63	Add .85				
64	Add .80				
65	Add .75				
66	Add .70				
67	Add .65				
68	Add .60				
69	Add .55				
70	Add .50				
71	Add .45				
72	Add .40				
73	Add .35				
74	Add .30				
75	Add .25				
76	Add .20				
77	Add .15				
78	Add .10				
79	Add .05				
80	Add .00				
81	Sub. .05				
82	Sub. .10				
83	Sub. .15				
84	Sub. .20				
85	Sub. .25				
86	Sub. .30				
87	Sub. .35				
88	Sub. .40				
89	Sub. .45				
90	Sub. .50				
91	Sub. .55				
92	Sub. .60				
93	Sub. .65				
94	Sub. .70				
95	Sub. .75				
96	Sub. .80				
97	Sub. .85				
98	Sub. .90				
99	Sub. .95				
100	Sub. 1.00				

EXAMPLE

Meter reading 40 C button
 Moisture on chart opposite above reading 13.60%
 Temperature of sample 67° F.
 Temperature correction at 67° F (see temperature correction) add .65%
 14.25%

Weight per bushel of sample 53 lbs.
 Weight correction at 53 lbs. (see wt. per bushel correction) add .60%
 Final moisture of sample 14.85%

IMPORTANT

Refer to the instruction manual for detailed operating and testing procedure.

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

For tests on samples below 50° F. allow at least 3 minutes for temperature determinations; refer to instruction manual.

For weight per bushel differences outside weight per bushel correction chart, refer to the instruction manual.

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

Fred Stein Laboratories, Inc.
 121 N. 4th St.
 Atchison, Kansas

April 1, 1964

WHITE WHEAT (EASTERN PRODUCTION) Sample Weight 80°F
Converts All Readings to 80°F

Meter	SELECTOR BUTTON				Meter	SELECTOR BUTTON			
	B	C	D	E		B	C	D	E
PERCENT MOISTURE					PERCENT MOISTURE				
5					53	14.72	20.15		
6					54	14.80	20.23		
7					55	14.88	20.31		
8					56	14.96	20.39		
9					57	15.04	20.47		
10		10.12			58	15.12	20.55		
11		10.24			59	15.20	20.63		
12		10.36			60	15.28	20.71		
13		10.48			61	15.36	20.79		
14		10.60			62	15.44	20.87		
15		10.72			63	15.52	20.95		
16		10.84			64	15.60	21.03		
17		10.96			65	15.68	21.11		
18		11.08			66	15.76	21.19		
19		11.20			67	15.84	21.27		
20		11.32	17.51		68	15.92	21.35		
21		11.44	17.59	23.05	69	16.00	21.43		
22		11.56	17.67	23.15	70	7.50	16.08	21.51	
23		11.68	17.75	23.25	71	7.65	16.16	21.59	
24		11.80	17.83	23.35	72	7.80	16.24	21.67	
25		11.92	17.91	23.45	73	7.93	16.32	21.75	
26		12.04	17.99	23.55	74	8.06	16.40	21.83	
27		12.16	18.07	23.65	75	8.18	16.48	21.91	
28		12.28	18.15	23.75	76	8.30	16.56	21.99	
29		12.40	18.23	23.85	77	8.42	16.64	22.07	
30		12.52	18.31	23.95	78	8.54	16.72	22.15	
31		12.64	18.39	24.03	79	8.66	16.80	22.23	
32		12.76	18.47	24.11	80	8.78	16.87	22.31	
33		12.88	18.55	24.19	81	8.90	16.94	22.39	
34		13.00	18.63	24.27	82	9.02	17.01	22.47	
35		13.10	18.71	24.35	83	9.14	17.08	22.55	
36		13.20	18.79	24.43	84	9.26	17.15	22.63	
37		13.30	18.87	24.51	85	9.38	17.22	22.71	
38		13.40	18.95	24.59	86	9.50	17.29	22.79	
39		13.50	19.03	24.67	87	9.62	17.36	22.87	
40		13.60	19.11	24.75	88	9.74	17.43	22.95	
41		13.70	19.19	24.83	89	9.86	17.50	23.03	
42		13.80	19.27	24.91	90	9.98	17.57	23.11	
43		13.90	19.35	24.99	91	10.10	17.64	23.19	
44		14.00	19.43	25.07	92	10.20	17.71	23.27	
45		14.08	19.51		93	10.30	17.78	23.35	
46		14.16	19.59		94	10.40	17.84	23.43	
47		14.24	19.68		95	10.50	17.90	23.51	
48		14.32	19.75		96	10.60	17.96	23.59	
49		14.40	19.83		97	10.70	18.02	23.67	
50		14.48	19.91		98	10.80	18.08	23.75	
51		14.56	19.99		99	10.90	18.14	23.83	
52		14.64	20.07		100	11.00	18.20	23.91	

Anexo 12.

Molienda del grano entero para métodos de estufa grano triturado.



Anexo 13.

Cápsulas en metodología de estufa.



Anexo 14.

Muestras listas para comparación de metodologías.



The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every sale, purchase, and payment must be properly documented to ensure the integrity of the financial statements. This includes keeping receipts, invoices, and bank statements in a secure and organized manner.

Additionally, the document highlights the need for regular reconciliation of accounts. By comparing the company's internal records with bank statements and other external sources, discrepancies can be identified and corrected promptly. This process helps prevent errors and ensures that the financial data is up-to-date and reliable.

Furthermore, the document stresses the importance of transparency and accountability. All financial activities should be clearly recorded and explained to the relevant stakeholders, such as investors and management. This not only builds trust but also provides valuable insights into the company's financial performance and operational efficiency.