





ANÁLISIS DE MATERIA SECA Y COMPUESTOS BROMATOLÓGICOS DE PRODUCTOS FRUTIHORTÍCOLAS DEL OCCIDENTE DE HONDURAS

ANALYSIS OF DRY MATTER AND BROMATOLOGICAL COMPOUNDS OF FRUIT AND VEGETABLE PRODUCTS FROM WESTERN HONDURAS

Juan Alexander Torres Mejía^{1,*} , Fredy Torres Mejía^{1,*} 

¹Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, UNAH –
Campus Copán, Santa Rosa de Copán, Honduras.

(recibido/received: 16-03-2024; aceptado/accepted: 04-07-2024)

RESUMEN

Este trabajo se centra en la evaluación del rendimiento de 23 productos hortofrutícolas de la región del Occidente de Honduras, se determinó materia seca y contenido de humedad en las materias primas, en una muestra de 100 (g) de fruta fresca, de igual manera se determinó mediante análisis bromatológico, en una muestra de materia seca del 100 (g), se estableció el porcentaje de participación de proteína, hidratos de carbono, extracto etéreo o lipídico, fibra y ceniza de cada producto estudiado, se evaluó preparando dos repeticiones de cada muestra y/o tratamiento, a 105 grados celsius y tiempo entre seis (6 hr) a (12 hr), diseñando el potencial predictivo relativa de un modelo exponencial, está denotada, los R^2 igual o mayor si su nivel de significación es 0.05, el correspondiente nivel de confianza mayor igual a 0.95, obteniendo el siguiente resultado.

La cebolla nombre científico (*Allium cepa*) variedad amarilla o Vidalia, $R^2 = 0.9848$, potencial de predicción de un modelo exponencial está denotada R^2 entre más cercana a 1 es mejor es el modelo de ecuación exponencial, papa sin cáscara (*Solanum tuberosum*), potencial de predicción $R^2 = 0.9865$, mango verde tierno (*Mangifera indica*), $R^2 = 0.9734$, Fresa (*Fragaria* × *ananassa*), $R^2 = 0.9785$, papa con cáscara (*Solanum tuberosum*), $R^2 = 0.9616$, Tomate (*Solanum lycopersicum*), variedad Cherokee, $R^2 = 0.964$, Zanahoria con cáscara (*Daucus carota*), $R^2 = 0.9621$, Chile (*Capsicum annuum*), variedad Jalapeño, $R^2 = 0.9674$, Piña con cáscara (*Ananas comosus*), variedad azucarón, $R^2 = 0.9548$, Melón con cáscara (*Cucumis melo*), variedad cantaloupe, $R^2 = 0.9548$; Intervalo de confianza a 95%, se debe mejorar los protocolos, para lograr eficiencia en la predicción ejemplo manzana verde importada (*Granny Smith*), la potencia predictiva relativa de un modelo exponencial está denotada por $R^2 = 0.9409$, chayote (*Sechium edule*), $R^2 = 0.9167$, chile morrón de color verde (*Capsicum annuum*), predicción estadística de $R^2 = 0.9058$, Aguacate (Persea Americana) variedad Hass, $R^2 = 0.9135$, Sandía con cáscara (*Citrullus lanatus*), $R^2 = 0.9406$.

* Corresponding author.

E-mail address: juan.torres@unah.edu.hn

En las siguientes muestras del ensayo es necesario mucha más investigación, ya que el potencial predictivo relativo de un modelo exponencial, está por debajo de 90%, lo más recomendable es hacer más repeticiones en nuevas investigaciones para optimizar el modelo de predicción de la curva exponencial, Rambután pulpa (*Nephelium lappaceum*), potencial de predicción de $R^2 = 0.6879$, piña pulpa (*Ananas comosus*), variedad azucarón, $R^2 = 0.8332$, Rambután con cáscara (*Nephelium lappaceum*), $R^2 = 0.8002$, esto probablemente debido a que los tiempos de peso de muestras no fueron eficientes, temperatura del horno no homogénea, muestras más cercanas a la resistencia del horno experimentan mayor pérdida de humedad, por lo cual se debe establecer los protocolos adecuados para lograr un experimento con mayor nivel de confianza, para las muestras por debajo de 95%.

Con la estimación de las variables térmicas como ser calor específico y la conductividad térmica encontramos que existe una relación directa con el contenido de agua de la materia prima, de igual modo no existe ninguna relación con el porcentaje de materia seca de estas materias primas; mismos que son un aporte para ser utilizados como datos primarios en análisis termodinámicos cuando son transformadas estas materias primas agrícolas.

Palabras claves: Horticultura, Materia Seca, Calor Específico, Conductividad Térmica, Análisis Bromatológico.

ABSTRACT

This work focuses on the evaluation of the performance of 23 fruit and vegetable products from the Western Region of Honduras, dry matter and moisture content in the raw materials were determined in a sample of 100 (g) of fresh fruit, in the same way it was determined by bromatological analysis, in a dry matter sample of 100 (g). The percentage of participation of protein, carbohydrates, etheric or lipid extract, fiber and ash of each product studied was established, it was evaluated by preparing two replications of each sample and/or treatment, at 105 degrees Celsius and time between six (6 hr) and (12 hr), designing the relative predictive potential of an exponential model, is denoted, R^2 equal to or greater if its significance level is 0.05, the corresponding confidence level greater than 0.95 confidence level, obtaining the following result.

The scientific onion name (*Allium cepa*) yellow variety or Vidalia, $R^2 = 0.9848$, prediction potential of an exponential model is denoted R^2 the closer to 1 is better is the exponential equation model, shelled potato (*Solanum tuberosum*), prediction potential $R^2 = 0.9865$, tender green mango (*Mangifera indica*), $R^2 = 0.9734$, strawberry (*Fragaria × ananassa*), $R^2 = 0.9785$, potato with skin (*Solanum tuberosum*), $R^2 = 0.9616$, Tomato (*Solanum lycopersicum*), Cherokee variety, $R^2 = 0.964$, Carrot with skin (*Daucus carota*), $R^2 = 0.9621$, Chile (*Capsicum annum*), Jalapeño variety, $R^2 = 0.9674$, Pineapple with skin (*Ananas comosus*), sugar variety, $R^2 = 0.9548$, Melon with skin (*Cucumis melo*), cantaloupe variety, $R^2 = 0.9548$; Confidence interval at 95%, protocols should be improved, to achieve efficiency in the prediction of imported green apple (*Granny Smith*), the relative predictive power of an exponential model is denoted by $R^2 = 0.9409$, chayote (*Sechium edule*), $R^2 = 0.9167$, green bell pepper (*Capsicum annum*), statistical prediction of $R^2 = 0.9058$, Avocado (*Persea Americana*) Hass variety, $R^2 = 0.9135$, Watermelon (*Citrullus lanatus*), $R^2 = 0.9406$.

In the following samples of the trial much more research is needed, since the relative predictive potential of an exponential model is below 90%, it is best to do more repetitions in new research to optimize the prediction model of the exponential curve, Rambutan pulp (*Nephelium lappaceum*), prediction potential of $R^2 = 0.6879$, pineapple pulp (*Ananas comosus*), sugar variety, $R^2 = 0.8332$, rambutan with shell (*Nephelium lappaceum*), $R^2 = 0.8002$, this probably due to the fact that the sample weight times were not efficient, oven temperature not homogeneous, samples closer to the resistance of the oven experience

greater moisture loss, so the appropriate protocols must be established to achieve an experiment with a higher level of confidence, for samples below 95%.

With the estimation of thermal variables such as specific heat and thermal conductivity we find that there is a direct relationship with the water content of the raw material, in the same way there is no relationship with the percentage of dry matter of these raw materials, which are a contribution to be used as primary data in thermodynamic analyses when these agricultural raw materials are transformed.

Keywords: Horticulture, Dry Matter, Specific Heat, Thermal Conductivity, Bromatological Analysis.

1. INTRODUCCIÓN

Importancia de la ejecución de presente proyecto de investigación científica, es evaluar el contenido de humedad de un determinado alimento, por lo cual conociendo esta variable podemos desarrollar e innovar en nuevos métodos de conservación de alimentos, formular de manera precisa sobre la composición nutricional de los vegetales estudiados y la importancia en el impacto de la producción agropecuaria, dado que este análisis es muy utilizado en la producción de piensos para la alimentación animal, como ser ensilajes y henos. La materia seca es crucial en determinar el valor nutricional, el potencial de agua, con el propósito de determinar la conservación de los mismo, determinar el análisis físico químico y composición bromatológica de los alimentos, así como determinar elementos que contienen compuestos bioactivos, estas observaciones se refiere a la cantidad de solidos o ceniza que queda después de eliminar el agua contenida en la muestra, es lo que queda cuando se somete una muestra de alimento a calor para evaporar toda el agua, de igual manera el trabajo estima la determinación del calor específico y la conductividad térmica de los alimentos evaluados, datos obtenidos mediante el estudio inéditos de materia seca, disponibles para facilitar información para el diseño de equipo de la industria alimentaria, optimizar los análisis térmicos de estas materias primas, ya que esta información es limitada.

Aporte científico académico de la Universidad Nacional autónoma de Honduras, Centro Universitario Regional de Occidente, se presenta la metodología para determinar el contenido de materia seca (MS), de varias hortalizas y frutas producidas en la región del Occidente del país, haciendo uso de la deshidratación con horno industrial. Este método puede ser aplicado en fincas o empresas empacadoras que realicen un seguimiento de MS de los frutos y (junto con el sistema de estimación de tiempos de cosecha) le puede brindar al productor herramientas prácticas y confiables en la toma de decisiones sobre el momento de cosecha y métodos de conservación adecuado en el proceso de valor agregado o transformación agroindustrial de las materias primas utilizadas en diferentes productos agroalimentarios terminados.

Así mismo mediante revisión bibliográfica haciendo uso de varios análisis bromatológicos publicados se determinó la composición nutricional de los productos hortofrutícolas estudiados. Estos sistemas se utilizan cada vez más para generar tablas de composición de alimentos, los estudios de la relación entre la alimentación y la salud han hecho que vaya en aumento el interés por la serie de componentes biológicamente activos presentes en los alimentos que acompañan a los nutrientes y, con frecuencia, se necesitan datos de estos componentes, al igual que datos relativos a los aditivos y contaminantes. En un sistema de datos bien estructurado puede figurar información sobre componentes no nutrientes, aunque esto no debería ir en perjuicio del objetivo primordial del programa de la base de datos, que es el suministro de información sobre el contenido de nutrientes de los alimentos. (Southgate, 2006)

Según Osuna, la madurez para cosecha es indudablemente la variable más importante que determina la calidad comestible del fruto de aguacate (Brown, 1984; Harker et al., 2007) e influye en los resultados de calidad después del almacenamiento. Sin embargo, la falta de un método confiable para predecir la

madurez de corte a través de indicadores externos (Hofman y Jobin-Decor, 1999), propicia que dicho estado de madurez se obtenga de manera destructiva, ya sea mediante la determinación del contenido de aceite o del porcentaje de materia seca (MS) en la pulpa (Lee y Coggins, 1982; Ranney et al., 1992). El contenido de MS es internacionalmente aceptado como indicador de la madurez del fruto de aguacate con fines comerciales, ya que su cuantificación en un horno de microondas es más rápida y mucho más económica que la determinación del contenido de aceite. El porcentaje de MS como índice de madurez fisiológica o 'legal' varía en los países productores y se ubica en un intervalo de 20 a 25 % (Kader y Arpaia, 2000). (García y otros, 2018), de igual manera en las demás hortalizas y frutas estudiadas en el presente estudio de investigación.

Las propiedades térmicas (calor específico C_p , conductividad k y difusividad térmica influyen en la transferencia de calor). Su conocimiento es necesario para el cálculo de diseño de procesos, equipos y en la calidad del producto; están influenciadas en un mayor o menor grado por la temperatura y la composición del producto, durante un tratamiento térmico (Alvis A. C., 2012). Igualmente, las propiedades térmicas de frutas y vegetales son necesarias para calcular la rapidez de calentamiento o enfriamiento en procesos o para estimar las cantidades de calor requeridas en los procesos como: escaldado, pasteurización, evaporación, fritura, refrigeración, congelación, esterilización, secado entre otra, en los cuales hay intercambio de energía y masa (Alvis A. I., 2009).

La conductividad térmica k es una medida de la velocidad a la cual el calor es conducido en un material, es un coeficiente que cuantifica la velocidad de transferencia de calor en estado estable dQ/dt a lo largo de la dirección de un gradiente de temperatura dT/dt , gobernada por la ley de Fourier de conducción de calor. Por otro lado, el calor específico de un material es la cantidad de calor necesaria para aumentar su temperatura en una unidad por unidad de masa, sin cambiar de estado (Valiente, 2001). El modelo matemático más utilizado para conocer las propiedades termo físicas es el desarrollado por Choi y Okos (1985) basado en la temperatura, en un rango de -40°C a 150°C , y la composición que tiene el alimento de humedad, proteína, grasa, fibra, carbohidratos y cenizas (Armando & Arrázola Guillermo, 2015).

En el caso del aguacate para alcanzar adecuados atributos de calidad y minimizar los defectos de la postcosecha, es usado el índice de madurez de cosecha, como un indicador de calidad y a su vez un parámetro de decisión en la recolección de los frutos. El indicador más empleado internacionalmente en esta especie es el contenido de materia seca de la pulpa del fruto. Sin embargo, para cada país productor la acumulación de materia seca depende de las condiciones ambientales, de manejo de cultivo y suelos, por ejemplo, en USA y Australia, los frutos son recolectados a partir de 20,6% de materia seca (Escobar y otros, 2019)

En las industrias agrícolas y alimentarias, la humedad excesiva puede conducir a productos maltratados y podridos (Austin et al., 2013). La mayoría de los métodos tradicionales para determinar el contenido de humedad son demorados, invasivos y requiere mano de obra intensiva. El método más común para determinar el contenido de humedad es analíticamente a través de la pérdida de peso mediante el método de secado en mufla o estufa, en el que el contenido de humedad se determina a partir del cambio de peso de la muestra después de la evaporación del agua absorbida en el horno (Tirado y otros, 2015)

2. METODOLOGÍA

En el presente ensayo de laboratorio de materia seca se realizó en la planta de innovación agroalimentaria de la UNAH - CUROC; para ello, se extrajo una muestra sólida en ocasiones llamada materia fresca, secada con una temperatura de 105°C para que la humedad residual (en su mayoría, agua) se evapore. Y pesada a cada hora para determinar curvas de secado, ello da como resultado el contenido de sustancia seca de una muestra fresca de 100 g, igual manera se pesa el sobre de manila tamaño carta y el peso total

de la muestra envasada, con un tiempo de (10) diez horas, el propósito es determinar la pérdida, misma que se identifica cuando se hacen 3 pesos constantes de la muestra.

El porcentaje de materia seca (% MS) normalmente se determina secando la fruta, hortaliza y/o forraje en un horno mufla se utiliza para calcinación de sustancias, secado de sustancias, fundición y procesos de control o equipo equivalente hasta que este pierde totalmente su humedad. Como en condiciones de campo esto muchas veces no es factible de realizar, suele asumirse que las prácticas de cosecha de hortofrutícolas. Una alternativa práctica para estimar el contenido de MS de la muestra es utilizar el horno de microondas común de cocina cuyo procedimiento se detalla a continuación.

2.1 Procedimiento o protocolo de tratamiento de las muestras:

- a) Pesar una bolsa de papel (P1)
- b) Colocar en la bolsa aproximadamente 100 g. de muestra y pesar (P2)
- c) Colocar la bolsa en el microondas junto con un vaso con 50 a 100 ml de agua (si no se coloca el vaso con agua se puede incinerar la muestra y el horno).
- d) Secar por 12 horas, cuando los últimos tres pesos estudiados son constantes.
- e) Sacar la bolsa del horno, esperar 2-3 minutos que se enfríe y pesar (P3).
- f) Volver a colocar la bolsa en el microondas, repetir el secado durante un minuto, esperar 2-3 minutos y pesar (P3). Este paso se repite hasta que no existan diferencias de peso entre dos pesadas sucesivas, o sea, hasta que dos P3 sean iguales. (Reinosso Ortíz, 2006)

La materia seca son los sólidos que quedan después de la deshidratación de la pulpa de aguacate (técnicamente, se busca extraer toda el agua libre posible de la muestra). Este secado o deshidratación puede realizarse usando un horno microondas o convencional (Woolf et al., 2003), pues los métodos que emplean secado con hornos conectivos pueden tardar al menos 9 a 12 horas, a 105 °C, para deshidratar la muestra y, además, con un costo considerable, lo cual limita su uso en campo. Por tal motivo, se recomienda el horno microondas, dado su amplio uso, su fácil acceso y la practicidad que ha mostrado en la determinación de MS a nivel internacional (Waissbluth & Valenzuela, 2007; Woolf et al., 2003). En este protocolo se hacen ajustes para que la precisión del método sea similar al método oficial N.º 963.15 (American Organization of Analytical Chemists [AOAC], 2005). (Astudillo y otros, 2009)

2.2 Materiales y equipos:

- a) Horno microondas
- b) Cuchillo
- c) Tablas para picar
- d) Termómetro
- e) Bolsa de manila tamaño carta
- f) Masking Tape
- g) Marcador permanente
- h) Guantes para horno
- i) Balanza

2.3 Preparación de la muestra:

- a. Con ayuda del cuchillo, corte el fruto longitudinalmente y déjelo en cuartos
- b. Retire la semilla y seguidamente seleccione la muestra.
- c. Muestra con un peso de 100 gramos dos repeticiones por cada experimento, se recomienda seleccionar el fruto completo, en estado fresco en el caso de nuestro ensayo.

2.4 Cálculo de calor específico y conductividad térmica del alimento:

En este caso con los datos de la composición química de cada materia prima obtenidos, se les aplicaron a las ecuaciones utilizadas por Paul Singh a las 23 materias primas que son las siguientes:

“Heldamn y Singh (1981) han propuesto la siguiente expresión basada también en los componentes de un producto alimentario para hacer la estimación del calor específico:

$$c_p = 1,424X_c + 1,549X_p + 1,675X_f + 0,837X_a + 4,187X_w \quad (1)$$

Donde X es la fracción másica y los subíndices del miembro de la derecha son: c, carbohidratos; p, proteínas; f, grasa; a, cenizas; y w, agua.

Ellos también proponen esta ecuación para encontrar la conductividad térmica correspondientes a distintos alimentos sólidos y líquidos:

$$k = 0,25X_c + 0,155X_p + 0,16X_f + 0,135X_a + 0,58X_w \quad (2)$$

Donde X es la fracción másica y los subíndices c indica carbohidratos, p indica proteínas, f indica grasa, a cenizas, y w agua. Estos son los valores de conductividad térmica de los componentes puros. Nótese que la conductividad térmica del agua pura a 25°C es 0,606 W/ (m °C). El coeficiente de 0,58 en la ecuación (4.9) indica o bien que existe un cierto sesgo en el conjunto de datos utilizados en la regresión, o bien que la conductividad térmica efectiva del agua en el alimento es distinta a la del agua pura”. (R Paul Singh, 2001)

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Preparación de muestra de hortalizas y frutas:

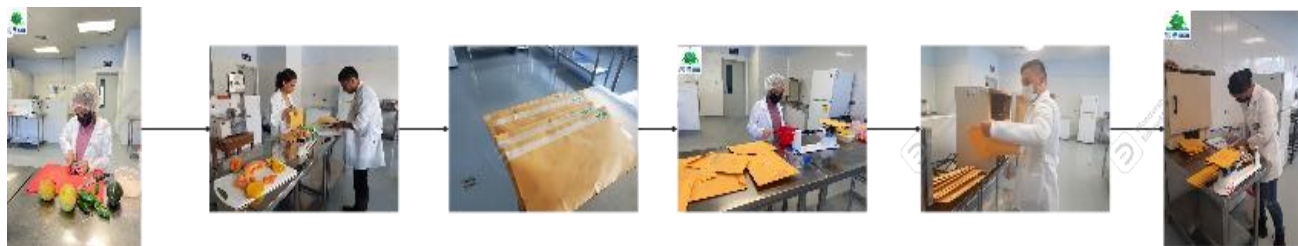


Figura 1. Protocolo de preparación de la muestra y obtención de resultados, desarrollado en la Planta de Innovación Alimentaria UNAH campus Copán.

En lo relacionado con la asignación de materia seca a las frutas y hortalizas, se determinó dos repeticiones por muestra estudiada, misma que fue promediada para encontrar los datos de peso de acuerdo con la fórmula de materia seca por cada uno de los productos hortícolas analizados, por ende, la materia o extracto secos es la parte que resta de un material tras extraer toda el agua posible a través de un calentamiento hecho en condiciones de laboratorio. Por el contrario, el contenido en humedad refleja la cantidad de agua presente en el producto que se está analizando.

El importante valor nutricional y económico de las frutas y de las hortalizas frescos es bien conocido. Las frutas y las hortalizas son los mejores transportadores de vitaminas, minerales esenciales, fibra dietaria, antioxidantes fenólicos, glucosinolatos y otras sustancias bioactivas. Además, proveen de carbohidratos, proteínas y calorías. Estos efectos nutricionales y promotores de la salud mejoran el bienestar humano y reducen el riesgo de varias enfermedades. Por ello las frutas y las hortalizas son

importantes para nuestra nutrición, sugiriéndose una ingesta de cinco porciones por día. Las frutas y las hortalizas son productos altamente perecederos. (Alzamora y otros, 2004) La materia seca como medida de madurez y calidad. La MS cambia durante las diferentes etapas del desarrollo de la fruta, y esta correlación la convierte en un buen indicador de la madurez tanto en las frutas climatéricas como en las no climatéricas. Además, la MS acumulada por las plantas depende no sólo de su genotipo, sino también de las condiciones y métodos de cultivo. Esto aumenta la fiabilidad de la MS como medida de la madurez y calidad de la fruta. (Newsletter, 2023)

Así mismo es importante mencionar que los alimentos a los cuales se les reduce el potencial de agua que contiene, es un principio de conservación, en general, hortalizas con menos de 8% de humedad y frutas con menos de 18% de humedad residual no son sustratos favorables para el desarrollo de hongos, bacterias ni reacciones químicas o bioquímicas de importancia. Existen reacciones, como las de empardecimiento no enzimático, que pueden desarrollarse a velocidades reducidas, en ambientes con bajo nivel de agua, pero requieren de altas temperaturas ambientales. Otras reacciones son las de oxidación de las grasas, las cuales pueden llevarse a cabo a contenidos de agua muy reducidos, pero que son aceleradas por luz y temperatura. Así, el envasado y el ambiente en que se mantienen los productos deshidratados resulta de mucha importancia para la buena conservación de estos. (Guanajuato, 2022)

En Honduras las exportaciones de hortalizas y frutas que habían caído en 2012 están registrando un importante repunte en el 2013 y casi triplicaron el envío de contenedores al extranjero, aseguran los exportadores y representantes del gobierno. A nivel nacional, el cultivo de productos no tradicionales como las legumbres, hortalizas y frutas, en conjunto, el año pasado registró ingresos por 110 millones de dólares. Solo las exportaciones de melón y sandía reportaron al Estado divisas por \$51 millones, mientras que las legumbres y hortalizas registran unos \$60 millones; por lo cual son dos productos de gran importancia en la economía nacional, igualmente las hortalizas se ubican como el tercer producto de la actividad agrícola de Honduras y es el Valle de Comayagua el principal nicho de estos cultivos y de una variedad de frutas tropicales. (Mejía y otros, 2018). De igual manera es de hacer notar que la mayor problemática de los microempresarios vinícolas en Honduras, es que la producción de fruta aún no está tecnificada por lo cual hacer pronósticos de cosecha es complicado, de igual manera la asociativa en el ámbito local deriva muchos factores de la no eficiencia de los procesos productivos, con el propósito de dar valor agregado a la transformación agroalimentaria, en el caso de Honduras por ser un país vulnerable al cambio climático esto afecta la productividad de las zonas rurales, efectos climáticos que provoquen una mala calidad de la fruta producto de sequías, enfermedades y plagas, misma que sirve como materia prima para la elaboración de productos procesados a base de frutas como la mora. (Mejía & Mejía, 2023)

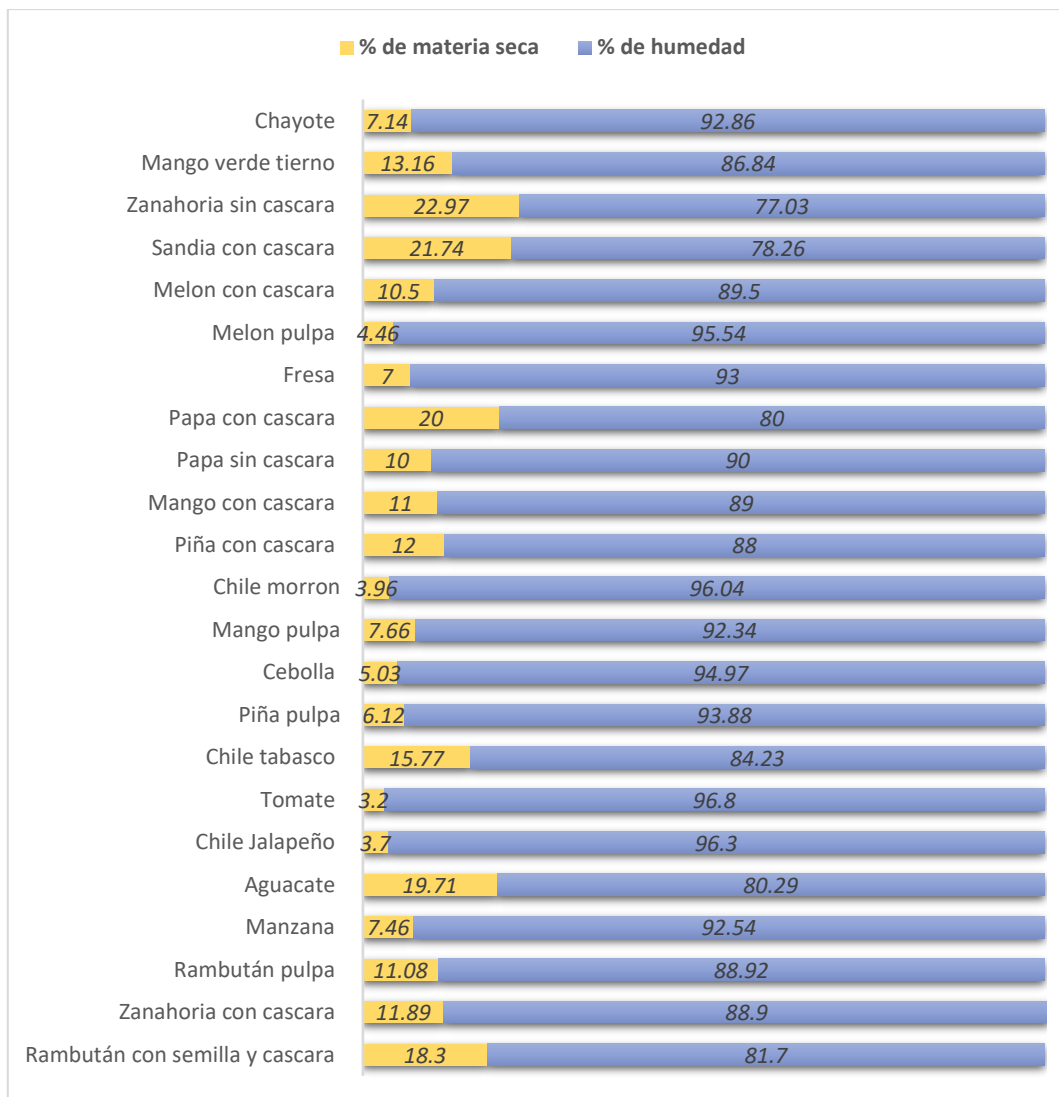


Figura 2. Determinación de materia seca y humedad en productos frutihortícolas del occidente de Honduras.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la Figura 2: se investigó la fruta de mango tierno, este es muy tradicional de Honduras, en temporada de verano los árboles se llenan de mangos de muchas variedades y es cultural de nuestro país, degustar un preparado de mango tierno y crujiente, preparado en julianas combinado con limón, sal, especias, encurtido, chile y salsa negra, con todos estos ingredientes o alguno de ellos. (Fernández, 2019), los resultados es 86.84% de humedad y 13.16% de materia seca. Mango (*Mangifera indica*) es uno de las más populares frutas tropicales y subtropicales que se consumen tanto en forma fresca como procesada. La India es el mayor productor de mango en el mundo, sin embargo, su exportación es muy limitada debida principalmente a que la vida útil de la fruta es deficiente. (Burg y Burg, 1962; Krishnamurthy et al., 1971; Cua y Lizada, 1990; Ramos y Srivastava, 1999). (Mejía, 2011), se presenta un cuadro resumen con todas las materias primas estudiadas.

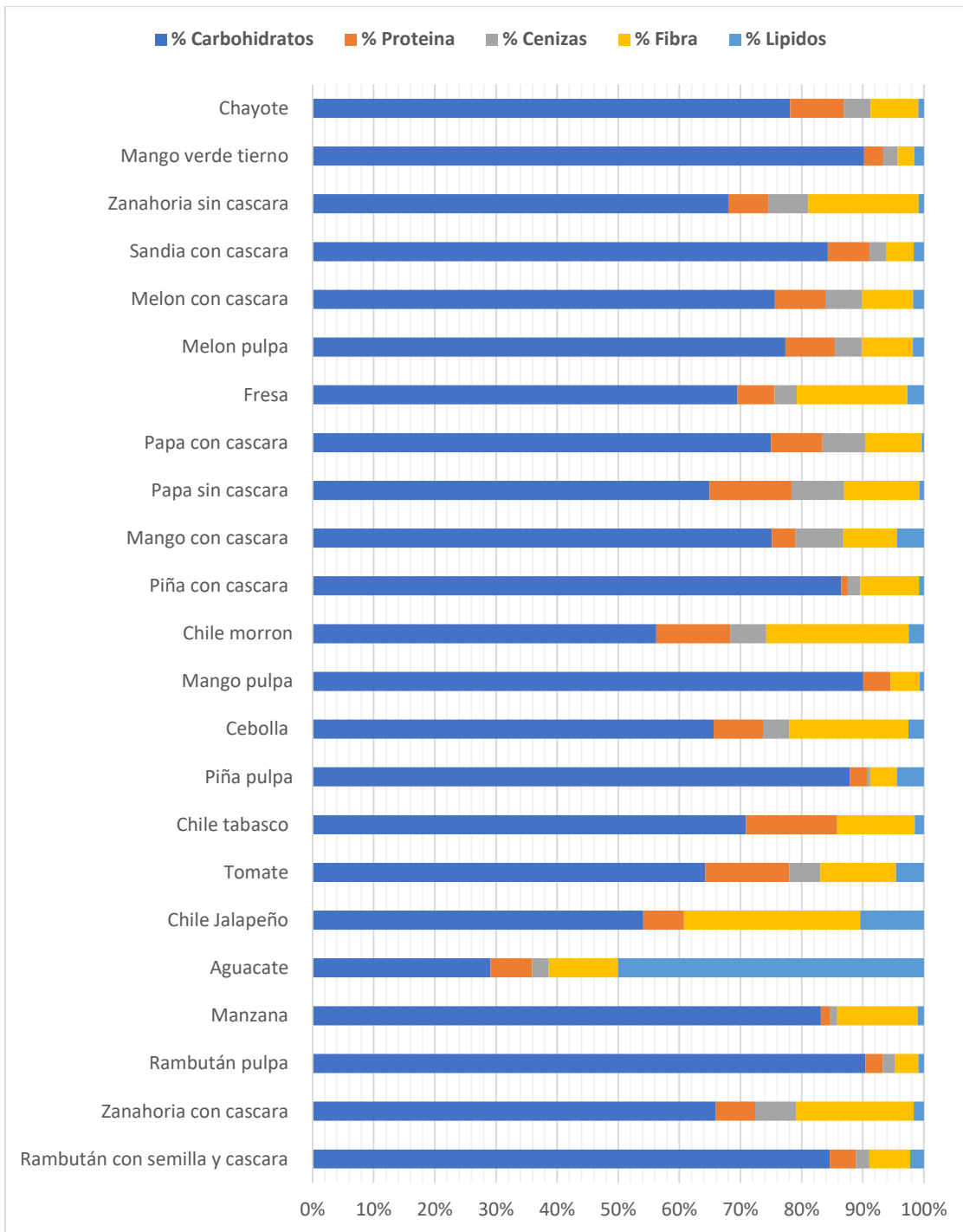


Figura 3. Se determino por medio de análisis bromatológicos el contenido nutricional de 23 productos hortofrutícolas, de la región del Occidente de Honduras.

Tabla 1. Análisis bromatológico, cálculo de calor específico y conductividad térmica de las frutas y hortalizas de la región del Occidente de Honduras.

No.	Materias primas	Fruta fresca (100 gr)							Cp. kJ/kg.°C	k W/M ² °C
		Materia	Agua	Carbohidratos	Proteína	Cenizas	Fibra	Lípidos		
1	Rambután con semilla y cáscara	18.3	81.7	15.36	0.83	0.44	1.22	0.44	3.663	0.515
2	Zanahoria con cáscara	11.89	88.9	7.68	0.47	0.56	2.29	0.10	3.845	0.536
3	Rambután pulpa	11.08	88.92	10.02	0.31	0.21	0.43	0.10	3.874	0.542
4	Manzana	7.46	92.54	6.20	0.12	0.09	0.98	0.08	3.967	0.553
5	Aguacate	19.71	80.29	5.74	1.34	0.53	2.24	9.86	3.634	0.499
6	Chile Jalapeño	3.7	96.3	2.00	0.25	0.00	1.06	0.38	4.071	0.565
7	Tomate	3.2	96.8	2.06	0.44	0.16	0.40	0.15	4.093	0.568
8	Chile tabasco	15.77	84.23	11.18	2.35	0.00	2.00	0.23	3.726	0.521
9	Piña pulpa	6.12	93.88	5.38	0.17	0.03	0.27	0.27	4.015	0.559
10	Cebolla	5.03	94.97	3.30	0.41	0.22	0.98	0.13	4.034	0.560
11	Mango pulpa	7.66	92.34	6.90	0.34	0.00	0.37	0.05	3.971	0.553
12	Chile morrón	3.96	96.04	2.23	0.48	0.23	0.92	0.10	4.064	0.564
13	Piña con cáscara	12	88	10.38	0.12	0.25	1.15	0.10	3.838	0.537
14	Mango con cáscara	11	89	8.26	0.43	0.86	0.97	0.48	3.866	0.539
15	Papa sin cáscara	10	90	6.50	1.34	0.86	1.23	0.08	3.890	0.542
16	Papa con cáscara	20	80	14.99	1.69	1.42	1.84	0.07	3.602	0.506
17	Fresa	7	93	4.87	0.42	0.25	1.27	0.19	3.975	0.553
18	Melón pulpa	4.46	95.54	3.45	0.36	0.20	0.37	0.08	4.058	0.564
19	Melón con cáscara	10.5	89.5	7.94	0.87	0.63	0.88	0.18	3.882	0.541
20	Sandía con cáscara	21.74	78.26	18.32	1.48	0.61	0.97	0.36	3.572	0.503
21	Zanahoria sin cáscara	22.97	77.03	15.62	1.50	1.50	4.16	0.20	3.487	0.490
22	Mango verde tierno	13.16	86.84	11.88	0.41	0.31	0.36	0.21	3.818	0.535
23	Chayote	7.14	92.86	5.60	0.63	0.31	0.56	0.06	3.981	0.554

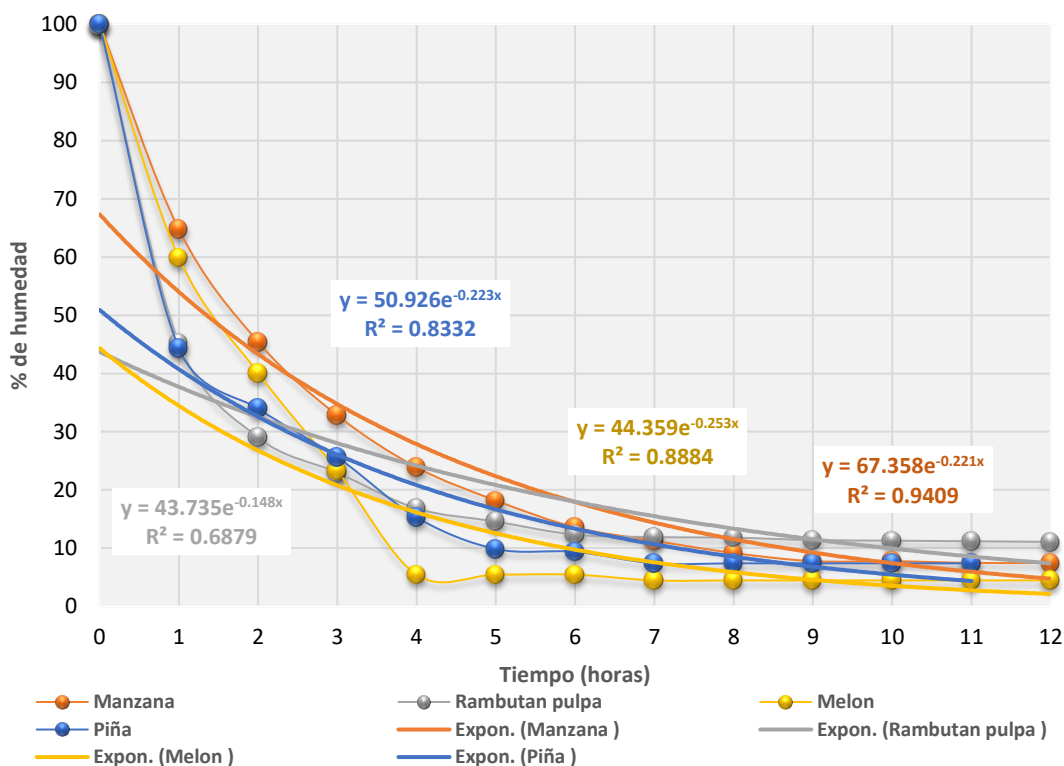


Figura 4. Materia seca (Reducción de humedad), curvas “ecuación exponenciales”.

Se determinó curvas de pérdida de humedad en un tratamiento en horno con 105 grados de temperatura celsius y doce horas sometida la muestra, misma que fue pesada cada hora, cada uno de los productos frutihortícolas se realizaron dos repeticiones o muestras en los tratamientos, con el propósito de reducir el error significativo, se obtuvieron los siguientes resultados: Manzana verde importada (*Granny Smith*) con 7.46% de materia seca (MS) y 92.54% de humedad, de acuerdo con los datos con una ecuación exponencial de $y = 67.358e^{-0.221x}$, la potencia predictiva relativa de un modelo exponencial está denotada por $R^2 = 0.9409$ que entre más cercano está a 1, más preciso es el modelo, de igual manera se estudió Melón (*Cucumis melo*), variedad Cantaloupe, con 4.46% de materia seca y 95.54% de humedad, ecuación exponencial de $y = 44.359e^{-0.253x}$, predicción estadística de $R^2 = 0.8884$, Rambután pulpa (*Nephelium lappaceum*), % MS. de 11.08, humedad de 88.92% y ecuación exponencial de $y = 43.735e^{-0.148x}$, potencial de predicción de $R^2 = 0.6879$, finalmente se analizó la piña pulpa (*Ananas comosus*), variedad azucarón, 6.12% de M.S. y 93.88% de humedad, $y = 50.926e^{-0.223x}$, potencial de predicción de $R^2 = 0.8332$.

Tratamiento de cada muestra sometida a una temperatura de 105 grados celsius de manera constante y 12 horas por muestra, se determinó materia seca, con dos repeticiones por cada uno de los productos hortofrutícola, obteniendo los siguientes resultados: caso de la cebolla nombre científico (*Allium cepa*) variedad amarilla o Vidalia, con una humedad 94.97% y Materia seca de 5.03%, ecuación exponencial de $y = 83.826e^{-0.284x}$, potencial de predicción de $R^2 = 0.9848$, la potencia predictiva relativa de un modelo exponencial está denotada R^2 entre más cercana a 1 es mejor es el modelo de ecuación exponencial, de igual manera se estudió el chayote (*Sechium edule*) conocido en nuestro país como güisquil y/o papaste, hortaliza de común consumo, con un 7.14% de M.S. y 92.86% de humedad en su composición, ecuación exponencial de $y = 61.531e^{-0.226x}$, potencial de predicción de $R^2 = 0.9167$, en el caso de chile morrón de

color verde (*Capsicum annuum*), con un porcentaje de humedad de 96.04% de humedad y 3.96% de materia seca, con ecuación exponencial de $y = 54.773e^{-0.288x}$, predicción estadística de $R^2 = 0.9058$.

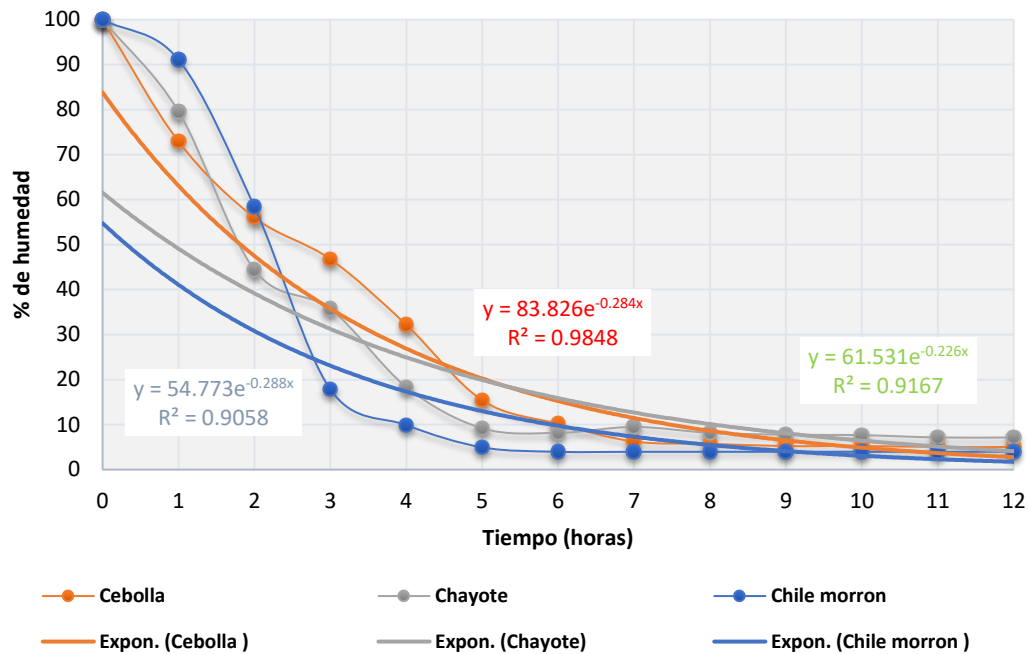


Figura 5. Materia seca (Reducción de humedad), curvas “ecuación exponenciales”.

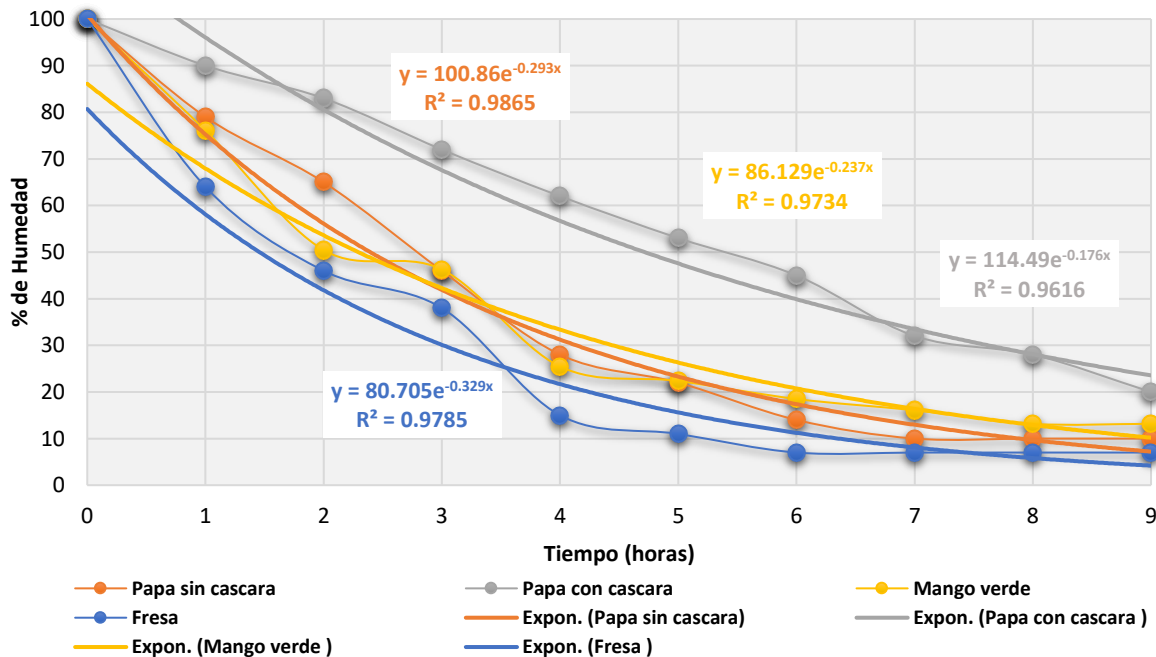


Figura 6. Materia seca (Reducción de humedad), curvas “ecuación exponenciales”.

Tratamiento de cada muestra sometida a una temperatura de 105 grados celsius de manera constante y 12 horas por muestra, se determinó materia seca, con dos repeticiones por cada uno de los productos hortofrutícola, obteniendo los siguientes resultados: papa sin cáscara (*Solanum tuberosum*), humedad

95.97%, materia seca de 5.03%, ecuación exponencial $y = 100.86e^{-0.293x}$, potencial de predicción $R^2 = 0.9865$, mango verde tierno (*Mangifera indica*), con una humedad de 86.84% y Materia seca con 13.86%, ecuación exponencial $y = 86.129e^{-0.237x}$, con un potencial de predicción de $R^2 = 0.9734$, Fresa (*Fragaria* × *ananassa*) con un contenido de agua de 93% y 7% de materia seca, con ecuación exponencial $y = 80.705e^{-0.329x}$, predicción estadística de $R^2 = 0.9785$, papa con cáscara (*Solanum tuberosum*), humedad de 80%, y un 20% de materia seca, ecuación exponencial $y = 114.49e^{-0.176x}$, potencial de predicción de $R^2 = 0.9616$.

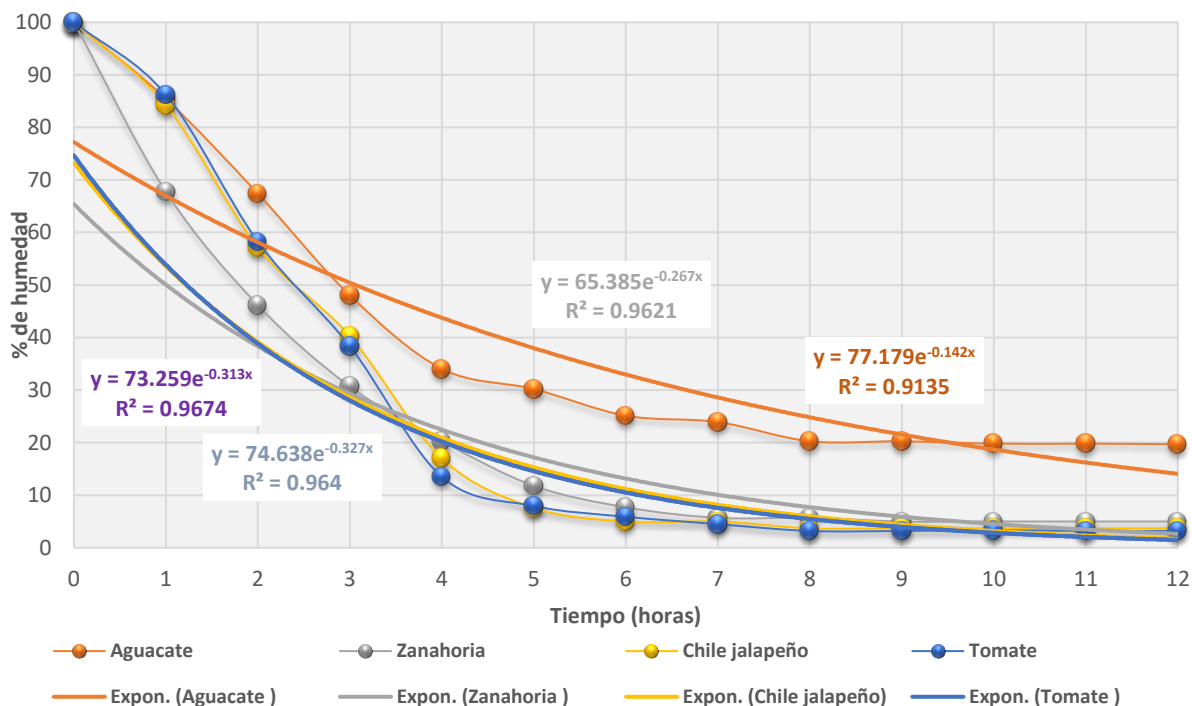


Figura 7. Materia seca (Reducción de humedad), curvas “ecuaciones exponenciales”.

Tratamiento de cada muestra sometida a una temperatura de 105 grados Celsius de manera constante y 12 horas por muestra, se determinó materia seca, con dos repeticiones por cada uno de los productos hortofrutícola, obteniendo los siguientes resultados: Aguacate (*Persea Americana*) variedad Hass, con humedad de 80.29% y materia seca 19.71%, con ecuación exponencial $y = 77.179e^{-0.142x}$, potencial de predicción de $R^2 = 0.9135$, Tomate (*Solanum lycopersicum*), variedad Cherokee, con una humedad de 96.8% y materia seca 3.2%, ecuación exponencial $y = 74.638e^{-0.327x}$, potencial de predicción $R^2 = 0.964$, Zanahoria con cáscara (*Daucus carota*) con una humedad de 88.11% y materia seca de 11.89%, con una ecuación exponencial $y = 65.385e^{-0.267x}$, predicción estadística de $R^2 = 0.9621$, Chile (*Capsicum annuum*), variedad Jalapeño, con una humedad de 96.30% y materia seca de 3.7%, con ecuación exponencial de $y = 73.259e^{-0.313x}$, y predicción estadística de $R^2 = 0.9674$.

Tratamiento de cada muestra sometida a una temperatura de 105 grados celsius de manera constante y 12 horas por muestra, se determinó materia seca, con dos repeticiones por cada uno de los productos hortofrutícola, obteniendo los siguientes resultados: Rambután con cáscara (*Nephelium lappaceum*), humedad de 81.7 y materia seca de 18.3 %, ecuación exponencial de $y = 68.095e^{-0.126x}$, potencial de predicción de $R^2 = 0.8002$, Piña con cáscara (*Ananas comosus*), variedad azucarón, con un porcentaje de humedad de 88% y materia seca de 12%, con ecuación exponencial $y = 108.12e^{-0.225x}$, potencial de predicción de $R^2 = 0.9548$, Sandía con cáscara (*Citrullus lanatus*), con una humedad de 78.26% y

21.74% de materia seca, con una ecuación exponencial de $y = 93.975e^{-0.151x}$, y un potencial de predicción de $R^2 = 0.9406$, Mango con cáscara (*Cucumis melo*), variedad cantalupo con una humedad de 89.5%, y 10.5% de materia seca, con una ecuación exponencial de $y = 108.12e^{-0.225x}$, predicción estadística de $R^2 = 0.9548$.

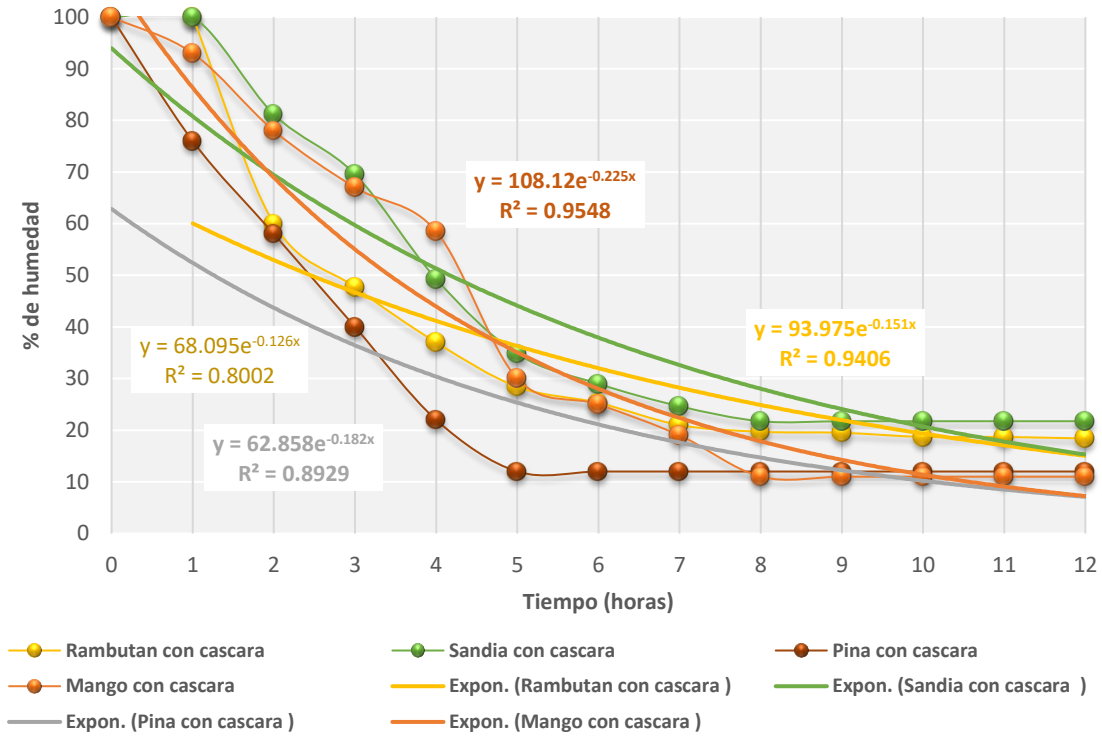


Figura 8. Materia seca (Reducción de humedad), curvas “ecuación exponenciales”.

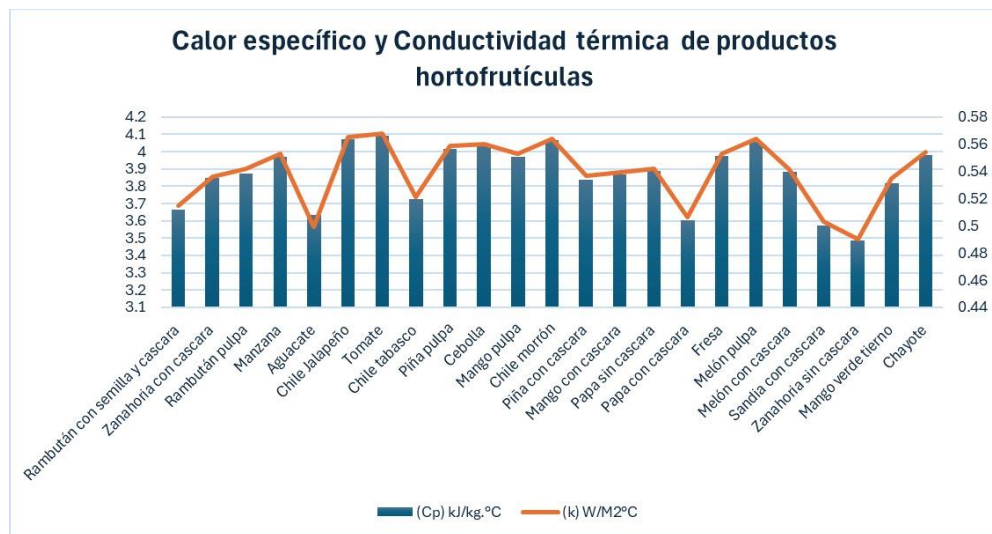


Figura 9. Calor específico y Conductividad Térmica de diferentes productos hortofrutícolas.

Se determino y realizó el análisis de las propiedades térmicas de las materias primas transformadas, el trabajo ofrece el cálculo del calor específico (Cp.) y la conductividad térmica (k) de cada alimento como

se resumen en la Tabla 1, mismas que fueron calculadas con las ecuaciones 1 y 2 respectivamente; los cuales demuestran una proporción directa con la cantidad de humedad, entre más alta es la cantidad de agua de la materia prima, su calor específico se acerca al calor específico del agua, del mismo modo la conductividad térmica, existe una relación directa con la cantidad de agua; por lo que entre menos agua tenga la materia prima, el valor disminuye, y se aleja del calor específico y la conductividad térmica del agua, como se muestra en la figura 9, ya que ambos factores calculados dependen principalmente de la humedad, estas tienen mucha similitud y proporción; de igual modo no existe ninguna relación directa entre el contenido de materia seca con las variables calor específico y conductividad térmica en los productos evaluados.

Estos datos térmicos de materias primas frutihortícolas vienen a servir de información base para la transformación de este tipo de alimentos, para facilitar cálculos energéticos sobre el gasto de energía, transferencia de calor, uso en optimización de procesos y diseño de equipos para alimentos, así como Vargas describe que las propiedades termo físicas de los alimentos resultan fundamentales para el diseño, evaluación y optimización de las operaciones de transferencia de calor. Aspectos tales como la estimación de los costos energéticos del proceso y la calidad y seguridad de los materiales elaborados resultan dependientes de estas propiedades (Plinio & Arteaga-Solórzano, 2020)

4. CONCLUSIONES

Los factores más importantes que controlan la velocidad de los cambios en factores que deterioran los alimentos y la proliferación de los microorganismos en los mismos, son la disponibilidad de agua, el pH y la temperatura, por lo cual es de mucha importancia determinar el contenido de humedad de los mismos, contenido de materia seca en rangos de $\geq 20\% \leq 25\%$, de acuerdo a los análisis se encuentra la sandía con cáscara, zanahoria sin cáscara, papa con cáscara, materia seca en rangos de $\geq 15 < 20\%$ se determinó los productos hortofrutícolas como ser rambután con semilla y cáscara, aguacate y chile tabasco, productos hortofrutícola en rangos MS $\geq 10 < 15\%$ se encuentran los vegetales; zanahoria con cáscara, rambután pulpa, piña con cáscara, mango con cáscara, melón con cáscara, mango verde, materias primas con contenidos extracto seco $\geq 5 < 10\%$, la manzana, piña pulpa, cebolla, mango pulpa y chayote, productos con $> 5\%$, de materia seca, el chile jalapeño, tomate, chile morrón y pulpa de melón, este factor es importante en la industria de alimentos, con el propósito de determinar el método de conservación e inocuidad en la seguridad de los alimentos.

En el caso de materia seca es importante determinarlo, esto debido a que la cantidad óptima estimada está relacionada con la madurez del fruto, de igual manera la materia seca (MS) de la fruta es el resultado de la acumulación de carbohidratos, almidones, azúcares, aceites, proteínas, antioxidantes, vitaminas, minerales, fibra, lípidos, compuestos volátiles, compuestos orgánicos bioactivos. De acuerdo con los resultados de la investigación se estimaron las curvas de secado, la potencia predictiva relativa de un modelo exponencial está denotada R^2 entre más cercana a 1 es mejor, el modelo de ecuación exponencial, misma que se estimaron pesada cada hora la pérdida de peso, cada uno de los productos frutihortícolas se realizaron dos repeticiones o muestras en los tratamientos, con un % de estimación $\geq 95\%$, cebolla nombre científico (*Allium cepa*) variedad amarilla o Vidalia, potencial de predicción de $R^2 = 0.9848$, ecuación exponencial de $y = 83.826e^{-0.284x}$ papa sin cáscara (*Solanum tuberosum*), potencial de predicción $R^2 = 0.9865$, ecuación exponencial $y = 100.86e^{-0.293x}$, mango verde tierno (*Mangifera indica*), $R^2 = 0.9734$, ecuación exponencial $y = 86.129e^{-0.237x}$, Fresa (*Fragaria* × *ananassa*), $R^2 = 0.9785$, con ecuación exponencial $y = 80.705e^{-0.329x}$, papa con cáscara (*Solanum tuberosum*), $R^2 = 0.9616$, ecuación exponencial $y = 114.49e^{-0.176x}$, Tomate (*Solanum lycopersicum*), variedad Cherokee, $R^2 = 0.964$, ecuación exponencial $y = 74.638e^{-0.327x}$, Zanahoria con cáscara (*Daucus carota*), $R^2 = 0.9621$, ecuación exponencial $y = 65.385e^{-0.267x}$, Chile (*Capsicum annum*), variedad Jalapeño, $R^2 = 0.9674$, con ecuación exponencial de $y = 73.259e^{-0.313x}$, Piña con cáscara (*Ananas comosus*), variedad azucarón, $R^2 = 0.9548$, con ecuación exponencial $y = 108.12e^{-0.225x}$, Melón con cáscara (*Cucumis melo*), variedad cantalupo, R^2

= 0.9548; con ecuación exponencial $y = 108.12e^{-0.225x}$. Las demás materias primas estudiadas están por debajo del intervalo de aceptación < 95%, por razón de error estadístico lo recomendable es hacer mucha más investigación, aumentar el número de repeticiones para tener un nivel de confianza superior al 95%, para que sea más eficiente la predicción de las ecuaciones exponenciales estimadas en cada una de las muestras estudiadas.

Mediante el análisis térmico de los alimentos se concluyó, con el cálculo del calor específico y la conductividad térmica se observó que existe una relación directa en el contenido de agua de la materia prima de los productos hortofrutícolas evaluados, pero no existe ninguna relación con el porcentaje de materia seca de estos mismos; así que los datos obtenidos en este trabajo representan un aporte a las propiedades térmicas de alimentos, mismos que pueden ser utilizados para el diseño, balances de energía, costos de energía, en la transformación de estas materias primas agrícolas y frutihortícolas.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA CRediT

Este trabajo se llevó a cabo en colaboración entre todos los autores, Juan Alexander Torres Mejía (JATM) y Fredy Torres Mejía (FTM), diseñaron el estudio, y escribieron el protocolo, elaboraron el muestreo, toma de datos de muestras de laboratorio, con el apoyo de los estudiantes de la carrera de ingeniería agroindustrial, mediante la coordinación del espacio académico de tecnología de alimentos, se desarrolló el protocolo de laboratorio en el manejo de las muestras en el horno para eliminar el contenido de humedad.

Los autores realizaron los análisis estadísticos, ambos autores elaboraron el análisis y discusión del trabajo, gestionaron las búsquedas bibliográficas, leyeron y aprobaron el manuscrito final. Así mismo la responsabilidad de gestión y coordinación de la planificación y ejecución de la actividad de investigación, fueron coordinados por ambos autores.

DECLARACIÓN DE INTERESES CONTRAPUESTOS

Los autores declaran que no tienen intereses financieros en conflicto ni relaciones personales conocidas que pudieran haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

Se notifica que este estudio no recibió ninguna subvención específica de ninguna agencia de financiación del sector público, comercial o sin fines de lucro, fue ejecutado con fondo de los investigadores autores del presente trabajo de investigación.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos generados y/o analizados durante el estudio actual están disponibles de los autores correspondiente a solicitud razonable, al correo juan.torres@unah.edu.hn.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo a los estudiantes del espacio académico de Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Centro Universitario Regional de Occidente, campus Copán, estudiantes de la carrera de ingeniería agroindustrial, durante varios trimestres como prácticas de laboratorio, se validaron los resultados obtenidos en el presente estudio, elaborados en la Planta de Innovación Agroalimentaria (PIA)

REFERENCIAS

- Alvis, A. C. (2012). Determinación de Propiedades Termofísicas de Alimentos en Función de la Concentración y la Temperatura empleando un Programa Computacional. *Información tecnológica*(23), 111-116.
- Alvis, A. I. (2009). Determinación del coeficiente de transferencia de calor a través de una aplicación de computadoras. *Información Tecnológica*, 21(13-20).
- Alzamora, S. M., Guerrero, S. N., Nieto, A. B., & Vidales, S. L. (2004). *Conservación de frutas y hortalizas, mediante técnicas combinadas*. FAO , Organización de las Naciones Unidas, para la agricultura y la alimentación . Roma: Danilo J. Mejía L. (Ph.D), Oficial, AGST.
- Armando, G. A., & Arrázola Guillermo, A. (2015). Efecto del Recubrimiento Comestible en las Propiedades de Trozos de Batata (*Ipomoea Batatas Lam*) Fritos por Inmersión Parte 2: Propiedades Termofísicas y de Transporte. *Información tecnológica*, 26(1), 103-116.
- Astudillo, C. E., Fonseca, & Rodríguez, P. E. (2009). *Protocolo para la determinación de materia seca de frutos de aguacate (Persea americana Mill. cv. Hass) con horno microondas*. AGROSAVIA, Corporación Colombiana de Investigación. vía a Las Palmas, vereda Llano Grande, Antioquia, Colombia: Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia.
- Escobar, J. V., Rodríguez, P., Cortes, M., & Correa, G. (2019). Influencia de la Materia Seca como Índice de Madurez de Cosecha y Tiempo de Almacenamiento en Frío sobre la Calidad del Aguacate cv. Hass Producido en la Región del Trópico Alto. *Información tecnológica*, 30(3).
- Fernández, N. (7 de Marzo de 2019). *Honduras se alimenta (Mango Verde)*. HONDURASSEALIMENTA:
- García, J. A., Figueroa, J. D., González, J. A., Toivonen, Albert, P. M., García, S. S., & Goenaga., R. (noviembre de 2018). Uso de un espectrómetro portátil para determinar materia seca de manera no destructiva. *Centro de Investigación Regional Pacífico Centre de campo Experimental Santiago Xcuintla*.
- Guanajuato, U. d. (2022). *Procesamiento y conservación de alimentos por la refrigeración*. Universidad de Guanajuato, Contenidos didácticos de experiencias de aprendizaje . Nueva Zona UG: Carretera a Dolores Hidalgo, Guanajuato, km 2.5, San Javier, C.P. 36020. Guanajuato, Gto., México.: Recursos Educativos Abiertos.
- Mejía, J. A. (2011). Estudio del efecto de las Altas Presiones Hidrostáticas en la conservación de la fruta de Mango (*Mangifera indica*).
- Mejía, J. A., & Mejía, F. T. (2023). Características que influyen en la comercialización y consumo del vino de fruta, en el Occidente de Honduras. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7 (1), 10991-11011.
- Mejía, J. A., Romero, E. A., & Barahona., M. M. (18 de Mayo de 2018). Efecto bactericida del clavo de olor, canela y benzoato de sodio en la conservación del mango haden y melón. (U. Dirección de Investigación Científica y Posgrado, Ed.) *Revista Ciencia y Tecnología*, 152 -174.

Newsletter. (8 de Abril de 2023). *La Materia Seca como herramienta de medida de la madurez en la fruta*. Frutas y hortalizas frescas 5 al día.

Plinio, V. Z., & Arteaga-Solórzano, R. A.-G.-V. (2020). Estimación de propiedades termofísicas de un producto cárnico. *Tecnología Química*, 40(134-149). Retrieved 2023 de 05 de 01.

R Paul Singh, D. H. (2001). *Introducción a la Ingeniería de alimentos*. Zaragoza., España: Academic Press. Retrieved 30 de abril de 2023.

Reinosso Ortiz, C. S. (2006). Cálculo y manejo en pastoreo controlado, Pastoreo por horas. Determinación de la disponibilidad y crecimiento de la pastura. (Veterinaria, Ed.) *Dialnet*, Vol. 41, N° 161-162, págs. 25-30.

Southgate, H. G. (2006). *Datos de composición de alimentos*. (O. d. Alimentación., Ed.) Roma: B.A. Burlingame y U.R. Charrondiere.

Tirado, D. F., Montero, P. M., & Acevedo, D. (2015). Estudio Comparativo de Métodos Empleados para la Determinación de Humedad de Varias Matrices Alimentarias. *Información tecnológica*, 26(02), 03-10.

Waissbluth, R. &. (2007). Determinación del porcentaje mínimo de materia seca para autorizar la cosecha de paltas cv. Hass para ser exportadas. *Documento presentado en el VI Congreso Mundial del Aguacate*.