

**EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DEL *TENEBRIO*
MOLITOR COMO PRETAMIENTO PARA EL PROCESO DE SECADO POR
CONVECCIÓN.**

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DEL *TENEBRIO*
MOLITOR COMO PRETAMIENTO PARA EL PROCESO DE SECADO POR
CONVECCIÓN.”**

Realizado por:

MIGUEL GER HERRERA

Director del proyecto:

Dr. Jesús López Villada

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA

Quito, 16/02/2022

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Miguel Alfredo Ger Herrera, con cédula de identidad # 040191014-6 declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



FIRMA

040191014-6

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“EFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DEL *TENEBRIO*
MOLITOR COMO PRETAMIENTO PARA EL PROCESO DE SECADO POR
CONVECCIÓN”**

Realizado por:

Miguel Alfredo Ger Herrera

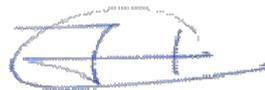
Como requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

Ha sido dirigido por el profesor

JESÚS LÓPEZ VILLADA

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor.



FIRMA

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los profesores informantes:

KATTY CORAL CARRILLO

ALBERTO AGUIRRE BRAVO

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador.



FIRMA



FIRMA

Quito, 16/02/2022

DEDICATORIA

A mi familia

AGRADECIMIENTO

A mi familia y amigos.

A las personas que fueron parte de mi formación educativa en la UISEK.

A mis compañeros

A mi tutor Jesús López Villada

16/02/2017 10:32:40

Para someter a:

To be submitted:

**EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DEL *TENEBRIO*
MOLITOR COMO PRETAMIENTO PARA EL PROCESO DE SECADO POR
CONVECCIÓN.**

Miguel Ger Herrera¹, Jesús López Villada^{1*}

¹Universidad Internacional SEK, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Quito,
Ecuador. 16/02/2017 10:32:40

*AUTOR DE CORRESPONDENCIA: Dr. Jesús López Villada, Universidad
Internacional SEK, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Teléfono: +593 968209573;
email: jesus.lopez@uisek.edu.ec

Título corto o Running title: Tenebrio Molitor, deshidratación osmótica y proceso de
secado.

CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	3
Introducción	5
Materiales y Métodos	11
Metodología fase campo.....	11
Configuración de la fase experimental.....	11
Secado posterior al pretratamiento de Deshidratación Osmótica	12
Metodología de Superficie de Respuesta y ANOVA en base al Modelo Lineal General	13
Análisis Estadístico del proceso de secado	14
Gasto energético	15
Figura 1..... VATÍMETRO PARA LA MEDICIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO.	
15	
Resultados y Discusión	16
Tabla 1..... Valores de respuesta del proceso de deshidratación Osmótica en Tenebrio Molitor	
18	
Tabla 2..... Análisis de regresión factorial ANOVA WL vs. Tiempo;Concentración;Temperatura	
19	
Figura 2..... Gráficas factoriales para WL	
19	

Figura 3..... Gráfica de contorno obtenidas de la regresión superficie respuesta WL g/100 g vs concentración de solución Osmótica y tiempo de proceso .	20
Figura 4..... Gráfica de contorno obtenidas de la regresión superficie respuesta WL g/100 g vs Temperatura de proceso y tiempo de proceso.	20
Figura 5..... Gráfica de contorno obtenidas de la regresión superficie respuesta WL g/100 g vs concentración de solución Osmótica y temperatura del proceso.	21
Tabla 3..... Prueba de Kruskal-Wallis humedad g/ 100 g vs tiempo para los insectos sin pretratamiento.	22
Tabla 4. Prueba de Kruskal-Wallis humedad g/ 100 g i.s vs tiempo para los insectos sometidos al pretratamiento de deshidratación osmótica.	23
Tabla 5..... Gasto energético del proceso de secado con pretratamiento de deshidratación osmótica vs secado en KW y \$/Kwh	25
Tabla 6..... Evaluación Económica de la deshidratación osmótica como pretratamiento del secado vs el secado por convección.	26
Conclusión:	27
Bibliografía	29
ANEXOS	35
Índice de tablas	4

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de respuesta del proceso de deshidratación Osmótica en Tenebrio Molitor	
18	
Tabla 2. Análisis de regresión factorial ANOVA WL vs. Tiempo;Concentración;Temperatura	
19	
Tabla 3.Prueba de Kruskal-Wallis humedad g/ 100 g vs tiempo para los insectos sin pretratamiento.	22
Tabla 4. Prueba de Kruskal-Wallis humedad g/ 100 g i.s vs tiempo para los insectos sometidos al pretratamiento de deshidratación osmótica.	23
Tabla 5. Gasto energético del proceso de secado con pretratamiento de deshidratación osmótica vs secado en KW y \$/Kwh	25
Tabla 6. Evaluación Económica de la deshidratación osmótica como pretratamiento del secado vs el secado por convección.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.....Watímetro para la medición del consumo eléctrico.	
15	
Figura 2..... Gráficas factoriales para WL	
19	
Figura 3..... Gráfica de contorno obtenidas de la regresión superficie respuesta WL g/100 g vs concentracion de solución Osmótica y tiempo de proceso	20

Figura 4..... Gráfica de contorno obtenidas de la regresión superficie respuesta WL g/100 g vs Temperatura de proceso y tiempo de proceso.....	20
Figura 5..... Gráfica de contorno obtenidas de la regresión superficie respuesta WL g/100 g vs concentracion de solución Osmótica y temperatura del proceso.	21

EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DEL TENEBRIO MOLITOR COMO PRETAMIENTO PARA EL PROCESO DE SECADO POR CONVECCIÓN.

RESUMEN

El mundo se encuentra en una situación crítica y la falta de alimento es una de las problemáticas que afecta a gran parte de la población mundial, para dar solución a esta incertidumbre se ha comenzado a estudiar a los insectos como una alternativa sostenible que permita remplazar las fuentes de proteína tradicional y se han llevado al mercado diversos productos como balanceados, harinas, snacks, pan, pasta, etc. En este estudio se analizó el proceso de deshidratación osmótica del *Tenebrio Molitor* como pretratamiento para el proceso de secado por convección, se utilizó soluciones ternarias que contienen sacarosa y NaCl, el proceso se realizó a diferentes temperaturas, tiempos y concentraciones de la solución osmótica con el objetivo de evaluar las condiciones favorables para una deshidratación osmótica efectiva. A la concentración de 45% de solución osmótica en el tiempo de 5h y la temperatura de 56 °C, se obtuvo los valores de WL más altos ($0,31 \pm 0,05$) (g/g i.s.). Esto indica que el medio osmótico es adecuado para producir deshidratación en los gusanos de la harina. Los valores de WL fueron únicamente influenciados de manera estadísticamente significativa por la temperatura, ya que la concentración y el tiempo no presentan valores significativos. Además, se midió el tiempo de secado en insectos que fueron previamente sometidos del pretratamiento osmótico y de insectos que no fueron deshidratados osmóticamente, los insectos sin pretratamiento osmótico tardan 20 minutos en alcanzar el punto óptimo de secado en horno de convección a 120 grados en contraste los insectos con pretratamiento osmótico tardan 10 minutos en alcanzar el punto óptimo de secado en horno de convección a 120 grado, por lo tanto el pretratamiento ahorra la mitad del tiempo de secado. También se realizó la evaluación económica del secado con pretratamiento y del secado sin pretratamiento osmótico. La deshidratación Osmótica como pretratamiento del proceso de secado consume 0,54 kW equivalente a 0,05 dólares y el costo

de la materia prima es de 1,20 dólares dando un total de 1,25 dólares, en contraste el proceso de secado sin pretratamiento osmótico consume 0,25 kW equivalente a 0,02 dólares. Por lo tanto, el pretratamiento osmótico incrementa en 1.23 dólares el costo del proceso de secado.

Palabras Clave: *Pretratamiento, Deshidratación osmótica, Tenebrio Molitor, Solución Binaria, Secado, Convección, Gasto energético.*

EFFECT OF THE OSMOTIC DEHYDRATION OF THE TENEBRIO MOLITOR AS A PRETATION FOR THE PROCESS OF DRYING BY CONVECTION.

ABSTRACT

The world is in a critical situation and the lack of food is one of the problems that affects a large part of the world population, to solve this uncertainty, insects have begun to be studied as a sustainable alternative that allows to replace traditional protein sources and various products have been brought to the market such as balanced meals, flours, snacks, bread, pasta, etc. In this study, the osmotic dehydration process of *Tenebrio Molitor* was analyzed as a pretreatment for the convection drying process, ternary solutions containing sucrose and NaCl were used, the process was carried out at different temperatures, times and concentrations of the osmotic solution with the objective of evaluating the favorable conditions for an effective osmotic dehydration. At the concentration of 45% osmotic solution in a time of 5h and a temperature of 56 °C, the highest WL values (0.31 ± 0.05) (g/g i.s.) were obtained. This indicates that the osmotic medium is adequate to produce dehydration in mealworms. The WL values were only influenced in a statistically significant way by temperature, since concentration and time do not present significant values. In addition, the drying time was measured in insects that were previously subjected to osmotic pretreatment and insects that were not osmotically dehydrated, insects without osmotic pretreatment take 20 minutes to reach the optimum point of drying in a convection oven at 120 degrees in contrast insects with osmotic pretreatment take 10 minutes to reach the optimum point of drying in a convection oven at 120 degrees, therefore pretreatment saves half the drying time. The economic evaluation of drying with pretreatment and drying without osmotic pretreatment was also carried out. Osmotic dehydration as pretreatment of the drying process consumes 0.54 kW equivalent to 0.05 dollars and the cost of the raw material is 1.20 dollars giving a total of 1.25 dollars, in contrast to the drying process

without pretreatment osmotic consumes 0.25 kW equivalent to 0.02 dollars. Therefore, the osmotic pretreatment increases the cost of the drying process by 1.23 dollars.

Keywords: *Pretreatment, Osmotic Dehydration, Tenebrio Molitor, Binary Solution, Drying, Convection, Energy Expenditure.*

INTRODUCCIÓN

Se estima que para el año 2050, la población mundial alcanzará los 9.800 millones (Worldometer, 2019) y la producción y el consumo agrícola aumentara un 60% (Alexandratos & Bruinsma). Los insectos criados en granjas tienen un alto contenido de ácidos grasos, minerales y proteínas (Rumpold B. , 2013), son aptos para el consumo animal y humano y son un producto sostenible que puede reemplazar las fuentes de proteína tradicionales y se pueden consumir en diferentes presentaciones, por lo que pueden ser una solución a la crisis alimentaria mundial. La producción de insectos precavata el bienestar del ambiente porque requieren menos espacio, necesitan menos agua y emiten una menor cantidad de gases de efecto invernadero en comparación con los productos cárnicos tradicionales (Oonincx DGAB, 2010). Además, los insectos son más eficientes que los pollos, cerdos y ganado en cuanto a la conversión de alimento en masa corporal (AC, 2003). La producción a gran escala de insectos está directamente relacionada con 5 de los desafíos ODS planteados por las Naciones Unidas, contribuye al ODS 2 (hambre cero), ODS 13 (Acción por el clima), ODS 12 (producción y consumo responsable), ODS 15 (vida de ecosistemas terrestres) , ODS 3 (salud y bienestar) (Dicke, 2018). Por estos beneficios se está prestando mucha atención al potencial de los insectos comestibles como materia prima para elaborar las diferentes dietas y contribuir a la seguridad alimentaria en el mundo, especialmente donde hay escasez de alimentos (FAO, 2013). Se puede usar a los insectos para enriquecer diversos productos de consumo familiar como por ejemplo: barras proteicas, galletas, pasta, bocadillos, hamburguesas, albóndigas (Reverberi, 2021), salchichas (Choi, y otros, 2017) pan (Andrea Roncolini, 2019) y otros productos de panadería (Ewelina Zielińska, 2020).

En países europeos y asiáticos, se utiliza al gusano de la harina o *Tenebrio Molitor* como materia prima para elaborar alimentos con alto contenido proteico con el objetivo de remplazar la carne del ganado tradicional (Yu-Ho Jeon 1, 2016). El *Tenebrio Molitor* o Gusano de la Harina es un insecto comestible que tiene un área de distribución cosmopolita, por lo que es un candidato prometedor para la producción a escala industrial (EFSA, 2015). La amplitud de las larvas de *Tenebrio Molitor* para ser un alimento altamente nutricional se ve reflejado en varias publicaciones de la FAO (FAO A. v., 2013) (P. Vantomme, 2012).

Entre los productos a base de insectos, uno que sobresale es la harina de *Tenebrio Molitor* ya que puede ser una excelente materia prima para enriquecer diferentes productos de consumo humano y animal. El *tenebrio Molitor* fresco tiene una alta actividad agua de hasta 0,99 y un contenido de humedad entre 59% y 68%, lo que los hace vulnerables a la reacción de Maillard, oxidación de lípidos, deterioro microbiano, reacciones enzimáticas y no enzimáticas (Bonazzi & Dumoulin, 2011). Es por esto que los productores de harina de insectos buscan nuevas tecnologías de secado como pretratamientos que permitan reducir costos de producción y conserve las características adecuadas para preservar los insectos durante periodos prolongados de tiempo, sin pérdida de nutrientes y calidad sensorial.

El proceso productivo para obtener harina de *Tenebrio Molitor* se puede resumir de la siguiente forma: crianza de insectos, obtención de larvas jóvenes, tamizaje de los insectos para eliminar restos de alimento y excremento, dejar en ayunas por 24 horas para vaciar sus intestinos, tamizar nuevamente, congelar a los insectos con el objetivo de sacrificarlos, sumergimiento de los insectos en agua hirviendo durante 3 minutos para reducir la carga microbiana y evitar las reacciones de ennegrecimiento, secar a los insectos con el objetivo de reducir un 70 % de humedad, prensado de insectos con el objetivo de recoger el líquido de prensa, secar la harina a 60° C por un día con el objetivo de alcanzar un 12% de humedad para

ser considerada harina. (Azzollini, Derossi, & Severini, 2016) (Siemianowska, Agnieszka, & Aljewicz, (2013)

Sumergir a los insectos en agua hirviendo durante algunos minutos es un procedimiento conocido como escaldado el cual tiene como objetivo la inactivación enzimática ya que el congelamiento y la deshidratación no son capaces por si solos de detener la acción de las enzimas que de otra forma producirían modificaciones en el color, aroma, componentes nutritivos como vitaminas, etc. (Casp & Abril, Procesos de conservación de alimentos, 2003)

El *Tenebrio Molitor* es un alimento que al igual que el resto debe someterse a procesos basados en la reducción del agua disponible, el problema es que la humedad facilita el desarrollo de microorganismos y esto hace que los alimentos sean más perecederos. Dependiendo de la cantidad de agua residual disponible y la forma de eliminar la disponibilidad de la misma tenemos diferentes tratamientos de conservación, por ejemplo, están los métodos físicos como deshidratación y evaporación que permiten obtener alimentos microbiológicamente estables como la leche en polvo y zumos concentrados respectivamente. También tenemos métodos químicos que involucran la adición de solutos como sacarosa y cloruro de sodio, los microorganismos poseen agua en su interior, por lo tanto, si se introducen en almíbar o salmuera el agua que contienen tiende a salir a través de su membrana, por un proceso conocido como ósmosis que tiene el objetivo de igualar la concentración en el interior y exterior de las células, este método provoca la deshidratación parcial de los alimentos y de los microorganismos obstaculizando así su proliferación, usando este método de conservación se puede producir frutas en almíbar, mermeladas, leche condensada y salazones. (Casp & Abril, Procesos de conservación de alimentos, 2003)

La deshidratación osmótica es una herramienta de conservación que se basa en sumergir una muestra (fruta, carne, legumbres) en una solución hipertónica; se puede utilizar soluciones

binarias o ternarias, al utilizar soluciones ternarias como NaCl- Sacarosa- agua se puede conseguir que el alimento sea más estable microbiológicamente debido a una actividad agua baja. Por eso se los llama alimentos de humedad intermedia, la Deshidratación osmótica es un pretratamiento para el secado en aire caliente o por convección, preparación de conservas, liofilizado, etc. Los alimentos deshidratados osmóticamente pueden ser almacenados al vacío y se conservarán perfectamente debido a que el desarrollo microbiológico está limitado por la baja aw, desde el punto de vista del consumidor estos alimentos tendrán mejores propiedades organolépticas, nutritivas y funcionales del producto. (PINCHE, 2004)

El fenómeno de la eliminación de agua conocido como deshidratación osmótica consiste en la pérdida de agua a través de una membrana, impulsada por un gradiente de concentración que va de una solución baja en solutos a una solución alta en solutos. (Tiwari, 2005) La deshidratación osmótica es una herramienta para la conservación de alimentos, ya que reduce la actividad agua de frutas, verduras y carnes además que es un método que permite obtener mejores características organolépticas como: sabor, color, aroma y componentes nutricionales. Desde el punto de vista de la calidad la deshidratación osmótica provee de estabilidad al producto, y previene de deterioro microbiano.

Las ventajas de la deshidratación osmótica se describirán a continuación: (Ponting, Watters, Forrey, Jackson, & Stanley, 1996) (ISLAM & FLINK, 1982)

- a. Es un proceso de eliminación de agua a baja temperatura y, por lo tanto, se produce una pérdida mínima de color y sabor.
- b. La retención del sabor es mayor cuando se usa azúcar o jarabe de azúcar como agente osmótico.

- c. Se evita el pardeamiento enzimático y oxidativo ya que los trozos de fruta o están rodeados de azúcar, lo que permite conservar un buen color con poco o ningún uso de dióxido de azufre.
- d. La eliminación del ácido y la absorción de azúcar por los trozos de fruta dan un producto más dulce que el producto secado convencionalmente.
- e. Elimina parcialmente el agua y, por lo tanto, reduce la carga de eliminación de agua en la secadora.
- f. El consumo de energía es mucho menor ya que no hay cambio de fase.
- g. Aumenta la densidad sólida debido a la absorción sólida y ayuda a obtener un producto de mejor calidad en la liofilización.
- h. Si se utiliza sal como agente osmótico, se permite un mayor contenido de humedad al final del secado, ya que la absorción de sal influye en el comportamiento de sorción de agua del producto.
- i. La calidad de textura del producto es mejor después de la reconstitución.
- j. La vida de almacenamiento del producto se mejora considerablemente.
- k. Se requieren equipos simples para el proceso.

Las desventajas son: (Ponting, Watters, Forrey, Jackson, & Stanley, 1996) (ISLAM & FLINK, 1982)

- a. La reducción del nivel de acidez reduce el sabor característico de algunos productos. Esto se puede superar agregando ácido de frutas en la solución.
- b. El recubrimiento de azúcar no es deseable en algunos productos y puede ser necesario un enjuague rápido con agua después del tratamiento.

c. En algunos productos deshidratados osmóticamente la actividad del agua se encuentra más alta.

d. Es un proceso que toma tiempo.

La transferencia de masa en la deshidratación osmótica de alimentos puede aumentar si se incrementan los parámetros tecnológicos de proceso como la temperatura, tiempo de sumergimiento, concentración de la solución osmótica, razón solución osmótica: alimento, área superficial del alimento y presión del sistema. Existe mucha información referente a la influencia de los parámetros del proceso sobre la deshidratación osmótica de frutas y vegetales. (BARAT & FITO, 1998) (BOLIN & HUXSOLL, 1983). Sin embargo, existen pocas publicaciones que evalúan estos factores de proceso en carnes (CORZO & BRACHO, 2003) (CORZO & BRACHO, 2005). Con respecto a insectos no hay estudios que evalúen estos aspectos.

La técnica de deshidratación osmótica es reconocida como un paso anterior al tratamiento de los procesos de secado de la carne, como el secado al aire, el microondas o la liofilización, para mejorar las propiedades nutricionales, sensoriales y funcionales de las carnes, reducir el daño por calor y minimizar sus cambios de color y sabor (Rastogi, Raghavarao, Niranjana, & Knorr, 2002). La combinación de secado al aire con deshidratación osmótica ha sido ampliamente estudiada y ha conducido a mejoras en la calidad del producto final y ahorro de energía (Omowaye, Rastogi, Angersbach, & Knorr, 2002). Al momento de elegir la solución osmótica más eficaz se toma en cuenta el costo del soluto, la compatibilidad organoléptica con el producto final, la conservación adicional de los solutos (TORTOIE, 2010)

Es por esto que en este estudio analizaremos el efecto de la deshidratación osmótica como pretratamiento del secado del *Tenebrio Molitor*, usando una solución ternaria de NaCl y

sacarosa, con el objetivo de analizar las mejores condiciones de tiempo de sumergimiento, concentración de solución osmótica y temperatura para obtener un menor contenido de agua en los insectos y reducir los tiempos y costos de energía en el proceso de secado, además esta técnica es usada ampliamente en la industria alimentaria y se ha comprobado su potencial en carnes y plantas, pero no en insectos.

MATERIALES Y MÉTODOS

METODOLOGÍA FASE CAMPO

Los insectos vivos fueron comprados en la empresa Wikiri Selva Viva ubicada en la parroquia San Rafael. Luego de la compra los insectos fueron tamizados para eliminar los residuos de alimento y se mantuvieron sin alimento durante 24 h para vaciar sus intestinos y se tamizaron nuevamente. Después las larvas fueron congeladas a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta realizar los experimentos. Se descongelaron aproximadamente 50 gramos de *Tenebrios* a 25°C hasta alcanzar los 5°C y se aplicó una etapa de escaldado con agua destilada hirviendo durante 3 minutos antes del proceso de secado para evitar las reacciones de ennegrecimiento. Las muestras blanqueadas fueron escurridas en un tamiz plástico por 2 minutos y se procedió a la fase experimental. (Azzollini, Derossi, & Severini, 2016)

CONFIGURACIÓN DE LA FASE EXPERIMENTAL

La solución osmótica se preparó usando Sacarosa y NaCl comercial en cantidades de 1200 y 350 g/Kg de agua destilada, respectivamente (Collignan, 2001). Se diluyó la solución osmótica en agua destilada hasta alcanzar las concentraciones de 45, 52,5 y 60 % p/p. La relación de muestra y solución osmótica fue de 1:5(p/p). Los experimentos se realizaron en el laboratorio a la temperatura de $32,44,56\text{ }^{\circ}\text{C}$ bajo presión atmosférica, en un horno de convección MEMMERT modelo SM200 (FILIPOVIC, CURCIC, FILIPOVIC, & NICETIN, 2016). Todos los experimentos se hicieron por duplicado. Las muestras de *Tenebrios* fueron agitadas cada 15 minutos y fueron deshidratadas en las mismas condiciones de

intensidad, duración y frecuencia a las diferentes temperaturas y concentraciones de solución osmótica. Luego de 1,3,5 h, las muestras se sacaron del horno de secado y se lavarón suavemente con agua destilada y se secaron levemente con papel secante para eliminar el exceso de agua adherido al insecto . Se usó la pesa analítica del laboratorio marca Thermo Scientific modelo SP 88857100 para tomar datos con respecto al peso de los *Tenebrios* antes y después de pretratamiento de Deshidratación Osmótica.

Para analizar el tratamiento de deshidratacion osmótica, se calculó el agua perdida WL a diferentes temperaturas, tiempos y concentración de soluciones Osmóticas, En la tabla 1 se muestra los valores medios y desviación estandar de los experimentos hechos por duplicado:

$$WL = \frac{m_i z_i - m_f z_f}{m_i} \left[\frac{g}{g \text{ initial sample (i.s)}} \right] \quad \text{Eq. (1)}$$

m_i y m_f son la masa inicial y final(g) de las muestras, Z_i y Z_f son la fracción de masa inicial y final de agua (g/gr de muestra) (FILIPOVIC, LEVIC, & URCIC, 2014)

SECADO POSTERIOR AL PRETRATAMIENTO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

Después de la Deshidratación Osmótica se escogió las muestras que presentaron un mayor porcentaje de agua eliminada y se procedio a realizar el secado en un horno por convección de marca MEMMERT modelo SM200 , a 120 °C durante 60 minutos en la etapa de ventilación 3, con el objetivo de analizar si hay una reducción del tiempo de secado con respecto a las muestras sin pretratamiento y por lo tanto una reducción del costo energético que conlleva realizar este proceso (Kröncke, Böschén, Woyzichovski, Demtröder, & Benning, 2018)

METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA Y ANOVA EN BASE AL MODELO LINEAL GENERAL

La metodología de superficie respuesta es una herramienta estadística que se usa ampliamente en la investigación para el mejoramiento de productos y procesos de la industria alimentaria, permite analizar la influencia de las variables o factores independientes sobre la variable respuesta o variable independiente, para esto previamente se hace un procedimiento experimental óptimo que permite generar los datos involucrados en el proceso. (Reyes, Corzo, & Bracho, 2008)

Se realizó un análisis de varianza desarrollado por Fisher en 1930 (ANOVA) también conocida como análisis Factorial para descubrir si los resultados de las variables son significativos y poder estimar el efecto que tiene la deshidratación osmótica en la transferencia de masa de las muestras sumergidas en la solución osmótica. El diseño estadístico usado en el análisis fue el desarrollado por (Box & BEHNKEN, 1960).

La deshidratación osmótica es un proceso alimentario que puede ser optimizado con la metodología de superficie de respuesta (RSM). (Azoubel & Murr). RSM es una técnica estadística usada en el análisis de procesos complejos. Fue desarrollada para estudiar la relación entre una respuesta y varios factores, su aplicación ha sido de gran importancia para estudiar procesos biológicos. (BOX & WILSON, 1951)

Las variables independientes fueron Temperatura (X_1) 32,44,56, tiempo Osmótico (X_2) de 1,3,5h y concentraciones de solución osmótica (X_3) de 45%,52,5% y 60%. La variable dependiente observada fue WL (Y_1). El modelo de superficie de respuesta se ajustó a los datos para localizar las condiciones óptimas de operación del proceso en función de las variables.

$$Y_k = f_k(\text{temperatura, tiempo, concentración}) + E$$

Eq.(2)

Además los datos se ajustaron al modelo lineal generalizado (MLG). El cual realiza analisis de regresión lineal y analisis de varianza y covarianza de muestras extraidas mediante metodos de muestreo complejo. (IBM, 2021). Con el objetivo de relacionar la variable dependiente (Y_1) con las tres variables independientes del proceso (X_i), más el error:

$$Y_i = \sum \beta_j X_{ij} + E_i = \beta_1 + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \dots + \beta_j X_{ji} e_i, i = 1, 2, \dots n$$

Eq.(3)

Donde Y es la variable endógena o dependiente representada como WL (Y_i); β es el vector de los coheficientes; las variables exógenas o independientes son: X_1 , temperatura del proceso; X_2 , tiempo del proceso; X_3 , concentración de la solución osmótica. (bookdown, s.f.)

Para cada una de las variables dependientes se obtubo un modelo en el cual los fatores fueron rechazados si los valores p son menores al nivel de significancia de 0.05.

También se evaluo el coeficiente de determinación R^2 y el error estandar. Mientras mayor sea el valor de R^2 , mejor se ajustara el modelo a los datos. El R^2 siempre está entre 0% y 100%.

Se usó el programa MiniTab 19 para windows, para realizar el análisis de la varianza (ANOVA) y regresión de superficie de respuesta (RSM) (Minitab, Minitab, 2019).

ANÁLISIS ESTADISTICO DEL PROCESO DE SECADO

Se utilizó la Prueba de Kruskal-Wallis para determinar si la medianas de la cantidad de agua perdida del grupo control (Insectos sin pretratamiento) y la mediana de la cantidad de agua perdida del grupo experimental (Insectos deshidratados Osmóticamente) difieren. El factor categorico de los datos es el tiempo, las respuestas son continuas y los datos de todos los grupos estan distribuidos de una forma similar (Minitab, Soporte de Minitab, 2019).

Para determinar el tiempo de secado en horno de convección a 120°C de las muestras previamente osmodeshidratadas, se escogio los 8 mejores resultados de la tabla 1 y se las

sometio al proceso de secado. Tambien se realizo el proceso de secado con larvas de Tenebrios sin pretratamiento para hacer la respectiva comparación del tiempo de proceso.

GASTO ENERGÉTICO

El gasto energético del proceso de secado con pretratamiento y sin pretratamiento de deshidratacion osmótica se midio usando un vatímetro. El cual es un instrumento de monitoreo y prueba que muestra la linea eléctrica, la cantidad total de energía y el precio total de energía que consume un electrodoméstico conectado. Posee las siguientes características: pantalla LCD, visualización de la potencia total y del precio, permite establecer el costo de la electricidad, soporta un voltaje de 120V ~ 50 Hz, soporta una carga máxima de 16 A, tiene una presión de medición de potencia de $(\pm) 2\%$ o $(\pm) 2\text{ W}$ (0-100 W); $(\pm) 2\%$ (100-3680 W), muestra la cantidad de energía con precisión de $(\pm) 2\%$, para la medición el rango de la cantidad de potencia acumulada de 0.00-9999.9 KWH. En la figura 1 se muestra la imagen del vatímetro utilizado en la experimentación.

Figura 1. Vatímetro para la medición del consumo eléctrico.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se muestra en la Tabla 1 los valores medios y las desviaciones estandar de WL (agua perdida) como respuesta del proceso de deshidratación osmótica del *Tenebrio Molitor*, la temperatura del proceso fue 32, 44 y 56 °C, el tiempo de 1, 3 y 5 horas y la concentración de la solución osmótica fue de 45%, 52,5% y 60 %. A la concentración de 45% de solución osmótica en el tiempo de 5h y la temperatura de 56 °C, se obtuvo los valores de WL más altos ($0,31 \pm 0,05$) (g/g i.s.). El insecto *Tenebrio Molitor* alcanzó valores cercanos a los registrados en la carpa *Cruciana Plateada* sometida al pretratamiento de deshidratación osmótica con una WL de $0,470 \pm 0,004$ g / g i.s (Lončar, 2015). La carne de pollo deshidratada Osmóticamente tiene una WL ($0,4791 \pm 0,0014$ g / g i.s) superior a los resultados obtenidos en los *tenebrios*. (FILIPOVIC, CURCIC, FILIPOVIC, & NICETIN, 2016). Mientras que la carne de cerdo tiene mejores resultados que el pollo y los insectos porque presenta valores de WL de $0,4950 \pm 0,0029$ g / g i.s. (FILIPOVIC V. , 2013)

En la tabla 2 se puede observar los resultados del análisis de la regresión factorial ANOVA en base los resultados proporcionados en la Tabla 1.

Según el método lineal general MLG descrito en la Eq. (2), para la predicción de la función (1), de los parámetros tecnológicos; temperatura del proceso, tiempo del proceso y concentración de la solución osmótica. Los valores de WL fueron únicamente influenciados de manera estadísticamente significativa por la temperatura, ya que la concentración y el tiempo no presentan valores significativos. La aplicación de la deshidratación osmótica en insectos es nueva por lo tanto vamos a comparar los resultados con los obtenidos en otros tipos de alimentos como carnes y frutas, Según Genara Reyes en su estudio de optimización de la deshidratación osmótica de sardina el factor que más influyó en la pérdida de agua (WL) fue la concentración de la solución osmótica y al igual que en este estudio el tiempo de sumergimiento no influyó en la WL (Reyes, Corzo, & Bracho, 2005). La pérdida de agua (WL) durante el proceso de

deshidratación osmótica de carne de pollo estuvo influenciada estadísticamente de manera significativa por los tres parámetros tecnológicos (FILIPOVIC, CURCIC, & FILIPOVIC, 2016)

De la misma forma las interacciones de las variables independientes temperatura-tiempo, temperatura-concentración, concentración-tiempo, no presentan una influencia estadísticamente significativa. La desviación estándar de agua perdida que pueden alcanzar los insectos al ser sometidos a la deshidratación osmótica en diferentes condiciones es de 0,0628061 g/ g i.s con respecto a su promedio. El coeficiente de determinación R- Cuad es 84,27 % lo que me indica que los datos experimentales se ajustan bien al modelo lineal general MLG con los valores experimentales obtenidos.

Tabla 1. Valores de respuesta del proceso de deshidratación Osmótica en Tenebrio Molitor

Numero de muestra	Temperatura °C	Tiempo (h)	Conc. (% dm)	WL(g/g i.s.)
1	32	1	45	0,04 ± 0,01
2	32	3	45	0,02 ± 0,00
3	32	5	45	0,02 ± 0,01
4	44	1	45	0,01 ± 0,00
5	44	3	45	0,06 ± 0,04
6	44	5	45	0,25 ± 0,09
7	56	1	45	0,05 ± 0,05
8	56	3	45	0,09 ± 0,16
9	56	5	45	0,31 ± 0,05
10	32	1	52,5	0,02 ± 0,01
11	32	3	52,5	*-0 ± 0,03
12	32	5	52,5	*-0 ± 0,03
13	44	1	52,5	0,2 ± 0,22
14	44	3	52,5	0,14 ± 0,1
15	44	5	52,5	0,04 ± 0,05
16	56	1	52,5	0,14 ± 0,04
17	56	3	52,5	0,22 ± 0,08
18	56	5	52,5	0,21 ± 0,21
19	32	1	60	0,02 ± 0,01
20	32	3	60	0,03 ± 0,01
21	32	5	60	0,03 ± 0,04
22	44	1	60	0,12 ± 0,11
23	44	3	60	0,15 ± 0,05
24	44	5	60	0,14 ± 0,15
25	56	1	60	0,13 ± 0,10
26	56	3	60	0,21 ± 0,24
27	56	5	60	0,14 ± 0,07

Tabla 2. Análisis de regresión factorial ANOVA WL vs. Tiempo;Concentración;Temperatura

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura °C	2	0,101936	0,050968	12,92	0,003
Conc. (% dm)	2	0,001083	0,000542	0,14	0,874
Temperatura °C*Tiempo (h)	4	0,013007	0,003252	0,82	0,545
Temperatura °C*Conc. (% dm)	4	0,004334	0,001084	0,27	0,886
Conc. (% dm)*Tiempo (h)	4	0,039993	0,009998	2,53	0,122
Tiempo (h)	2	0,008654	0,004327	1,10	0,379
Error	8	0,031557	0,003945		
Total	26	0,200564			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0628061	84,27%	48,86%	0,00%

Figura 2. Gráficas factoriales para WL

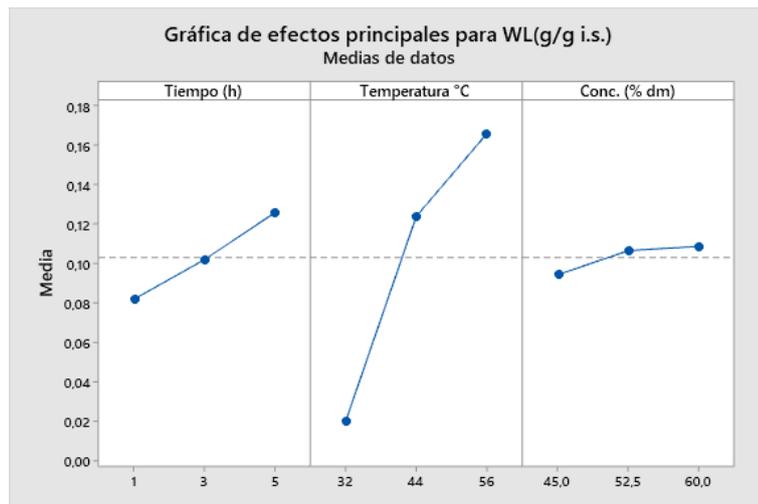


Figura 3. Gráfica de contorno obtenidas de la regresión superficie respuesta WL g/100 g vs concentración de solución Osmótica y tiempo de proceso .

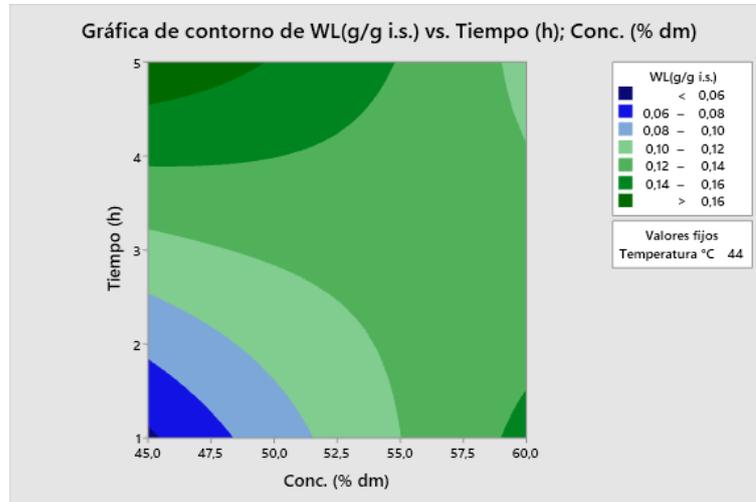


Figura 4. Gráfica de contorno obtenidas de la regresión superficie respuesta WL g/100 g vs Temperatura de proceso y tiempo de proceso.

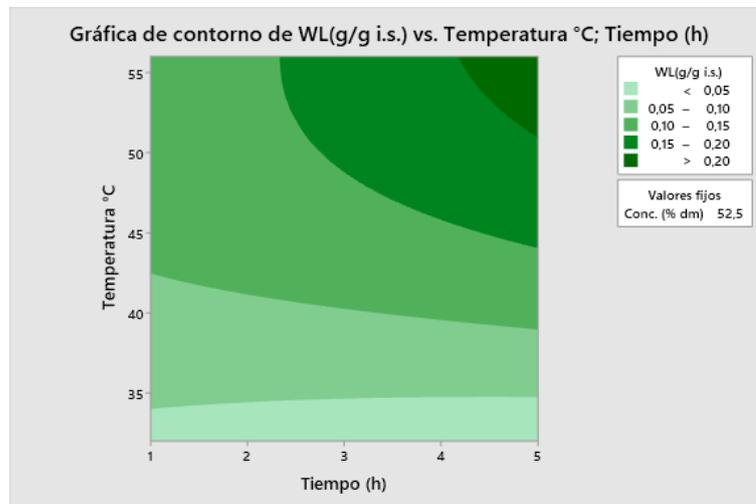
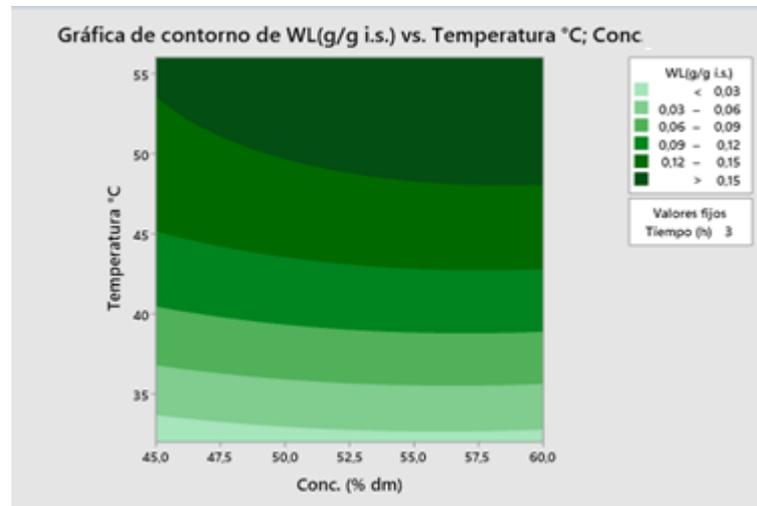


Figura 5. Gráfica de contorno obtenidas de la regresión superficie respuesta WL g/100 g vs concentración de solución Osmótica y temperatura del proceso.



En la figura 2 podemos observar las medias ajustadas para cada parámetro; tiempo de proceso, temperatura del proceso, concentración de la solución osmótica. Puesto que las líneas no son horizontales se puede concluir que la temperatura es el parámetro más relevante en el proceso de deshidratación osmótica.

En la figura 3 se observa la gráfica de contorno que interconecta los parámetros tecnológicos utilizados en la experimentación, se puede visualizar que a mayor cantidad de tiempo y una baja concentración de solución osmótica se puede conseguir unos mejores resultados en el proceso.

En la figura 4 se observa la gráfica de contorno que interconecta los parámetros tiempo y temperatura del proceso, mostrando que a mayor cantidad de tiempo y temperatura se consigue una mayor pérdida de agua (WL) en las muestras de insectos deshidratadas osmóticamente.

En la figura 5 se observa la interacción de los parámetros temperatura del proceso y concentración de la solución osmótica, mostrando que a mayor temperatura independiente del

aumento de concentración se consigue mejores resultados para la pérdida de agua en las muestras sometidas al proceso.

Tabla 3. Prueba de Kruskal-Wallis humedad g/ 100 g vs tiempo para los insectos sin pretratamiento.

Estadísticas descriptivas

Tiempo	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
0	2	60,8629	13,5	2,19
10	2	21,2684	11,5	1,46
20	2	4,9482	9,5	0,73
30	2	0,8382	7,5	0,00
40	2	0,3816	5,3	-0,82
50	2	0,2816	3,8	-1,37
60	2	0,1392	1,5	-2,19
General	14		7,5	

Prueba

Hipótesis nula H₀: Todas las medianas son iguales
 Hipótesis alterna H₁: Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	6	12,70	0,048
Ajustado para empates	6	12,73	0,048

Tabla 4. Prueba de Kruskal-Wallis humedad g/ 100 g i.s vs tiempo para los insectos sometidos al pretratamiento de deshidratación osmótica.

Prueba de Kruskal-Wallis: Humedad g/100g vs. Tiempo

Estadísticas descriptivas				
Tiempo	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
0	8	59,1379	60,5	4,55
DO	8	39,4496	52,5	3,25
10	8	2,1842	42,3	1,58
20	8	1,5112	34,2	0,27
30	8	0,9192	24,6	-1,28
40	8	0,7975	19,8	-2,06
50	8	0,4711	16,8	-2,56
60	8	0,2708	9,4	-3,76
General	64		32,5	

Prueba

Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales		
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente		
Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	7	52,79	0,000
Ajustado para empates	7	52,81	0,000

En la tabla número 3 se muestra la mediana de la humedad contenida en los insectos sin pretratamiento de deshidratación osmótica (*humedad g/ 100 g i.s*) vs el tiempo de secado (min), se puede observar que a los 20 minutos se alcanza un contenido de humedad óptimo de 4,94 *humedad g/ 100 g i.s*.

En la Tabla número 4 se muestra la mediana de la humedad contenida en los insectos previamente deshidratados osmóticamente (*humedad g/ 100 g i.s*) vs el tiempo de secado (min), se puede observar que a los 10 minutos se alcanza un contenido de humedad óptimo de 2,18 *humedad g/ 100 g i.s*.

Al comparar la tabla 3 con la tabla 4 se puede observar que los insectos al ser sometidos al pretratamiento de deshidratación osmótica, alcanzan el punto óptimo de humedad más rápido ahorrando 10 minutos del proceso. Para realizar este análisis se usó como referencia el contenido de humedad dispuesto por la Norma Técnica Ecuatoriana que determina que el contenido de humedad para harinas de todo uso tiene un máximo de 14,5 *humedad g/100 g i.s*.

(616, 2015). En contraste Diego Zuluaga en su estudio “Evaluación de las características físicas de mango deshidratado aplicando secado por aire caliente y deshidratación osmótica” obtuvo como resultado que el secado de mango sin pretratamiento a 70°C presenta una mayor velocidad de eliminación de agua. (Zuluaga & Cortes, 2010). En otro estudio se evaluó el secado de perejil aplicando técnicas de deshidratación osmótica como pretratamiento, se usó soluciones ternarias de sacarosa-NaCl-agua y se obtuvo como resultado que los procesos de secado con pretratamiento de osmodeshidratación son más lentos, debido a la formación de una capa de jarabe en la superficie de las muestras (García & Cortes, 2010). En otro estudio se analizó la velocidad de secado de filetes del pescado Gamitana previamente sometido a osmodeshidratación en diferentes concentraciones de solución binaria Agua- NaCl y se concluyó que a menor concentración de solución osmótica el proceso de secado se realiza con mayor velocidad. (PRENTICE, 2017). En otro trabajo se estudió la cinética en los procesos combinados de la deshidratación osmótica y secado de filetes de Pejerrey y se obtuvo como resultado que la deshidratación osmótica binaria agua-NaCl en altas concentraciones tiene un efecto negativo en la cinética de secado, ya que disminuye la velocidad de pérdida de agua debido a que el soluto absorbido durante la etapa de osmodeshidratación bloquea las capas de la superficie del producto, añadiendo una resistencia adicional al intercambio de masa (VIDALON, 2014). En otro estudio se analizó la influencia del pretratamiento osmótico en el secado por aire caliente de pera, se usó diferentes concentraciones de una solución binaria agua-sacarosa y se concluyó que el pretratamiento osmótico provoca una reducción del coeficiente de difusión de agua, por lo tanto el tiempo de secado aumento al aplicar este pretratamiento. (Keqing, 2004).

Tabla 5. Gasto energético del proceso de secado con pretratamiento de deshidratación osmótica vs secado en kW y \$/kWh

a 56 °C	DO en horno	Disolución de la solución osmótica en la plancha de Calentamiento por 45 min(kWh)	Secado en horno por 10 min (kWh)	Total kW
5h	0,2	0,13	0,21	0,54
3h	0,15	0,13	0,21	0,49
1h	0,09	0,13	0,21	0,43
a 44 °C				
5h	0,09	0,13	0,21	0,43
3h	0,07	0,13	0,21	0,41
1h	0,03	0,13	0,21	0,37
a 56 °C	\$/ kWh DO en Horno	\$/kWh Disolución de la solución osmótica en la plancha de Calentamiento por 45 min	\$/ kWh Secado en horno	Total \$/ kWh
5h	0,02	0,01	0,02	0,05
3h	0,01	0,01	0,02	0,04
1h	0	0,01	0,02	0,03
a 44° C				
5h	0	0,01	0,02	0,03
3h	0	0,01	0,02	0,03
1h	0	0,01	0,02	0,03
secado en horno sin DO	kW	\$/ kWh		
20 min	0,25	0,02		

En la tabla número 5 se muestra el consumo energético de la deshidratación osmótica del *tenebrio Molitor* más el consumo energético de la plancha de calentamiento al momento de diluir la solución osmótica y el secado en horno a 120°C en el momento del secado. El mejor de los procedimientos experimentales de Deshidratación Osmótica es a 56° C durante 5 h y su consumo energético es de 0,33 kW con un valor de 0,03 dólares más el consumo energético del proceso de secado en horno de convección a 120 °C de 0,21 kW con un costo de 0,02 dólares da un total de 0,54 kW equivalente a un precio de 0,05 dólares.

En contraste, el secado sin previa deshidratación osmótica tiene un gasto energético de 0,25 kW equivalente en precio a 0,02 dólares.

Desde el punto de vista energético sin tomar en cuenta la materia prima, la deshidratación osmótica como pretratamiento del secado del *Tenebrio Molitor* consume el doble de energía eléctrica y por lo tanto requiere el doble de inversión en comparación con el secado sin pretratamiento osmótico.

Tabla 6. Evaluación Económica de la deshidratación osmótica como pretratamiento del secado vs el secado por convección.

Deshidratación Osmótica como pretratamiento del secado		
Materia Prima	Cantidad	Costo (\$)
NaCl común	350 g	0,18
Sacarosa común	1200 g	1,02
Agua	1000 g	*****
Gasto energético	0,54 kW	0,05
Total		1,25

En la tabla número 6 se muestra evaluación económica de la deshidratación osmótica como pretratamiento del secado por convección del *Tenebrio Molitor* da como resultado un gasto total de 1,25 dólares, este gasto incluye el costo de la materia prima más el gasto energético de los equipos que intervienen en el proceso. En contraste, el secado sin previa deshidratación osmótica tiene un gasto energético de 0,25 kW equivalente en precio a 0,02 dólares.

El pretratamiento incrementa en 1,23 dólares el proceso de secado. Este es un fuerte gasto que hace al producto menos rentable económicamente.

El procedimiento indica que las muestras deben estar sumergidas en razón de 1:5 en la solución osmótica, por lo tanto, este gasto permite sumergir 510 muestras de 1 gramo de *Tenebrio Molitor* en la solución osmótica de 2350 gramos, para después someterlas al proceso de secado por convección.

CONCLUSIONES:

Este análisis permitió modelar la pérdida de agua (WL) que ocurre durante la deshidratación osmótica del *Tenebrio Molitor* y optimizar dichas respuestas mediante RSM, además se estudió las ventajas y desventajas en base al tiempo de proceso y el costo energético de usar la deshidratación osmótica como pretratamiento del proceso de secado del *Tenebrio Molitor*.

A la concentración de 45% de solución osmótica en el tiempo de 5h y la temperatura de 56 °C, se obtuvo los valores de WL más altos ($0,31 \pm 0,05$) (g/g i.s.). Esto indica que el medio osmótico es adecuado para ocasionar deshidratación en los gusanos de la harina.

Los valores de WL fueron únicamente influenciados de manera estadísticamente significativa por la temperatura, ya que la concentración y el tiempo no presentan valores significativos. Por lo tanto, se recomienda variar los parámetros tecnológicos por ejemplo se podría cambiar los tiempos y temperaturas del proceso, además de buscar nuevos agentes osmóticos que permitan obtener mejores resultados de agua perdida en los insectos.

Los insectos sin pretratamiento osmótico tardan 20 minutos en alcanzar el punto óptimo de secado en horno de convección a 120 grados en contraste los insectos con pretratamiento osmótico tardan 10 minutos en alcanzar el punto óptimo de secado en horno de convección a 120 grados.

La deshidratación Osmótica como pretratamiento del proceso de secado tiene un costo de 1,25 dólares, y el proceso de secado sin pretratamiento osmótico consume 0,25 kW equivalente a 0,02 dólares. Por lo tanto, el pretratamiento incrementa en 1.23 dólares el costo del proceso de secado.

El modelo lineal general es una herramienta eficaz para investigar la relación entre la variable respuesta agua perdida WL y los factores solución osmótica, tiempo de inmersión, temperatura.

El método de superficie respuesta permite modelar los efectos de los factores o variables independientes concentración de la solución osmótica, tiempo de inmersión, temperatura, sobre la pérdida de agua que en este caso es la variable respuesta o dependiente. El modelo gráfico permite observar de manera clara la relación combinada de las variables independientes frente a la variable respuesta.

BIBLIOGRAFÍA

AC, C. (2003). Dietas de insectos: ciencia y tecnología. *CRC Press*.

Alexandratos, N., & Bruinsma, J. (s.f.). La agricultura mundial hacia 2030/2050: la revisión de 2012. *ageconsearch*, <https://ageconsearch.umn.edu/record/288998/>.

Andrea Roncolini, F. a.-o.-r. (2019). Protein fortification with mealworm (*Tenebrio molitor* L.) powder: Effect on textural, microbiological, nutritional and sensory features of bread. *PLoS One*. doi:10.1371/journal.pone.0211747

Azoubel, P., & Murr, F. (s.f.).

Azzollini, D., Derossi, A., & Severini, C. (2016). Understanding the drying kinetic and hygroscopic behaviour of larvae of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) and the effects on their quality. *Wageningen Academic Publishers*. doi:<https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0001>

BARAT, J., & FITO, P. (1998). Deshidratación Osmótica de Alimentos. *Universidad Politécnica de Valencia*, 73.

BOLIN, H., & HUXSOLL, C. (1983). Effects of osmotic agents and concentration on fruit quality. *J. Food*, 48: 202-204.

Bonazzi, & Dumoulin, E. (2011). Quality changes in food materials as influenced by drying processes. Chapter 1, 1-20.

bookdown. (s.f.). *bookdown*. Obtenido de <https://bookdown.org/content/2274/modelo-lineal-general.html>

Box, & BEHNKEN. (1960). Some New Three Level Designs for the Study of. *University of Wisconsin and the American Cyanamid Company*, 455–475.

BOX, & WILSON. (1951). On the experimental attainment of optimum conditions. *Royal Statist. Soc.*

Casp, A., & Abril, J. (2003). Procesos de conservación de alimentos. *Tecnología de alimentos*, 86. Obtenido de <https://campus.fi.uba.ar/mod/resource/view.php?id=132715>

Casp, A., & Abril, J. (2003). Procesos de conservación de alimentos. *Tecnología de alimentos*, 186. Obtenido de <https://campus.fi.uba.ar/mod/resource/view.php?id=132715>

Choi, Y., Kim, T., Choi, H., JD, P., Sung, J., Jeon, K., . . . YB, K. (2017). Optimization of Replacing Pork Meat with Yellow Worm (*Tenebrio molitor* L.) for Frankfurters. *Korean J Food Sci Anim Resour.* doi:doi: 10.5851/kosfa.2017.37.5.617. Epub 2017 Oct 31.

ChristinaHartmann, M. (2015). Becoming an insectivore: Results of an experiment. *Department Health Science and Technology, Consumer Behavior.*
doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.03.003>

COLLIGNAN, & al., e. (2001). Osmotic treatment of fish and meat products. *Food Eng*, 49, 153–162.

Collignan, A. B. (2001). Osmotic treatment of fish and meat products. *Journal of Food Engineering.* doi:[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00215-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00215-6)

CORZO, O., & BRACHO, N. (2003). Effects of brine concentration and temperature on equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of sardine sheets. *Lebensm.Wiss. u Technol*, 475-479.

CORZO, O., & BRACHO, N. (2005). Osmotic dehydration kinetics of sardine sheets using Zugarramurdi and Lupin model. *J. Food Eng*, 51-56.

Dicke, M. (2018). Insects as feed and the Sustainable Development Goals. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2018; 4(3): 147-156. Obtenido de https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=VpMIC1YAAAAJ&cstart=200&pagesize=100&citation_for_view=VpMIC1YAAAAJ:pcWPcJyQGiUC

- Duda, A., Adamczak, J., Chełmińska, P., Juszkiewicz, J., & Kowalczewski, P. (2019). Calidad y propiedades nutricionales / de textura de la pasta de trigo duro enriquecida con polvo de grillo. *Alimentos*.
- EFSA. (2015). Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA*.
- Ewelina Zielińska, U. P. (2020). Nutritional, Physiochemical, and Antioxidative Characteristics of Shortcake Biscuits Enriched with *Tenebrio molitor* Flour. *Molecules*. doi:10.3390/molecules25235629
- FAO. (2013). Edible insects. Future prospects for food and feed security. FAO Forestry. , *FAO*, 201. Obtenido de t <http://www.fao.org/3/i3253e/i3253e.pdf>
- FAO, A. v. (2013). Los insectos comestibles: las perspectivas de futuro para la seguridad de los alimentos y piensos. *Alimentación y la Agricultura Organización de las Naciones Unidas*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/i3264s/i3264s00.pdf>
- FILIPOVIC, I., CURCIC, B. C., FILIPOVIC, V., & NICETIN, M. N. (2016). THE EFFECTS OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON CHICKEN. *Journal of Food Processing and Preservation* ISSN 1745-4549, 2-3.
- FILIPOVIC, LEVIC, & URCIC, N. P. (2014). Optimisation of mass transfer kinetics during osmotic dehydration of pork meat cubes in complex osmotic solution. *Ind. Chem. Eng*, 305_314.
- FILIPOVIC, V. (2013). The effect of the osmotic dehydration process on mass transfer and pork meat quality. *Faculty of Technology, University of Novi Sad, Serbia*.
- Gonçalves, & Oliveira, D. (2016). Melanosis in. *Food Science and Technology*, 26: 105-115.

IBM. (2021). *www.ibm.com*. Obtenido de <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/28.0.0?topic=samples-complex-general-linear-model>:
<https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/28.0.0?topic=samples-complex-general-linear-model>

INEN. (2006). *Harina de trigo requisitos*. Quito.

ISLAM, & FLINK. (1982). II. Osmotic concentration and its effect on air drying behaviour. *Institute of Food Science and Technology*. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1982.tb00194.x>

Kröncke, N., Bösch, V., Woyzichovski, a., Demtröder, S., & Benning, R. (2018). Comparison of suitable drying processes for mealworms. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*.

Lončar, B. (2015). Hemometrijski pristup analizi osmotske. *UNIVERZITET U NOVOM SADU*.

Minitab. (2019). *Minitab*. Obtenido de <https://www.minitab.com/es-mx/products/minitab/free-trial/>

Minitab. (2019). *Soporte de Minitab*. Obtenido de Minitab 19: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/19/help-and-how-to/statistics/nonparametrics/how-to/kruskal-wallis-test/before-you-start/overview/>

Omowaye, A., Rastogi, N. K., Angersbach, & Knorr, D. (. (2002). Osmotic dehydration of bell peppers: Influence of high intensity electric field pulses and elevated temperature treatment. *Journal of Food Engineering*, 54, 35-43. .

Oonincx DGAB, v. I. (2010). Una exploración sobre la producción de gas de efecto invernadero y amoníaco por especies de insectos aptas para el consumo animal o humano. *Plos one*, 5-12.

Oonincx, D., & de Boer, I. (2012). Environmental impact of the production of mealworms as a protein source. *PLoS ONE*.

P. Vantomme, E. M. (2012). Expert consultation meeting: assessing the potential of insects as food and feed in assuring food security. *FAO*.

Pier Paolo Miglietta, F. D. (2015). Mealworms for food: A water footprint perspective. *Water*.

PINCHE, M. I. (2004). Comportamiento del Músculo de Camarón Gigante (*Macrobrachium rosenbergil*) Durante la Deshidratación Osmótica Utilizando Soluciones Mixtas de NaCl y Sacarosa. *UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN*.
doi:<https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/78/21%272%2700145.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ponting, Watters, Forrey, Jackson, & Stanley. (1996). Deshidratación osmótica de frutos. *Tecnología de los alimentos*.

Rastogi, N., Raghavarao, K., Niranjana, K., & Knorr, D. (2002). Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science & Technology*, 48-59. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224402000328>

Reverberi, M. (2021). The new packaged food products containing insects as an ingredient. *Journal of Insects as Food and Feed*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Massimo-Reverberi/publication/349561219_The_new_packaged_food_products_containing_insects_as_an_ingredient/links/603c9eada6fdcc37a85d6c73/The-new-packaged-food-products-containing-insects-as-an-ingredient.pdf

Reyes, G., Corzo, O., & Bracho, N. (2005). OPTIMIZACIÓN DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE SARDINA MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIES DE RESPUESTA. *FCV-LUZ*, 6. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/959/95915412.pdf>

Rumpold, & Schlüter. (2013). Nutritional composition and safety aspects of. *Molecular Nutrition & Food Research*.

Rumpold, B. (2013). Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 1–11.

Schlüter, B. A. (2013). Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *ELSEVIER*, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466856412001452>.

Siemianowska, E., Agnieszka, K., & Aljewicz, M. ((2013). Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. *Agricultural Sciences*, 288. doi:<http://dx.doi.org/10.4236/as.2013.46041>

Stefania Balzan, L. F. (2016). Edible insects and young adults in a north-east Italian city an exploratory study. *British Food Journal*. doi:<https://doi.org/10.1108/BFJ-04-2015-0156>

Tiwari. (2005). Aplicación de la deshidratación por osmo-aire para el procesamiento de frutas tropicales en zonas rurales. *Indian Food*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/292170306_Application_of_osmo-air_dehydration_for_processing_of_tropical_fruits_in_rural_areas

TORTOE, C. (2010). A review of osmodehydration for food. *Afr. J. Food Sci*, 303–324.

Worldometer. (2019). *Worldometer*. Obtenido de Worldometer: <https://www.worldometers.info/world-population/>

Yu-Ho Jeon 1, Y.-J. S.-H.-Y.-J.-K. (2016). Physicochemical properties and oxidative stabilities of mealworm (*Tenebrio molitor*) oils under different roasting conditions. *Food Sci Biotechnol.* doi:10.1007/s10068-016-0015-9

ANEXOS

Anexo A

Fotografía de los insectos *Tenebrio Molitor* antes de la experimentación.



Anexo B

Fotografía de los insectos después de ser tamizados y el agua de la solución osmótica calentándose para posteriormente agregar sacarosa y el NaCl.



ANEXO C

Solución Osmótica de sacarosa y NaCl



ANEXO D

Medición del peso de los insectos antes de ser sometidos al pretratamiento de la deshidratación osmótica.



Anexo E

Larvas de insectos antes de entrar al horno para ser deshidratados en diferentes condiciones de temperatura, tiempo y concentración de la solución osmótica.



ANEXO F

Los insectos sumergidos en la solución osmótica deshidratándose en el horno a 32, 44 Y 56 grados centígrados durante los diferentes tiempos de experimentación.



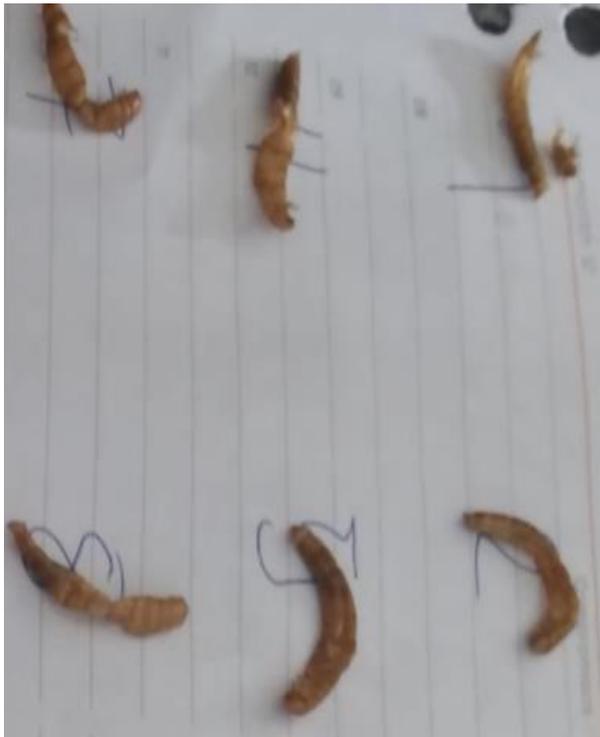
ANEXO G

Muestras con insectos sumergidos en diferentes concentraciones de solución osmótica previo ingreso al horno.



ANEXO H

Insectos luego de la deshidratación osmótica.



ANEXO I

Vatímetro midiendo el consumo eléctrico del Horno de convección MEMMERT a 56 °C en diferentes condiciones de tiempo.

