

DRYING TECHNIQUES AND QUALITY OF CORN GRAIN (*Zea mays* L).

TÉCNICAS DE SECADO Y CALIDAD DE GRANO DE MAÍZ (*Zea mays* L).

Autores:

Elsa Carolina Mera Zambrano
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
emera7755@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9105-5810>

Fredy Alciviades Santana Parrales
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Fredy.santana@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3067-0980>

Fechas de:

Recepción: 11-oct-2021 Aceptación: 22-oct-2021 Publicación: 15-dic-2021

ORCID DE LA REVISTA <https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://www.mqrinvestigar.com/>

Resumen

El maíz es uno de los cereales de mayor consumo en el mundo, es de importancia económica, humana y animal. El proceso de secado aplicado a los granos de maíz permite disminuir la humedad presente en el grano ya que es un parámetro determinante para su almacenamiento, siendo el objetivo primordial minimizar la humedad de cosecha de granos y semillas hasta una adecuada humedad de almacenamiento seguro, para conseguir una adecuada conservación, debido a que permite limitar la germinación de las semillas, minimizar el contenido de humedad de los granos hasta un nivel que impida el crecimiento y desarrollo de hongos patógenos, y evitar las reacciones de deterioro. Entre las técnicas

de secado se sitúa: Secado por lotes y de flujo continuo- Secado en contenedor- Secado de capas- Secado portátil por lotes y de flujo continuo- Secado combinado- Secado de maíz con aire natural y baja temperatura.

Palabras claves: Maíz; secado; calidad de grano, técnicas de secado

Summary

Corn is one of the most consumed cereals in the world, it is of economic, human and animal importance. The drying process applied to the corn grains allows to reduce the humidity present in the grain since it is a determining parameter for its storage, the main objective being to minimize the humidity of the harvest of grains and seeds until an adequate humidity of safe storage, for to achieve adequate conservation, because it allows limiting the germination of the seeds, minimizing the moisture content of the grains to a level that prevents the growth and development of pathogenic fungi, and avoiding deterioration reactions. Drying techniques include: Batch and continuous flow drying - Containerdrying - Layer drying - Portable batch and continuous flow drying - Combined drying - Corn drying with natural air and low temperature.

Keywords: Corn; drying; grain quality, drying techniques

Introducción

El maíz es un cultivo muy antiguo de unos 7000 años, su origen es indio, se cultivaba en América Central y en zonas de México (Zagoya Martínez, 2014). En Latinoamérica es uno de los principales alimentos en la dieta de la población humana (Blanco et al., 2010) y animal, de ahí la importancia del almacenamiento para su posterior secado (Peralta et al., 2017).

En zonas tropicales húmedas, donde prevalece temperatura y de humedad relativa alta, la práctica de conservación de granos constituye un gran desafío, esto a causa de que las condiciones ecológicas ayudan al desarrollo de los principales factores que causan las pérdidas en granos y semillas; por esto es de mucha preocupación garantizar su almacenamiento después de la cosecha (Blanco et al., 2016).

Existen diferentes características que permiten determinar la calidad de los granos e influyen en el producto final, tales como la dureza, la humedad e incluso la producción de granos esté libre de agentes patógenos (Grande y Orozco, 2013). Los productos agrícolas pasan por un proceso de secado, siendo esta una de las posibilidades más importantes en toda la línea de procesamiento, con ello se puede garantizar el almacenamiento seguro del producto (Kocsis et al., 2011).

La acción del secado permite inhibir la germinación de las semillas, reduciendo en los granos el contenido de humedad hasta un nivel que limita el desarrollo de hongos, y evitar las reacciones de deterioro, entendiéndose el secado como el método universal que permite acondicionar los granos por medio de la eliminación del agua hasta un nivel que permita su equilibrio con el medio ambiente, permitiendo preservar su aspecto, sus características de alimentos, entre ellos su calidad nutritiva y la viabilidad de la semilla (Martínez y Rodríguez, 2017).

Metodología

La presente investigación consistió de una revisión bibliográfica de varios artículos científicos, libros y capítulos de libros, resúmenes in extenso de memorias de congresos e informes técnicos, sobre las diferentes técnicas de secado en granos de maíz para así optimizar su almacenamiento en las últimas cinco décadas (1970–2021).

Desarrollo

Importancia del maíz

La gramínea es uno de los cereales de mayor consumo en el mundo, por su utilidad en la alimentación humana, animal y como materia prima en la producción en la industria del almidón alimenticio, producción de edulcorantes, dextrinas, aceite y varios productos derivados de su proceso de fermentación, como etanol, alcohol industrial, dióxido de carbono (CO₂), diversos aminoácidos, antibióticos y plásticos, y como sustituto del petróleo y sus derivados que son recursos no renovables; para la elaboración de dichos productos se realiza un proceso de molienda húmeda que comprende una serie de etapas importantes para la producción de almidón y sus derivados (Grande y Orozco, 2013).

Condiciones edafo-climáticas

La gramínea presenta metabolismo C₄ con tasa elevada de actividad fotosintética (Aldrich y otros, 1975) y es de origen ambiente tropical (Hollinger y Angel, 2009). Existen varias condiciones necesarias para su cultivo entre las que destaca ciclo de reproducción, temperatura, luminosidad, humedad, entre otras, las mismas admiten su crecimiento y desarrollo en diferentes regiones geográficas.

Tabla 1

Condiciones edafo-climáticas necesarias para el cultivo del maíz

| Parámetro | Descripción |
|--------------------------------------|--|
| Ciclo reproductivo ^A | Semestral |
| Incidencia de luz solar ^A | Alta |
| Pluviometría ^A | 40-65m3 |
| Temperatura | 32-35Oc (humedad alta) 27-30Oc (humedad normal) 20-27Oc (humedad baja) |
| pH del suelo | 5.5-7.5 |
| Riego ^C | 1600-2000m3/ha (siembra-inicio de floración) 1400-1750 m3/ha (durante fase de floración-formación de granos) 600-1260m3/ha (desarrollo y crecimiento de grano) |
| Nutrientes ^C | Nitrógeno: 100-150Kg/ha Fósforo: 60-100 Kg/ha Potasio: 100-180 Kg/ha |

Nota. Fuentes: A: Duván, 2009, p. 2; C: Rabí et al., 2001, p. 8

Generalidades de los granos

Los granos almacenados son un agroecosistema complejo por la serie de interacciones producidas entre factores bióticos (insectos, hongos) y abióticos (luz, temperatura, humedad) que afectan la calidad del grano de maíz (Olakojo y Akinlosotu 2004; Neethirajan et al., 2007). Existen varias razones por las cuales los granos se cosechan húmedos: al llegar a la madurez fisiológica, los productos agrícolas y principalmente los granos tienen en su gran mayoría, un máximo contenido de materia seca y elevado porcentaje de agua (Martinello, 2015).

Durante el almacenamiento se llevan a cabo varios procesos, uno de estos es la respiración, generada por el propio grano, logrando que se realicen actividades metabólicas de los organismos vivos presentes, generando energía y agua, que logran acumularse en el lugar donde se generan, creando focos de calentamiento que son la parte inicial de un proceso deteriorativo del producto almacenado (Alabadan y Oyewo, 2005).

El almacenamiento de los granos de maíz radica en lograr que no se deteriore su calidad, esto puede garantizarse a través del control de la humedad del grano, humedad relativa y temperatura ambiente, debido a que son determinantes para su conservación (Rosas et al., 2007).

El control del contenido de humedad es muy importante, debido a que, si es mayor a 15,5%, durante su almacenamiento pueden desarrollarse hongos e insectos y generando pérdidas importantes (Méndez et al. 2005), a causa de la elaboración de toxinas y deterioro del grano (Charm, 2007). De acuerdo a Mngadi et al. (2008) y Wagacha y Muthomi (2008), la formación de micotoxinas en granos afectados por microorganismos fúngicos como consecuencia de la humedad y temperatura representan un peligro potencial.

Presencia del agua en los cereales y granos

Existen tres formas en la que se encuentra presente la humedad en los granos:

Agua Libre o superficial, que es la que se encuentra depositada en la superficie de los granos, proveniente de la lluvia o rocío, esta es de fácil retiro por medio del secado artificial, mediante un proceso de evaporación utilizando aire con o sin calor adicional (Caro, 1998).

Agua de absorción, se la encuentra en forma de vapor distribuida en los espacios intercelulares del grano, lo que limita su evaporación, en este caso es necesario crear un desequilibrio con la humedad presente en el ambiente, esto da lugar a que la humedad se desplace del centro del grano a la superficie (Caro, 1998).

Agua de constitución, es aquella que se encuentra químicamente ligada a los otros componentes del grano y no se puede ser retirada sin que exista una descomposición o cambio estructural en el grano; la desecación completa y destrucción del producto sucede mediante la calcinación de una muestra de granos en un horno de laboratorio, (Caro, 1998).

Objetivos de secados de granos

Son varios los objetivos del secado de granos, entre los que podemos citar: a) disminución del contenido de humedad de acuerdo al estándar de comercialización; b) minimizar de la actividad química y microbiológica para permitir el almacenamiento; c) conservación de propiedades tanto nutricionales, biológicas y de uso final del producto; d) incrementar la vida útil del producto; e) reducir las pérdidas de materia seca y f) minimizar la masa permitiendo el fácil transporte (Bartosik, 2013).

Humedad en granos de maíz

El parámetro más importante a tener en cuenta para un buen manejo de maíz, y cualquier otro grano, es el contenido de humedad, en función del cual se considera seguro o no su almacenamiento (Castellari et al., 2012).

Siendo el secado de grano indispensable hasta lograr alcanzar unos límites que permitan su conservación (Marquez y Pozzolo, 2012); el secado puede ser con aire natural o con aire caliente, la temperatura que el grano adquiere en los procesos de secado determinará si mantiene la calidad inicial, en los granos es necesario que la humedad óptima no sea un promedio de una gran disimilitud de humedades, sino que exista una homogeneidad en su humedad (Tinoco y Ospina, 2010).

En el maíz esto representa evaporar entre un tercio y un cuarto de la masa del grano seco antes de que alcance la instalación de almacenamiento (MAPA, 2012). El maíz cosechado recientemente presenta alto nivel de humedad (32-43% d.b, equivalente a 24-30% w.b) donde la capacidad de almacenamiento se encuentra limitada o imposible, el contenido de humedad debe reducirse al nivel de 16-17% db (equivalente a 13,8-14,5% wb) después de la cosecha (Brooker et al., 1992).

Secado

En la cadena de producción de alimentos el secado es de mucha importancia, ya que la presencia de humedad es la característica de mayor importancia en la determinación de que el grano corre el riesgo de deteriorarse durante el almacenamiento; el secado limita la

germinación de las semillas, permite minimizar el contenido de humedad de los granos hasta un nivel que impida el crecimiento y desarrollo de hongos patógenos (Martínez et al., 2017).

Además de evitar las reacciones de deterioro, es así que se puede entender el proceso de secado como la metodología universal que permite generar las mejores condiciones de los granos por medio de la eliminación del agua hasta un nivel que permita su equilibrio con el medio ambiente, de tal forma que preserve su aspecto, además de sus características de alimentos, entre ellos su calidad nutritiva y la viabilidad de la semilla (Martínez et al., 2017).

El principal objetivo del proceso de secado es reducir la humedad de cosecha de granos y semillas hasta una adecuada humedad de almacenamiento seguro, para conseguir una adecuada conservación (Tabla 1). Además de que el secado admite reducir la humedad de cosecha de los granos hasta el nivel establecido de acuerdo a las normas de comercialización (humedad de recibo) (Bernadette y Bartosik, 2013).

Tabla 2.

Humedad de almacenamiento segura para diferentes tipos de granos

| Grano | Humedad de almacenamiento segura (%) * |
|--------------------|--|
| Trigo, maíz, sorgo | 14-14,5 |
| Soja | 12,5-13,5** |
| Girasol/colza | 7-9** |

*Depende de la temperatura **Depende del contenido de aceite

Calidad de grano

Son múltiples parámetros del proceso que influyen en la calidad final del grano: excesiva temperatura del grano dentro de la secadora, prolongado tiempo de exposición a la alta temperatura, elevada tasa de secado y/o elevada tasa de enfriamiento (enfriado rápido). El daño a la calidad dependerá del grano y de uso final. En la Tabla 3 se muestran parámetros

críticos a tener en cuenta para reducir el deterioro de calidad según el uso final del grano (Bernadette y Bartosik, 2013).

Tabla 3.

Parámetros críticos a tener en cuenta para reducir el deterioro de calidad según el uso final del grano

| Grano | Uso final | Parámetro crítico | Valor del parámetro |
|-------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | Molienda seca y semillas | Tasa de secado y enfriado | <3%/ hora y enfriado lento |
| | Molienda húmeda | Tasa de secado y enfriado | <4%/ hora y enfriado lento |
| | Alimento balanceado | Temperatura mínima | 71-82°C |

La principal característica física del grano de maíz es la dureza, la misma determinará su uso debido a su alta influencia en la calidad del producto final (Arriaga et al., 2019). La dureza en el grano de maíz es la resistencia del grano frente a la deformación cuando éste es sometido a una acción mecánica o al quebrado durante la cosecha y pos-cosecha, y está en dependencia principal de la genética de la planta de maíz, condiciones de cultivo y su manejo post-cosecha (Aragón Cuevas y col., 2012; Fox y Manley, 2009:5647).

Métodos de secado

Para la conservación de alimentos y productos agrícola el secado en lecho fluidizado es el método más comúnmente utilizado (Zare et al., 2012; Zare et al., 2012; Ranjbara et al., 2014) y entre deferentes métodos para secar materiales granulares húmedos, el secado en lecho fluidizado ha resultado ser una de las técnicas más exitosas y ampliamente utilizada durante el procesamiento poscosecha de granos agrícolas (Zare y Ranjbaran, 2012).

Durante este proceso ocurre que las partículas sólidas húmedas se suspenden en una corriente de aire caliente y se genera una alta tasa de transferencia de calor y masa entre el

grano y el gas; sin embargo, estos modelos de secadores hacen uso de cantidades de energía considerables y sufren de un tiempo de secado prolongado y tales métodos pueden producir cambios estructurales en los productos (Ranjbaran y Zare, 2012; Ranjbaran y Zare, 2013).

Parámetros que afectan la conservación de granos

Las variables que tienen mayor efecto sobre la actividad de los granos y de los organismos que viven en el granel son la humedad y la temperatura, la actividad microbiana aumenta a mayor temperatura y humedad, un aspecto complicado a la hora de cosechar es el manejo del grano húmedo, direccionado al productor a problemas económicos y logístico (Chulze, 2010).

Por su parte Bianco et al. (2014) reafirma que el contenido de humedad es el parámetro de mayor interés entre los que regulan la calidad de los granos y los productos derivados, esto debido a que la humedad incide determinante en su conservación o resistencia al deterioro, es así que resulta de mucha importancia de su determinación por métodos fiables (Bianco et al., 2014).

Temperatura

De acuerdo a Valdivia (2011) la temperatura correcta de secado de la semilla varía de 35 a 45 o C, esto en dependencia de la variedad de maíz, humedad del grano y condiciones edafoclimáticas; a mayor contenido de humedad inicial, más se incrementa la susceptibilidad de la semilla de ser dañada durante el secado.

Es por eso que la semilla de granos básicos con presencia de humedad entre 30 y 33 % (Madurez fisiológica), es recomendable secarlas a temperaturas menores de 40 o C, cuando se baja la humedad a 20 % o menos las temperaturas de secado se pueden incrementar hasta un máximo de 45 o C para lograr bajar la humedad de la semilla a 12-14 % (Valdivia, 2011).

Cosecha y poscosecha en el cultivo de maíz

Para garantizar el incremento de la producción de maíz, es obligatorio estar muy pendiente de las prácticas poscosecha, ya que las actividades posteriores a la cosecha del maíz encierran la cosecha, el transporte, el secado, la trilla y el almacenamiento (Ananto et al.,

2004). Se conoce que la cantidad de pérdidas en las actividades de maíz poscosecha (no incluidas en las actividades de almacenamiento) varía de 1.2 a 5.2% de pérdidas por dispersión y de 5 a 10% debido a pérdidas de calidad.

De acuerdo a la Dirección de Post-Cosecha (2013), la magnitud de la tasa base de contracción poscosecha del maíz es del 5,20%, se considera que los tiempos de cosecha y secado afectan la cantidad de granos de maíz que no son aptos para el consumo humano, con una pérdida de 3.6-11.2 % (Mutungi dan, 2019).

Métodos de secado de maíz

- **Secado en contenedor**

Los procesos de secado en contenedores utilizan aire natural (sin calentar) o aire de baja temperatura (ligeramente calentado, por lo general, a menos de 10 ° F) para secar el grano en contenedores.

Se lleva a cabo impulso de aire a través del grano mediante ventiladores hasta lograr reducir lo suficiente el contenido de humedad del grano; generalmente se realiza en contenedores con un piso perforado elevado garantizando un flujo de aire uniforme, otra manera de hacerlo es utilizando conductos de aire colocados en el piso del contenedor de concreto antes de agregar grano (Sadaka y Verma, 2014).

La capacidad del depósito, medida en bushels de grano, aumenta al aumentar el diámetro del depósito y / o la profundidad del grano. Por ejemplo, un contenedor de grano con 28 pies de diámetro lleno hasta una altura nivelada de 16 pies de altura puede contener hasta 7,882 bushels de maíz. El aumento de la profundidad del grano aumenta la presión estática que debe superar el ventilador para proporcionar los mismos cfm / bu (Sadaka y Verma, 2014).

Después de secar el maíz al 17%, use aire sin calentar para secarlo aproximadamente al 15,5%. Durante este período, haga funcionar el ventilador continuamente para proporcionar un secado uniforme y una distribución de la humedad dentro del maíz. Opere los ventiladores de secado solo durante las horas de baja humedad para terminar de secar. Este esquema de manejo minimizará la cantidad de maíz que se seca en exceso en el

fondo del contenedor. Cabe mencionar que el exceso de calor puede provocar un secamiento excesivo (Sadaka y Verma, 2014).

Secado por lotes y de flujo continuo

En este caso el maíz se agrega al recipiente de secado en lotes diarios, aproximadamente entre 2.5 y 4 pies de profundidad, posteriormente se seca y se enfría; en contenedores de almacenamiento se mueve el lote de maíz seco mientras se añade un lote nuevo de maíz húmedo al contenedor de secado (Sadaka y Verma, 2014).

El objetivo principal del secador por lotes en contenedor consiste en pasar cantidades grandes de aire a través de una profundidad de maíz poco profunda para lograr un secado rápido, permitiendo que los productores de maíz puedan adaptarse a cantidades mayores de cosecha que con otros métodos de secado en contenedores; no se necesita almacenar maíz húmedo en el secado por lotes en contenedores, esto debido a que el tamaño del lote se ajusta para adaptarse a la cosecha del día (Sadaka y Verma, 2014).

Para la técnica de secado por lotes es necesario contar con un piso perforado, un ventilador, una unidad de calentamiento, un esparcidor de granos, un sinfín de barrido y un sinfín de descarga debajo del contenedor, durante el proceso se debe tomar en consideración que el diámetro del recipiente de secado debe ser suficientemente grande para que no se exceda la profundidad máxima de grano recomendada de 4 pies; gracias a la flexibilidad el método de secado por lotes en contenedor ha ganado popularidad (Sadaka y Verma, 2014).

- **Secado de capas**

Consiste en secar el maíz recién cosechado en capas, para esto se sitúa una capa inicial de maíz en el recipiente de secado. En este caso el aire de secado inicia el frente de secado que se mueve a través del maíz. posteriormente, se adicionan de manera periodica capas adicionales de grano húmedo para que la profundidad del grano húmedo siempre preceda al frente de secado (Sadaka y Verma, 2014).

Durante este tipo de secado se necesita un recipiente, un piso de secado perforado, un ventilador y una unidad de calentamiento con una transición, un esparcidor de granos, un sinfín de barrido, un dispositivo de agitación y un sinfín de descarga, este tipo de secado

presenta como ventaja un bajo aporte de calor, esto hace que sea una de las técnicas de secado con mayor eficiencia energética en términos de calor requerido para secar (Sadaka y Verma, 2014).

También, la velocidad de secado del sistema es relativamente lenta, lo que demanda una mayor gestión del sistema, dicha lentitud puede afectar la tasa de recolección y eliminar la posibilidad de usos múltiples del mismo contenedor durante la temporada de secado. el maíz permanece en el contenedor de almacenamiento después del secado, minimizando así los costos de manipulación y mano de obra (Sadaka y Verma, 2014).

- **Secado portátil por lotes y de flujo continuo**

Son consideradas técnicas de secado rápido, ambas comparten semejanzas en configuración y operación, ambos procesos permiten pasar volúmenes grandes de aire, es decir, 50 - 125 CFM / bu a través de una columna de maíz relativamente delgada (12 a 24 pulgadas) para lograr altas tasas de secado. Las unidades portátiles por lotes generalmente se secan, enfrían y luego descargan una cantidad fija de maíz en el almacenamiento a intervalos establecidos. Las temperaturas de secado varían de 160 ° F a 200 ° F y las capacidades del calentador son de 2 a 5 MMBtu / h (Sadaka y Verma, 2014).

Estas unidades permiten a productores de maíz secar rápidamente grandes volúmenes de grano cosechado. La mayoría de las unidades de secado portátiles están completamente automatizadas, lo que reduce los requisitos de mano de obra para la carga y descarga. Su movilidad permite un fácil reemplazo o expansión de capacidad (Sadaka y Verma, 2014).

Sin embargo, la principal desventaja de estas unidades de secado es su eficiencia relativamente baja en términos de consumo de energía. Los dispositivos de recaptura de calor pueden mejorar la eficiencia energética de estos secadores. El costo de secado puede ser relativamente más alto que el de otros sistemas de secado (Sadaka y Verma, 2014).

- **Secado combinado**

En este caso hay un sistema combinado e integrado del secado a alta temperatura y de secado en contenedor, el método de secado a alta temperatura es un paso de secado inicial

que se utiliza para minimizar el contenido de humedad del maíz húmedo, de tal forma que se pueda usar el secado en el recipiente para finalizar el proceso de secado (Sadaka y Verma, 2014).

Esta técnica de secado combinado da lugar a que los productores de maíz den inicio a cosechar cuando los granos maduren, logrando que no sea necesario esperar a que el campo se seque lo suficiente, se añade también que este proceso energéticamente es más eficiente que los sistemas de secado a alta temperatura por sí solos (Sadaka y Verma, 2014).

- **Secado**

Este procedimiento admite la combinación de secado y aireación, permitiendo mantener la calidad de los granos de maíz durante el secado, el maíz húmedo se seca directamente del secador, a temperatura alta, a un recipiente de templado, posteriormente se deja reposar el grano en sus vapores alrededor de 4 horas, antes de que se inicie el enfriamiento por aire (aireación) (Sadaka y Verma, 2014).

Este enfoque permite la eliminación de la humedad sin el uso adicional de energía. La eliminación de calor del grano se realiza mediante la transferencia de calor sensible y transferencia de calor latente, la primera depende de las diferencias de temperatura, mientras que la segunda secede cuando el exceso de calor almacenado en el grano evapora la humedad del grano (Sadaka y Verma, 2014).

Secado de maíz con aire natural y baja temperatura

Cuando el maíz presenta una humedad superior al 21% no debe secarse con aire natural y deberá secarse a baja temperatura logrando minimizar el deterioro del maíz durante el secado, es recomendable una tasa de flujo de aire de 1.0 a 1.25 cfm / bu para minimizar el tiempo de secado. Por otro lado, es posible que se seque poco durante el otoño usando un sistema de aire natural, esto a causa de que la capacidad de secado es extremadamente pobre a temperaturas por debajo de 35 a 40 grados. (Sadaka y Verma, 2014).

Minimice el daño por calor mientras se seca el maíz

Diferentes investigaciones afirman que la exposición a temperaturas del aire de secado mayores a 200 grados durante períodos de tiempo superiores a 2 horas posiblemente dará

lugar a cierto grado de pardeamiento, en el caso específico del maíz por encima del 30% de humedad, es posible que se origine un pardeamiento y pudiera ser que sea necesario limitar las temperaturas de la secadora para evitar que se quemé o se dore (Hellevang, 2011).

Resultados de investigaciones realizadas

Bajus et al. (2019) estudio el impacto de la temperatura de secado en el micro daño de las semillas de maíz, obtenido como resultados a partir de las mediciones de laboratorio que a mayor temperatura y la humedad de secado de los granos secos, aumenta la tasa de microdaños del maíz de la industria alimentaria.

Con el aumento de la temperatura de secado, la germinación de las semillas del maíz de la industria alimentaria disminuye y las semillas con una humedad superior al 30% no se recomiendan para secar, debido a que no cumplen con el estándar requerido para la germinación del maíz de la industria alimentaria. Se comprobó el impacto de la temperatura de secado entre 50 y 120°C sobre el volumen de almidón dentro de los granos, por lo que se puede decir que el proceso de secado no influye en este parámetro (Bajus et al., 2019).

Segun Kocsis et al. (2011) durante la serie de mediciones, los parámetros de secado se cambiaron para comparar diferentes variaciones de secado. Se cambiaron la temperatura de secado y la velocidad del aire de secado. Con diferentes ajustes del secador se llevaron a cabo 3 series de secado de maíz. En todos los casos 80 ° C, 110 ° C y 130 ° C de temperatura de secado y $v = 0,129\text{ m s}^{-1}$, $Q = 115\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$, $v = 0,225\text{ m s}^{-1}$, $Q = 200\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$ y $v = 0,409\text{ m s}^{-1}$ $Q = 360\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$ velocidad del aire seco (v), volumen del aire de secado (Q) se combinaron.

Los resultados de la medición muestran que aumentando la temperatura o la velocidad del aire de secado es posible reducir significativamente el tiempo de secado. A partir del análisis de energía de la serie de medidas, se desprende que el aumento de la temperatura requiere un 28,7% más de energía, pero el aumento de la velocidad del aire de secado reduce el consumo de energía en un 18,9% (Kocsis et al., 2011).

Con base a los resultados de los experimentos, sería preciso afirmar que el mejor método de secado ignora un factor muy importante. Este factor es el valor alimenticio. Durante las

mediciones también se tomaron algunas termografías de las muestras. La importancia de este tipo de investigaciones fue determinar las diferentes capas durante el proceso de secado porque en el secador industrial de flujo cruzado se podía observar una segregación similar (Kocsis et al., 2011).

Fue causado por diferentes tiempos de residencia de las diferentes capas y también por el lugar de las capas verticales. Cerca de las paredes y conductos de aire del secador industrial de flujo cruzado, el tiempo de residencia es mucho más alto que en el medio del secador, por lo que aquí están las capas de maíz sobresecadas, lo que provoca pérdidas de valor alimentario (Kocsis et al., 2011).

Una vez finalizado el proceso de secado también se ha observado que el uso de una temperatura de secado superior provoca cambios de color en las muestras. Debido al método de secado fue un secado estático (porque las muestras no se movieron) y cuando las capas se separaron el color de las muestras fue diferente. Las semillas de las muestras que estaban más cerca de las paredes de la secadora o en contacto con ellas eran las más coloreadas (Kocsis et al., 2011).

Estas partes de las muestras se colorearon y se quemaron debido a la temperatura más alta cuando se cambió la temperatura del aire de secado. En el futuro, se analizará y publicará el efecto de los parámetros de secado sobre el valor de los alimentos y también el valor de los cambios de color mediante análisis hiperespectrales (Kocsis et al., 2011).

Layuk et al. (2021) en su trabajo de investigación: La conciencia y el conocimiento de las pérdidas poscosecha en la finca realizada en los distritos de Minahasa, North Minahasa y South Minahasa en el año 2017. Los resultados del estudio mostraron que cada etapa del tratamiento poscosecha varió entre un 5% de tecnología convencional y un 1,92% de tecnología introducida.

El uso de bombardeo BB poscosecha herramientas con un tiempo de operación de 9 minutos / 100 kg con un costo de operación de 187,800 IDR / ha, resulta en una pérdida de rendimiento de alrededor del 0,8%, desgranadora de maíz pelado con un tiempo de operación de 10.25 minutos / 100 kg y un costo de operación de 213,400 IDR / ha pérdida de rendimiento del 0,95%, en comparación con las herramientas de descascarado

tradicionales con un tiempo de operación de 130 minutos / 100 kg y costos operativos de 1,354,100 IDR / ha, pérdida de rendimiento 0,2% menor pero alta costes laborales (Layuk y Lintang, 2021).

El uso de un secador con una capacidad de 3 a 4 toneladas con un tiempo de secado de 12 a 17 horas puede ahorrar el costo de mano de obra de 2 días hábiles (200,000 IDR) en comparación con un secador de sol, la pérdida de rendimiento es de 0.1-0.2% (Layuk y Lintang, 2021).

Conclusiones

Cada etapa de manipulación poscosecha pierde resultados variables. La pérdida de métodos convencionales ronda el 5%, la tecnología de introducción (Innovación Tecnológica) ronda el 1,92%. El uso de desgranadora y secadora puede ahorrar mano de obra entre un 20 y un 50% en comparación con la descascaradora manual y el secador solar y reducir las pérdidas de rendimiento de un 1,9% a un 3%.

El maíz con cáscara seca, el arroz y el salvado de maíz almacenados durante 3 meses no han experimentado cambios significativos en el contenido de agua ni en el control (sin tratamiento) ni en el uso de zeolitas, carbón activado, óxido de calcio, cúrcuma en polvo y limoncillo en polvo. Hasta 6 meses de almacenamiento, *Sitophilus Zeamais* no ha sido encontrado.

El secado de la mazorca de maíz es un proceso difícil, que generalmente depende de la experiencia. Como resultado, hay gran posibilidad de mejorar el método en términos de preservación de la calidad, disminución de costos y aumento de la capacidad. Un estudio fue realizado en Okara y Pind Dadan Khan durante octubre de 2010 y junio de 2011, respectivamente (Iqbal y Ahmad, 2014).

Los objetivos del estudio fueron a evaluar las técnicas seleccionadas de secado de mazorcas de maíz, a saber, secado al sol, secado pasivo solar de mazorcas de maíz y secado de mazorcas con aire caliente, y realizar el análisis de costos de estas tres técnicas, y analizaron el desempeño comparativo de estas técnicas basadas en datos de campo. Se construyó un secador solar pasivo en Okara y Pind Dadan Khan para secar mazorcas de maíz; la prueba los resultados indicaron que el secador fue capaz de secar 0,5 toneladas de

mazorcas de maíz con un contenido de humedad del 26,1 al 18,9% en octubre. En cuatro días y del 26,4% al 20,1% en junio en dos días. Durante el secado al sol, el contenido de humedad del 25,9% se redujo a 19,1% en octubre y 25,6% a 18,4% en junio (Iqbal y Ahmad, 2014).

Un secador de aire caliente desarrollado en Ingeniería Agrícola y Biológica. También se evaluó el Instituto, Centro Nacional de Investigación Agrícola, Islamabad encontrando como resultados que la secadora tiene la capacidad para secar 4 toneladas de mazorcas de maíz con un contenido de humedad del 26,5 al 20,4% en 9 horas utilizando aire caliente. Finalmente, los análisis de costos de estas tres técnicas de secado de mazorcas de maíz también se realizaron (Iqbal y Ahmad, 2014).

La producción mundial de maíz fue de 1,148.487.291 toneladas, áreas cosechada de 197.204.250 ha y rendimiento de 58.238 kg/ha (FAOSTAT, 2019). Su uso es esencialmente como alimento de uso pecuario y alimento para el ser humano (Aragón-Cuevas y col., 2012). Cuando se desea determinar su potencial como materia prima y así facilitar su comercialización, se determinan diferentes características físicas (color, tamaño, dureza, presencia de material extraño) y químicas (contenido de aceite, proteína, almidón) (Aragón Cuevas y col., 2012).

Referencia Bibliográfica

- Alabadan, B.A. y O.A. Oyewo; Temperature Variations within Wooden and Metal Grain Silos in the Tropics During Storage of Maize (*Zea mays*), Leonardo Journal of Sciences: 6(1), 59-67 (2005).
- Aldrich, R., Scott, W., Leng, E. (1975). Modern corn production. 2da Edition. Champaign, IL, USA: A & L Publications
- Aragón, F., De, Cárdenas, F., Zarate, F., & Gaytán, M. (2012). Calidad Industrial de Maíces Nativos de la Sierra Sur de Oaxaca. Oaxaca, México
- Arriaga, W., Gaytán, M., Reyes, M. (2019). Métodos para medir la dureza del grano de maíz: review methods for the measurment of maize grain hardness: REVIEW. 12. 67-78.
https://www.researchgate.net/publication/341622677_METODOS_PARA_MEDIR_LA_DUREZA_DEL_GRANO_DE_MAIZ_REVIEW_METHODS_FOR_THE_MEASUREMENT_OF_MAIZE_GRAIN_HARDNESS_REVIEW
- Bajus, P., Mraz, M., Rigo, I., Findura, P., Fürstenzeller, A., Kielbasab, P., Malaga, U. (2019). The influence of drying temperature and moisture of corn seeds planted on their damage. Agricultural Engineering. Vol. 23, No. 1, p. 5 -12.
<https://sciendocom/downloadpdf/journals/agriceng/23/1/article-p5.pdf>
- Bartosik, R. (2013). Secado y calidad de maíz. Jornada de Actualización Calidad del grano de maíz para la industria y la producción en bovinos.
<https://core.ac.uk/download/pdf/296381118.pdf>
- Bernadette, A., Bartosik, R. (2013). Manual de buenas prácticas en poscosecha de granos: hacia el agregado de M31 valor en origen. Buenos Aires: Ediciones INTA.
https://www.researchgate.net/profile/Ricardo-Bartosik/publication/282878383_Manual_de_Buenas_Practicas_en_Poscosecha_de_Granos/links/5621474808ae93a5c927dda3/Manual-de-Buenas-Practicas-en-Poscosecha-de-Granos.pdf

- Bianco, H., Capote., T., Garmendia, C. (2014). Determinación de humedad en harina precocida de maíz blanco utilizando un horno de microondas doméstico. *Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel*, 45(2), 50-63. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-04772014000200004&lng=es&tlng=es.
- Blanco, Y., Durañona, H., Acosta, R. (2016). Efecto de la temperatura y la humedad en la conservación de granos de maíz en silos metálicos refrigerados. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 105-114. <https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.13900.21127>
- Blanco, Y. y Leyva, Á. (2010). “Abundancia y diversidad de especies de arvenses en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) precedido de un barbecho transitorio después de la papa (*Solanum tuberosum* L.)”. *Cultivos Tropicales*, vol. 31, no. 2, pp. 11-17, ISSN 0258-5936.
- Brooker, D. B., Bakker, F. W., Hall, C. W. (1992). *Drying and storage of grains and oilseeds*; Van Nostrand Reinhold: New York.
- Castellari, C., & De la Torre, D. A. (2012). Poscosecha en la cadena de maíz. In *Congreso de Valor Agregado en Origen. 1. Curso Internacional de Agricultura de Precisión. 11. Expo de Máquinas Precisas. 6. 2012 07 18-20, 18, 19 y 20 de julio de 2012. Manfredi, Córdoba. AR*. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/34inta.art29poscosechamaiz.pdf>
- Caro, A. (1998). *Breves normas de control de calidad es granos*. Quito, Ecuador: <https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/20/13950919933370/c11.pdf>
- Charm, S. (2007). *Food Engineering Applied to Accommodate Food Regulations, Quality and Testing*, *Alimentos Ciencia e Ingeniería*: 16(1), 5-8.
- Chulze, S. (2010). “Strategies to reduce mycotoxin levels in maize during storage: a review”. *Food Additives & Contaminants: Part A*, vol. 27, no. 5, pp. 651-657, ISSN 1944-0049, DOI 10.1080/19440040903573032.
- Duván, Y. (2009). *Cultivo de maíz*. <http://cultivodemaiz.blogspot.com/>. 12
- FAOSTAT. (2019). *Producción mundial de maíz*. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

- Fox, G., & Manley, M. (2009). Hardness methods for testing maize kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(13), 5647–5657.
<https://doi.org/10.1021/jf900623>
- Grande, C., Orozco, B. (2013). Producción y procesamiento del maíz en Colombia *Revista Científica Guillermo de Ockham*, vol. 11, núm. 1. pp. 97-110 Universidad de San Buenaventura Cali, Colombia. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=105327548008>
- Handaka, H., Setyono, C. (2004). Mechanization in the perspective of agricultural modernization, in the Indonesian Rice Economics. *Agricultural Research and Development*. Jakarta
- Hellevang, K. (2011). Corn Drying and Storage Tips for 2011. Biosystems Engineering Department.
https://www.ag.ndsu.edu/graindrying/documents/Corn_Drying_and_Storage_Tips_for_2011.pdf
- Hollinger, S., & James, S. (2009). “Weather and Crops”. In: Emerson Nafziger (compiling). *Illinois Agronomy Handbook*. 24th Edition. Illinois: University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Iqbal, J., & Ahmad, M. (2014). Comparative performance of selected ear-corn drying techniques. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. VOL. 9, NO. 4. http://arpnjournals.com/jeas/research_papers/rp_2014/jeas_0414_1073.pdf
- Kocsis, L., Herdovics, M., Deákvári, J., Fenyvesi, L. (2011). Corn drying experiments by pilot dryer. *Agronomy Research Biosystem Engineering Special Issue 1*, 91-97, 2011.
https://www.researchgate.net/publication/267199853_Corn_drying_experiments_by_pilot_dryer
- Layuk, P., & Lintang, M. (2021). Post Harvest Corn Handling for Improving Quality and Competitiveness. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 232, p. 03018). EDP Sciences.
https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/08/e3sconf_iconard2020_03018.pdf
- Leonard, D. (1981). *Traditional crops*. Washington, D.C.: Peace Corps.

- MAPA. (2012). Plataforma de conocimiento para el medio rural y pesquero. (secado y almacenamiento de los granos). España.
https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/secado-grano_tcm30-58515.pdf
- Martínez, J., Rodríguez, L. (2017). Diseño de un sistema automatizado para secado y almacenamiento de maíz. Alianzas Globales para el Desarrollo y la Educación en Ingeniería: Actas de la XV Conferencia Múltiple Internacional de LACCEI para Ingeniería, Educación y Tecnología http://www.laccei.org/LACCEI2017-BocaRaton/full_papers/FP430.pdf
- Martinello, M. (2015). MODELADO DEL SECADO DE GRANOS EN LECHO FIJO A BAJAS TEMPERATURAS DE AIRE. Tesis de doctorado. Argentina.
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46980/Documento_completo_.pdf?sequence=4
- Márquez, L., & Pozzolo, O. (2012). Almacenamiento y conservación de los granos. España.
https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/conserv-grano-parte1_tcm30-58512.pdf
- Méndez, G; Solorza, F., Velázquez, M., Gómez, N., Paredes, O., Bello, L. (2005). Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México *Agrociencia*, vol. 39, núm. 3, mayo-junio, pp. 267-274 Colegio de Postgraduados Texcoco, México. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30239303>
- Mngadi, P., Goviden, R., Odhav, B. (2008). Co-occurring Mycotoxins in Animal Feeds, *African Journal of Biotechnology*: 7(13), 2239-2243.
- Mutungi, C., Muthoni, F., Bekunda, M., Gaspar, A., Kabula, E. (2019). Physical Quality of Maize grain harvested and stored by smallholder farmers in the Northern highlands of Tanzania: Effects of harvesting and pre-storage handling practices in two marginally contrasting agrolocation. *J. of Stored Products Research*, Volume 84.
- Neethirajan, S., Karunakaran, C., Jayas, D. (2007). White; Detection Techniques for Stored – Product Insects in Grain, *Food Control*: 18(2), 157-162

- Olakojo, A. & T.A. Akinlosotu. (2004). Comparative Study of Storage Methods of Maize Grains in South Western Nigeria, *African Journal of Biotechnology*: 3(7), 362-365
- Peralta, M., Cárdenas, M., Reyes, M., Molina, X., Aguirre, R., Peralta, R., Reyes, J., Antúnez, G. (2017). Innovación tecnológica en la clasificación y almacenamiento de maíz: incidencia en la alimentación de animales REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria*, vol. 18, núm, pp. 1-10 Veterinaria Organización Málaga, España. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63651262012>
- Rabí, O., Pérez, P., Permuy, N., Hung, J., Piedra, F. (2001). Guía técnica para la producción del cultivo del maíz. La Habana
- Ranjbaran, M., Emadi, B., Zare, D. (2014). CFD simulation of deep-bed paddy drying process and performance. *Drying Technology*. 32(8), 919-934.
- Ranjbaran, M., Zare, D. (2012). CFD modeling of microwave-assisted fluidized bed drying of moist particles using two-fluid model. *Drying Technology*, 30(4), 362-376.
- Ranjbaran, M., Zare, D. (2013). Simulation of energetic-and exergetic performance of microwave-assisted fluidized bed drying of soybeans. *Energy*, 59, 484-493.
- Rosas, I., Gil, A., Ramírez, B., Hernández, H., Bellon, M. (2007). Calidad física y fisiológica de semilla de maíz criollo almacenada en silo metálico y con métodos tradicionales en Oaxaca, México *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 30, núm. 1, enero-marzo, pp. 69-78 Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61030109>
- Sadaka, S., Verma, L. (2014). OnFarm Corn Drying and Storage. *Arkansas Corn Production Handbook* division of agriculture. <https://www.uaex.uada.edu/publications/pdf/mp437/chapter10corn.pdf>
- Tinoco, H., Ospina, D. (2010). Análisis del proceso de deshidratación de cacao para la disminución del tiempo de secado. *Revista EIA*, ISSN 1794-1237 Número 13, p. 53-63. Julio. <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n13/n13a05.pdf>

Valdivia, R. (2011). Secamiento de granos o semilla de maíz. Ecuador.
http://a4n.alianzacacao.org/uploaded/mod_documentos/SECAMIENTO%20DE%20GRANOS%20O%20SEMILLAS%20DE%20MAIZ.pdf

Wagacha, J. & Muthomi, J. (2008). Mycotoxin Problem in Africa: Current Status, Implications to Food Safety and Health and Possible Management Strategies, *International Journal of Food Microbiology*: 124(1), 1-12 (2008).

Zagoya, J. (2014). Análisis económico en la producción de maíz utilizando abono líquido fermentado de elaboración local. *Delos: Desarrollo Local Sostenible*, 7(21), 10 p.
<http://www.eumed.net/rev/delos/21/maiz.pdf>

Zare, D.; Jayas S, Singh, A. (2012). Generalized dimensionless model for deep bed drying of paddy. *Drying Technology*, 30(1) 44-51.

Zare, D.; Minaei, S.; Zadeh, M.; Khoshtaghaza, M. (2006). Computer simulation of rough rice drying in a batch dryer. *Energy Conversion and Management*, 47(18), 3241-3254.

Zare, D.; Ranjbaran, M. (2012). Simulation and validation of microwave-assisted fluidized bed drying of soybeans. *Drying Technology*, 30(3), 236-247.