



Experimental Statistical Modeling of Dehydration Processes of Papaya Fruit (*Carica papaya* L.) Maradol Roja Variety

Modelación estadística experimental de deshidratación de fruta bomba (Carica papaya L.) variedad Maradol roja

Ing. Yanersy Díaz-Colomé^I, Dr.C. Annia García-Pereira^I, M.Sc. Josefina de Calzadilla-Pereira^I†, Dr.C. Dunia Chávez-Esponda^{II}, M.Sc. Yolanda Rosa Jiménez-Álvarez^I, Dr.C. Lucía Fernández-Chuarey^I

^I Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{II} Universidad Estatal Amazónica (UEA), Departamento Ciencias de la Vida, Puyo, Pastaza, Ecuador.

ABSTRACT. The objective of this research work is to obtain the statistical-mathematical models, which describe the functional relationship of the properties moisture content and weight loss of the dehydrated papaya fruit (Maradol roja variety), with respect to the main technological parameters of the dehydration process, for the convective dry method, combined with simply blanching (ESSC) and osmosis (DOSC) pre-treatments. The simple blanching was performed in distilled water at 70 °C for 15 minutes and osmotic dehydration at 60 °C for 4 hours using a commercial sucrose solution at 50 °Brix. Statgraphics Plus 5.1 software was used for the statistical processing. The models were obtained by Multiple Regression, obtaining models with a significance level of 5%, a confidence level of 95% and $R^2 > 75\%$. The models obtained are valid for temperatures between 40 and 60 °C, air flow velocity between 1.5 and 2.5 m/s and fruit cubes with $1,5 \pm 0,2$ cm length per $1,0 \pm 0,01$ cm of thickness. To validate the effectiveness of the models, a correlation analysis was performed between predicted values and real values, always obtaining $r > 0.85$. The obtained models are linear, good predictors and these can be used to optimize the dehydration process of papaya fruit, using differential calculus.

Keywords: statistical models, combined convective dry, moisture content, weight loss.

RESUMEN. La presente investigación tiene como objetivo: Obtener los modelos estadístico-matemáticos, que describen la relación funcional de las propiedades: contenido de humedad y pérdida de peso de la fruta bomba deshidratada (variedad Maradol roja), respecto a los principales parámetros tecnológicos del proceso de deshidratación, para los métodos combinados: secado convectivo con pretratamientos de ósmosis y escaldado simple. El escaldado simple se realizó en agua destilada a 70 °C durante 15 minutos y la deshidratación osmótica a 60 °C por 4 horas, utilizando una solución de sacarosa comercial a 50 °Brix. El procesamiento estadístico se realizó en Statgraphics Plus 5.1. Se aplicó Regresión Múltiple y se obtuvieron modelos con un coeficiente de determinación $R^2 > 75\%$ y un nivel de significación del 5%, un nivel de confianza del 95% y $R^2 > 75\%$. Los modelos obtenidos son válidos para temperaturas entre 40 y 60 °C, velocidad del flujo de aire entre 1.5 y 2.5 m/s y talla de los cubos de fruta de $1,5 \pm 0,2$ cm de largo por $1,0 \pm 0,01$ cm de espesor. Para validar los modelos, se correlacionaron valores predichos y reales, obteniendo $r > 0.85$. Los modelos obtenidos son buenos predictores y se pueden utilizar en la optimización del proceso de deshidratación de fruta bomba, haciendo uso del cálculo diferencial.

Palabras clave: modelos estadísticos, secado convectivo combinado, contenido de humedad, pérdida de peso.

INTRODUCTION

Dehydration processes appear since antiquity by the need to conserve food for periods of scarcity. These methods increase the quality of the products by reducing the moisture content,

INTRODUCCIÓN

Los procesos de deshidratación surgieron desde la antigüedad a partir de la necesidad de conservar alimentos para periodos de escasez. Estos métodos tienen como objetivo

thus avoiding deterioration and microbiological contamination during storage (Crapiste, 2000).

In the case of fruits, recent studies have shown that the application of combined dehydration methods is the best option, among them, convective dry with simply blanching (ESSC) and osmosis (DOSC) pre-treatments. Multiple authors have asserted the effectiveness of these methods. They are Gaspareto *et al.* (2004) in banana, Chavarro *et al.* (2006), Muñiz *et al.* (2013) and Fernández *et al.* (2015) in papaya; Moreno *et al.* (2010), Sluka (2015) and Alvis *et al.* (2016) in mango. Others are Puente *et al.* (2010) and Flores *et al.* (2013) in apple, Urfalino *et al.* (2011) in peach, García *et al.* (2013a) and García *et al.* (2013b) in pineapple, García *et al.* (2014) in merey, Alegre and Linares (2016) in mamey and Hernández *et al.* (2016) in carambolo.

Papaya fruit is the third fruit of importance in the world (Arocha *et al.*, 2005), papain is extracted from it and is used in the production of medicines. In addition, the population appreciates highly its fruits, for their nutritional value (Mederos *et al.*, 1986). Due to their high water content, papaya fruits present several phytosanitary problems, with those of fungus origin prevailing, within which anthracnose is indicated as the main phytopathological limitation of papaya fruits on post-harvest worldwide (Ramos *et al.*, 2001). In order to avoid considerable economic losses for this cause, which also have a social impact, due the importance of this fruit; it is necessary to develop conservation processes. Dehydration, although little exploited in Cuban agricultural industry, is an unquestionable alternative to extend the useful life of this valued food.

On the other hand, this technological process can be supported by applied mathematics, specifically in statistical modeling; it allows establishing relations among variables, as well as to optimize resources in a task (Chavez *et al.*, 2013). In this case, the most significant properties of dehydrated fruit can be related with the technological parameters of the process. This functional relationship is very useful to make predictions that facilitate the work or optimize the process. That could be reached from the minimization of drying duration time, for which the differential calculus can be applied (Franquet, 2014) taking into account the restrictions on the technological parameters values, so as not to affect the quality of the fruit (temperature between 40 and 60 °C, airflow velocity between 1.5 and 2.5 m/s).

The objective of this research is to obtain the statistical-mathematical models that describe the functional relationship of the main properties of dried papaya fruit (Maradol roja variety) respect to the technological parameters of the process.

METHODS

The data used in the present research were taken from the databases of the Agricultural Products Quality Research Group (GICPA), belonging to the Faculty of Technical Sciences, of Agrarian University of Havana (UNAH). The 60 fruits used in the experiments were collected at the “Las Papas” farm of the National Institute of Agricultural Scien-

umentar la calidad de los productos mediante la disminución del contenido de humedad, evitando así el deterioro y la contaminación microbiológica de los mismos, durante el almacenamiento (Crapiste, 2000).

En el caso de las frutas, estudios recientes han demostrado, que la aplicación de métodos combinados de deshidratación es la mejor opción, dentro de ellos destacan: secado convectivo con pretratamientos de ósmosis (DOSC) y de escaldado simple (ESSC), múltiples autores han abordado la eficacia de estos métodos, entre ellos: Gaspareto *et al.*, (2004) en banana; Chavarro *et al.*, (2006), Muñiz *et al.*, (2013) y Fernández *et al.*, (2015) en papaya; Moreno *et al.*, (2010), Sluka, (2015) y Alvis *et al.*, (2016) en mango; Puente *et al.*, (2010) y Flores *et al.*, (2013) en manzana; Urfalino *et al.*, (2011) en durazno, García *et al.*, (2013a) y García *et al.*, (2013b) en piña; García *et al.*, (2014) en merey, Alegre y Linares, (2016) en mamey y Hernández *et al.*, (2016) en carambolo.

La papaya o fruta bomba es el tercer fruto de importancia en el mundo (Arocha *et al.*, 2005), de él se extrae la papayina, que es empleada en la producción de medicamentos, además la población aprecia altamente sus frutos, por su valor nutricional (Mederos *et al.*, 1986). Por su alto contenido de agua, los frutos de papaya presentan diversos problemas fitosanitarios, prevaleciendo aquellos de origen fungoso, dentro de ellos se señala a la antracnosis como la principal limitante fitopatológica de los frutos de papaya en postcosecha a nivel mundial (Ramos *et al.*, 2001). Para evitar pérdidas económicas considerables por esta causa, que además tienen una repercusión social, dada la importancia antes expuesta de esta fruta, se hace necesario desarrollar procesos de conservación. La deshidratación, aunque poco explotada en la agroindustria cubana, es una incuestionable alternativa para prolongar la vida útil de este preciado alimento.

Por otro lado, para la descripción de este proceso tecnológico se emplean las matemáticas aplicadas, específicamente en la modelación estadística, la misma, permite establecer relaciones funcionales entre variables, así como optimizar recursos en una tarea (Chávez *et al.*, 2013). En este caso, se pueden relacionar las propiedades más significativas de la fruta deshidratada, con los parámetros tecnológicos del proceso. Esta relación funcional es útil para realizar predicciones que faciliten el trabajo o a la hora de optimizar el proceso, a partir de la minimización del tiempo de duración del secado, para lo cual se puede aplicar el cálculo diferencial (Franquet, 2014); teniendo en cuenta las restricciones relativas a los valores de los parámetros tecnológicos para no afectar la calidad de la fruta (temperatura entre 40 y 60 °C; velocidad del flujo de aire entre 1.5 y 2.5 m/s).

A partir de los fundamentos antes expuestos, esta investigación tiene como objetivo: obtener los modelos estadístico-matemáticos que describen la relación funcional que tienen las principales propiedades de la fruta bomba deshidratada (variedad Maradol roja) respecto a los parámetros tecnológicos del proceso.

MÉTODOS

Los datos utilizados en el presente estudio se tomaron de las bases de datos del Grupo de Investigación de Calidad de los Productos Agrícolas (GICPA), perteneciente a la Facultad de Ciencias Técnicas, de la Universidad Agraria de La Habana (UNAH). Las 60 frutas utilizadas en los experimentos que dieron lugar a estos datos,

ces (INCA), located in San José de las Lajas Municipality (Mayabeque Province). They were harvested in May 2013, with relative humidity and average temperature in the field of 79.5% and 25.7 °C, respectively. They were selected without physical damages in their exterior, fruit size of 12.35 ± 0.5 cm, in maturation stage four (less mature or less ripen) according to the Mexican standard NMX-FF-041-SCFI, 2007 and they were placed in commercial carton boxes (with breathing holes) forming an initial sample of 60 randomly selected fruits. The experimental work was carried out in the Chemistry and Quality laboratories of the Faculties of Agronomy and Technical Sciences, respectively, both belonging to UNAH. In the Quality laboratory washing, drying, selection and labeling of the fruit sample according to the established experimental protocol were performed, while the dehydration processes were carried out in the Chemistry laboratory.

During the experiment, the properties were sampled every 30 minutes, for the different combinations of temperature (40 and 60 °C) and airflow velocity (1.5 m/s and 2.5 m/s) with constant relative humidity inside the dryer. The experiments were performed by evaluating two combined drying methods: the convective dry with simply blanching (ESSC) and osmosis (DOSC) pre-treatments. The fruits studied were cut in cubes of 1.5 ± 0.2 cm length per 1.0 ± 0.01 cm of thickness. The simple blanching was performed in distilled water at 70 °C for 15 minutes and osmotic dehydration at 60 °C for 4 hours using a commercial sucrose solution at 50 °Brix.

The evaluated properties of dehydrated fruit were moisture content (x_w) and weight loss (P_p), taking into account that it is the most important to guarantee product quality (Geankoplis, 1998). The technological parameters evaluated were temperature, airflow velocity and duration time of the process.

Methodology for Obtaining Statistical Models That Relate the Properties of Papaya Fruit with the Technological Parameters of the Drying Process

Taking into account that it is desired to predict the two fundamental properties that quantify the quality of the dehydrated papaya fruit, according to the three technological parameters of the drying process mentioned above, four Multiple Regression analyzes were performed, one for each property in each combined drying method (Díaz *et al.*, 2013).

The property under study was evaluated as a dependent variable in each case: moisture content or weight loss. As independent variables in the four analyzes, the three technological parameters coincide: temperature, airflow velocity and process duration time.

Statgraphics Plus 5.1 software was used for statistical processing. Before applying the Multiple Regression, it was verified that the data fulfill the four assumptions: normality, homoscedasticity, non-multicollinearity and non-autocorrelation (Ximénez and San Martín, 2013).

fueron recolectadas en la Finca "Las Papas" del Instituto Nacional de Ciencias Agropecuarias (INCA), ubicado en el municipio San José de las Lajas (provincia Mayabeque), se cosecharon en el mes de mayo de 2013, con humedad relativa y temperatura promedio en el campo de 79,5 % y 25,7°C, respectivamente, se seleccionaron sin daños físicos en su exterior, talla del fruto de $12,35 \pm 0,5$ cm y en estado de maduración cuatro (pintona o rayona) según la norma mexicana NMX-FF-041-SCFI, 2007 y se colocaron en cajas de cartón tipo comercial (con orificios de respiración) conformando una muestra inicial de 60 frutas seleccionadas aleatoriamente. El trabajo experimental se desarrolló en laboratorios especializados de la UNAH.

Durante la experimentación se muestrearon las propiedades cada 30 minutos, a partir de aplicar condiciones de secado combinando valores de temperatura (40 y 60 °C) y velocidad del flujo de aire (1.5 m/s y 2.5 m/s) con humedad relativa constante en el interior del secador. Los experimentos se realizaron evaluando dos métodos de secado combinados: escaldado simple + secado convectivo (ESSC) y deshidratación osmótica + secado convectivo (DOSC). Las frutas estudiadas fueron cortadas en cubos de $1,5 \pm 0,2$ cm de largo por $1,0 \pm 0,01$ cm de espesor. El pretratamiento de escaldado simple se realizó en agua destilada caliente a 70 °C durante 15 minutos y la deshidratación osmótica a 60 °C por 4 horas, utilizando una solución de sacarosa comercial a 50 °Brix.

Las propiedades de la fruta deshidratada evaluadas en la investigación fueron: contenido de humedad (x_w) y pérdida de peso (P_p), teniendo en cuenta que son las que se encuentran directamente relacionadas con el proceso tecnológico de secado (Geankoplis, 1998). Los parámetros tecnológicos evaluados fueron: temperatura, velocidad del flujo de aire y tiempo de duración del proceso.

Metodología para la obtención de modelos estadísticos que relacionen las propiedades de la fruta bomba con los parámetros tecnológicos del proceso de secado

Teniendo en cuenta que se desea predecir las dos propiedades de la fruta bomba deshidratada, en función de los tres parámetros tecnológicos del proceso de secado mencionados anteriormente, se realizaron cuatro análisis de Regresión Múltiple, uno para cada propiedad en cada método combinado de deshidratación (Díaz *et al.*, 2013).

Se evaluó como variable dependiente la propiedad en estudio en cada caso: contenido de humedad o pérdida de peso. Como variables independientes en los cuatro análisis coinciden los tres parámetros tecnológicos: temperatura, velocidad del flujo de aire y tiempo de duración del proceso.

Para el procesamiento estadístico se utilizó el software Statgraphics Plus 5.1. Antes de aplicar la Regresión Múltiple, se verificó que los datos cumplen los cuatro supuestos: normalidad, homocedasticidad, no multicolinealidad y no autocorrelación (Ximénez y San Martín, 2013).

La descripción general de los modelos de Regresión Múltiple aplicados es la siguiente:

The general description of the Multiple Regression models for the properties under study is as follows:

$$x_w = a + b * t + c * \tau + d * v$$

$$P_p = e + f * t + g * \tau + h * v$$

where:

x_w - moisture content, %;

P_p - weight loss, %;

t - time, min;

τ - temperature, °C;

v - airflow velocity, m/s;

a, b, c, d, e, f, g, h – parameters to be estimated.

Once applied Multiple Regression, for goodness of fit the coefficient of determination R² for the object of study was first analyzed, a model of good fit if R² > 75% was considered. The t-partial test was applied to determine if the independent variables are statistically significant in the model and the F-Test to evaluate the fit of the model, considering the results as favorable for a significance level of 5% and a confidence level of 95 % in both cases.

To validate the effectiveness of the obtained model, a set of experimental data not included in the modeling was used. With the values of the independent variables of this set and with the model, predicted values were obtained for the dependent variable. Then, a correlation analysis was performed between the predicted and real values. For the object of study, the model was considered effective if the correlation coefficient was $r > 0.85$.

To validate the effectiveness of the obtained model, a set of experimental data not included in the modeling was used. With the values of the independent variables of this set and with the model, predicted values were obtained for the dependent variable. Then, a correlation analysis was performed between the predicted and real values. For the object of study, the model was considered effective if the correlation coefficient was $r > 0.85$.

If when applying the t-partial test, any parameter was not significant, the Multiple Regression analysis was repeated, eliminating the variable from the model, and a comparison was made between this model and the previous one to select the model of best fit. For that the coefficient of determination R² and the test F, as well as the correlation coefficient r between predicted and real values were taken into account.

RESULTS AND DISCUSSION

Dependence of the Properties Studied Respect to Main Technological Parameters of the Dehydration Process

The four statistical models obtained are shown in Table 1, as well as the main indicators used to make the analysis of goodness of fit.

$$x_w = a + b * t + c * \tau + d * v$$

$$P_p = e + f * t + g * \tau + h * v$$

donde:

x_w - contenido de humedad, %;

P_p - pérdida de peso, %;

t - tiempo, min;

τ - temperatura, °C;

v - velocidad del flujo de aire, m/s;

a, b, c, d, e, f, g, h – parámetros a estimar.

Para la bondad de ajuste, se tuvo en cuenta el Coeficiente de determinación R² (se consideró un modelo de buen ajuste si R² > 75%), así como la significación del modelo y de los parámetros (considerando los resultados como favorables para un nivel de significación del 5% en ambos casos).

Para validar la efectividad del modelo, se utilizó un set de datos experimentales no incluidos en la modelación. Con los valores de las variables independientes de este set y con el modelo se obtuvo valores predichos para la variable dependiente. Se midió el grado de asociación entre valores predichos y reales, se consideró efectivo el modelo si el Coeficiente de correlación $r > 0.85$.

Si al aplicar la Prueba t-parcial algún parámetro resultó no significativo, se repitió el análisis de Regresión Múltiple eliminando dicha variable del modelo, y se realizó una comparación entre este modelo y el anterior; seleccionando el de mejor ajuste; para ello se tuvo en cuenta el coeficiente de determinación R² y la prueba F, así como el Coeficiente de correlación r entre valores predichos y reales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dependencia de las propiedades estudiadas respecto a los principales parámetros tecnológicos del proceso de deshidratación

Los cuatro modelos estadísticos obtenidos se muestran en la Tabla 1, así como los principales indicadores utilizados para hacer el análisis de bondad de ajuste.

Los modelos obtenidos son de buen ajuste, pues R² > 75% siemLos modelos obtenidos son de buen ajuste, pues los valores de R² se encuentra entre 75,97 y 89,60%. Al realizar la Prueba t-parcial, se determinó que todas las variables son estadísticamente significativas en cada modelo, pues, P-valor = 0.0000 < 0,05 en todos los casos, excepto para la velocidad del flujo de aire en el segundo modelo. Por otro lado, la Prueba F, donde

TABLE 1. Statistical Models for Properties Moisture Content and Weight Loss in the Combined Methods DOSC and ESSC
 Tabla 1. Modelos estadísticos para las propiedades contenido de humedad y pérdida de peso en los métodos combinados DOSC y ESSC

Combined Method	Model	R ²	r
DOSC	$x_w = 0.947748 - 0.000910164 * t - 0.00842352 * \tau + 0.103579 * v$	84.52	0.89
	$P_p = -13.5761 + 0.392716 * t + 0.42185 * \tau + 0.505619 * v$	75.97	0.88

Combined Method	Model	R ²	r
ESSC	$x_w = 0.9248888 - 0.00138775 * t - 0.0104185 * \tau + 0.212052 * \nu$	89.50	0.94
	$P_p = 7.07083 + 0.0654435 * t + 0.54508 * \tau - 13.0524 * \nu$	81.37	0.92

The obtained models are of good adjustment, because the values of R2 are between 75.97 and 89.60%. When performing the t-partial test, it was determined that all variables are statistically significant in each model, because, P-value = 0.0000 < 0.05 in all cases, except for the airflow velocity in the second model. On the other hand, Test F, where P-value = 0.0000 < 0.05 in all cases, corroborates that the four models are of good fit, the same happens with the high correlation that exists between the predicted values (through the models) and the real values, in all cases r > 0.85.

Rodiles *et al.* (2016) applied the combined convective drying method with osmosis pretreatment for tuna dehydration and obtained an equation for the moisture content, where the variables time duration of the process and temperature are quadratic, which differs considerably of the result obtained in the first model proposed in this investigation.

Zapata *et al.* (2016) applied the osmotic dehydration method to avocado and obtained a linear equation for the moisture content, coinciding with the present investigation, although it differs in some technological parameters analyzed.

Muñiz *et al.* (2013) applied convective drying combined with simply blanching (ESSC) and osmosis (DOSC) pretreatments for papaya fruit, obtaining the equations that describe the behavior of the properties moisture content and weight loss, with respect to time, for each combination of temperature and airflow velocity studied. The functions obtained for the moisture content were quadratic and for weight loss, resulted some quadratic and other exponentials. This analysis differs in methodology and results with the present research, from the same object of study.

From the obtained models, the third is the model of best fit, which describes the kinetic behavior of the moisture content during dehydration of papaya fruit, using the method combined DOSC. That is supported by the fact that it has the highest value of R², that is, it accounts for the greater percentage of variability of the property under study. In addition, it is the model for which, there is a greater correlation between the predicted values through it and the real data.

The type of relationship (direct or inverse) that exists between the properties under study and the technological parameters of the process, are discussed below. That information provides a better understanding of the models.

The relationship between moisture content and time is inverse, which from the technological point of view is totally correct, because the longer the product stays in the dryer, the more water will be lost, so the moisture content will decrease, causing an increase in weight loss, so the relationship between this last variable and time is direct.

The relationship between moisture content and temperature is inverse, which is justified by the nature of the technological

P-valor = 0.0000 < 0,05 en todos los casos, corrobora que los cuatro modelos son de buen ajuste. Además, existe un grado de asociación fuerte entre valores predichos y reales, con coeficiente de correlación por encima de 0.88.

Rodiles *et al.*, (2016) aplicó el método combinado de secado convectivo con pretratamiento de ósmosis para la deshidratación de nopal y obtuvo una ecuación para el contenido de humedad, donde las variables tiempo de duración del proceso y temperatura son cuadráticas, lo cual difiere considerablemente del resultado obtenido en el primer modelo propuesto en esta investigación.

Zapata *et al.*, (2016) aplicó el método de deshidratación osmótica en aguacate y obtuvo una ecuación lineal para el contenido de humedad, coincidiendo con la presente investigación, aunque difiere en algunos parámetros tecnológicos analizados.

Muñiz *et al.*, (2013) aplicó el secado convectivo con pretratamientos de ósmosis y escaldado simple para la fruta bomba, obteniendo las ecuaciones que describen el comportamiento de las propiedades contenido de humedad y pérdida de peso, con respecto al tiempo, para cada combinación de temperatura y velocidad del flujo de aire estudiadas. Las funciones obtenidas para el contenido de humedad fueron cuadráticas y para la pérdida de peso, resultaron en algunos casos cuadráticas y en otros exponenciales; análisis que difiere en metodología y resultados con la presente investigación, a partir de un mismo objeto de estudio.

De los modelos obtenidos, el de mejor ajuste es el tercero, el cuál describe el comportamiento cinético del contenido de humedad durante la deshidratación de fruta bomba utilizando el método combinado DOSC. Ello se sustenta en el hecho de que posee el mayor valor de R², es decir, es el que explica mayor porcentaje de variabilidad de la propiedad en estudio. Además, es el modelo para el cual existe una mayor correlación entre los valores predichos a través de él y los datos reales.

El tipo de relación (directa o inversa) que existe entre las propiedades en estudio y los parámetros tecnológicos del proceso, se discuten a continuación; pues esta información propicia una mejor comprensión de los modelos.

La relación entre el contenido de humedad y el tiempo es inversa, lo cual desde el punto de vista tecnológico es totalmente correcto, pues entre más tiempo permanezca el producto en el secador, perderá más agua, por lo que el contenido de humedad disminuirá; provocando un aumento de la pérdida de peso, por ello la relación entre esta última variable y el tiempo es directa.

La relación entre el contenido de humedad y la temperatura es inversa, lo que se justifica por la naturaleza del proceso tecnológico, teniendo en cuenta que el agua sale de la fruta en forma de vapor y se logra mayor evaporación de agua a mayor temperatura, por tanto disminuye más rápidamente el contenido de humedad y se produce un aumento de la pérdida de peso, por ello, la relación entre dicha variable y la temperatura es directa.

La relación entre el contenido de humedad y la velocidad del flujo de aire es directa, lo que está fundamentado por el proceso

process, taking into account that water leaves the fruit in the form of steam and higher evaporation of water at higher temperature is achieved, as a result moisture content decreases more rapidly and there is an increase in weight loss. Therefore, the relationship between that variable and temperature is direct.

The relationship between moisture content and velocity of the airflow is direct, which is based on the technological process, taking into account that, using a lower air velocity causes the thickness of the boundary layer to decrease. Consequently, the water inside the cells can evaporate with less difficulty, thus achieving lower moisture content and an increase in weight loss, so that the relation of this variable and the velocity of the airflow is inverse, which is corroborated by the models (except in the second, where this parameter turns out to be not statistically significant).

CONCLUSIONS

- Four statistical-mathematical models of good adjustment were obtained, starting from Multiple Lineal Regression that you/they describe the functional relationship of the properties: content of humidity and loss of weight, regarding the technological parameters of the process of dehydration of fruit bomb, during the application of the combined methods: DOSC and ESSC.
- The procedure described in the present research to obtain the models can be developed for other fruits, given the similarities of these agricultural products and the general character of the Multiple Regression for relations of dependence between one and many variables.

tecnológico, teniendo en cuenta que, utilizar una velocidad de aire menor provoca que el grosor de la capa límite disminuya y que por tanto, el agua que se encuentra en el interior de las células pueda evaporarse con menor dificultad, logrando así menor contenido de humedad y un aumento de la pérdida de peso, por lo que la relación de esta variable con la velocidad del flujo de aire es inversa; lo cual es corroborado por los modelos (excepto en el segundo, donde este parámetro resulta no ser estadísticamente significativo).

CONCLUSIONES

- Se obtuvieron cuatro modelos estadístico-matemáticos de buen ajuste, a partir de Regresión Lineal Múltiple, que describen la relación funcional de las propiedades: contenido de humedad y pérdida de peso, respecto a los parámetros tecnológicos del proceso de deshidratación de fruta bomba, durante la aplicación de los métodos combinados: DOSC y ESSC.
- El procedimiento descrito en la presente investigación para la obtención de los modelos, puede ser desarrollado para otras frutas, dada las similitudes de estos productos agrícolas y el carácter general de la regresión múltiple para relaciones de dependencia entre una y muchas variables.

REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEGRE, C.R. y G. LINARES: "Efecto de la temperatura y concentración de miel de abeja sobre la cinética de deshidratación osmótica, y aceptabilidad general en la elaboración de snacks de mamey (*Mammea americana*)."; [en línea] *Innovación en Ingeniería*, 2(1), diciembre 2016, Disponible en: <http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/INNOVACION/article/view/995> [Consulta: marzo 28 2017].
- ALVIS, A.; C. GARCÍA y S. DUSSÁN: "Cambios en la textura y color en mango (Tommy Atkins) pre-secado por deshidratación osmótica y microondas", *Información Tecnológica*, ISSN-0716-8756, 27(2): 31-38, 2016.
- AROCHA, Y.; D. HORTA; A. ROQUE y E.L. PERALTA: "Detección molecular de fitoplasmas en el cultivo de la fruta bomba en Cuba.", *Revista de Protección Vegetal*, ISSN-2224-4697, 20(1): 20-26, 2005.
- CRAPISTE, G.H: "Chapter 11. *Simulation of drying rates and quality changes during the dehydration of foodstuffs*, *Trends in Food Engineering*, 1st ed., ISBN: 1-56676-991-4, pp. 135-148, Ed. Technomic Publishing CO., Lancaster, USA, 2000.
- CHAVARRO, L.M.; C.I. MARTÍNEZ y A. AYALA: "Efecto de la madurez, geometría y presión sobre la cinética de transferencia de masa en la deshidratación osmótica de papaya (Carica papaya L., var. Maradol)", *Food Science and Technology* (Campinas), ISSN- 0101-2061, 26(3): 596-603, 2006.
- CHÁVEZ, D.; Y. SABÍN; V.TOLED0; y Y. JIMÉNEZ: "La Matemática: una herramienta aplicable a la Ingeniería Agrícola", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, 22(3): 81-84, 2013.
- DÍAZ, M.; A.L.GONZÁLEZ; A. Henao y M. E. Díaz: *Introducción al análisis estadístico multivariado*, Ed. Universidad del Norte, 1a ed., pp. 276, ISBN-978-958-741-358-8, Colombia, 2013.
- FERNÁNDEZ, D.; S. MUÑOZ; A. GARCÍA; R. CERVANTES y D. FERNÁNDEZ: "Cinética de secado de fruta bomba (Carica papaya L., cv. Maradol Roja) mediante los métodos de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, 24(1): 22-28, 2015.
- FLORES, E.; L.A. PASCUAL; M. JIMÉNEZ y C.I. BERISTAIN: "Efecto de la proteína de suero de leche-sacarosa en la deshidratación os-

- mótica de manzana”, *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, ISSN-1665-2738, 12(3): 415-424, 2013.
- FRANQUET, J.M.: *Aplicaciones a la economía de las ecuaciones infinitesimales y recurrentes*, Ed. UNED-Tortosa, 1a ed., pp. 906, ISBN-978-84-938420-2-4, España, 2014.
- GARCÍA, A.; S. MUÑIZ; A. HERNÁNDEZ; L.M. GONZÁLEZ y D. FERNÁNDEZ: “Análisis comparativo de la cinética de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente de la piña (Ananas comosus, variedad Cayena lisa)”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, 22(1): 62–69, 2013.
- GARCÍA, A.; S. MUÑIZ; A. HERNÁNDEZ; L.M. GONZÁLEZ y D. FERNÁNDEZ: “Evaluación económica de la aplicación de los procesos tecnológicos de deshidratación Osmótica y por Flujo de Aire Caliente de la piña (Ananas Comosus) variedad Cayena lisa”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, 22(2): 16–20, 2013.
- GARCÍA, A. ; E. PÉREZ; N. ROMERO y L. SANDOVAL,: “Evaluación de la calidad sensorial de frutos tropicales deshidratados”, *Revista de la Facultad de Agronomía*, ISSN- 2477-9407, (Supl 1): 719–729, 2014.
- GASPARETO, O.C.P.; OLIVEIRA, E.L.; SILVA, D.: “Influencia del Tratamiento Osmótico en el Secado de la Banana “Nanica” (Musa cavendishii, L.) en Secador de Lecho Fijo”, [en línea] Información tecnológica, ISSN-0718-0764, DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642004000600002>, 15(6): 9-16, 2004.
- GEANKOPLIS, C.J.: *Procesos de transporte y principios de procesos de separación (incluye operaciones unitarias)*, Ed. S.L. (Grupo Patria Cultural), 4a ed., pp. 1022, ISBN= 9789702408567, México, 2006.
- HERNÁNDEZ, E.J.; F.A. MENDOZA y S. GALVAN: “Parámetros de transferencia de masa durante el proceso de osmodeshidratación de carambolo (Averrhoa carambola)”, *Agronomía Colombiana*, ISSN- 0120-9965, 34(1): 446–449, 2016.
- MEDEROS, E.; J. ORQUIN; A. HERNÁNDEZ y C. SOMARRIBA: “Estudio preliminar de la dinámica del crecimiento de la planta de fruta bomba, variedad marajol roja en un suelo ferralítico rojo”, *Centro Agrícola*, ISSN- 0253-5785, 13(2): 49-59, 1986.
- MORENO, A.; D. LEÓN; G. GIRALDO y E. RIOS: “Estudio de la cinética fisicoquímica del mango (mangífera indica l. Var. Tommy atkins) tratado por métodos combinados de secado”, [en línea] ISSN-0012-7353, junio 2010, Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v77n162/a09v77n162.pdf?> [Consulta: marzo 23 2017].
- PUENTE, L.; S. LASTRETO; M.J. MOSQUEDA; J.SAAVEDRA y A. CÓRDOVA: “Influencia de un pre-tratamiento osmótico sobre la deshidratación por aire caliente de manzana Granny Smith”, [en línea] ISSN-0012-7353, diciembre 2010, Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49620414027> [Consulta: marzo 23 2017].
- RAMOS, M.A.; D. NIETO; J.L.DOMÍNGUEZ y F.DELGADILLO: “Calidad y tolerancia en frutos de papaya (Carica papaya L.) a la inoculación del hongo Colletotrichum gloeosporioides Penz., en postcosecha”, *Revista Chapingo Serie Horticultura*, ISSN: 2007-4034, 7(1): 119–130, 2001.
- RODILES, J.O.; H.E. FLORES ; R.A.MANIVEL y R. ZAMORA,: “Elaboración de una botana de nopal obtenida por deshidratación osmótica”, *Superficies y Vacío*, ISSN-1665-3521, 29(2): 49-54, 2016.
- SLUKA, E.: “ Conserva de mango [Mangífera indica L.] por deshidratación combinada.”, *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, ISSN-0080-2069, 35(1): 45-49, 2015.
- URFALINO, D.P. y A.QUIROGA: “Desarrollo de técnicas combinadas de secado para la obtención de duraznos deshidratados con bajo contenido de sulfitos.”, *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, ISSN- 1669-2314, 37(2): 165–171, 2011.
- XIMÉNEZ, M.C. y R. SAN MARTÍN: *Fundamentos de las técnicas multivariantes*, Ed. Editorial UNED, pp. 140, ISBN-978-84-362-6798-3, Madrid, España, 2013.
- ZAPATA, J.E. ; A.M. RESTREPO y L.ARIAS: “Cinética de la Deshidratación Osmótica del Aguacate (Persea americana), y Optimización del Color por Medio de Superficies de Respuesta”, [en línea] Información tecnológica, ISSN-0718-0764, DOI-<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000400003>, 27(4): 17-32, 2016.

Received: 29/01/2017.

Approved: 11/09/2017.

Yanersy Díaz-Colomé, maestrante, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, E-mail: ycolome@unah.edu.cu

Annia García-Pereira, E-mail: annia@unah.edu.cu

Josefina de Calzadilla-Pereira† E.P.D.

Dunia Chávez-Esponda, E-mail: dunia@unah.edu.cu

Yolanda Rosa Jiménez-Álvarez, E-mail: yolandar@unah.edu.cu

Lucía Fernández-Chuarey, E-mail: lucia@unah.edu.cu

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor.