

Comportamiento tecnológico del secado industrial del arroz en el secadero Ramón López Peña

Technological behaviour of the industrial drying process of rice on Ramón López Peña facility

Ing. Dariel Díaz Ruiz¹,

DrC. Yanoy Morejón Mesa²,

MSc. Gemma Domínguez Calvo³

¹ Ingeniero egresado de la carrera Ingeniería Agrícola, Facultad de Ciencias Técnicas

¹ Profesor Auxiliar, Facultad de Ciencias Técnicas

¹ Profesora Asistente, Facultad de Ciencias Técnicas

Universidad Agraria de La Habana “Frustrado Rodríguez Pérez”. Autopista Nacional, carretera Tapaste, km 23 ¹/₂, San José de Las Lajas, Mayabeque

Autores para correspondencia: yym@unah.edu.cu, gemma@unah.edu.cu

Resumen

La presente investigación se realizó en el secadero “Ramón López Peña”, entidad perteneciente a la Unidad Empresarial de Base (UEB) “Guillermo Castillo”, de la provincia Artemisa, Cuba, con el objetivo de evaluar tecnológicamente el proceso de secado industrial del grano de arroz. Para cumplir el objetivo propuesto se determinaron los principales parámetros de eficiencia tecnológica y costos de explotación; estableciéndose los fundamentos teórico-metodológicos correspondientes. Entre los principales resultados obtenidos se evidenció que, la variedad de granos y la mezcla de diferentes variedades en la instalación de secado, determina la eficiencia del proceso; además que la estabilidad del proceso tecnológico influye directamente en la calidad y eficiencia productiva, aspecto que se demuestra en los valores de tasa de reducción de humedad, potencia eléctrica requerida y productividad, alcanzados por los lotes analizados.

Palabras Claves: eficiencia energética, arroz, proceso de secado, industria

Abstract

The present investigation was carried out on the Ramón López Peña facility, entity belonging to the Managerial Unit of Base (UEB) Guillermo Castle", Artemisa province, Cuba, with the objective of evaluate technologically the process of industrial drying of the grain of rice. To complete the proposed objective the main parameters of technological efficiency and costs of exploitation it's were determined; settling down the corresponding theoretical-methodological foundations. Among the main obtained results it was evidenced that, the variety of grains and the mixture of different varieties in the drying installation, determine the efficiency of the process; also that the stability of the technological process have a influences

directly on the quality and productive efficiency, aspect that is demonstrated in the values of rate of reduction of moisture content, required electric power and productivity, reached by the analysed lots.

Keywords: energetic efficiency, rice, drying process, industry

Recibido: 27 de mayo de 2019

Aprobado: 11 de julio de 2019.

Introducción

El proceso de secado de granos y de cualquier sólido higroscópico, consiste en forzar la migración del agua desde el seno del material hacia el ambiente el mismo puede tener lugar de forma natural o de forma industrial, debiéndose prestar especial atención a la temperatura que el grano adquiere durante el proceso de secado ya que es fundamental para determinar si el mismo mantiene su calidad inicial. Todos los métodos utilizados para secar granos emplean la propiedad del aire de absorber humedad de cuerpos que contienen agua.

Al realizar el proceso de forma natural se expone el material al aire atmosférico por un tiempo suficientemente prolongado, como para conseguir los niveles de humedad pretendidos, mientras que de forma industrial es someter la masa de granos a la transición de aire caliente a aire en condiciones normales. Una condición primordial para el secado de granos es la relación entre el contenido de humedad del producto y la humedad relativa del aire.

El secado constituye la principal transformación del grano en la poscosecha y a su vez es el procedimiento que más atención requiere para no afectar la calidad del mismo; siendo su objetivo fundamental lograr que durante el almacenamiento, el grano conserve sus características por el mayor tiempo posible. Al ocurrir retrasos en el proceso de secado, un secado incompleto o ineficaz se reduciría la calidad del producto y daría lugar a pérdidas.

El secado y el almacenamiento son procesos relacionados y a veces pueden combinarse. Cuanto más largo sea el almacenamiento del

Introduction

The process of drying grain and any hygroscopic solid, consists of forcing the migration of water from the core of the material to the environment, it can take place naturally or industrially, paying special attention to the temperature that the grain acquired during the drying process as it is essential to determine if it maintains its initial quality. All methods used to dry grains use the property of air to absorb moisture from bodies that contain water.

When the process is carried out in a natural way, the material is exposed to atmospheric air for a sufficiently long time to achieve the desired humidity levels, while in an industrial way it is to subject the mass of grains to the transition from hot air to air under conditions normal. A primary condition for grain drying is the relationship between the moisture content of the product and the relative humidity of the air.

Drying constitutes the main transformation of the grain in the postharvest and in turn is the procedure that requires the most attention in order not to affect its quality; its main objective being to ensure that during storage, the grain retains its characteristics for as long as possible. When delays occur in the drying process, incomplete or ineffective drying will reduce product quality and lead to losses.

Drying and storage are related processes and can sometimes be combined. The longer the grain is stored, the lower its minimum moisture content should be (Soponronnarit, 1996).

grano, menor deberá ser el contenido mínimo de humedad del mismo (Soponronnarit, 1996).

Las tecnologías empleadas para el secado industrial de granos es variada encontrándose que las secadoras de flujo continuo son las comercialmente más utilizadas en la actualidad. En estas instalaciones el grano se introduce y descarga en forma continua o intermitente, permaneciendo constantemente llenas las secciones de secado y enfriamiento. Las operaciones de secado y enfriamiento se efectúan de forma simultánea e ininterrumpida. Los granos son muy utilizados por el hombre debido a sus variados usos, tanto para la producción de alimento animal como para formar parte de la dieta humana, siendo el arroz el cereal más importante en ella, por contribuir de forma muy efectiva al aporte de caloría, es por ello que según reportes de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), para 2030 la demanda de este grano será un 38 % mayor que el volumen producido a finales del siglo XX (Grogg, 2005).

En Cuba este cereal forma parte de la dieta básica de la población con un consumo per cápita anual de 70 kg, colocándose entre los primeros lugares de América Latina, sin embargo, la producción nacional sólo satisface poco más del 50 % de la demanda, por lo que el país se ve obligado a destinar cuantiosas sumas de su presupuesto a la importación de este renglón (González, 2011; Polón *et al.*, 2012, Rodríguez, 2016).

Este cereal es cosechado con un alto contenido de humedad, por lo que debe ser sometido a un proceso de secado que permita consumirlo de inmediato o almacenarlo por largos períodos de tiempo. El secado es el primer paso del proceso de beneficio industrial y a él le siguen las operaciones de limpieza, descascarado, blanqueo y clasificación, que tienen como objetivo final la obtención de un grano consumo listo para ser comercializado.

Debido a un manejo inadecuado durante la operación de secado, el grano puede sufrir daños mecánicos ocasionando cuantiosas pérdidas económicas; las cuales están dadas por tratarse del

The technologies used for the industrial drying of grains is varied, finding that continuous flow dryers are the most used commercially today. In these facilities the grain is introduced and unloaded continuously or intermittently, the drying and cooling sections remaining constantly full. The drying and cooling operations are carried out simultaneously and without interruption. Grains are widely used by man due to their various uses, both for the production of animal food and to form part of the human diet, rice being the most important cereal in it, as it contributes very effectively to the calorie intake. Therefore, according to reports from the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), by 2030 the demand for this grain will be 38% greater than the volume produced at the end of the 20th century (Grogg, 2005) .

In Cuba this cereal is part of the basic diet of the population with an annual per capita consumption of 70 kg, placing it among the first places in Latin America, however, the national production only satisfies a little more than 50% of the demand, for This means that the country is forced to allocate large sums of its budget to importing this item (González, 2011; Polón *et al.*, 2012, Rodríguez, 2016).

This cereal is harvested with a high moisture content, so it must be subjected to a drying process that allows it to be consumed immediately or stored for long periods of time. Drying is the first step in the industrial benefit process and it is followed by cleaning, dehulling, bleaching and classification operations, which have the final objective of obtaining a consumer grain ready to be marketed.

Due to improper handling during the drying operation, the grain can suffer mechanical damage causing considerable economic losses; which are given because it is the only grain that is sold whole and whose commercial value depends precisely on its potential to meet this condition.

único grano que se comercializa entero y cuyo valor comercial depende, precisamente, de su potencial para cumplir esta condición.

Mejorar la calidad del proceso y reducir el porcentaje de granos defectuosos (quebrados, quemados, manchados) al máximo posible puede brindar a los productores ventajas en los mercados nacionales e internacionales al disminuir sus pérdidas y mejorar los tiempos de tratamiento durante esta fase.

La modernización de la producción de granos, para que sea eficiente exige cambios en los procedimientos de manejo y comercialización. En estudios realizados en Cuba se ha podido constatar que el grano que llega a los molinos no siempre cumple con los parámetros óptimos requeridos de cultivo y humedad, además inciden deficiencias operacionales en el secado y molinaje, que causan un elevado porcentaje de granos defectuosos, que afectan la calidad industrial del proceso (Sánchez y Meneses, 2012).

En tal sentido, debe prestarse especial atención a la temperatura de secado dado que esta influye de forma decisiva sobre la temperatura del grano, que a su vez, dependiendo del valor y del tiempo de exposición puede, tornarse inadecuada e influir negativamente en la calidad molinera, afectando la disponibilidad de arroz blanco con calidad.

Debido a la importancia que tiene el método de secado empleado para llevar a cabo un proceso eficiente y con calidad, es necesario realizar estudios que permitan evaluar el proceso de secado industrial del grano de arroz.

Materiales y métodos

Fundamentos teóricos para la realización del balance de masa en el proceso de secado

Para determinar el balance de masa durante el proceso de secado, se debe conocer:

m_1 –Masa del producto húmedo que entra al secador, kg;

m_2 – Masa del producto que sale del secador, kg;

m_s – Masa del producto absolutamente seco, kg;

Improving the quality of the process and reducing the percentage of defective grains (broken, burned, stained) as much as possible can provide producers with advantages in national and international markets by reducing their losses and improving treatment times during this phase.

The modernization of grain production, in order to be efficient, requires changes in handling and marketing procedures. In studies carried out in Cuba, it has been found that the grain that reaches the mills does not always meet the optimal parameters required for cultivation and humidity, in addition there are operational deficiencies in drying and milling, which cause a high percentage of defective grains, which affect the industrial quality of the process (Sánchez and Meneses, 2012).

In this sense, special attention must be paid to the drying temperature since it has a decisive influence on the grain temperature, which in turn, depending on the value and the exposure time, can become inadequate and negatively influence the milling quality. , affecting the availability of quality white rice.

Due to the importance of the drying method used to carry out an efficient and quality process, it is necessary to carry out studies that allow evaluating the industrial drying process of rice grain.

Materials and methods

Theoretical foundations for the realization of the mass balance in the drying process

To determine the mass balance during the drying process, you must know:

m_1 -Mass of the wet product that enters the dryer, kg;

m_2 - Mass of the product that comes out of the dryer, kg;

m_s - Mass of the absolutely dry product, kg;

w_i - Humedad del producto (en base húmeda) antes del secado, %;

w_f - Humedad del producto después del secado, %;

W -Cantidad de humedad que se extrae del producto durante el secado, kg.

L - Cantidad de aire absolutamente seco que pasa por el secador, kg;

x_1 - Contenido de humedad del aire a la entrada del secador, kg/kg de aire seco;

x_2 - Contenido de humedad del aire a la salida del secador, kg/kg de aire seco.

Durante el secado la masa del producto absolutamente seco permanece constante, esta puede determinarse por:

$$m_s = m_1(100 - w_i) / 100 = m_2 (100 - w_f) / 100, \text{ kg}$$

O sea, la masa del producto después de secado es:

$$m_2 = m_1 (100 - w_i) / (100 - w_f), \text{ kg}$$

La cantidad de humedad que se extrae del material es:

$$W = m_1 - m_2, \text{ kg}$$

Esta cantidad de humedad es extraída del secador por el aire; o sea:

$$W = L (x_2 - x_1) , \text{ kg}$$

Y entonces, el consumo específico de aire (el consumo de aire por cada kilogramo de humedad extraída del producto en el secador) está dado por:

$$L_o = L / W = 1 / (x_2 - x_1), \text{ kg de aire/kg de humedad}$$

La velocidad de secado está definida como la cantidad de humedad en kilogramos extraída de un metro cúbico de volumen del material en una hora y se expresa por:

$$V = W / V_z \cdot t_o , \text{ kg/m}^3\text{h}$$

donde: V_z -Volumen total ocupado por el material, m^3 ; t -tiempo de secado, h.

w_i - Product moisture (on wet basis) before drying,%;

w_f - Product moisture after drying,%;

W -Amount of moisture that is extracted from the product during drying, kg.

L - Amount of absolutely dry air that passes through the dryer, kg;

x_1 - Moisture content of the air at the inlet of the dryer, kg / kg of dry air;

x_2 - Moisture content of the air at the dryer outlet, kg / kg of dry air.

During drying, the mass of the absolutely dry product remains constant, it can be determined by:

$$m_s = m_1(100 - w_i) / 100 = m_2 (100 - w_f) / 100, \text{ kg}$$

That is, the mass of the product after drying is:

$$m_2 = m_1 (100 - w_i) / (100 - w_f), \text{ kg}$$

The amount of moisture that is extracted from the material is:

$$W = m_1 - m_2, \text{ kg}$$

This amount of moisture is extracted from the dryer through the air; I mean:

$$W = L (x_2 - x_1) , \text{ kg}$$

And then, the specific air consumption (the air consumption for each kilogram of moisture extracted from the product in the dryer) is given by:

$$L_o = L / W = 1 / (x_2 - x_1), \text{ kg de aire/kg de humedad}$$

The drying speed is defined as the amount of moisture in kilograms extracted from a cubic meter of volume of the material in one hour and is expressed by:

$$V = W / V_z \cdot t_o , \text{ kg/m}^3\text{h}$$

where: V_z -Total volume occupied by the material, m^3 ; t -drying time, h.

Fundamentos termodinámicos para determinar la eficiencia del proceso de secado

Según Sato (1994), la eficiencia del proceso de secado, está dada por cuatro variables fundamentales, la cuales son: la tasa de reducción de humedad promedio; la potencia eléctrica requerida por kilogramo de material a secar, la energía total aprovechada y la productividad de la instalación de secado.

Tasa de reducción de humedad promedio

La tasa de reducción de humedad promedio Mm (%/h) se obtiene substrayendo la humedad inicial del material a secar Mi (%) de la humedad final obtenida después de realizado el secado Mf (%), y dividiendo la diferencia obtenida por el tiempo de operación, t_o (h).

$$Mm = \frac{Mi - Mf}{t}, \% / h$$

Potencia Eléctrica requerida por kilogramo de material a secar

La potencia requerida por cada kilogramo de material (producto) a secar (Ee), kW/kg, puede obtenerse a partir de la potencia total (E), kW consumida durante el funcionamiento del motor y se divide por la masa de material debidamente seco, (m_2), kg.

$$Ee = \frac{Pb}{m_2}, \text{ kW/kg}$$

Energía aprovechada por unidad de tiempo

La energía aprovechada por la instalación de secado por unidad de tiempo (kJ/h), se determina a partir de la relación entre la energía total aprovechada y el tiempo de duración de la operación de secado.

$$Qgh = \frac{Qg}{t_o}, \text{ kJ/h}$$

Thermodynamic fundamentals to determine the efficiency of the drying process

According to Sato (1994), the efficiency of the drying process is given by four fundamental variables, which are: the average humidity reduction rate; the electrical power required per kilogram of material to be dried, the total energy used and the productivity of the drying installation.

Average humidity reduction rate

The average humidity reduction rate Mm (% / h) is obtained by subtracting the initial humidity of the material to be dried Mi (%) from the final humidity obtained after drying Mf (%), and dividing the difference obtained by time of operation, t_o (h).

$$Mm = \frac{Mi - Mf}{t}, \% / h$$

Electric power required per kilogram of material to dry

The power required for each kilogram of material (product) to be dried (Ee), kW / kg, can be obtained from the total power (E), kW consumed during engine operation and divided by the mass of properly dried material, (m_2), kg.

$$Ee = \frac{Pb}{m_2}, \text{ kW/kg}$$

Energy used per unit of time

The energy used by the drying installation per unit time (kJ / h) is determined from the relationship between the total energy used and the duration of the drying operation.

$$Qgh = \frac{Qg}{t_o}, \text{ kJ/h}$$

Productividad de la instalación de secado

La productividad de la instalación de secado (kg/h) se determina a partir de la relación entre la cantidad de agua removida y el tiempo operacional.

$$P_{inst} = \frac{W}{t_o}, \text{kg/h}$$

Metodología para la determinación de las principales propiedades de los granos antes y después de secar

Para la determinación de las principales propiedades de los granos antes y después del proceso de secado se utilizan un grupo de metodologías (Sato, 1994; Klaassen, 1983; Ohshita, 1995; ASAE, 1972; Robledo, 1986), donde se determinan: la masa, el porcentaje de pérdida de peso (pérdida de masa) y el contenido de humedad.

- ✓ **Determinación de la masa.** La masa de granos a secar se determina mediante el pesaje de los medios de transporte (tractores con carretas y/o camiones con remolques), colocando los mismos en una báscula puente PCM-SG de construcción modular, con capacidad máxima de pesaje de 30 t.
- ✓ **Masa del producto después de secado (m_2).** Se determina mediante la expresión 2.
- ✓ **Contenido de humedad.** Para determinar el contenido de humedad de los granos se realiza un control inicial antes de comenzar el proceso de secado y luego el muestreo se realiza en periodos de cada media hora, tomando granos a la entrada y salida de la instalación, estando en correspondencia con el proceso tecnológico que se emplee, para ello se utiliza un medidor de humedad de granos (Steinlite, modelo SB900 escala 30 %, grado de precisión $\pm 0,25$ %). A los valores de contenido de humedad del grano obtenidos se les determina la media y es el valor que se colocan en una plantilla para el registro de los datos tomados.

Resultados y discusión

Productivity of the drying plant

The productivity of the drying installation (kg / h) is determined from the relationship between the amount of water removed and the operational time.

$$P_{inst} = \frac{W}{t_o}, \text{kg/h}$$

Methodology for the determination of the main properties of the grains before and after drying

To determine the main properties of the grains before and after the drying process, a group of methodologies are used (Sato, 1994; Klaassen, 1983; Ohshita, 1995; ASAE, 1972; Robledo, 1986), where the following are determined: mass, percent weight loss (mass loss), and moisture content.

Determination of mass. The mass of grains to be dried is determined by weighing the means of transport (tractors with carts and / or trucks with trailers), placing them on a PCM-SG bridge scale of modular construction, with a maximum weighing capacity of 30 t .

Mass of the product after drying (m_2). It is determined by expression 2.

Moisture content. To determine the moisture content of the grains, an initial control is carried out before starting the drying process and then the sampling is carried out in periods of every half hour, taking grains at the entrance and exit of the installation, being in correspondence with the technological process used, for this a grain moisture meter is used (Steinlite, model SB900 scale 30%, degree of precision $\pm 0.25\%$). The mean values of moisture content of the grain obtained are determined and it is the value that is placed in a template for the recording of the data taken.

Results and Discussion

Resultados del balance de masa durante el proceso de secado industrial

Para la realización del balance de masa durante el proceso de secado industrial del arroz, se evaluaron dos lotes; el Lote (I) que se evaluó en el mes de junio/2017, este estuvo constituido por las variedades de arroz: S1 y Procequisa, el mismo ocupó el 96,7 % de la capacidad total de la instalación de secado, con un contenido humedad inicial 24,2 %.

En el caso del Lote (II), se evaluó en el mes de septiembre/2017, estando constituido por las variedades: IAC-35, S1 y Perla, con un contenido humedad inicial 21 %; en este solo se ocupó el 64,4 % de la capacidad total de la instalación de secado, siendo la misma instalación de secado en ambos casos de estudio, con una capacidad máxima de 180 t (305 m³).

Con el empleo de una báscula puente PCM-SG de construcción modular con capacidad máxima de pesaje de 30 t (30 000 kg), se determinó la masa inicial del producto a secar para ambos lotes. La masa final del producto después de secado se determinó a través de la expresión 2. Para propiciar el empleo de la expresión antes mencionada, se monitoreo durante el todo el proceso de secado, el descenso del contenido de humedad, para lo cual se empleó el medidor de humedad para granos Steinlite (modelo SB900). Una vez alcanzada la humedad establecida para el almacenamiento, se determinó el tiempo invertido en efectuar el secado de ambos lotes y mediante la expresión 3 se determinó la cantidad de agua removida en los lotes sometidos al proceso de secado. Con el interés de conocer la velocidad de secado, se empleó la expresión 6, esta variable estuvo en función del volumen real ocupado por ambos lotes en la instalación de secado y por la productividad alcanzada por la instalación para los lotes analizados. Los valores de las principales variables del balance de masa, se representan en la Tabla 1.

Mass balance results during the industrial drying process

For the realization of the mass balance during the industrial drying process of the rice, two batches were evaluated; Lot (I) that was evaluated in the month of June / 2017, this consisted of the rice varieties: S1 and Procequisa, it occupied 96.7% of the total capacity of the drying installation, with a content initial humidity 24.2%.

In the case of Lot (II), it was evaluated in the month of September / 2017, consisting of the varieties: IAC-35, S1 and Perla, with an initial moisture content of 21%; this only occupied 64.4% of the total capacity of the drying facility, being the same drying facility in both study cases, with a maximum capacity of 180 t (305 m³).

Using a modular construction PCM-SG weighbridge with a maximum weighing capacity of 30 t (30,000 kg), the initial mass of the product to be dried was determined for both batches. The final mass of the product after drying was determined through expression 2. To promote the use of the aforementioned expression, the decrease in moisture content was monitored throughout the drying process, for which the Steinlite grain moisture meter (model SB900). Once the humidity established for storage was reached, the time invested in drying both batches was determined and by means of expression 3 the amount of water removed in the batches subjected to the drying process was determined. With the interest of knowing the drying speed, expression 6 was used, this variable was a function of the real volume occupied by both batches in the drying facility and by the productivity reached by the facility for the batches analyzed. The values of the main variables of the mass balance are represented in Table 1.

Tabla 1. Valores de las principales variables del balance de masa.

Table 1. Values of the main variables of the mass balance.

	Masa del producto antes de secado (m ₁), t	Masa del producto después de secado (m ₂), t	Tiempo operacional (to), h	Cantidad de humedad extraída (W), t	Velocidad de secado (V), kg/m ³ h
	Product mass before drying (m ₁), t	Product mass after drying (m ₂),t	Operational time (to), h	Amount of moisture extracted (W), t	Drying speed (V), kg / m ³ h
Lote I	174,09	139,87	25	34,22	4,61
Lote II	116,08	84,15	26,5	31,93	6,10

Como se aprecia en la Tabla 1, la velocidad de secado se comporta inversamente proporcional al volumen ocupado por el lote de granos a secar, el cual está determinado por la masa inicial del producto a secar; evidenciándose además que de forma proporcional se logra extraer una mayor cantidad de humedad, cuando el volumen ocupado por la masa de granos es menor; aunque al observarse el tiempo requerido para alcanzar la humedad óptima del grano a almacenar, se evidencia que este es mayor en el Lote (II), lo cual debe estar influenciado por las características físicas de las variedades de granos que constituían el mismo, dado que las mismas deben tener una difusividad másica inferior a las variedades que formaban el Lote (I).

En las Figuras 1 y 2 se muestran los descensos del contenido de humedad para los Lotes I y II, respectivamente.

Es válido señalar que aunque en las figuras antes mencionadas se muestran más horas que las que se representan en la Tabla 1, esto se debe a las horas de comienzo del proceso de secado cada día en que se desarrolló el mismo, las cuales no se consideran en el tiempo operacional de la instalación de secado.

Como se aprecia en la Figura 1 para el secado del Lote (I) se requirieron cinco días, lo cual podría haberse reducido a tres o cuatro días si no hubiesen existido paradas en el proceso tecnológico, por carencia de combustible diésel, aspecto que influye en la eficiencia del proceso.

As can be seen in Table 1, the drying speed behaves inversely proportional to the volume occupied by the batch of grains to be dried, which is determined by the initial mass of the product to be dried; also showing that in a proportional way it is possible to extract a greater amount of moisture, when the volume occupied by the mass of grains is less; Although when observing the time required to reach the optimum humidity of the grain to be stored, it is evident that this is higher in Lot (II), which must be influenced by the physical characteristics of the varieties of grains that constituted it, since They must have a mass diffusivity lower than the varieties that made up Lot (I).

Figures 1 and 2 show the decreases in moisture content for Batches I and II, respectively.

It is valid to point out that although the aforementioned figures show more hours than those represented in Table 1, this is due to the starting times of the drying process each day it was developed, which are not considered in the operational time of the drying installation.

As can be seen in Figure 1, five days were required for the drying of Lot (I), which could have been reduced to three or four days if there had been no stoppage in the technological process, due to a lack of diesel fuel, an aspect that influences the efficiency of the process.

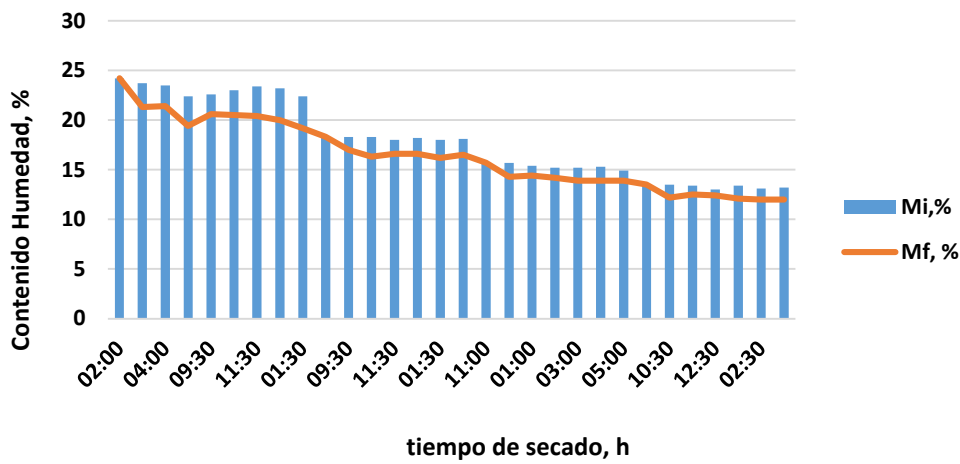


Figura 1. Comportamiento del descenso del contenido de humedad en función del tiempo de secado en el Lote I.

Figure 1. Behavior of the decrease in moisture content as a function of drying time in Lot I.

Por su parte en la Figura 2 se observa que para el secado del Lote (II) se requirieron siete días, pero al igual que en el Lote (I) existieron paradas en el proceso tecnológico, por carencia de combustible diésel; en este caso en particular apenas se utilizó de forma eficiente la jornada laboral, con excepción del segundo día que laboro un total de 8 h.

On the other hand, in Figure 2 it is observed that for the drying of Block (II) seven days were required, but as in Block (I) there were stops in the technological process, due to lack of diesel fuel; in this particular case, the working day was hardly used efficiently, with the exception of the second day when I worked a total of 8 hours.

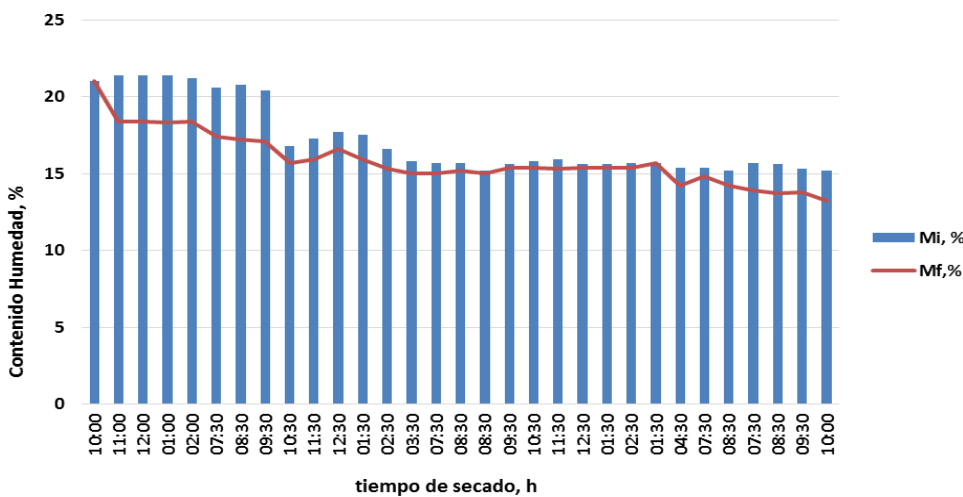


Figura 2. Comportamiento del descenso del contenido de humedad en función del tiempo de secado en el Lote II.

Figure 2. Behavior of the decrease in moisture content as a function of drying time in Lot II.

Para la determinación de la proporción de humedad, se consideró que durante el almacenamiento de cereales la humedad relativa no debe ser superior al 50 %, de forma tal que el cereal almacenado alcance su equilibrio de humedad con un valor del 9,5

For the determination of the humidity proportion, it was considered that during the storage of cereals the relative humidity should not be higher than 50%, in such a way that the stored cereal reaches its humidity balance with a value of 9.5%, in order to this

%, para esta humedad relativa. De esta forma se evidencia que en el Lote (II) la proporción de humedad es superior a la del Lote (I) en 0,15 %, demostrándose en este resultado la ineficiencia del proceso secado en el Lote (II), dado que requirió de 26,5 h para reducir el contenido de humedad de una muestra de 116,08 t, desde un 21 % hasta una humedad final de 13,2 %. A su vez es apreciable la eficiencia del proceso de secado en el Lote (I), dado que en este se requirieron solo 25 h para reducir el contenido de humedad de una muestra de 174,09 t, desde un 24,2 % hasta una humedad final de 12 %.

Para lograr una mejor comprensión sobre la eficiencia del proceso de secado en ambos lotes, en la Figura 3, se muestra la distribución del tiempo operacional de la instalación de secado por lotes. Evidenciándose que en ambos casos el aprovechamiento de la jornada laboral se comporta de forma irregular, sin embargo al observarse la distribución de tiempo de secado en el Lote (I), se aprecia una mejor estabilidad en el proceso, dado que el valor más bajo de tiempo de secado se alcanzó el primer día, donde se operaron solamente 2 h.

Mientras que en el caso del Lote (II), los valores de tiempo de secado más bajos se encuentran en los días tres, cinco, seis y siete, no superándose las 3 h de tiempo operativo en ninguno de ellos.

relative humidity. In this way, it is evident that in Lot (II) the proportion of humidity is higher than that of Lot (I) by 0.15%, demonstrating in this result the inefficiency of the drying process in Lot (II), since it required 26.5 h to reduce the moisture content of a 116.08 t sample from 21% to a final moisture of 13.2%. At the same time, the efficiency of the drying process in Lot (I) is appreciable, since in this only 25 h were required to reduce the moisture content of a 174.09 t sample, from 24.2% to a final humidity of 12%.

To gain a better understanding of the efficiency of the drying process in both batches, Figure 3 shows the operational time distribution of the batch drying facility. It is evident that in both cases the use of the working day behaves irregularly, however when observing the distribution of drying time in Lot (I), a better stability in the process is appreciated, given that the lower value of drying time was reached on the first day, where only 2 h were operated.

While in the case of Lot (II), the lowest drying time values are found on days three, five, six and seven, not exceeding 3 h of operating time in any of them.

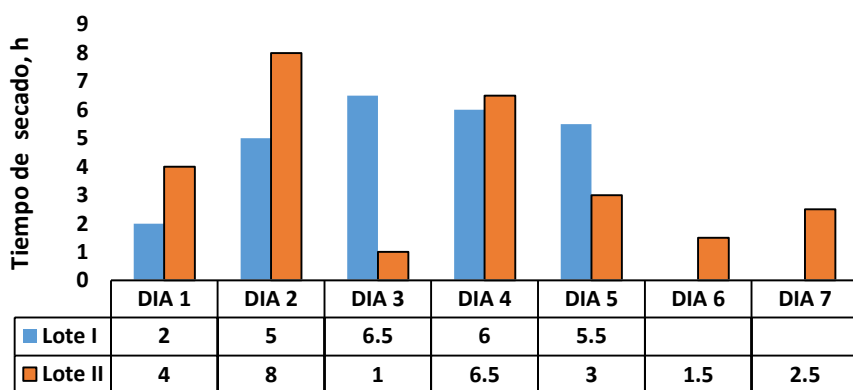


Figura 3. Distribución del tiempo operacional de la instalación de secado por lotes.

Figure 3. Distribution of the operational time of the batch drying installation.

Sobre la base del análisis anterior, se determinó el tiempo no operativo de la instalación de secado, el cual se muestra en la Figura 4. Evidenciándose que en ambos casos el tiempo no operativo es irregular y elevado, sin embargo al observarse la distribución de este en el Lote (I), se observa que el valor promedio de inactividad es de 18 h.

Mientras que en el caso del Lote (II), se aprecia que el tiempo de inactividad promedio es de 19,5 h, estando influenciado fundamentalmente por los días: tres, cuatro y seis, en los que se superan las 21 h.

On the basis of the previous analysis, the non-operating time of the drying installation was determined, which is shown in Figure 4. It is evident that in both cases the non-operating time is irregular and high, however when observing the distribution of this In Lot (I), it is observed that the average value of inactivity is 18 h.

While in the case of Lot (II), it can be seen that the average inactivity time is 19.5 h, being fundamentally influenced by the days: three, four and six, in which it exceeds 21 h.

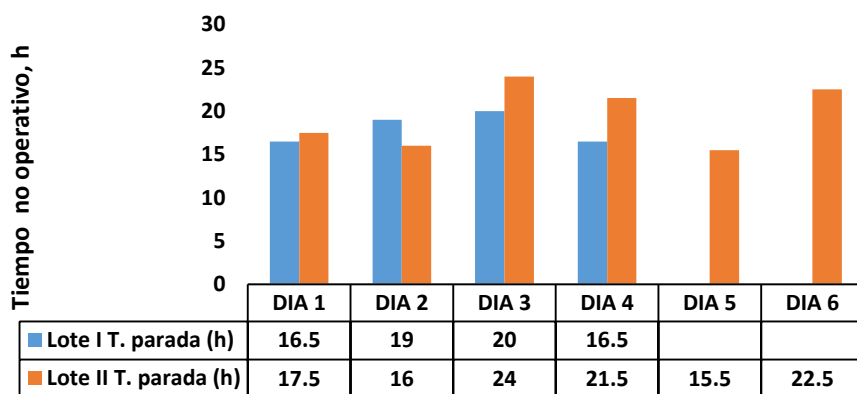


Figura 4. Distribución del tiempo no operativo de la instalación de secado por lotes.

Figure 4. Distribution of the non-operating time of the batch drying installation.

❖ **Determinación de la eficiencia proceso de secado industrial**

Con el propósito de conocer la eficiencia productiva de la instalación de secado, se determinaron la tasa de reducción de humedad, la potencia eléctrica requerida por kilogramo de material a secar, la energía aprovechada por unidad de tiempo y la productividad de la instalación de secado; representándose los resultados obtenidos en la Tabla 2.

❖ **Determination of the efficiency of the industrial drying process**

In order to know the productive efficiency of the drying installation, the humidity reduction rate, the electrical power required per kilogram of material to be dried, the energy used per unit of time and the productivity of the drying installation were determined; representing the results obtained in Table 2.

Tabla 2. Valores de los parámetros de eficiencia del proceso de secado industrial.

Table 2. Values of the efficiency parameters of the industrial drying process.

	Tasa de reducción de	Potencia Eléctrica requerida por kilogramo	Energía aprovechada por	Productividad de la instalación de
	de	de	de	de

	humedad, (Mm), % /h	material a secar (Ee), kW/kg	unidad de tiempo (Qgh), kJ/h	secado (Pinst), t/h
	Moisture reduction rate, (mm),% / h	Electric power required per kilogram of material to dry (Ee), kW / kg	Energy harvested per unit time (Qgh), kJ / h	Productivity of the drying installation (Pinst), t / h
Lote I	0,48	4,05	0,014	1,36
Lote II	0,29	6,73	0,012	1,20

Como se muestra en la tabla anterior, la tasa de reducción de humedad del Lote (I) fue superior a la del Lote (II) en 0,19 %/ h; este resultado evidencia que las variedades introducidas en el interior de la instalación de secado, independientemente del volumen que ocuparon determinaron el descenso de humedad, lo cual estuvo en función de la difusividad másica que estas poseían, el tiempo no operativo de la instalación y la estabilidad en el proceso de secado. En correspondencia con el resultado anterior, la potencia eléctrica requerida por kilogramo de material a secar en el Lote (II) fue superior a la del Lote (I) en 2,68 kWh/kg, lo cual es totalmente lógico, si se considera que las variedades que constituían el Lote (II) retenían más la humedad que las variedades que constituían el Lote (I) o sea las variedades del Lote (II) poseían menor difusividad másica que las del Lote (I). Este criterio antes planteado tiene una marcada influencia en la energía aprovechada por unidad de tiempo, dado que en el Lote (II), se aprecia que esta es inferior a la del Lote (I) en 0,002 kJ/kg, aspecto que determina la productividad de la instalación para ambos lotes, evidenciándose que la productividad alcanzada por la instalación durante el procesamiento del Lote (II) fue inferior a la del Lote (I) en 0,16 t/h.

Conclusiones

1. Los fundamentos teórico-metodológicos establecidos, posibilitaron realizar la evaluación del proceso de secado industrial

As shown in the previous table, the moisture reduction rate of Lot (I) was higher than that of Lot (II) by 0.19% / h; This result shows that the varieties introduced inside the drying installation, regardless of the volume they occupied, determined the decrease in humidity, which was a function of the mass diffusivity they had, the non-operating time of the installation and the stability in the drying process. In correspondence with the previous result, the electrical power required per kilogram of material to dry in Block (II) was higher than that of Block (I) by 2.68 kWh / kg, which is totally logical, if it is considered that The varieties that made up Lot (II) retained more moisture than the varieties that made up Lot (I), that is, the varieties of Lot (II) had lower mass diffusivity than those of Lot (I). This criterion previously raised has a marked influence on the energy used per unit of time, since in Block (II), it is appreciated that this is lower than that of Block (I) by 0.002 kJ / kg, an aspect that determines productivity of the facility for both batches, showing that the productivity reached by the facility during the processing of Lot (II) was lower than that of Lot (I) by 0.16 t / h.

Conclusions

1. The established theoretical-methodological foundations made it possible to carry out the evaluation of the industrial drying process of the rice grain, under the conditions of the “Ramón López Peña” drying room.

- del grano de arroz, en las condiciones del secadero “Ramón López Peña”.
2. En los resultados obtenidos se evidencia que la variedad de granos a secar, así como la mezcla de diferentes variedades en la instalación de secado, determina la eficiencia del proceso de secado, lo cual está dado por la difusividad másica de la masa a procesar.
 3. La estabilidad en el proceso tecnológico, determina de forma significativa la calidad y eficiencia productiva del proceso de secado, lo cual se demuestra en los valores de tasa de reducción de humedad, potencia eléctrica requerida y productividad alcanzados por el Lote (I) respecto al Lote (II).
 4. El costo de explotación varía entre un lote y otro en 28,37 peso/h, alcanzándose un valor promedio entre los lotes investigados de 85,71 peso/h y un costo específico o requerido promedio de 66,5 peso/t.
2. The results obtained show that the variety of grains to be dried, as well as the mixture of different varieties in the drying facility, determines the efficiency of the drying process, which is given by the mass diffusivity of the mass to be processed. .
 3. Stability in the technological process significantly determines the quality and productive efficiency of the drying process, which is demonstrated in the values of the humidity reduction rate, required electrical power and productivity achieved by Lot (I) with respect to to Lot (II).
 4. The cost of exploitation varies between one lot and another at 28.37 pesos / h, reaching an average value between the investigated lots of 85.71 pesos / h and an average specific or required cost of 66.5 pesos / t.

Bibliografía / References

- ASAE. American Society of Agricultural Engineering. Yearbook. st Joseph. Mich.1972.
- González, T.A. 2011..Informe anual, Arroz. Folleto. La Habana: Editorial Instituto de Investigaciones del Arroz. ISSN:1607-6273.
- Grogg, P. 2005..Alimentación: Ayuda para mejorar producciones de arroz. Sitio Web:www.fao.org/index_es.htm.
- Klaassen, G. 1983.Seed Drying. International course on seed Technology for vegetable crops. University of the Philippines at los Baños the Philippines.
- Ohshita Seiichi. Solar grain drying. Group training course in post-harvest rice processing. Department of agricultural engineering. Faculty of agriculture. University of Tokyo.1995.
- Polón, R., Castro, R., Ruiz, M., Maqueira, L., A. 2012. Práctica de diferentes alturas de corte a cultivo de rebrote y su influencia en el rendimiento del arroz (*Oryza sativa* L.) en una variedad de ciclo medio. Revista Cultivos Tropicales, 33(4), 59-62. ISSN: 0258-5936.
- Robledo, E. 1986.Análisis, Tipificación y normas en granos básicos. Proyecto INIA-PNUD-FAO CHI/83/006. IPA Palatina No.38.
- Rodríguez, S.A. 2016.Análisis de situación de país para la fortificación del arroz: Cuba, Informe preparado por la consultora para el Programa Mundial de Alimentos Guatemala Agosto.2016. Sitio Web: <http://sightandlife.org>. Consulta: 15 de marzo de 2018.
- Sánchez, J. y Meneses, O.E. 2012.Parámetros que influyen en la calidad industrial del arroz cosechado en el municipio La Sierpe». Revista Académica de Economía. Observatorio de la Economía Latinoamericana, (163). ISSN:1696-8352. Disponible en: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat>.
- Sato, J. 1994.Solar Grain Dryer. Lecture Textbooks Fourth Edition. Farm Mechanization Course. Farm Machinery Design Course. Tsukuba International Agricultural Training Centre. Japan International Cooperation Agency. Japan.
- Soponronnarit, S. 1996. Fluidised-bed paddy drying. In: Grain Drying in Asia. Proceedings of an International Conference held at the FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand, 17-20 October, ACIAR Proceedings No. 71. 201-209 pp.