



**EVALUACIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS DE CALIDAD EN MUESTRAS DE
MANGO VERDE (*Manguífera indica* L.) DESHIDRATADO OSMOTICAMENTE**

María Fernanda Pérez García

Clelia Andrea Satizábal Bermúdez

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

SANTIAGO DE CALI

2012

**EVALUACIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS DE CALIDAD EN MUESTRAS DE
MANGO VERDE (*Manguífera indica L.*) DESHIDRATADO OSMOTICAMENTE**

María Fernanda Pérez García

Clelia Andrea Satizábal Bermúdez

**Trabajo de grado para optar el título de
INGENIERA DE ALIMENTOS**

Director

ALFREDO ADOLFO AYALA APONTE

Ingeniero Agrícola, Ph.D

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

SANTIAGO DE CALI

2012

A Dios, por darnos la fortaleza de superación personal, la voluntad y el deseo de triunfar profesionalmente. A nuestros padres y demás seres queridos por su apoyo incondicional para formarnos como profesionales y personas de bien. A los profesores que contribuyeron a una formación integral, a nuestros amigos por su colaboración y compañerismo.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros agradecimientos a:

Profesor Alfredo Ayala, Director de tesis, por su orientación y colaboración.

Estudiante de maestría Andrea Molina Cortés por su aceptación en la participación de la primera parte del trabajo investigativo de su tesis para optar al título de Master en ingeniería de alimentos.

Rigo Alberto Magon, Laboratorista, por su disposición, colaboración y confianza durante el uso de los laboratorios, disponibilidad de tiempo y motivación.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABLAS	IX
LISTA DE ANEXOS	X
RESUMEN EJECUTIVO	XI
NOMENCLATURA	XI
INTRODUCCIÓN	4
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	6
2. JUSTIFICACIÓN	6
3. OBJETIVOS	7
3.1 OBJETIVO GENERAL	7
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
4. MARCO TEORICO	7
4.1 Generalidades	7
4.1.1 Mango variedad filipino.....	8
4.1.2 Producción y consumo mundial de mango	9
4.1.3 Producción y consumo de mango en Colombia.....	10
4.2 Deshidratación osmótica	11
4.2.1 Agentes osmóticos	12
4.2.2 Ventajas de la deshidratación osmótica	13
4.2.3 Desventajas de la deshidratación osmótica.....	13
4.3 Propiedades fisicoquímicas	14
4.3.1 Contenido de humedad	14
4.3.2 Peso.....	15
4.3.3 Coeficiente de difusividad (D_e).....	15
4.3.4 Color	15
5. ANTECEDENTES	15
6. MATERIALES Y METODOS	17
6.1 Materiales	17
6.1.1 Preparación de las muestras	17

6.1.2	Solución osmótica (SO)	17
6.2	MÉTODOS	18
6.2.1	Deshidratación osmótica	18
6.2.2	METODOS ANALÍTICOS	19
6.2.3	Método teórico de las cinéticas de deshidratación	21
6.2.4	Índice de efectividad (IE)	22
6.2.5	Actividad de agua (aw)	22
6.2.6	Coeficiente de difusión	22
6.3	DISEÑO EXPERIMENTAL	24
7.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	25
7.1	CONTENIDO DE HUMEDAD (CH) Y GRADOS BRUX (°BRUX) DURANTE LA DO.....	25
7.2	CINÉTICAS DE PÉRDIDA DE AGUA, PÉRDIDA DE PESO Y GANANCIA DE SÓLIDOS SOLUBLES	28
7.2.1	Análisis de la varianza (ANOVA) para la pérdida de agua (ΔM_w)	30
7.2.2	Análisis de la varianza para la ganancia de sólidos solubles (ΔM_s)	31
7.2.3	Análisis de la varianza (ANOVA) para la pérdida de peso (ΔM)	33
7.3	BALANCE DE MATERIA.....	34
7.4	DIFUSIVIDAD EFECTIVA	35
7.5	CAMBIO DE VOLUMEN	36
7.5.1	Análisis de varianza para el cambio de volumen (ΔV).....	37
7.6	ANÁLISIS DEL CAMBIO TOTAL DE COLOR (ΔE)	39
7.6.1	Análisis de la varianza (ANOVA) para el cambio de color (ΔE)	40
CONCLUSIONES	41
REFERENCIAS	42
ANEXO	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Contenido nutricional por 100 g de parte comestible del mango	8
Tabla 2. Nomenclatura de los tratamientos osmóticos.....	18
Tabla 3. Diseño experimental del proceso de DO.....	24
Tabla 4. Datos de difusividad efectiva para el agua.....	35
Tabla 5. Datos de difusividad efectiva para los sólidos.....	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mango Verde	7
Figura 2. Preparación de las muestras. (a) Mango sin cáscara; (b) Muestras de mango en forma de cilindro; (c) Identificación de muestras	17
Figura 3. Representación del montaje experimental	18
Figura 4. Imagen colorímetro Hunter- Lab color Flex	20
Figura 5. Imagen calibrador pie de rey digital net metler	21
Figura 6. Curva de contenido de humedad para los tratamientos osmóticos de sacarosa combinada con sal.....	25
Figura 7. Curva de contenido de humedad para los tratamientos osmóticos con NaCl ...	26
Figura 8. Curva de incremento de sólidos solubles en los tratamientos osmóticos ternarios	26
Figura 9. Curva de ganancia de sólidos solubles en los tratamientos osmóticos de sal sin adición de sacarosa.	27
Figura 10. Cinéticas de la pérdida de agua y ganancia de sólidos de los tratamientos con soluciones ternarias	28
Figura 11. Comportamiento de los índices de calidad (IE) de los tratamientos ternarios.	29
Figura 12. Efectos principales para la variación de la pérdida de agua	30
Figura 13. Interacción sal-tiempo de DO para la variación de la pérdida de agua	31
Figura 14. Efectos principales para la variación en la ganancia de sólidos	32
Figura 15. Interacción sal-tiempo de DO para la variación en la ganancia de sólidos	32

Figura 16. Efectos principales para la variación de la pérdida de peso	33
Figura 17. Interacción sal-tiempo de DO para la variación de la pérdida de peso	34
Figura 18. Comportamiento del balance de masa en los tratamientos ternarios.....	34
Figura 19. Variación del volumen de los diferentes tratamientos osmóticos	37
Figura 20. Reducción de volumen de las muestras después del tratamiento osmótico. (a) Diferencias entre la muestra fresca y DO hasta 300 minutos; (b) Cambio de volumen durante el proceso de DO	37
Figura 21. Efectos principales para el cambio de volumen.....	38
Figura 22. Interacción sal-tiempo de DO para el cambio de volumen.....	38
Figura 23. Variación del cambio de color total (ΔE) durante el proceso de DO con soluciones ternarias.....	39
Figura 24. Efectos principales para el cambio de color total (ΔE).....	40
Figura 25. Interacción para el cambio de color total (ΔE)	40

LISTA DE ANEXO

Anexo 1. Gráficas de coeficientes de difusividad. Herramientas estadísticas de resultados de ANOVA para variables de respuesta: Contenido de humedad (C.H.), variación de peso (ΔM), variación de pérdida de agua (ΔM_w), sólidos solubles (ΔM_s), parámetros de color (ΔE) y cambios de volumen.....	58
--	-----------

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estudiar la influencia de pretratamientos osmóticos sobre las cinéticas de deshidratación y algunas propiedades fisicoquímicas de mango (*Mangúífera índica L.*) en estado de madurez verde.

Los tratamientos osmóticos se llevaron a cabo en una solución de sacarosa a 40 °Brix y con adición de sal comercial a 3, 6 y 9 %; como muestra control se consideró la solución de sacarosa sin adición de sal. Se agitaron las soluciones osmóticas a 240 rpm a 30 °C. La relación fruta – solución fue 1:20. Para el control del proceso se emplearon cilindros de mango con 15 mm de diámetro y 15 mm de altura.

Las variables de respuesta fueron contenido de humedad (b.h.), peso, contenido de sólidos solubles, cambio de color total (ΔE) y cambio de volumen (ΔV). Los valores experimentales se analizaron por medio de análisis de la varianza (ANOVA) con el programa estadístico MINITAB 15, evaluando el p-valor para medición de nivel de significancia del 5%.

Los resultados mostraron que la combinación de sal y sacarosa presentaron efectos positivos en las cinéticas de deshidratación osmótica con respecto a la muestra control (sacarosa sin sal); todos los tratamientos combinados presentaron mayores pérdidas de agua, pérdida de peso y ganancia de solutos con respecto al tratamiento de 40°Brix. Se evidenció además que a mayor concentración de sal mayores fueron las pérdidas de agua, ganancia de solutos y menor las pérdidas de volumen. Con respecto al color (ΔE) el ANOVA no mostró diferencias significativas entre los tratamientos.

NOMENCLATURA

CH: Contenido de humedad

D_e : Coeficiente de Difusividad

DO: Deshidratación osmótica

SO: Solución osmótica

ΔM : Variación de peso

ΔM_w : Variación de pérdida de agua

ΔM_s : Variación de la ganancia de sólidos

IE: Índice de efectividad

ANOVA: análisis de varianza

[]: Concentración

INTRODUCCIÓN

A través de los años el mango se ha considerado como una de las frutas más consumidas en el mundo. Es el tercer cultivo tropical en términos de producción e importancia a nivel mundial, inmediatamente situado tras el plátano (banano en centro y Sudamérica) y la piña tropical y el quinto de todos los frutos superado en volumen también por la manzana y la uva. En países industrializados como Estados Unidos, Alemania, Japón, la India, Inglaterra se han realizado varios trabajos de investigación orientados hacia el desarrollo de empaques, almacenamiento y aprovechamiento de este fruto. En Colombia se ha estudiado poco y los informes existentes no son muy exhaustivos (Galán, 2009).

El mango es una fruta apetecida que permite consumirse de varias formas. Se puede consumir en fresco (verde o maduro) o como producto procesado ya sea en jugos, concentrados, mermeladas, compotas y helados. Una de las propiedades poco conocidas en términos de difusión de los beneficios de esta fruta, a parte de su sabor característico, es la riqueza en ácidos (málico, palmítico, p-cumárico y mirístico), vitamina C y, especialmente, por su alto contenido en vitamina A, el mango constituye una buena fruta antioxidante, capaz de neutralizar los radicales libres y dotar al organismo de un poder defensivo en contra de la degradación de las células. Los mangos ejercen una función anticancerígena muy efectiva otorgada tanto por estas vitaminas como por su riqueza en flavonoides, entre los que destaca la quercetina y el camferol (Lucas, 2009).

El consumo de mango verde con sal y miel se ha venido incrementado y volviéndose muy popular. Este producto presenta otras propiedades organolépticas de los frutos agradables para el consumo humano. Una alternativa agroindustrial que podría realizarse empleando la deshidratación osmótica como método de conservación.

La deshidratación osmótica (DO) es una alternativa de interés como método de conservación de alimentos, especialmente en frutas, debido a su bajo costo y a que es un proceso no térmico (Ayala et al., 2010). Consiste en un método de secado leve por inmersión en el que se genera un intercambio de solutos de mayor a menor concentración y la eliminación de agua ocurre sin cambio de fase (Ibarz, 2005). La velocidad de transferencia es influenciada por la temperatura y la concentración de la solución osmótica (Taiwo et al., 2001). Comparada con otros métodos de secado por aire o con la liofilización, la DO es más rápida.

Los solutos más utilizados para tratamientos osmóticos son la sacarosa y el cloruro de sodio. El uso combinado de estos solutos en soluciones acuosas ha demostrado ser un método ventajoso generando mayor reducción del contenido de humedad con baja ganancia de sólidos y además proporcionando un incremento en la concentración de la solución sin alcanzar los límites de saturación (Bohuon et al., 1998; Medina et al., 2002; Qi, Le Maguer et al., 1998).

El propósito de este proyecto fue evaluar la influencia de la concentración de la SO sobre las cinéticas de pérdida de agua (WL) y ganancia de sólidos (SG) durante el proceso de DO de mango verde (variedad filipino) en soluciones ternarias de agua/sacarosa/sal después de 5 horas de procesamiento. También se evaluaron los cambios en algunas propiedades fisicoquímicas relacionadas con atributos de calidad del producto como son color y volumen para así relacionar los niveles de concentración de sal con los cambios ocurridos.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El mango es una fruta que permite consumirse en fresco en estado verde (7-8°Brix) y maduro (14-18°Brix). En Colombia no se ha hecho evidente la investigación y el desarrollo de productos procesados del mango verde, mientras que en mango maduro hay diversos desarrollos como jugos, pulpas, almibares, helados, entre otros (Salamanca et al, 2007).

Actualmente, el mango verde se consume en fresco cortado en trozos con adición de sal y miel, que con la acidez y la textura del fruto le dan un sabor agradable. Uno de los inconvenientes de este producto es su alta perecebilidad una vez cortado el fruto por su alto contenido de humedad entre 90 y 92%, además de los cambios indeseables en el color. Por otro lado la adición tradicional de sal al mango verde no se distribuye uniformemente en su superficie lo que ocasiona en muchos casos exceso de sal con una sensación desagradable al consumidor. Por consiguiente es de imperiosa necesidad buscar alternativas de conservación de mango verde en trozos con impregnación de sal y otros solutos que ayuden a mejorar la calidad de trozos de mango verde.

2. JUSTIFICACIÓN

El mango en estado de madurez verde cortado requiere procesos de conservación que ayuden a mantener la estabilidad de las características de calidad del fruto, por consiguiente con este proyecto se pretende dar una alternativa de conservación mediante una disminución parcial del contenido de humedad e impregnación de solutos agradables al consumidor con propiedades conservantes. Para ello se pretende deshidratar osmóticamente matrices de mango verde mediante la combinación de sacarosa con sal a distintas concentraciones.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar algunos parámetros de calidad en trozos de mango verde (*manguífera índica* L.) deshidratado osmóticamente en soluciones ternarias de sal/ sacarosa/agua.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer el efecto de la concentración de sal en una solución ternaria con sacarosa sobre las cinéticas de pérdida de humedad y ganancia de sólidos solubles en muestras de mango verde.
- Evaluar los cambios de color (ΔE) y volumen de muestras de mango verde durante el proceso de deshidratación osmótica a diferentes concentraciones de sal en una solución ternaria con sacarosa.

4. MARCO TEORICO

4.1 Generalidades



Figura 1. Mango Verde
Fuente: sirapcaribe.org

El mango (*mangifera indica L.*) es una fruta de la familia de las Anacardiáceas originaria de la India donde existen más de 1000 variedades. Es un cultivo típico de zonas tropicales y subtropicales. Se cultiva principalmente en la India, China y México. En Colombia se producen y comercializan diversas variedades para el mercado interno como son el mango común, mango chancleto, mango costeño, mango de azúcar, mango manzano, mango reina y mango tommy. Este último es el que se destina a las exportaciones (Ortiz et al., 2002)

Es un árbol típico de tamaño mediano, de 10 a 30 m. de altura, con un sistema radicular bien desarrollado que profundiza entre 6 y 8 m. Su fruta es una drupa variable en cuanto a su forma y dimensiones, generalmente ovoide oblonga, notablemente aplanada, redondeada y obtusa en ambos extremos, de color verde, verde amarillento o amarillo (Salamanca et al., 2007).

El mango es una de las frutas más populares e importantes del mundo, debido a sus excelentes características organolépticas y nutricionales (Yahia, 2003). Aporta una cantidad importante de hidratos de carbono por lo que su valor calórico es elevado. Es rico en magnesio, anti-oxidantes y en vitamina C, ver Tabla 1. La vitamina C interviene en la formación de colágeno, huesos y dientes, glóbulos rojos y favorece la absorción del hierro de los alimentos y la resistencia a las infecciones (Infoagro, 2005).

Tabla 1. Contenido nutricional por 100 g de parte comestible del mango

kcal (n)	Agua (ml)	Proteína (g)	Grasa (g)	Carbohidratos (g)	Fibra (g)
56,0	83,0	0,5	0,3	12,8	1,7
Potasio (mg)	Magnesio (mg)	Provit.A (mcg)	Vit. C	Folato (mvg)	Vit. E
18,0	190,0	478,0	30,0	31,0	1,0

4.1.1 Mango variedad filipino

Es una variedad poliembrionica que resiste muy bien el exceso de humedad. Con el fruto más alargado y la piel verde amarillenta (menos coloreado que la variedad india), aguanta mucho mejor las plagas. Son muy dulces, sin fibra ni sabor a trementina (término aplicado a

numerosas oleorresinas semifluidas, amarillas o de color pardo, que se obtienen de determinadas especies de coníferas en Asia, Europa y América) (Botanical, 2011).

4.1.2 Producción y consumo mundial de mango

El mango es la fruta tropical más comercializada en el mundo, después del banano y la piña, aunque sólo se comercializa alrededor del 3% de la producción mundial. Los flujos de comercio internacional en el mercado de mango son: América del Sur y Central, abastecen al mercado de EEUU, Europa y Japón; Asia principalmente exporta a países dentro de su propia región y el Medio Oriente; mientras que África comercializa la mayor parte de su producción al mercado europeo. El comportamiento descendente de los precios promedio de importación obedece a la expansión de la oferta exportable, lo cual ha provocado una mayor tendencia a realizar acuerdos en cuanto a volúmenes de comercialización y exigencias técnicas y de calidad como instrumentos para regular el mercado y reducir la volatilidad de los precios.

Los principales países productores a nivel mundial son India, China, Tailandia, Indonesia, Pakistán, México y Brasil. Los datos más recientes de la FAO en 2009, indican que estos países han presentado promedios de volumen producido que van desde 13.5 millones de toneladas en India, 4.14 para China, 2.46 en Tailandia, Indonesia aparece con 2.24, Pakistan con 1.72, México con 1.50; 1.19 millones de toneladas en Brasil.

Actualmente, China, Vietnam e India presentan rendimientos menores que Mexico, Brazil y Pakistan con 8.7, 7.1 y 6.38 T/Ha respectivamente, por lo que se podría decir que éstos países se encuentran en la parte intermedia de rendimiento, tomando en cuenta a las potencias productoras de este frutal.

En cambio, Tailandia, Nigeria, Filipinas e Indonesia se reportan con los rendimientos más bajos, entre 5 y 6 T/Ha, apenas la mitad o la tercera parte de los que obtiene Brasil, Pakistán y México.

Debido a que este frutal se ha adaptado en varias regiones del mundo, prácticamente se está produciendo mango durante todo el año, todo esto bajo las condiciones particulares en que cada huerta se ha adaptado, o bien por las innovaciones a los procesos productivos que se realizan en cada región o país.

El mercado mundial está dominado por las variedades rojas, de tamaño mediano a grande, siendo las más conocidas las variedades Tommy Atkins y Kent, que son menos fibrosas, más firmes y tienen un color más atractivo que el de otras variedades y además son resistentes al transporte; estas se cultivan principalmente en países latinoamericanos. Gradualmente el mercado mundial ha ido dando cabida a otras variedades de colores verdes y amarillos más pequeñas y más dulces, que se usan como snacks (botana). (Soletto, 2012)

La comercialización de la fruta seca/ deshidratada es aún reducida siendo la unión Europea, Japón y Estados Unidos los principales mercados. El mango deshidratado es en general poco conocido por los consumidores lo que hace que el valor comercial internacional sea un poco más alto comparado con frutas como la papaya y la piña (Galán, 2009).

4.1.3 Producción y consumo de mango en Colombia

Una de las principales características del cultivo del mango es su estacionalidad, lo cual dentro del conjunto de zonas naturales del país presenta ventajas siempre y cuando esta circunstancia se maneje dentro de una planificación global del cultivo. En Colombia es posible producir mango durante la mayor parte del año aunque se presentan dos picos de oferta: una de mayo hasta agosto y la otra entre noviembre y enero (Ortiz et al., 2002)

Según datos del ministerio de agricultura, durante el 2000 el cultivo de mango participó con el 3,3% de la producción total de frutas frescas en Colombia, ocupando el tercer lugar con una producción de 135 mil toneladas (Ortiz et al., 2002).

En el 2007 la producción de mango en Colombia correspondió al 0,63% de la producción mundial de la fruta, lo que ascendió a 28.500.000 toneladas anuales, lo que posesionó al país en el puesto 24 (Castro, 2011).

Se consume en fresco, verde o maduro o productos derivados. El mercadeo de productos derivados del mango se evidencia en pulpas, jugo y néctar, rodajas envasadas en almíbar, mermeladas, rodajas deshidratadas y secas, entre otros. Se importa en diferentes formas variando desde cubos, rodajas, gránulos, pedazos, láminas y polvo, con la particularidad de preferirse que sean de color naranja amarillento (Galán, 2009).

Actualmente se ha aumentado la adición de mango verde en las comidas como lo es el caso de las ensaladas preparadas donde se mezcla con otros ingredientes como pimientos

picantes, sal o vinagre de arroz. También se encuentra en salsas preparadas como el Chutney, una salsa agri dulce de origen asiático (Botanical, 2011).

4.2 Deshidratación osmótica

En los últimos años, la deshidratación osmótica (DO) de las frutas se ha convertido en una técnica importante para disminuir la actividad de agua aumentando así la estabilidad del producto (Ship y Le Maguer, 2002).

El proceso de deshidratación osmótica (DO) consiste en la extracción de agua de un producto que es sumergido en una solución hipertónica por tiempo y temperatura específicos (Ayala et al., 2010). La extracción se debe a la fuerza impulsora que se crea por la alta presión osmótica de la solución o por el gradiente de concentración entre la solución osmótica (SO) y el sólido a deshidratar (Rastogi et al., 1996). La DO da lugar a tres tipos de transferencia de masa en contracorriente: transferencia de agua del producto a la solución osmótica (pérdidas hasta del 60% de agua a temperaturas moderadas entre 30 a 50 °C), transferencia de soluto de la solución al producto (con posibilidad de incorporar una cantidad deseada de agente conservante, cualquier solución de interés nutritivo, o mejorar la calidad sensorial del producto mediante la aplicación de sabores) y salida de solutos nativos (azúcares, ácidos orgánicos, minerales y vitaminas) del producto hacia la solución, considerándose esta última como despreciable por ser cuantitativamente pequeña (Van-Nieuwenhuijzen et al., 2001; Sablani et al., 2003).

Este proceso se puede realizar a presión atmosférica y/o presión subatmosférica (vacío). Cuando se deshidrata a presión atmosférica se presentan los fenómenos de ósmosis y difusión, mientras que a presiones bajas (vacío) se presentan los mecanismos hidrodinámicos (HDM) y la capilaridad (Fito y Chiralt, 1997; Chafer et al., 2003; Giraldo et al., 2003).

El proceso de DO se puede evaluar en términos de parámetros cinéticos empleando el modelo de Magee, y determinando el coeficiente de difusión por medio de la ley de Fick (Ochoa y Ayala, 2007). Su efectividad se mide con la relación entre la pérdida de agua y ganancia de solutos ($\Delta M_w/\Delta M_s$), este índice es considerado como un parámetro de calidad, valores altos de esta relación indican una mejor condición del proceso osmótico (Silveira et al., 1996; Ravindra y Chat, 2000; Martins et al., 2008).

4.2.1 Agentes osmóticos

Existe una amplia variedad de solutos (agentes osmóticos), que pueden reducir la actividad de agua en la solución osmótica; sin embargo teniendo en cuenta que el soluto también se introduce en el alimento es necesario que sea compatible con las características organolépticas de éste (Atehortua et al., 2005).

Algunas características que debe cumplir el agente osmótico mencionadas por Atehortua et al. (2005) son: Poco poder edulcorante para preservar el aroma natural de la fruta. Baja viscosidad para facilitar la transferencia de materia. Bajo riesgo de cristalización del jarabe a altas concentraciones para evitar la formación de cristales sobre la superficie de la fruta.

Los agentes de deshidratación más conocidos son la sal (Cloruro de sodio) y los azúcares (sacarosa, glucosa, fructosa). Estos solutos se pueden utilizar en combinaciones ya sea en soluciones binarias o terciarias (Chenlo et al., 2002).

El azúcar es un compuesto químico clasificado como carbohidrato. El azúcar comercial es la sacarosa, un disacárido compuesto por dos monosacáridos: fructosa (azúcar de las frutas) y glucosa. (Ibarz, 2005)

La sacarosa tiene gran utilización en la industria de alimentos para consumo humano. En bajas concentraciones se utiliza como edulcorante y en soluciones concentradas reduce la solubilidad del oxígeno en el agua y con ello la posibilidad de vida de microorganismos. (Ibarz, 2005)

La sal, al igual que los azúcares capta la humedad y en consecuencia propicia condiciones adversas para la residencia y reproducción de microorganismos. El cloruro de sodio entra a formar parte de la salmuera o se aplica directamente sobre los alimentos. Se adiciona para retardar el crecimiento microbiano. (Lemos et al, 2002).

Para la conservación de las frutas es muy común emplear soluciones binarias de sacarosa. Este soluto reduce las reacciones de pardeamiento y agrega sabor dulce. Comparada con las soluciones de sacarosa, las soluciones binarias de sal contienen menor actividad de agua y presión osmótica (Chenlo et al., 2002; Osorio et al., 2007).

Combinar estos beneficios de las soluciones binarias en soluciones ternarias de sacarosa y sal es de gran interés para el proceso de deshidratación osmótica lo que lleva a una mayor remoción de agua y mejora en las propiedades organolépticas de los productos finales (Moreira et al., 2003; Osorio et al, 2007).

4.2.2 Ventajas de la deshidratación osmótica

La deshidratación osmótica (DO) es una alternativa de interés como método de conservación de productos vegetales, especialmente en frutas, debido a que es un proceso no térmico y de bajo costo (Ayala et al., 2010).

El proceso de DO como pretratamiento a otros procesos de conservación de materiales biológicos mejora la calidad de los productos terminados (El agua que sale del alimento al jarabe de temperatura ambiente y en estado líquido, evita las pérdidas de aromas propios de la fruta que se volatilizarían o descompondrían a altas temperaturas), reduce el tiempo de proceso y ahorra energía (Ayala et al., 2010).

La DO ocasiona en el producto una disminución de la actividad de agua (a_w), prolongando así la vida útil de las frutas (Chirife, 1988), lo cual no permite el fácil desarrollo de microorganismos que rápidamente atacan y dañan las frutas en condiciones normales.

Este proceso presenta ventajas económicas, teniendo en cuenta la baja inversión inicial en equipos, cuando se trata de volúmenes pequeños a nivel de Planta piloto, donde solamente se requieren recipientes plásticos medianos, mano de obra no calificada, sin consumo de energía eléctrica y además los jarabes que se producen, pueden ser utilizados en la elaboración de yogurts, néctares, etc.) a fin de aprovechar su poder edulcorante y contenido de aromas y sabores de la fruta osmodeshidratada.

4.2.3 Desventajas de la deshidratación osmótica

Una de las limitaciones que presenta esta técnica de ósmosis es que no a todas las frutas puede aplicarse. Por ahora solo se emplean las frutas que presentan estructura sólida y pueden cortarse en trozos. Tampoco se recomiendan las frutas que poseen alto número de semillas de tamaño mediano como la mora o guayaba. Algunas frutas pueden perder su poca acidez como el mango o la piña, aunque se puede corregir este inconveniente

ajustando la acidez del jarabe a fin de que la relación de sabor ácido-dulce sea agradable al gusto (Camacho, 2006)

Se presentan inconvenientes en la inmersión de la fruta en el jarabe por la flotación de la fruta. Esto es debido a la menor densidad de la fruta que tendrá 5 a 6 veces menos sólidos solubles que el jarabe y además a los gases que esta puede tener ocluidos. Cuando se intenta sumergir toda la masa de fruta dentro del jarabe se forma un bloque compacto de trozos que impiden la circulación del jarabe a través de cada trozo, con lo que se obtiene la ósmosis parcial de la fruta (Camacho, 2006)

Algunos de estos inconvenientes están relacionados con el almacenamiento de los altos volúmenes que se necesitan, su reutilización una vez se hayan concentrado de nuevo; el enturbiamiento que se genera por el desprendimiento de solutos y partículas de las frutas allí sumergidas; el riesgo de contaminación microbiana cuando ha descendido a niveles inferiores a 60°Brix; la resistencia de los microorganismos a los tratamientos térmicos higienizantes; la necesidad de conservar los jarabes almacenados bajo condiciones que eviten su fermentación, y si ya avanzó un poco esta contaminación puede transmitirse a la nueva fruta allí sumergida. Finalmente está la presencia de insectos que se puede generar en los sitios donde se manejan estos jarabes debido a la atracción que estos tienen por los aromas frutales que con el tiempo se pueden tornar difíciles de erradicar (ICTA, 2006).

4.3 Propiedades fisicoquímicas

4.3.1 Contenido de humedad

Es el agua total que contiene un alimento sin considerar que en la mayoría de los alimentos existen zonas o regiones microscópicas que, debido a su composición química, no permiten la presencia del agua, lo cual provoca una distribución heterogénea a través del producto (Hidalgo, 2003).

El contenido de humedad se puede expresar de dos formas. En base húmeda (b.h.) que corresponde a la masa de agua en relación a la masa total húmeda. En base seca (b.s.) que es la masa de agua en relación a la masa total seca (Miller et al., 2003)

4.3.2 Peso

La reducción del peso de la fruta sumergida en la solución durante un tiempo determinado, puede ser tomada como indicador de la velocidad de deshidratación.

La velocidad de pérdida de peso de una determinada fruta sucede inicialmente de manera más acelerada con un progresivo retardo a medida que avanza el tiempo de contacto con la solución.

4.3.3 Coeficiente de difusividad (D_e)

El coeficiente de difusión efectivo (D_e) es una propiedad de transporte de materia utilizado para describir la velocidad con que un determinado componente en la SO u otro sistema, se transporta de un lugar a otro del mismo. En general este coeficiente varía con la concentración de los solutos, la temperatura y la presión de vacío (Chiralt y Fito, 2003)

4.3.4 Color

El color y la apariencia son el primer contacto que tiene el consumidor con un alimento, condicionando sus preferencias e influenciando su elección. El color está relacionado con las cualidades sensoriales, la composición química y, por lo tanto, uno de los factores que define la calidad de un producto alimentario. (González, 2007).

El color se mide a través del espectro reflexión entre 400-780 nm, con un colorímetro. Se obtendrán las coordenadas de color CIE $L^*a^*b^*$ a partir de los espectros de reflexión de las muestras, utilizando como referencia el iluminante D65 y el observador 10° (González, 2007).

5. ANTECEDENTES

En la literatura científica no se evidencian investigaciones sobre el proceso de deshidratación osmótica de mango verde, no obstante se presentarán antecedentes de mango en estado maduro y de otras frutas.

Giraldo et al., (2003), evaluaron la influencia de la concentración de sacarosa en el proceso de DO con y sin presión de vacío sobre cinéticas de deshidratación (pérdida de agua, ganancia de sólidos) y el volumen de cilindros de mango maduro. La experimentación se

realizó a 30°C en concentraciones de 35, 45 y 55°Brix a presión atmosférica y durante la aplicación de un pulso de vacío (50 mbar durante 10 minutos) al inicio del proceso. Los resultados reportaron un efecto proporcional entre la concentración de la solución y la presión de DO. Al amentar la concentración en ambas condiciones de proceso (PA y PV), las muestras perdieron mayor contenido de agua y disminuyeron proporcionalmente su volumen.

Duque et al., (2007), determinaron la influencia de los tratamientos de DO a presión atmosférica y con pulso a vacío (80 mbar durante 10 minutos) en la variación del color (ΔE) en mango, mora y uchuva durante las cinéticas a tiempos cortos y a tiempos largos (equilibrio). La pulpa de mango se cortó en forma de cubitos, la mora y la uchuva por mitades, las muestras se trataron con disoluciones de sacarosa de 25, 35, 45, 55 y 65°Brix a temperatura ambiente. Como resultado reportaron que las diferentes frutas conservan mejor el color a tiempos cortos, cuando se usa el tratamiento DO a presión atmosférica y en tiempos largos con presión de vacío. Se observó que los tratamientos de DO tuvieron una influencia significativa en frutas cuya estructura es porosa (mango y uchuva), mientras que en frutas sin espacios intercelulares (mora), no hubo un efecto notable.

Telis et al., (2004), estudiaron la influencia de la DO con soluciones ternarias con sacarosa (30, 40°Brix) y sal (5,10%) sobre las cinéticas de deshidratación osmótica en muestras de tomates. Los autores concluyeron que la transferencia de agua y solutos fue dependiente de las concentraciones de sal y de sacarosa; el incremento de la concentración de sal y sacarosa causó mayor pérdida de agua y ganancia de solutos. Se observó también que a alta concentración de sacarosa disminuyó el coeficiente de difusión aparente de la sal.

Monnerat et al., (2010), evaluaron los efectos de la DO con soluciones ternarias en los coeficientes de difusividad de sal (10% p/p) y sacarosa (50% p/p) así, como la influencia del proceso en la estructura celular de la manzana. La deshidratación se realizó a 27°C en tiempos de 2, 4 y 8 horas. Como resultado reportaron que los coeficientes de difusión calculados para los tratamientos combinados fueron muy similares además de presentar una relación proporcional con el aumento de la concentración de la solución. Así mismo el tiempo y la concentración generaron cambios en la estructura celular del fruto. Un estudio similar realizaron Domeneghini et al., (2011) para evaluar el efecto sobre los coeficientes de difusividad en muestras de banano. El proceso se llevó a cabo en temperaturas de 25 a 50°C

con una solución compuesta de sacarosa (30 a 60°Brix) y sal (0 a10%) reportando efectos proporcionales similares a los mencionados para la manzana.

6. MATERIALES Y METODOS

6.1 Materiales

6.1.1 Preparación de las muestras

Mango de la variedad filipino se adquirió en un mercado local de la ciudad de Palmira (Valle) y se seleccionó teniendo en cuenta el grado de madurez (verde), el color y la firmeza con el fin de obtener muestras relativamente homogéneas. El contenido inicial de sólidos solubles varió entre 7 y 8°Brix.

El mango se peló y se cortó con la ayuda de un sacabocados en cilindros de 15x15 mm con el fin de controlar el proceso empleando una configuración geométrica ya establecida. Posteriormente se procedió a identificar las muestras patrón para la evaluación de las variables del proceso de DO. (Figura 2).

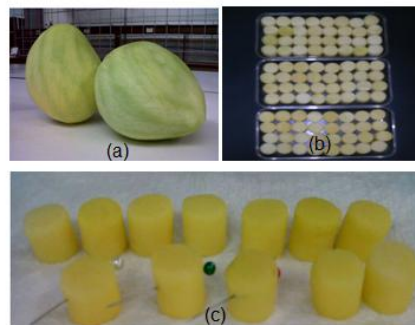


Figura 2. Preparación de las muestras. (a) Mango sin cáscara; (b) Muestras de mango en forma de cilindro; (c) Identificación de muestras

6.1.2 Solución osmótica (SO)

Se prepararon soluciones ternarias con agua destilada, sacarosa y sal (NaCl) comercial. El contenido de solutos de sacarosa fue de 40% (40°Brix) y los de la sal fueron 3, 6, 9%. La relación en peso de fruta y solución fue de 1:20 con el fin de evitar la dilución de la solución.

Se eligió sacarosa por su amplio uso en la deshidratación osmótica y por su mayor peso molecular respecto a otros azúcares. La sacarosa reduce la ganancia de sólidos y por lo tanto evita el cambio de sabor y aumenta la pérdida de agua (Azuara et al., 2002). El cloruro de sodio se seleccionó teniendo en cuenta que este soluto penetra con más facilidad en la matriz de la fruta y reduce significativamente el contenido de humedad (Chenlo et al, 2002; Osorio et al, 2007).

En la Tabla 2, se muestra la nomenclatura de identificación de los tratamientos que se transcribirá a lo largo del trabajo.

Tabla 2. Nomenclatura de los tratamientos osmóticos

TRATAMIENTO	NOMENCLATURA
40 % Azúcar – 3% Sal	40-3S
40 % Azúcar – 6% Sal	40-6S
40 % Azúcar – 9% Sal	40-9S
40 % Azúcar – 0% Sal	40

6.2 MÉTODOS

6.2.1 Deshidratación osmótica

Para llevar a cabo el proceso osmótico se empleó un recipiente plástico de forma cilíndrica con un volumen de 5 litros para contener la SO, la cual se mantuvo sumergida en baño maría a temperatura constante de 30 °C. La SO se agitó a 240 rpm mediante un impulsor incorporado a un equipo mecánico (Kika Labor Technik Pol Co, EEUU) para evitar el efecto de encostramiento del azúcar en la superficie de las muestras y acelerar el proceso de deshidratación (Figura 3).



Figura 3. Montaje experimental

Las variables del proceso osmótico fueron la concentración de sal 3,6 y 9% y el tiempo de deshidratación (0, 15, 30, 60, 90, 180, 240 y 300 min).

Para evaluar las variables de respuesta: pérdida de agua (WL), ganancia de sólidos solubles (SG), cambio de color y volumen se tomaron muestras de mango en cada intervalo de tiempo de deshidratación. En cada tiempo las muestras correspondientes fueron enjuagadas con agua destilada y colocadas en papel absorbente para eliminar el exceso de solución. Las muestras se pesaron antes y después del proceso de deshidratación mediante una balanza analítica MetlerToledo (AB204-S/Fact) con sensibilidad de 10^{-4} g.

Para la determinación de los sólidos solubles, se extrajo una parte de la fase líquida de las muestras y se midió la variación con un refractómetro (ABBE ATAGO RX 7000 CX a 20°C) con una precisión de $\pm 0,5^\circ$ Brix.

6.2.2 METODOS ANALÍTICOS

El contenido de humedad fue determinado por el método de la estufa 14.003 (AOAC, 1990) y mediante la ecuación (1).

$$H(bh) = \frac{m_{inicial} - m_{final}}{m_{inicial}} \times 100 \quad (1)$$

donde:

H (bh): Humedad (base húmeda) (%)

$m_{inicial}$: peso inicial de la muestra (gr)

m_{final} : peso final de la muestra (gr)

Los cambios de color fueron medidos con el colorímetro (Hunter-Lab ColorFlex), Figura 4, a través del espectro reflexión entre 400-780 nm que permitió obtener las coordenadas L^* , a^* ,

b* con las cuales se estimó la diferencia de color (ΔE). Estos cálculos se realizaron mediante la ecuación 2

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta b^2 + \Delta a^2} \quad (2)$$

Donde:

L: Luminosidad

a: Tonalidad de rojo a verde

b: Tonalidad de amarillo a azul



Figura 4. Imagen colorímetro Hunter- Lab color Flex

Los cambios de volumen fueron medidos con un calibrador pie de rey digital net metler (Figura 3) realizando una medida de diámetro y altura de cada cilindro al inicio del proceso y después de cada tiempo DO. Para calcular el volumen de las muestras se empleó la ecuación 3.

$$\Delta V = \frac{V_f - V_i}{V_i} * 100 \quad (3)$$

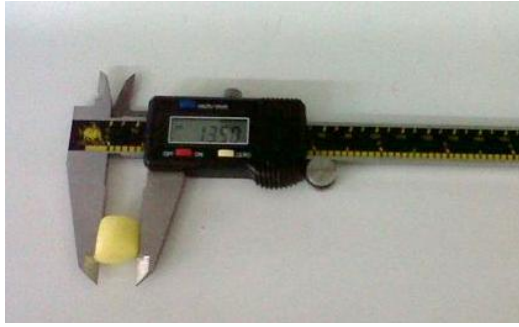


Figura 5. Imagen calibrador pie de rey digital net metler

6.2.3 Método teórico de las cinéticas de deshidratación

Las cinéticas de deshidratación se calcularon de acuerdo a las ecuaciones 4, a 6 que describen las variaciones de agua, sólidos solubles y peso respectivamente citadas por Moreno et al, 2004. Adicional se calcularon los balances de los tratamientos mediante la ecuación 7.

$$\Delta M_w = \frac{(M_t)(X_t^w) - (M_0)(X_0^w)}{M_0} \quad (4)$$

$$\Delta M_{ss} = \frac{(M_t)(X_t^{ss}) - (M_0)(X_0^{ss})}{M_0} \quad (5)$$

$$\Delta M = \frac{(M_t) - (M_0)}{M_0} \quad (6)$$

$$\Delta M_T = \Delta M_w + \Delta M_s \quad (7)$$

Donde:

M_0 = Peso inicial de la muestra (g.)

M_t = Peso de la muestra a un tiempo t de tratamiento (g)

X_0^w = Fracción de agua inicial de la muestra (g de agua / g de muestra)

X_t^w = Fracción de agua a un tiempo t de tratamiento (g de agua / g de muestra)

X_0^{ss} = Fracción de sólidos solubles iniciales de la muestra (g de sólidos solubles /g de muestra).

X_t^{ss} = Fracción de sólidos solubles a un tiempo t de tratamiento (g de sólidos solubles / gr de muestra)

6.2.4 Índice de efectividad (IE)

Se determinó con la relación entre pérdida de agua y ganancia de solutos ($\Delta M_w / \Delta M_s$) para medir la efectividad del proceso de Osmodeshidratación.

6.2.5 Actividad de agua (aw)

Se determinó para las soluciones binarias involucradas en el proceso. Para ello, se empleó el medidor de aw Aqua Lab 4TE en el cual se incorporó una muestra de cada solución y se midió el resultado.

6.2.6 Coeficiente de difusión

Se determinó el Coeficiente de difusión efectivo (D_e) para evaluar la transferencia de masa de los diferentes tratamientos osmóticos. Para ello se tuvo en cuenta una estimación de la ley de Fick mediante el modelo de Crank, en el cual se estima la D_e del agua y del soluto, simulando los experimentos con condiciones límites y resolviendo las ecuaciones analítica o numéricamente. Las limitaciones generales del modelo de difusión de Fick para propósitos prácticos son: (1) se asume un cuerpo semi-infinito por lo tanto la transferencia de masa es unidireccional, (2) se asume que el agente osmótico es un medio semi-infinito, por lo tanto se requiere una relación disolución/alimento muy grande, (3) aunque tiene en cuenta la forma y las dimensiones, solo hay soluciones analíticas para láminas planas, cilindros, cubos y esferas, entonces se requieren técnicas numéricas para materiales irregulares, (4) el punto de equilibrio tiene que determinarse experimentalmente, (5) se asume que solo se presenta el mecanismo de difusión para la extracción de agua, (6) no hay efecto de los sólidos ganados ni de los solutos perdidos sobre la pérdida de agua, (7) se desprecia el encogimiento debido a la transferencia de masa, pero esto no se puede lograr a baja temperatura ni alta concentración de soluto (Ochoa y Ayala, 2005)

Para la configuración geométrica que se trabajó en el experimento fue necesario aplicar el ajuste combinado propuesto por Newman del modelo de Crank a la ley de Fick. Este ajuste consistió en la superposición entre una placa (Ec. 8) y un cilindro (Ec. 9) en la cual las estimaciones geométricas para sólidos infinitos de Crank se acotan finitamente. Para el análisis de las variables involucradas en estas ecuaciones se tomó la humedad en equilibrio como la concentración de la SO (Ochoa y Ayala, 2005), después mediante una iteración realizada con la aplicación solver de excel en una hoja de cálculo se obtuvo un valor de Fourier el cual se graficó y se ajustó linealmente para obtener el coeficiente de difusión (Ec. 10).

$$\frac{X(t)-X(e)}{X_0-X(e)} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 n^2}{4} Fo\right) \quad (8)$$

$$\frac{X(t)-X(e)}{X_0-X(e)} = \frac{4}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\pi^2}{R^2 \delta_n^2} \exp(-R^2 \delta_n^2 Fo) \quad (9)$$

$$Fo = \frac{De}{L^2} t \quad (10)$$

Donde:

X(t): Humedad en el tiempo t

X(e): Humedad en equilibrio

X(0): Humedad inicial

R: Radio del cilindro

δ: Raíces de Bessel

De: Coeficiente de difusión

L: Espesor medio de la configuración geométrica

aw: Actividad de agua

6.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para la evaluación estadística de los datos se aplicó un diseño unifactorial 1X3 correspondiente a una concentración fija de sacarosa (40%) de la solución osmótica SO y 3 niveles de concentraciones de sal (Tabla 3). Como muestra control se realizó un tratamiento con solución de sacarosa para un total de 4 tratamientos osmóticos. Las variables de respuesta WL, SG, cambio de color, volumen, fueron analizadas mediante un análisis de varianza (ANOVA) con un grado de confiabilidad de 95%. Las variables respuesta fueron evaluadas por triplicado Para el análisis de estas variables se uso el programa estadístico Minitab 15.

Tabla 3. Diseño experimental del proceso de DO

Factores	Niveles	VARIABLES DE RESPUESTA
Concentración de sal en la SO (%)	0(40°Brix SA) 3 6 9	<ul style="list-style-type: none">• Pérdida de humedad.• Ganancia de sólidos solubles.• Volumen de la fruta• Color (L, a y b)
Unidad experimental: cilindros de mango verde de 15x15 mm		

Con este diseño se dio respuesta a dos hipótesis:

H₀= No existe una relación proporcional entre las concentraciones de sal y la pérdida de agua y ganancia de sólidos.

H_i= Existe una relación proporcional entre las concentraciones de sal y la pérdida de agua y ganancia de sólidos.

7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

7.1 CONTENIDO DE HUMEDAD (CH) Y GRADOS BRIX (°BRIX) DURANTE LA DO

El CH inicial de las muestras de mango verde varió entre $86,51 \pm 0,01$ y $89,69 \pm 0,01\%$ y los sólidos solubles entre $6,4$ y $6,8^\circ\text{Brix}$. En la Figura 6, se muestran las curvas de contenido de humedad para los tratamientos osmóticos con soluciones de sacarosa combinada con sal y en la figura 7 se muestran las curvas correspondientes a las realizadas con concentraciones de sal (3, 6 y 9%) (b.h,%) de mango verde deshidratado osmóticamente. De igual manera, en la Figura 8 se muestran los valores correspondientes a la ganancia de sólidos en los tratamientos combinados y en la Figura 9 se muestran los resultados para los tratamientos con sal.

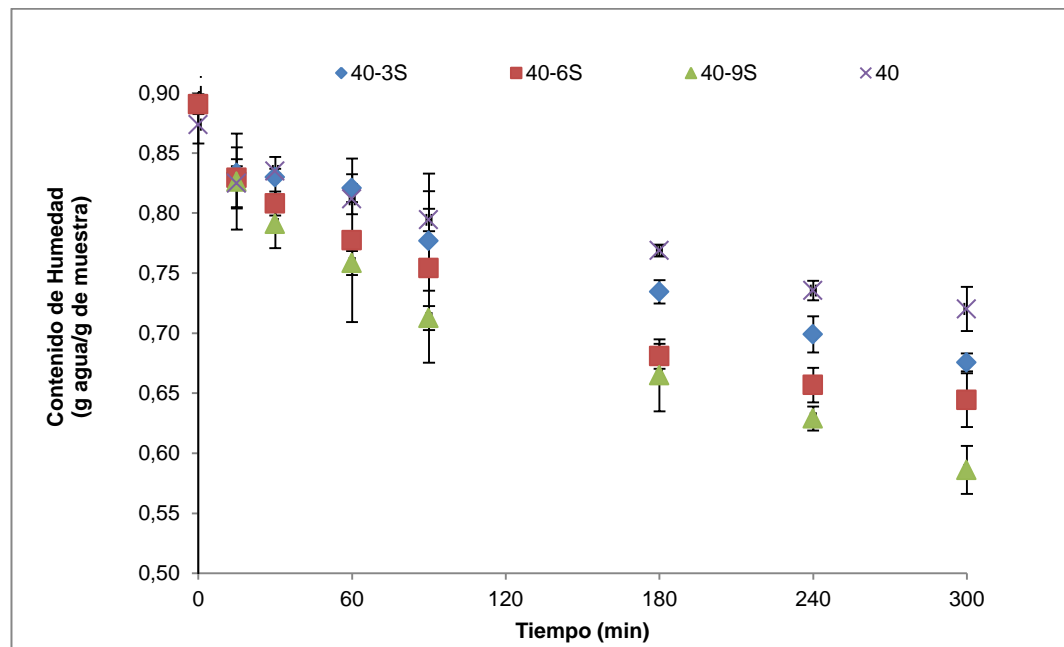


Figura 6. Curva de contenido de humedad para los tratamientos osmóticos de sacarosa combinada con sal

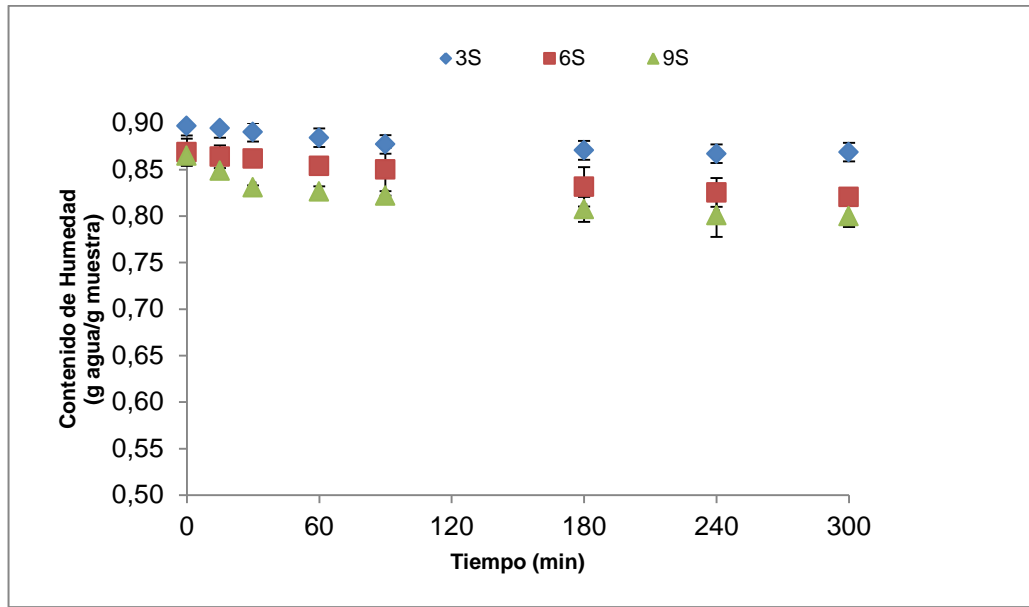


Figura 7. Curva de contenido de humedad para los tratamientos osmóticos con NaCl

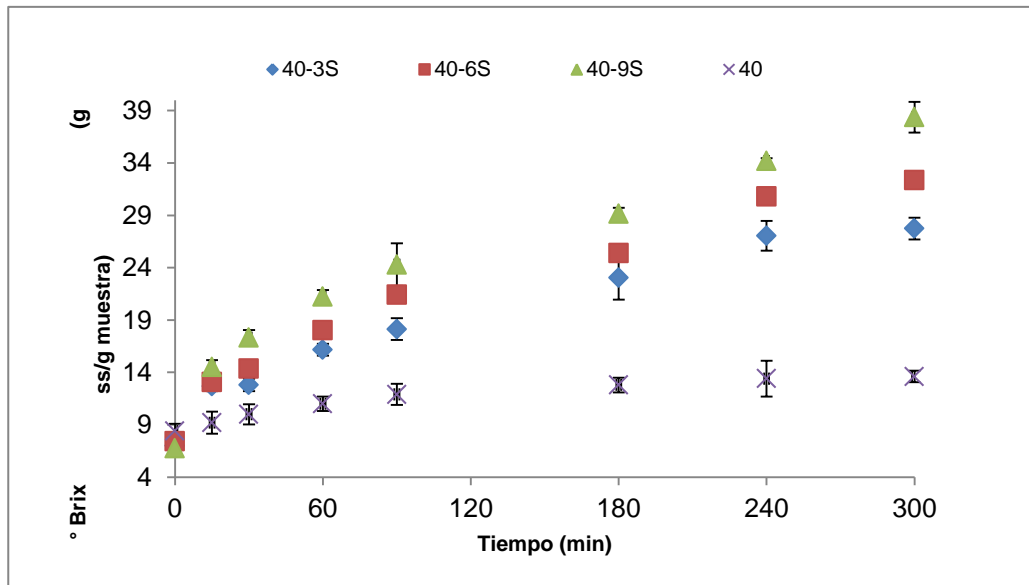


Figura 8. Curva de incremento de sólidos solubles en los tratamientos osmóticos ternarios

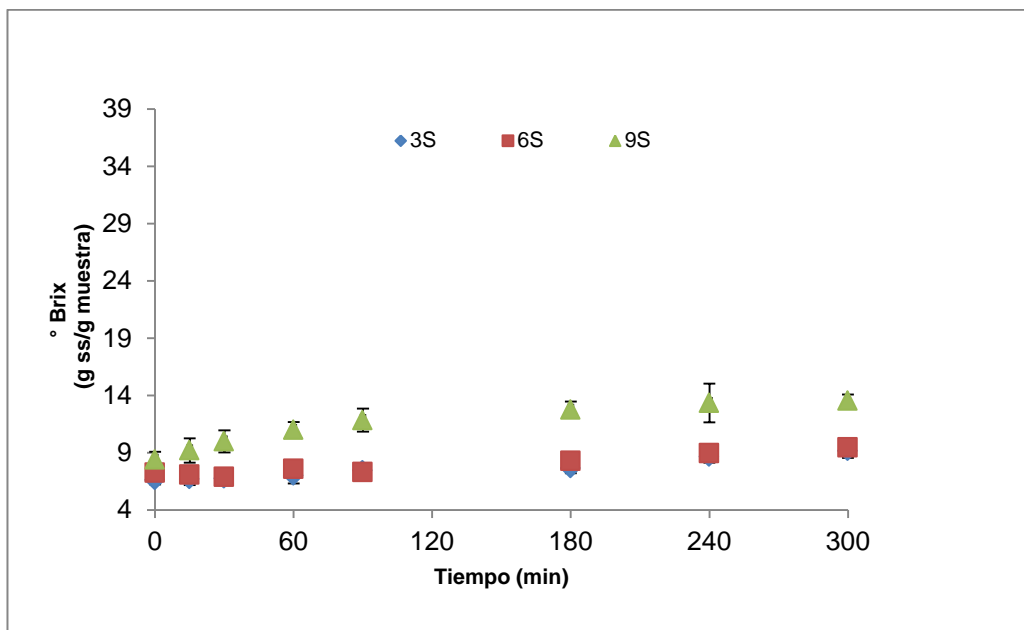


Figura 9. Curva de ganancia de sólidos solubles en los tratamientos osmóticos con solución de NaCl

En la Figura 6 se observó que los tratamientos osmóticos de sacarosa combinada con cloruro de sodio presentaron menores valores de C.H que el tratamiento de 40°Brix. Se evidenció además que a mayor concentración de sal menor CH. Este resultado significa que la presencia de sal aumenta la pérdida de agua. Así mismo se observó que los tratamientos combinados presentaron menores valores de CH que los tratamientos de sal sin adición de sacarosa (Figura 7). Estos tratamientos con solo sal (3, 6 y 9%) (Figura 7) no presentaron una pérdida de humedad significativa durante la DO, debido a que las actividades de agua de estas soluciones fueron relativamente cercanas a la de la fruta fresca de 0.99 lo que significó un bajo gradiente de la fuerza impulsora para el transporte del agua. La concentración de 3% presentó 0,986 de a_w , 6% 0,969 y 9% 0,957. Estos valores son similares a los reportados por Sereno et al., 2001.

Con respecto a los sólidos solubles, Figuras 8 y 9, los tratamientos combinados de sacarosa y NaCl presentaron mayores valores que el tratamiento de sacarosa (40°Brix) y de los tratamientos con solo cloruro de sodio, pero estas diferencias no fueron significativas. Asimismo no fue significativo el incremento de la concentración de NaCl (3 a 9%) sobre el aumento de sólidos solubles. De acuerdo a estos resultados los tratamientos con NaCl no se analizarán en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas.

7.2 CINÉTICAS DE PÉRDIDA DE AGUA, PÉRDIDA DE PESO Y GANANCIA DE SÓLIDOS SOLUBLES

Con el fin de realizar un mejor análisis de los datos, se evaluaron los resultados mediante la variación de pérdida de agua (ΔM_w), ganancia de sólidos solubles (ΔM_s) y pérdida de peso (ΔM). Estas cinéticas se calcularon mediante las ecuaciones 4 a 6 descritas en 6.2.3, Método teórico de las cinéticas de deshidratación del presente trabajo.

En la Figura 10 se muestran las cinéticas de pérdida de agua, ganancia de sólidos solubles y pérdida de peso de muestras de mango verde deshidratadas osmóticamente mediante soluciones ternarias.

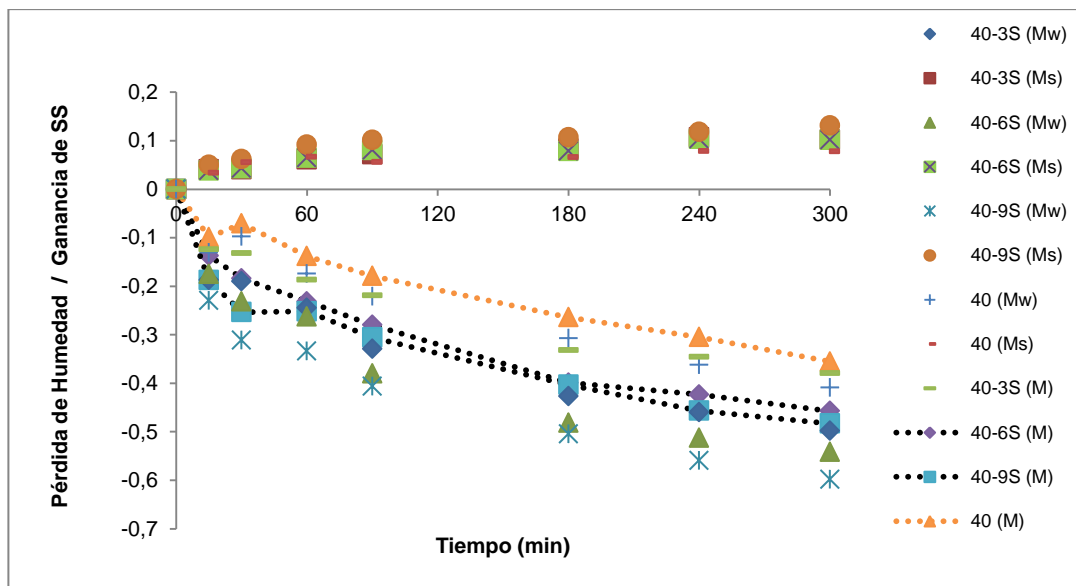


Figura 10. Cinéticas de la pérdida de agua y ganancia de sólidos de los tratamientos con soluciones ternarias

Los tratamientos ternarios (40-3S, 40-6S y 40-9S) presentaron las mayores pérdidas de agua y ganancia de solutos que el tratamiento control (sacarosa 40°Brix). Este comportamiento se debió posiblemente a un valor muy bajo de actividad de agua de las soluciones ternarias que causó la contracción significativa del protoplasto en las células de las muestras permitiendo la impregnación de los solutos y la pérdida de agua, (Monnerat et al., 2010).

Con respecto a la concentración de sal, se evidenció que a mayor concentración mayor fueron las pérdidas de agua y ganancia de solutos, siendo el tratamiento 40-9S el que presentó la mayor pérdida de agua al final del secado con 59.82% y una ganancia en sólidos de 13,10 °Brix. Este resultado se debió a la influencia del cloruro de sodio sobre las muestras evaluadas. (Telis et al., 2004) observaron que al aumentar la concentración de este soluto en las concentraciones de sacarosa causaba mayor pérdida de agua y ganancia de solutos en muestras de tomate. Otros autores, argumentan que las moléculas de NaCl se difunden fácilmente a través de la membrana del citoplasma de las células de la fruta permitiendo la salida del agua del alimento. Ayala et al., (2007) explican que al difundirse el NaCl en el citoplasma se generan gradientes de concentración en las vacuolas y en el mismo citoplasma, permitiendo así extraer más agua desde el interior de la célula.

En las cinéticas de pérdida de peso se observó una tendencia similar con los resultados de pérdida de agua. Se evidenció que a mayor concentración mayores fueron las pérdidas de peso, siendo el tratamiento 40-9S el que presentó la mayor pérdida de peso al final del secado con 48.29%. Este comportamiento está influenciado por los efectos de las concentraciones de sal sobre las muestras como se mencionó anteriormente.

En la Figura 11 se muestran los índices de calidad de los tratamientos osmóticos. Valores altos indican que el proceso osmótico es más efectivo, debido a que ΔM_w es mayor que ΔM_s (Ayala et al., 2010).

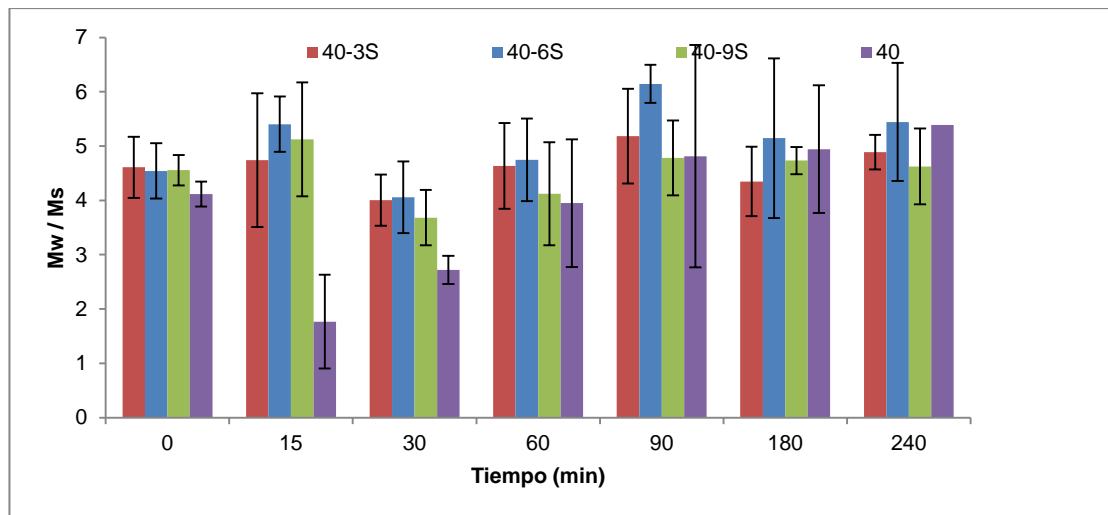


Figura 11. Comportamiento de los índices de calidad (IE) de los tratamientos ternarios

En los tratamientos ternarios se evidenció un comportamiento mayor a 4 lo que indica un buen desempeño del experimento sobre la muestras evaluadas (Ochoa et al., 2005). Sin embargo, los valores calculados no mostraron un comportamiento proporcional dado que en el tratamiento 40-6S se evidenciaron los valores más altos.

7.2.1 Análisis de la varianza (ANOVA) para la pérdida de agua (ΔM_w)

Se evidenció un efecto significativo ($p < 0.05$) de los factores Concentración de sal y tiempo de DO sobre la pérdida de agua (Figura 12) puesto que los diferentes niveles de cada factor afectaron la variable respuesta de manera diferente. Así mismo se evidenció una interacción significativa ($p < 0.05$) entre los factores (Figura 13) indicando con esto que el efecto de un factor depende del nivel del otro factor. El nivel de cada factor que tuvo mayor influencia sobre la pérdida de agua fue 9% y 300 min, respectivamente, debido a que la media de la variable respuesta fue menor.

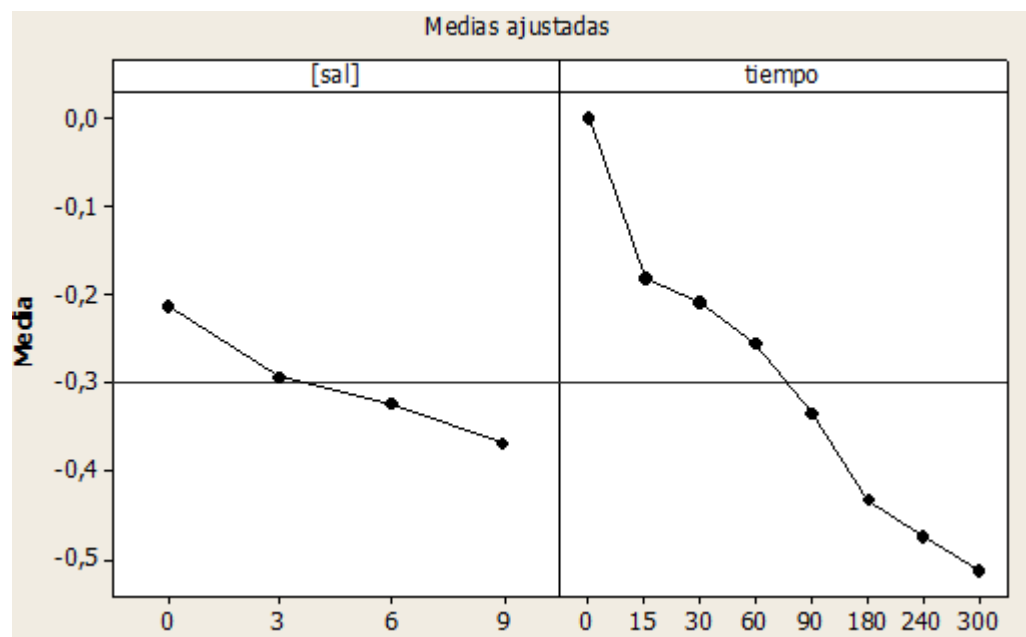


Figura 12. Efectos principales para la variación de la pérdida de agua

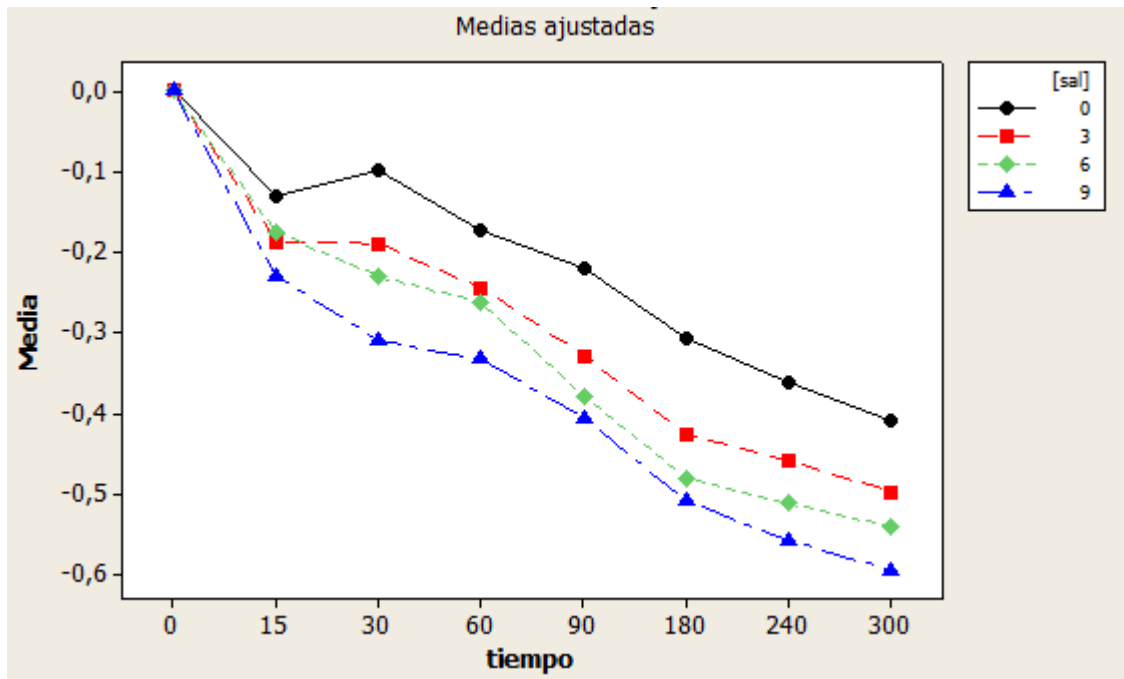


Figura 13. Interacción sal-tiempo de DO para la variación de la pérdida de agua

7.2.2 Análisis de la varianza para la ganancia de sólidos solubles (ΔMs)

Se evidenció un efecto significativo ($p < 0.05$) de los factores concentración de sal y tiempo de DO en la ganancia de sólidos (Figura 14). Así mismo se evidenció una interacción significativa ($p < 0.05$) entre los factores (Figura 15). El nivel de concentración de sal y tiempo de DO que tuvo mayor influencia sobre la ganancia de sólidos fue 9% y 300 min, respectivamente, debido a que la media de la variable respuesta fue mayor.

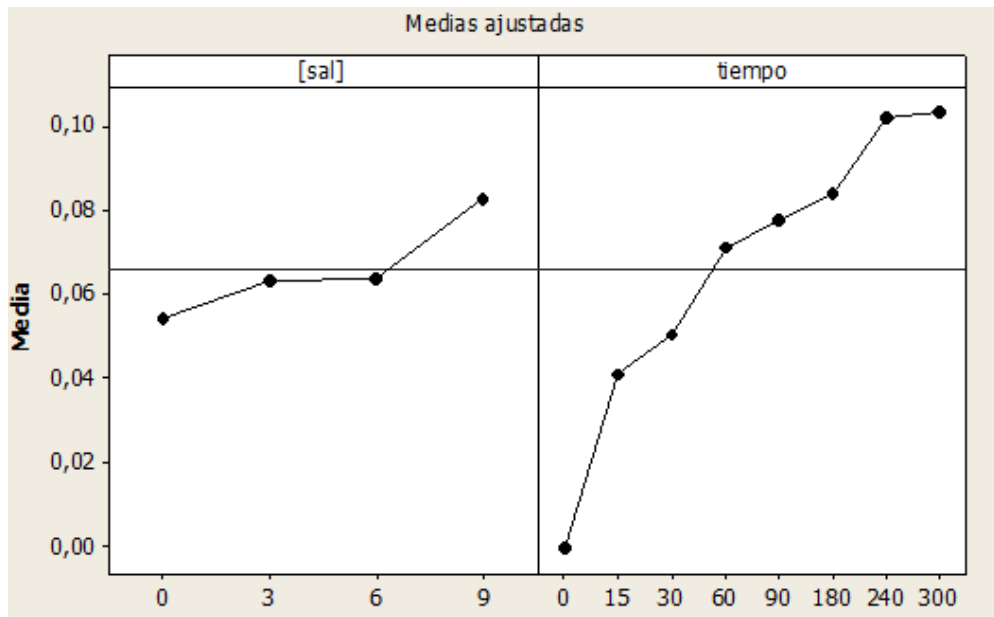


Figura 14. Efectos principales para la variación en la ganancia de sólidos

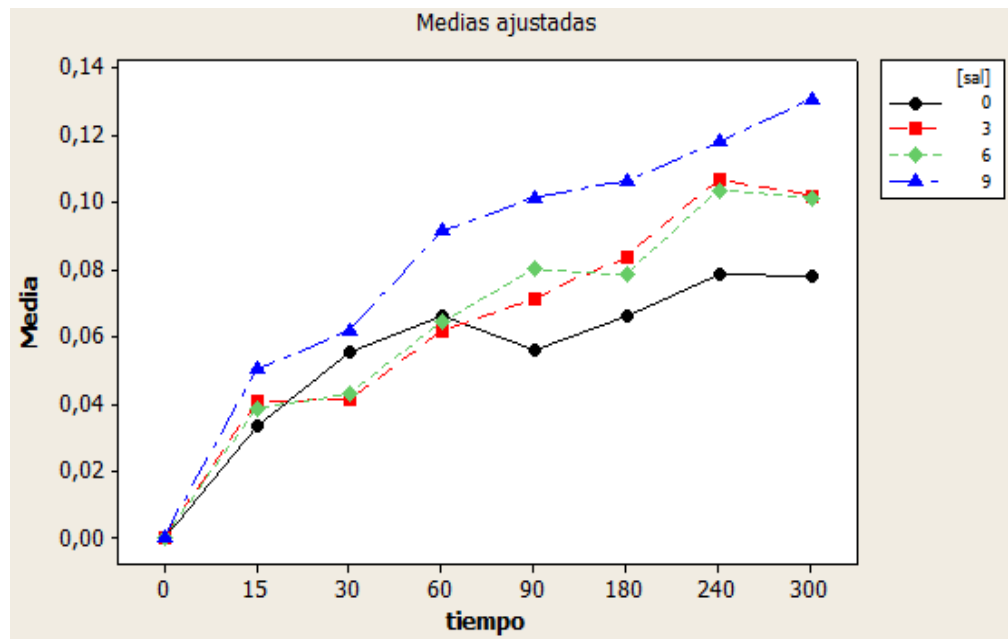


Figura 15. Interacción sal-tiempo de DO para la variación en la ganancia de sólidos

7.2.3 Análisis de la varianza (ANOVA) para la pérdida de peso (ΔM)

Se evidenció un efecto significativo ($p < 0.05$) de los factores concentración de sal y tiempo de DO sobre la pérdida de peso (Figura 16) puesto que los diferentes niveles de cada factor afectaron la variable respuesta de manera diferente. Así mismo se evidenció una interacción significativa ($p < 0.05$) entre los factores (Figura 17) indicando con esto que el efecto de un factor depende del nivel del otro factor. El nivel de cada factor que tuvo mayor influencia sobre la variación de peso fue 9% y 300 min, respectivamente, debido a que la media de la variable respuesta fue menor.

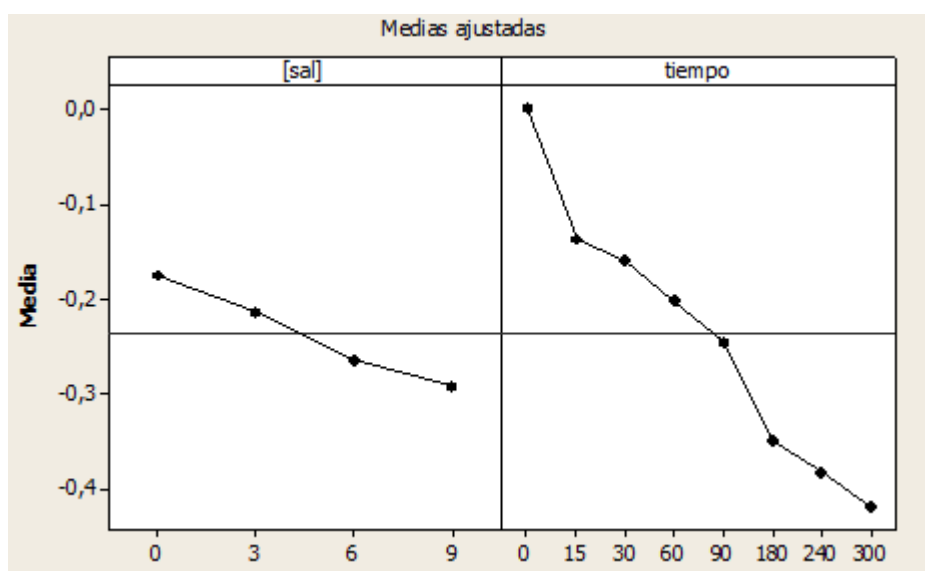


Figura 16. Efectos principales para la variación de la pérdida de peso

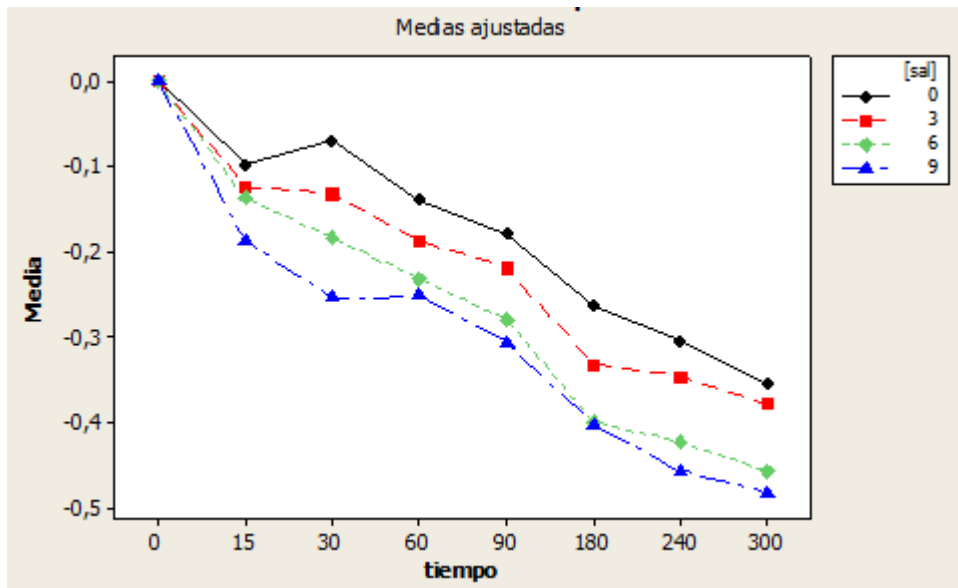


Figura 17. Interacción sal-tiempo de DO para la variación de la pérdida de peso

7.3 BALANCE DE MATERIA

En la Figura 18 se muestra la relación de la variación de ΔM vs $(\Delta M_w + \Delta M_s)$ para comprobar los balances de materia de los tratamientos osmóticos.

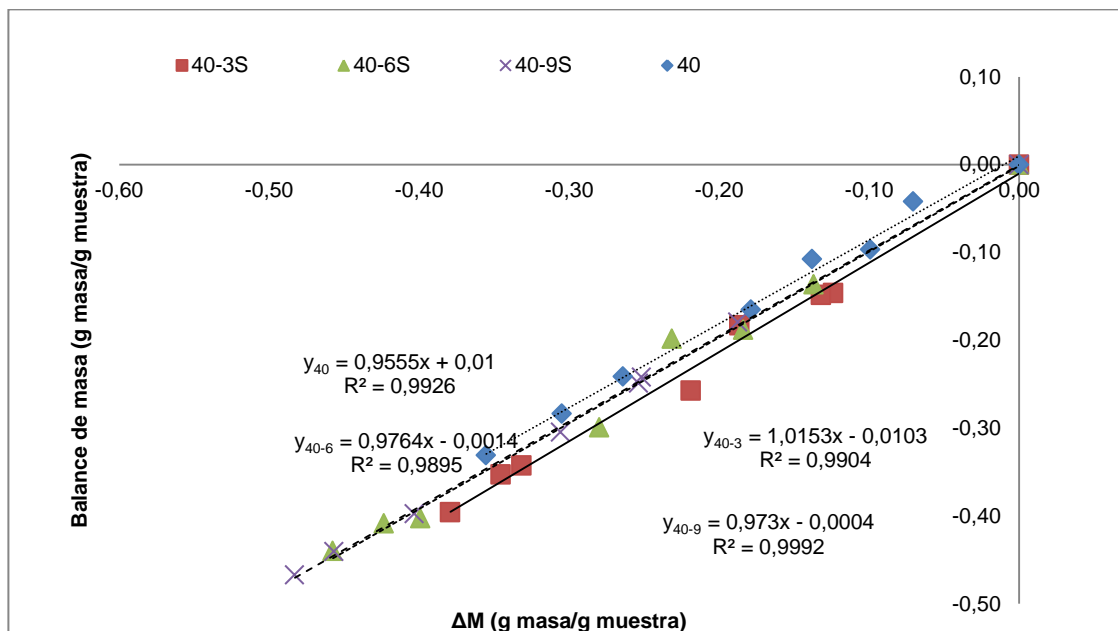


Figura 18. Comportamiento del balance de masa en los tratamientos ternarios

Se observa que el valor de R^2 de las pendientes de las gráficas es relativamente cercano a 1, lo que indica la fiabilidad de los valores experimentales. Las diferencias con el valor esperado se deben posiblemente a las pérdidas de materia seca de los cilindros de mango que se hayan desprendido (Ayala et al., 2010).

7.4 DIFUSIVIDAD EFECTIVA

En la Tabla 4 se muestran los valores de difusividad efectiva para el agua de los tratamientos estudiados. Se evidenció un comportamiento creciente mostrando un incremento en el resultado con el aumento de la concentración.

Tabla 4. Datos de difusividad efectiva para el agua

CONCENTRACIÓN	DIFUSIVIDAD AGUA (m ² /s) (10 ⁻¹⁰)
40-3S	3,13
40-6S	3,98
40-9S	6,08
40	1,72

En la Tabla 5 se muestran los valores de difusividad efectiva para los sólidos de los tratamientos combinados y el tratamiento control, sacarosa a 40%. Se evidenció un comportamiento creciente para las concentraciones con menor cantidad de solutos y un valor muy cercano entre los tratamientos de mayor concentración.

Tabla 5. Datos de difusividad efectiva para los sólidos

CONCENTRACIÓN	DIFUSIVIDAD SÓLIDOS (m ² /s)(10 ⁻¹⁰)
40-3S	1,88
40-6S	3,32
40-9S	3,04
40	1,15

Puede notarse que los tratamientos ternarios (combinados) mostraron mayor valor del coeficiente de difusión que la muestra control 40-0%. Con respecto a los niveles de sal, se puede observar que a mayor concentración mayor fue el coeficiente de difusión, siendo el tratamiento 40-9% con el mayor valor (6.08 m²/sx10⁻¹⁰). Este mismo comportamiento se

puede notar para la concentración de sólidos solubles, aunque el tratamiento 40-6% presentó el mayor coeficiente de difusión, pero no fue significativo con el de 40-9%.

Resultados similares fueron reportados por Telis et al., (2004), Monnerat et al., (2010) y Domeneghini et al., (2011). Para ellos los coeficientes determinados reportaron valores muy cercanos y una relación proporcional con el aumento de la concentración de la solución. En el anexo 1 se muestran las gráficas de determinación de los coeficientes de la experimentación.

7.5 ANALISIS PARA EL CAMBIO DE VOLUMEN

En la Figura 19 se muestra el cambio de volumen de las muestras de mango verde. Puede notarse una disminución del volumen durante el tiempo de DO y con el aumento de la concentración de sal, alcanzando al final del proceso los tratamientos 40-6S y 40-9S pérdida de volumen superiores al 60%. Esta pérdida de volumen por efecto de la DO se debió a los cambios en la materia generados por la disminución del contenido de humedad. Además, Puede asociarse a un cambio osmodifusional entre las tasas de transferencia de masa del agua y los solutos a través de los poros intercelulares de las muestras (Giraldo et al., 2003; Duque et al., 2007). En la figura 20 se muestra una imagen del cambio físico durante el proceso de DO.

Resultados similares se han explicado en los procesos de modelamiento y evaluación simultánea de transferencia de masa de algunos tejidos de frutas y plantas por Barat et al., 2001 y Fito et al., 2002 respectivamente.

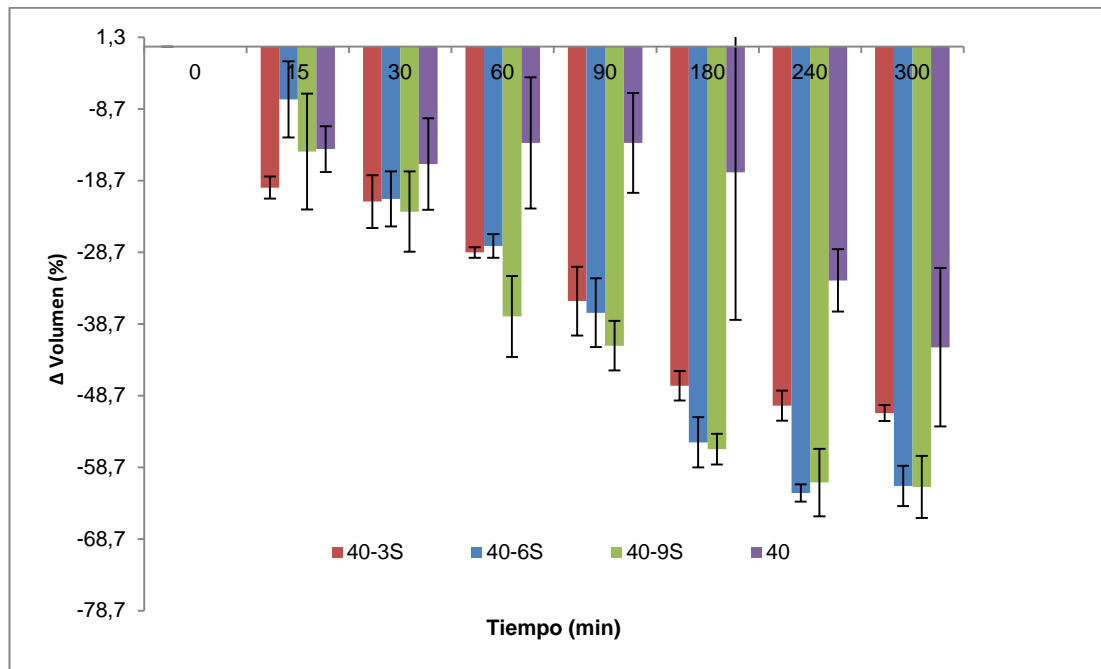


Figura 19. Variación del volumen de los diferentes tratamientos osmóticos

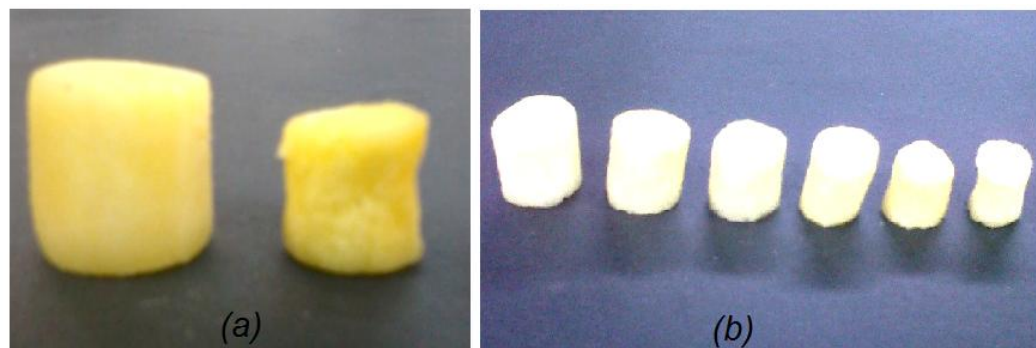


Figura 20. Reducción de volumen de las muestras después del tratamiento osmótico. (a) Diferencias entre la muestra fresca y DO hasta 300 minutos; (b) Cambio de volumen durante el proceso de DO

7.5.1 Análisis de varianza para el cambio de volumen (ΔV)

Se evidenció un efecto significativo ($p < 0.05$) de los factores Concentración de sal y tiempo de DO en el cambio de volumen de los cilindros (Figura 21) puesto que los diferentes niveles de cada factor afectaron la variable respuesta de manera diferente. Así mismo se evidenció una interacción significativa ($p < 0.05$) entre los factores (Figura 22) indicando con esto que el efecto de un factor depende del nivel del otro factor. El nivel de concentración de sal y

tiempo de DO que tuvo mayor influencia sobre la pérdida de agua fue 9% de [sal] y 300 min, respectivamente, debido a que la media de la variable respuesta fue mayor.

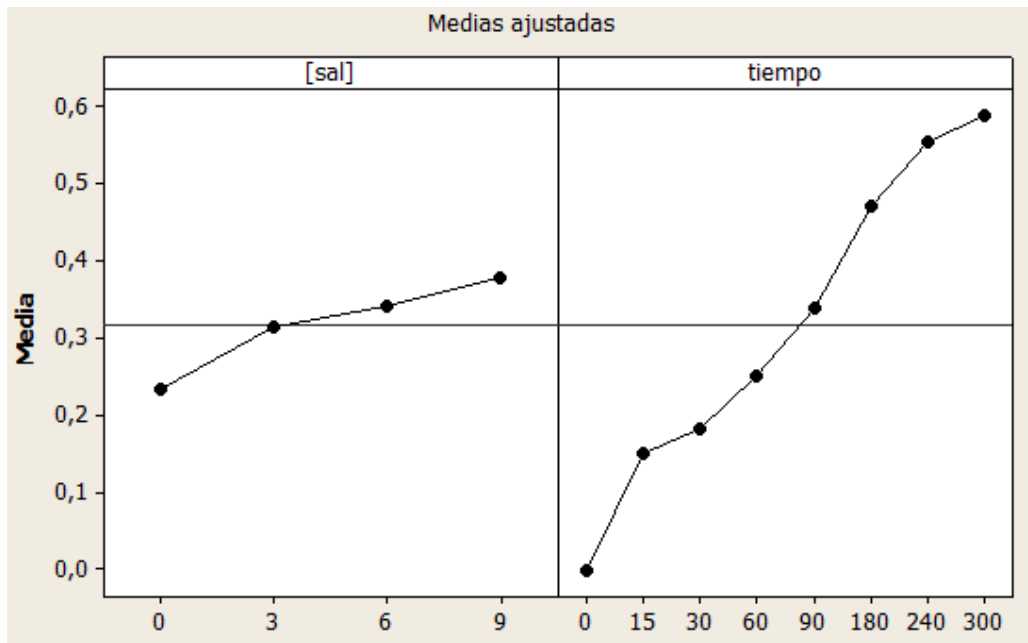


Figura 21. Efectos principales para el cambio de volumen

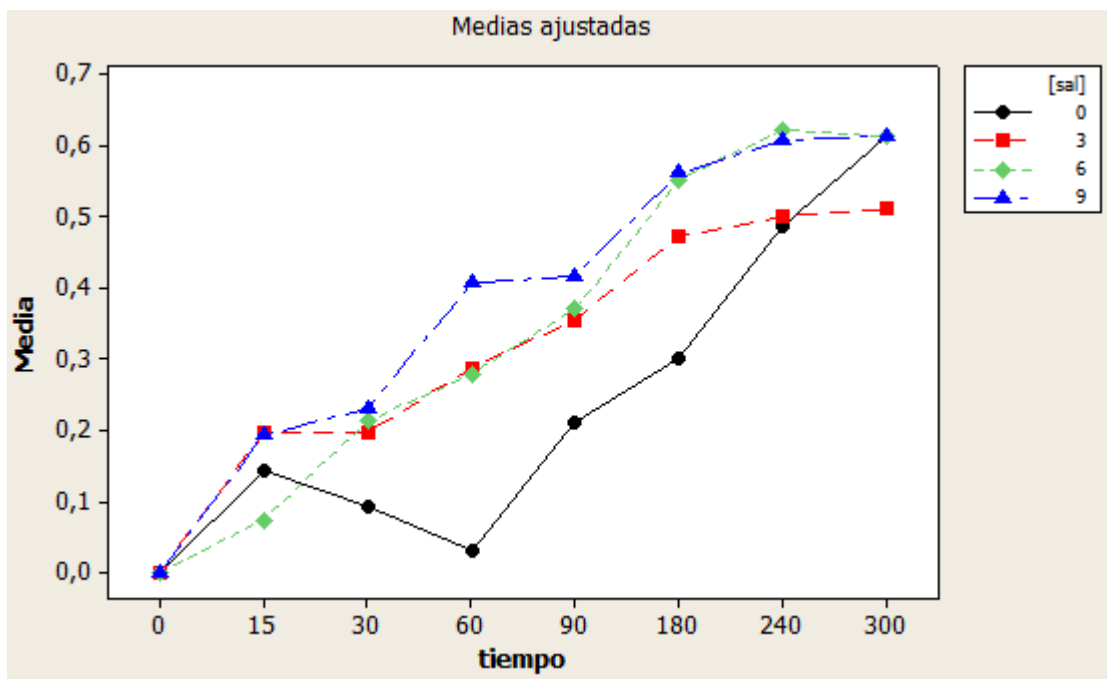


Figura 22. Interacción sal-tiempo de DO para el cambio de volumen

7.6 ANALISIS DEL CAMBIO TOTAL DE COLOR (ΔE)

En la Figura 23 se muestra el cambio de color total en las muestras de mango verde DO. Puede notarse un aumento del cambio de color en todos los tratamientos durante el proceso de DO, evidenciándose en la mayoría de los tiempos de proceso que a mayor concentración de sal mayores fueron los cambios de color, no obstante estas diferencias no resultaron significativas.

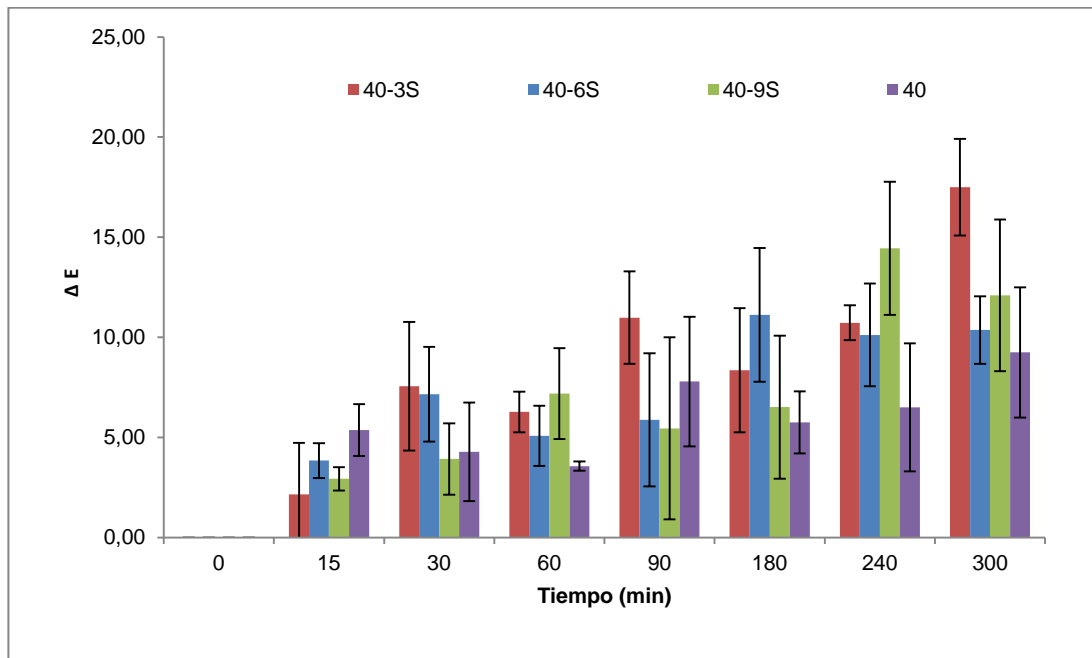


Figura 23. Variación del cambio de color total (ΔE) durante el proceso de DO con soluciones ternarias

En la anterior no se observa una tendencia proporcional con el aumento de la concentración. Estos resultados fueron influenciados por los cambios de Luminosidad (L^*) valores no mostrados. Duque et al., (2007), reportaron que para tiempos cortos las muestras conservan mejor su color en mango maduro, por lo que se puede considerar que la variable que genera mayor influencia en el cambio total de color es la luminosidad de las muestras afectando proporcionalmente la variable en estudio. Con respecto a los niveles de concentración de sal se observó, que en la mayoría de los tiempos de DO, a mayor concentración de sal mayor fueron los cambios de color, no obstante estas diferencias no fueron significativas. Por otro lado el ΔE fue inferior a 15, lo que indica que los cambios de color en las muestras de mango verde no son fácilmente observables.

7.6.1 Análisis de la varianza (ANOVA) para el cambio de color (ΔE)

No se evidenció un efecto significativo ($p > 0.05$) de los factores concentración de sal y tiempo de DO en el cambio de volumen de los cilindros (Figura 24). Así mismo no se evidenció una interacción significativa ($p > 0.05$) entre los factores (Figura 25). Por lo cual no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos.

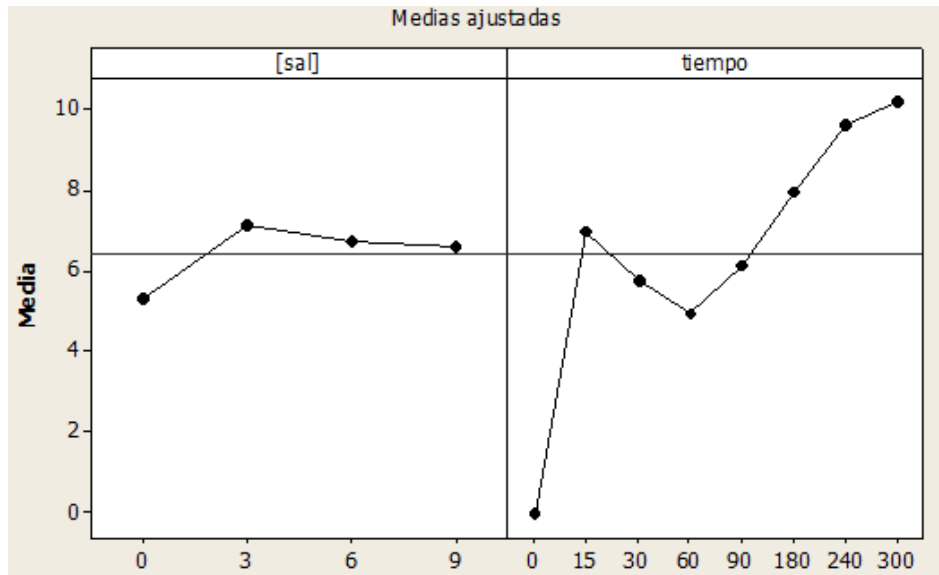


Figura 24. Efectos principales para el cambio de color total (ΔE)

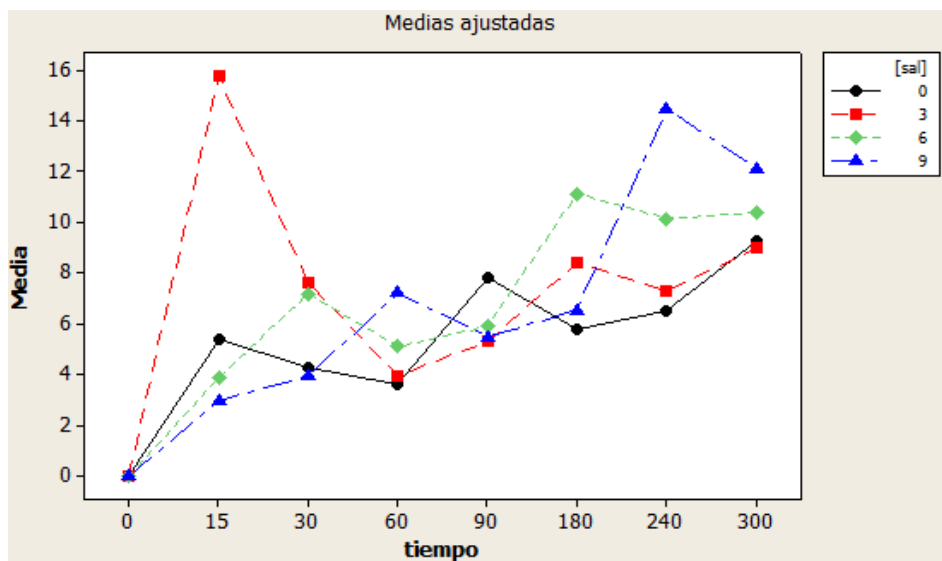


Figura 25. Interacción para el cambio de color total (ΔE)

En el anexo 1 se muestran las gráficas de los histogramas, normalización y valores residuales de las interacciones de los tratamientos anteriormente evaluados, en estas se visualiza el comportamiento general de los efectos analizados durante la DO con la respectiva dispersión de los datos.

CONCLUSIONES

- La composición de la solución osmótica mostró efectos significativos en las variables de respuesta estudiadas. El incremento de la concentración de sal incrementó los coeficientes de difusión de agua y de sólidos favoreciendo la eliminación de agua y la ganancia de sólidos en las matrices de mango verde, siendo el tratamiento 40-9% el más significativo.
- Se evidenció un efecto sinérgico de las soluciones 40° Brix de SA con 3, 6 y 9% de NaCl en comparación con las soluciones binarias (SA –agua y SAL agua) para las pérdidas de agua y ganancia de sólidos solubles en muestras de mango verde.
- La reducción del contenido de humedad afecta proporcionalmente el cambio de volumen en los tratamientos estudiados.
- El proceso de DO con soluciones ternarias (SA y NaCl) no afectó significativamente los cambios totales de color en las matrices de mango verde, lo que indica que el color característico de la fruta no cambia significativamente durante la deshidratación.
- El proceso de deshidratación osmótica es una alternativa de conservación parcial del mango verde, que puede ser empleada como pretratamiento a otros procesos de conservación.
- El tiempo del proceso influyó en las cinéticas de deshidratación osmótica; a mayor tiempo se evidenciaron mayores pérdidas de agua y de peso, así como de ganancia de sólidos solubles.

REFERENCIAS

- AGRONET COLOMBIA. Análisis – Estadísticas: Área y producción agrícola y pecuaria [en línea] Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2011 [19 de abril de 2011]. Disponible en web: [http://www.agronet.gov.co/agronetweb/AnalisisEstadisticas/tabid/73/Default.aspx]
- ATEHORTUA, A.; MOLINA, C.; DÍAZ, A. 2005. Procesos de deshidratación e impregnación por inmersión y pre fritura aplicados a la elaboración de tajadas de plátano (*Musa Paradisiaca* AAB). *Ingeniería & Competitividad*. 7, pp. 56–64.
- AYALA, A., TORRES L., TABARQUINO L., RIVERA P., DÍAZ A., 2007. Efecto del NaCl en Soluciones Combinadas de Sacarosa sobre las Perdidas de agua y Ganancia de solutos en plátano (*musa paradisiaca* lvar. dominico hartón) Deshidratado Osmóticamente. *Ambato-Ecuador*.
- AYALA, A.; GIRALDO, C. J; SERNA, L. 2010. Cinéticas de deshidratación osmótica de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Interciencia*, vol. 35, núm. 7, julio, 2010, pp. 539-544 Asociación Interciencia Venezuela
- AZUARA, E., BERINSTAIN, C., GUTIERREZ, G. 2002. Osmotic dehydration of apples by immersion in concentrated sucrose/maltodextrin solutions. *Journal of Food Processing Preservation* 26. pp. 295-306.
- BARAT, J. M., FITO, P., & CHIRALT, A. 2001. Modelling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues. *Journal of Food Engineering*, 49. pp. 77–85.
- BOTANICAL, S. 2011. El mundo de las plantas. Propiedades del Mango. Botanical On- line, Derechos Reservados. 2011
- BOHUON, P.; COLLIGNAN, A.; RIOS, G. M.; RAOULT-WACK, A. L. 1998. Soaking process in ternary liquids: experimental study of mass transport under natural and forced convection. *Journal of Food Engineering* 37. pp. 451–469.
- CAMACHO, G. 2006. Fundamentos de la deshidratación osmótica. Universidad Nacional de Colombia.
- CASTRO, M. 2011. El mango, fruta con excelente oportunidad de exportación. Universidad del Rosario. *Universia Noticias* [consultado en <http://noticias.universia.net.co/entrada/noticia/2011/01/28/784899/mango-fruta-excelente-oportunidad-exportacion.html>]
- CHAFER, M., GONZÁLEZ, C., ORTOLA, M., CHIRALT, A., FITO, P. 2001. Kinetics of osmotic dehydration in orange and mandarin peels. *Journal of Food Engineering* 24. pp 273-289.
- CHENLO, F.; MOREIRA, R.; PEREIRA, G.; AMPUDIA, A. 2002. Viscosities of aqueous solutions of sucrose and sodium chloride of interest in osmotic dehydration processes. *Journal of Food Engineering* 54. pp. 347–352.
- CHIRALT, A.; FITO P. 2003. Transport mechanism in osmotic dehydration: the role of the structure. *Food Sci. Technol.* 9. pp. 179-186.

- CHIRIFE, J. 1988 Principios de la deshidratación osmótica de frutas. An. Asoc. Quim. Arg. 70. pp. 913-932.
- DOMENEGHINI-MERCALI, G.; FERREIRA-MARCZAK, L.D.; TESSARO, I.C.; ZAPATA-NOREÑA, C.P. 2011. Evaluation of water, sucrose and NaCl effective diffusivities during osmotic dehydration of banana (*Musa sapientum*, shum). LWT – Food Science and Technology 44. pp. 82-91.
- DUQUE, A.L.; GIRALDO, G.A.; MEJÍA, C.M. 2007. Variación del color en mango, mora y uchuva en diferentes tratamientos de deshidratación osmótica. Revista de Investigaciones 17. pp. 19-26.
- GALÁN, V. 2009. El cultivo del mango. 2 Ed. Mundi-Prensa Libros. Madrid, España. pp. 340-344.
- FITO, P.; CHIRALT, A. 1997. Osmotic dehydration: an approach of the modelling of solid food liquid operations. Journal of Food Engineering 13. pp. 231-252.
- FITO, P.; CHIRALT, A.; BARAT, J. M.; MARTINEZ, J. 2002. Mass transport and deformation relaxation phenomena in plant tissues. In J. Welti-Chanes, G. Barbosa-C_ _anovas, & J. M. Aguilera (Eds.), Engineering and food for the 21st Century. Boca Raton: CRC Press. pp. 235–254.
- GIRALDO, G; TALENS, P; FITO, P; CHIRALT, A. 2003. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. Journal of Food Engineering 58. pp. 33–43.
- GONZALES, A. 2007. El color en la industria de los alimentos. Ciudad de la Habana. Editorial Universitaria. pp. 959-978.
- GUTIERREZ, J. 2003. Ciencia Bromatologica. Principios generales de los alimentos. 3 Ed. Diaz de santos S.A. España. pp. 195-196.
- HIDALGO, J. 2003. Tratado de Enología, Volumen 1. Mundi-Prensa Libros.
- IBARZ R. A. 2005. Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos. Mundi prensa libros.
- ICTA. 2006. Deshidratación osmótica de frutas. Instituto de ciencia y tecnología alimentaria.
- INFORMACION AGRÍCOLA. 2005. El cultivo del mango. [consultado en: http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/mango.htm]
- LEMONS, L.; DÍAZ, A.; RODRÍGUEZ, A. 2002. Reutilización de soluciones concentradas utilizadas en deshidratación- impregnación por inmersión (D.I.I) de plátano maduro (*Musa paradisiaca* L.). Asociación de Bananeros de Colombia AUGURA.
- LUCAS, E. 2009. Los Efectos del Mango en los Parámetros de Glucosa y Lípidos en Casos de Obesidad Inducida por Dieta con Alto Contenido de Grasas. Oklahoma State University.
- MANDALA, I. G.; ANAGNOSTARAS, E.F.; OIKONOMOU, C. K. 2005. Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. Journal of Food Engineering 69. pp. 307–316.

MARTINS, M. C.; CUNHA, A. L.; SILVA, M. R. 2008. Effect of dehydration osmotic conditions on the quality of cashew apple from cerrado. *Ciênc. Tecnol. Alim. Campinas*. 28. pp. 158-165.

MEDINA, V., SOBRAL, P., HUBINGER, M. 2002. Osmotic dehydration of tilapia fillets in limited volume of ternary solutions. *Chemical Engineering Journal* 86. pp 199–205.

MILLER, D., FRANCHINI, C., COVADONGA, M. 2003. 1 Ed. Rodrigo Facio. Costa Rica. pp. 101-105.

MONNERAT, S; PIZZI, T; MENEGALLI, F. 2010. Osmotic dehydration of apples in sugar/salt solutions: Concentration profiles and effective diffusion coefficients. *Journal of Food Engineering* 100. pp. 604–612

MOREIRA, R.; CHENLO, F.; PEREIRA, G. 2003. Viscosities of ternary aqueous solutions with glucose and sodium chloride employed in osmotic dehydration operation. *Journal of Food Engineering* 57. pp. 173–177.

MORENO, J., BUGUEÑO, G., VELASCO, V., PETZOLD, G., TABILOM, G. 2004. Osmotic Dehydration and Vacuum Impregnation on Physicochemical Properties of Chilean Papaya (*Carica candamarcensis*). *Journal of Food engineering* 69. pp. 102-106.

OCHOA C; AYALA, A. 2005. Modelos matemáticos de transferencia de masa en deshidratación osmótica. *Cienc. Tecnol. Aliment. Vol 4, No. 5*. pp 330-342, 2005.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA [en línea]. Producción mundial de mango. 2009. [15 de agosto de 2012]. Disponible en: [<http://faostat.fao.org>]

ORTIZ X., ACEVEDO X., MARTINEZ H., 2002. Características y estructura de los frutales de exportación en Colombia. Ministerio de agricultura y desarrollo rural.

OSORIO, C.; FRANCO, M.S.; CASTAÑO, M.P.; GONZÁLEZ-MIRET, M.L.; HEREDIA, F.J.; MORALES, A.L. 2007. Colour and flavor changes during osmotic dehydration of fruits. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 8. pp. 353–359.

QI, H.; LE MAGUER, M.; SHARMA, S. K. 1998. Design and selection of processing conditions of a pilot scale contactor for continuous osmotic dehydration of carrots. *Journal of Food Process Engineering* 21. pp. 75–88 RASTOGI NK, RAGHAVARAO KSMS. 1996. Kinetics of osmotic dehydration under vacuum. *Lebensm. Wiss. Technol.* 29. pp. 669-672.

RAVINDRA, M. R.; CHAT, P. K. 2000. Optimisation of osmotic preconcentration and fluidised bed drying to produce dehydrated quick cooking potato cubes. *Journal of Food Engineering* 44. pp. 5-11.

SABLANI, S.; RAHMAN, MS. 2003. Effect of syrup concentration, temperature and sample geometry on equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of mango. *Food Res. Int.* 36. pp. 65-71.

SALAMANCA, G.; FORERO, F.; GARCÍA, J.; DÍAZ, C.; SALAZAR, B. 2007. Avances en la caracterización, conservación y procesamiento del mango (*Mangifera indica* L.) en Colombia. *Revista Tumbaga* 2. pp. 57-64.

SERENO, A.M; HUBINGER, M.D; COMESAÑA, J.F; CORREA, A. 2001.Prediction of water activity of osmotic solutions.Journal of Food Engineering 49 (2001) pp. 103-114.

SHIP, J.; LE MAGUER, M. 2002. Osmotic Dehydration of Foods: Mass Transfer and Modeling Aspects. Food Reviews International vol. 18 no 4.pp.305–335.

SILVEIRA, E. T.; RAHMAN, M. S.; BUCKLE, K. A. 1996. Osmotic dehydration of pineapple: kinetics and product quality. Food Res. Int. 29. pp. 227-233

SOLETO, O., 2012. Producción mundial de mango. Agenda de innovación 2012. Fundación produce de guerrero A.C.

TAIWO, KA.; ANGERSBACH, A.; ADE-OMOWAYE, BIO.; KNORR, D. 2001. Effects of pretreatment on the diffusion kinetics and some quality factors of osmotically dehydrated apple slices, J. Agric. FoodChem. 49. pp. 2804-2811.

TELIS, V.R.N.; MURARI, R.C.B.D.L.; YAMASHITA, F. 2004. Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions.Journal of Food Engineering 61. pp. 253–259.

VAN NIEUWENHUIJZEN, N. H.;ZAREIFARD, M. R.;RAMASWAMY, H. S. 2001. Osmotic Drying Kinetics Of Cylindrical Apple Slices Of Different Sizes. Drying Tech.19. pp. 52.

YAHIA, E. 2003. El Comercio Internacional del Mango. U. Autonoma de queretaro. Mexico,.

ANEXO 1.

Gráficas de coeficientes de difusividad. Herramientas estadísticas de Resultados de ANOVA para variables de respuesta: Contenido de humedad (C.H.), variación de peso (ΔM), variación de pérdida de agua (ΔM_w), sólidos solubles (ΔM_s), parámetros de color (ΔE) y cambios de volumen.

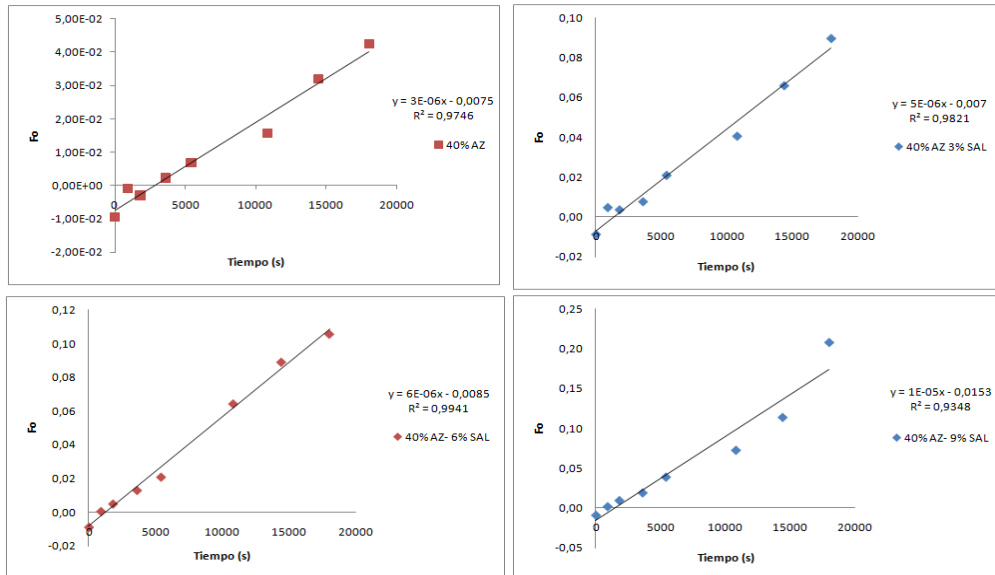


Figura A. Imagen de las gráficas de difusividad para el agua

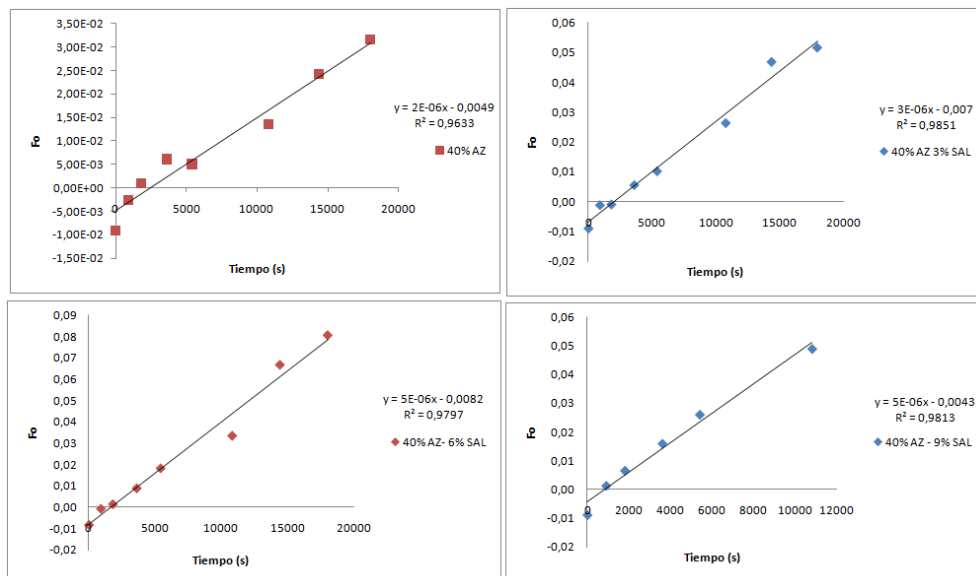


Figura B. Imagen de las gráficas de difusividad para los sólidos

Análisis de varianza para ΔM , utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
[sal]	3	0,192169	0,192169	0,064056	112,19	0,000
tiempo	7	1,683754	1,683754	0,240536	421,27	0,000
[sal]*tiempo	21	0,043816	0,043816	0,002086	3,65	0,000
Error	64	0,036543	0,036543	0,000571		
Total	95	1,956283				

S = 0,0238952 R-cuad. = 98,13% R-cuad.(ajustado) = 97,23%

Figura C. Resultados ANOVA para ΔM

Análisis de varianza para ΔMw , utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
[sal]	3	0,307738	0,307738	0,102579	191,42	0,000
tiempo	7	2,495340	2,495340	0,356477	665,21	0,000
[sal]*tiempo	21	0,068670	0,068670	0,003270	6,10	0,000
Error	64	0,034297	0,034297	0,000536		
Total	95	2,906045				

S = 0,0231493 R-cuad. = 98,82% R-cuad.(ajustado) = 98,25%

Figura D. Resultados ANOVA para ΔMw

Análisis de varianza para ΔMs , utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
[sal]	3	0,0101919	0,0101919	0,0033973	30,87	0,000
tiempo	7	0,1005822	0,1005822	0,0143689	130,57	0,000
[sal]*tiempo	21	0,0054062	0,0054062	0,0002574	2,34	0,005
Error	64	0,0070431	0,0070431	0,0001100		
Total	95	0,1232235				

S = 0,0104904 R-cuad. = 94,28% R-cuad.(ajustado) = 91,52%

Figura E. Resultados ANOVA para ΔMs

Análisis de varianza para ΔE , utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
[sal]	3	44,24	44,24	14,75	1,23	0,307
tiempo	7	848,14	848,14	121,16	10,08	0,000
[sal]*tiempo	21	526,59	526,59	25,08	2,09	0,013
Error	64	769,24	769,24	12,02		
Total	95	2188,21				

S = 3,46689 R-cuad. = 64,85% R-cuad. (ajustado) = 47,82%

Figura F. Resultados ANOVA para ΔE

Análisis de varianza para ΔV , utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
[sal]	3	0,26807	0,26807	0,08936	18,44	0,000
tiempo	7	3,65254	3,65254	0,52179	107,70	0,000
[sal]*tiempo	21	0,29275	0,29275	0,01394	2,88	0,001
Error	64	0,31006	0,31006	0,00484		
Total	95	4,52342				

S = 0,0696039 R-cuad. = 93,15% R-cuad. (ajustado) = 89,83%

Figura G. Resultados ANOVA para ΔV

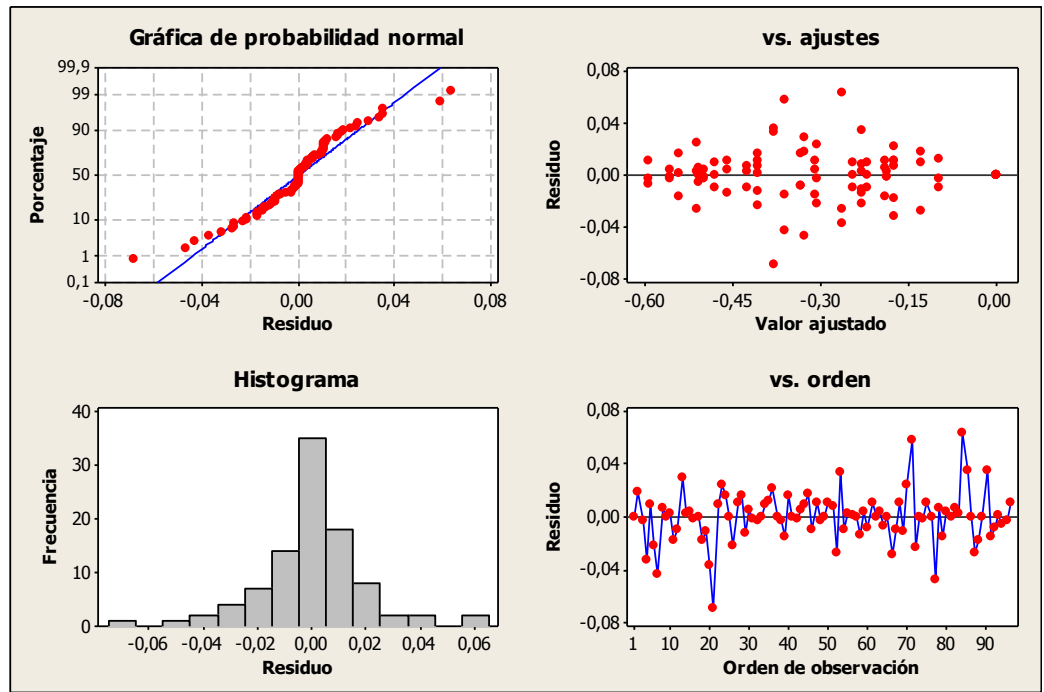


Figura H. Resultados ANOVA. Residuales, Normal e Histograma para la perdida de agua. Programa Minitab 15

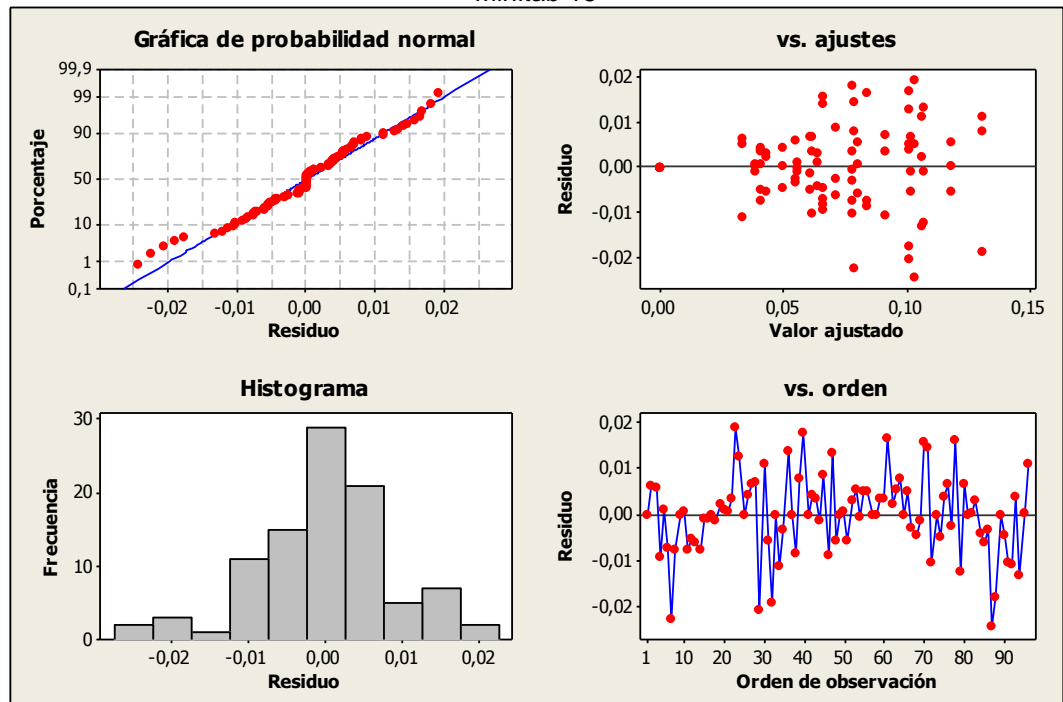


Figura I. Resultados ANOVA. Residuales, Normal e Histograma para la ganancia de sólidos. Programa Minitab 15

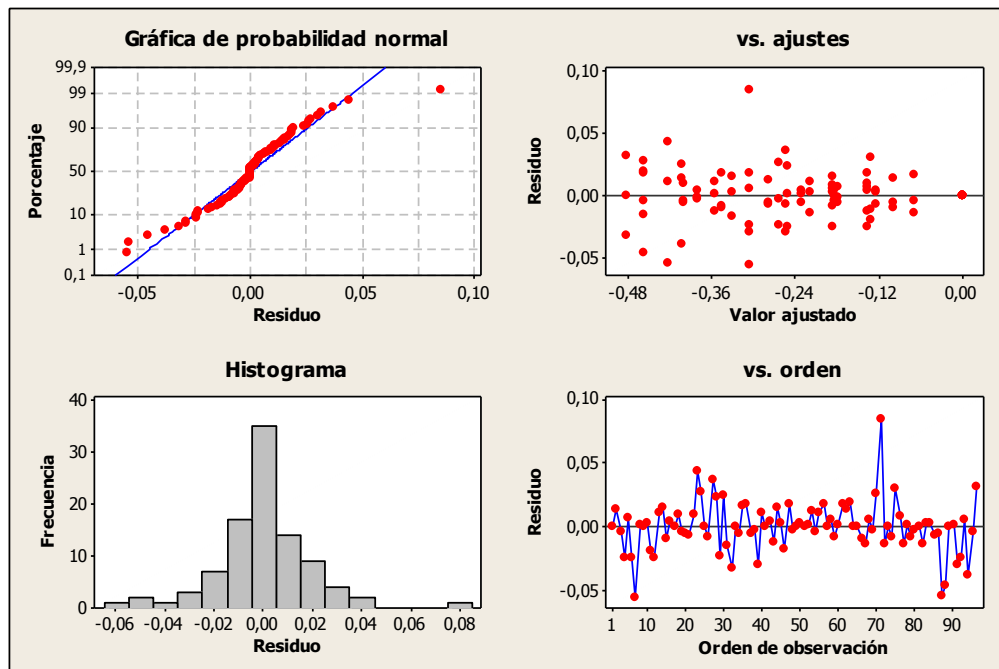


Figura J. Resultados ANOVA. Residuales, Normal e Histograma de variación de peso. Programa Minitab 15

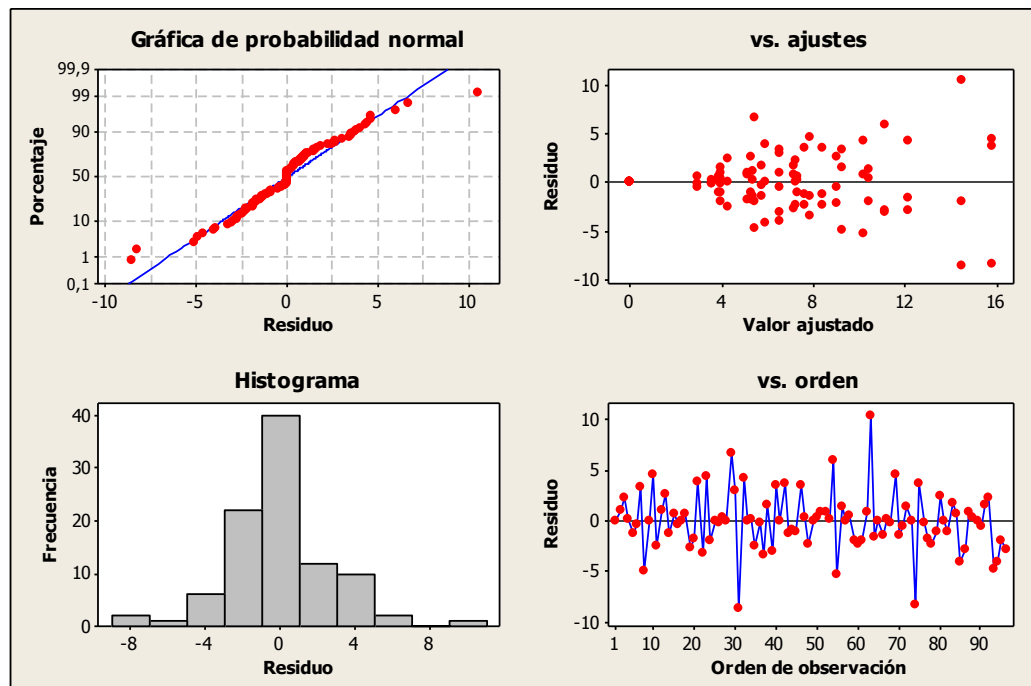


Figura K. Resultados ANOVA. Residuales, Normal e Histograma para el cambio de color total. Programa Minitab 15

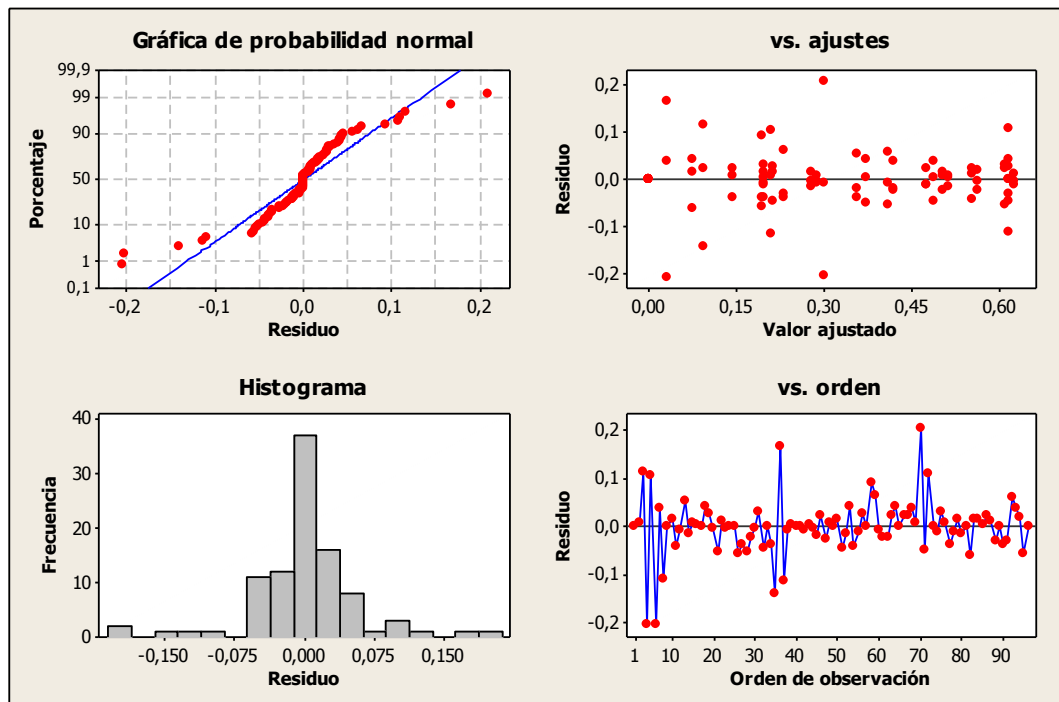


Figura L. Resultados ANOVA. Residuales, Normal e Histograma para el cambio de volumen.
Programa Minitab 15