

Evaluación computacional de la calidad y rendimiento del ñame (*Dioscórea rotundata*) debido a factores ambientales de empaque y almacenamiento

Rafael H. Merlano-Porto¹ <https://orcid.org/0000-0001-7215-5368>
Jesús A. Alvarado-Rodríguez¹ <https://orcid.org/0009-0001-7221-4492>
Dayana M. Barroso-Críales¹ <https://orcid.org/0009-0007-9122-6433>
Carlos Cohen-Manrique¹ <https://orcid.org/0000-0002-3005-5075>

¹ Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura. CECAR, Sincelejo, Colombia.
(Correo-e: rafael.merlano@cecar.edu.co, jesus.alvarado@cecar.edu.co, dayana.barroso@cecar.edu.co, carlos.cohen@cecar.edu.co)

Recibido Dic. 14, 2022; Aceptado Feb. 6, 2023; Versión final Abr. 15, 2023, Publicado Oct. 2023

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el impacto de la exposición a la luz solar, tipo de empaque y tiempo de embalaje sobre la pérdida de peso y germinación del ñame espino (*Dioscórea rotundata*). El almacenamiento de este tubérculo en poscosecha presenta limitantes en las utilidades del negocio exportador. Se aplica un diseño experimental factorial bajo un arreglo completamente al azar de 4x3x8, con 3 repeticiones. Los resultados muestran que dos de los tres tipos de empaques analizados, el recubrimiento con parafina y el empaque con bolsas de polietileno de baja densidad, presentan similitudes por menor pérdida de peso, con valores hasta el 1.9% del total del peso. En términos de germinación, se lograron obtener mejores resultados empleando recubrimiento con parafina, con retrasos en el proceso de germinación por 52 días de almacenamiento. Se concluye que la menor pérdida de peso se da cuando el producto es empacado con polímeros de baja densidad.

Palabras clave: ñame espino; *Dioscórea rotundata*; pérdida de peso; exposición a la luz; recubrimiento con parafina; tiempo de embalaje

Computational assessment of packaging and storage environmental factors on the quality and yield of yam (*Dioscórea rotundata*)

Abstract

The primary objective of this research study is to assess the impact of sunlight exposure, packaging type, and packaging time on the weight loss and germination of the spiny yam (*Dioscórea rotundata*). Post-harvest storage of this tuber yields limited profits when exporting. A factorial experimental design is conducted under a completely randomized arrangement of 4x3x8, with 3 replications. The results show that two of the three types of packaging examined, kerosene coating and low-density packaging with polyethylene bags, show similarities in terms of lower weight loss, with values of up to 1.9% of the total weight. In terms of germination, the best results are obtained using kerosene coating, having delays in the germination process for 52 storage days. It is concluded that the least weight loss is achieved when *D. rotundata* is packaged using low-density polymers.

Keywords: spiny yam; *Dioscórea rotundata*; weight loss; exposure to light; kerosene coating; packaging time

INTRODUCCIÓN

El ñame es una planta tropical cuyo origen es africano y asiático, perteneciente a la familia *Dioscoreáceae*, esta planta es cultivada mayormente en zonas tropicales y húmedas, además, se puede decir que está constituida por más de 600 especies, de las que solamente 12 son comestibles. En la actualidad, este tubérculo es producido en muchos países del mundo, dentro de los cuales hacen presencia países de centro américa y américa del sur (Torres et al., 2012). Para el 2018 el continente africano, alcanza 70.9 millones de toneladas, equivalente al 97% de la producción mundial, las producciones en las Américas representan el 2.0% de la producción, aproximadamente 1.4 millones de toneladas. (Martínez et al., 2021).

En Colombia, el ñame está constituido como una gran fuente de nutrientes y de ingresos para las familias, especialmente en la región Caribe, de la cual se destaca la participación nacional de los departamentos de Bolívar, con 10.110 ha y una producción de 125.330 ton, Córdoba con 11080 ha y una producción de 132.677,20 ton y Sucre 2211 ha, con 18571 ton. Del total de los cultivos en Colombia, aproximadamente 27094 ha, se alcanza una producción de 315.433,37 ton (Martínez et al., 2021). Dada la importancia y participación de estas regiones en la producción nacional, estos territorios se perfilan para llevar a cabo el proceso de exportación a mercados de alto valor.

No obstante, el mercado exige características mínimas que el ñame tipo exportación debe tener, tales como: producto fresco con consistencia firme, libres de enfermedades, limpios, sanos, exentos de olores, sabores, con un peso entre 0.5 Kg y 3.0 Kg, por esto se hace indispensable comercializar el ñame tipo exportación bajo ciertos parámetros que aseguren la calidad del producto, lo que a su vez conlleva a la competitividad en el mercado (Procaribe, 2012). Así mismo, es necesario considerar, que, para contar con una buena calidad del ñame, una de las principales características del tubérculo para exportación, es que este producto se encuentre sin germinar, así como también, que las raíces sean comestibles, estén libres de tierra, sin infección por hongos, entre otras.

Lamentablemente, las condiciones de poscosecha (manejo, almacenamiento y comercialización) de este producto hortícola son deficientes en el departamento de Sucre, y como resultado se presentan inconvenientes en las características físicas, uno de ellos es la pérdida de peso, cuya principal causa, es el desconocimiento del efecto de variables como; temperatura de almacenamiento, exposición a la luz, empaque adecuado, entre otras, que en resumen resultan ser fundamentales en la conservación y calidad de este tubérculo (Reina, 2012), cabe mencionar que estas fallas de almacenamiento se traducen en pérdidas para la empresa exportadora, generando un bajo rendimiento económico y un negocio poco factible (Andrade et al., 2012). Otro factor, que deteriora notablemente su valor comercial, y genera mayores pérdidas económicas, se relaciona con la pudrición seca de los tubérculos, al deteriorar sus tejidos internos. Generalmente los síntomas se manifiestan en el almacenamiento y con daños aparentes en el exterior (Sanchez et al., 2020).

De igual modo, el ñame producido en China, en su etapa de almacenamiento y transporte, puede presentar moho y pudrición fácilmente, ello debido a la cantidad de agua en el tubérculo y otros deterioros que se pueden presentar en las etapas de cosecha o poscosecha. En ese sentido (Shulai et al., 2011), analizan los factores de humedad y temperatura, a fin de observar qué efectos tienen sobre la conservación del ñame. En los resultados, encontraron que, a temperaturas entre 18° y 23 ° C, y baja humedad relativa entre 15% y 20% se presentaron mejores resultados en la calidad del ñame. Así mismo (Donegá et al., 2013), evalúan el impacto microbiológico en el ñame (*Dioscórrea Alata*) a los 0, 3, 6 y 9 días, cuando es almacenado a diferentes temperaturas (5°, 10°, 15° y 20° C). Se concluye que, entre los 5° y los 20°C, los tubérculos, hasta el tercer día siguen conservando la tasa de respiración, al igual que la pérdida de peso con características muy similares al ñame recién cortado, sin afectaciones en el valor comercial del producto. En otro estudio, se evaluó el efecto de la radiación UV-C (radiación ultravioleta de onda corta) sobre la calidad y oscurecimiento del ñame recién cortado, y durante 16 días de almacenamiento. Los resultados determinaron que la radiación a 0, 4, 8, 12 y 24 kJ·m⁻², disminuyó efectivamente el grado de oscurecimiento. Al igual que los sólidos solubles y la dureza del tubérculo se conservaron en su etapa de almacenamiento (Zhao, 2021).

Por otro lado, Andrade et al., (2012) establecen que los trozos de ñame empacados en atmósferas modificadas, no resulta atractivo desde el punto de vista comercial y de calidad, en la vida útil, debido al almacenamiento se reduce entre 6 y 10 días. Otras investigaciones realizadas por Deng y Jau (2008), en tubérculos pelados y no pelados, sellados al vacío, que fueron almacenados de 5 a 80 días y separados a temperaturas entre 4° y 25° C, se pudo observar que, a temperaturas de 4° C, y 35 días de almacenamiento se encontraron daños por frío. Así mismo los tubérculos pelados y almacenados a 17° y 25°C durante 5 días pueden experimentar daños organolépticos, incrementándose en la medida que el almacenamiento se prolonga. Después de 35 días, los tubérculos que se almacenaron al vacío se transformaron y presentaron deterioro. En otro estudio relacionado, se efectúa un diseño experimental completamente al azar, para evaluar las alteraciones físicoquímicas del ñame, cuando es mínimamente procesado (pelado y cortado en trozos) y almacenado a

dos temperaturas (5° y 10°C) y ocho tiempos de almacenamiento (0, 2,4,6,8,10,12, y 14 días). Entre los resultados encontrados, se observó que el ñame mínimamente procesado y almacenado a temperaturas de 5°, redujo la pérdida de peso y conservo la calidad visual del producto por más tiempo. Además, que el ñame almacenado a 10° se puede comercializar hasta por seis días, y el ñame almacenado a 5°C hasta por 14 días. (Simoes et al., 2016). Del mismo modo, otra investigación, señala las afectaciones de las enzimas y los metabolitos del metabolismo oxidativo en porciones de ñame recién cortado. Para ello se tomaron muestras entre 0-5 mm y 5-10mm, y se almacenaron a temperaturas de 5° o 26° C, durante días y horas respectivamente, simulando el proceso de comercialización, con embalaje y sin embalaje. Los resultados revelaron, que las lesiones en el ñame fueron ocasionadas por un inductor físico que provocó cambios en los niveles de peroxidación lipídica y compuestos fenólicos. Estas respuestas fueron mas significativa en el area mas cercana a la herida, pero con menos gravedad en el resto del tejido. Además, que debido a la deshidratación del ñame, estas respuestas se fueron incrementando, sin embargo en la fase de refrigeración, se pudo observar atenuación en las lesiones del tubérculo. (Coelho et al., 2019).

Otras afectaciones que este producto puede presentar, en su etapa de almacenamiento, es debido al manejo y mantenimiento en campo. Este tipo de tubérculo, por aspectos económicos y de exportación, tiene la alternativa, de operar con diferentes densidades de siembra, entre 10.000 y 45.000 plantas/ha, sin embargo, la densidad poblacional en campo no tiene afectaciones directas en su fisiología, posiblemente debido a la capacidad de la especie de regular su actividad fisiológica debido su densidad y competencias entre plantas. Por consiguiente, los volúmenes de siembra/ha, no representan un aspecto relevante, desde el punto de vista fisiológico, para el almacenamiento y empaquetado del producto, y su posterior comercialización (Perez et al., 2015). Otros estudios realizados con micro tubérculos in vitro, y con diferentes tiempos de almacenamiento en condiciones estériles, demostró que a temperatura de 25° C, presentaron germinación más rápida (brote), que la experimentada a temperatura de 18°C (Ondo et al., 2010) Por otro lado los efectos de la temperatura de almacenamiento entre (20±8 C), 17±2 y 10±1.5 C, en ñames de Taiwaneses, experimentaron disminución en el contenido de fibra, con las tres temperaturas, pero el contenido de azúcar reductor disminuyó (Chou et al., 2005). Otra de las características importantes y dependiendo del uso del tubérculo se relaciona con la capacidad de pegado (almidones) debido al tiempo de almacenamiento, para ello se utilizaron 6 variedades de ñame, *D. alata* y *D. rotundata*, para el caso de la variedad *D. rotundata*, se observaron disminuciones en la viscosidad pico, y el tiempo de retención (Otegbayo, 2014).

Además, es importante, que, para favorecer las actividades de comercialización, en la cadena de suministro, se debe tener en cuenta que la pérdida de peso durante los 10 días primeros días de almacenamiento, las merma en el tubérculo no resulten relevantes (Allaoui et al., 2019). Así mismo, y con el propósito de evaluar el daño fisiológico y Bioquímico, debido la pérdida de calidad del ñame mínimamente procesado y mantenido en dos envases diferentes a dos temperaturas (5° y 2° C), en ese caso (Do Nascimento et al., 2019), encontraron que el ñame empaquetado en bolsas de polipropileno (PP, 4 µm de grosor), presentó fluorescencia en la superficie, característicos de *Pseudomonas* spp, mientras que el envase de nylon, fue más eficiente con una reducción en el daño oxidativo, disminuyendo la acumulación de proteínas solubles, lo que dio como resultado, que durante 14 días el producto mínimamente procesado, manifestó menor deterioro en su etapa de almacenamiento.

Este tipo de producto, constituye una de las principales fuentes de ingreso en muchas zonas rurales del mundo, como alimento básico, en forma procesada y como materia prima para fines industriales (González, 2012). Normalmente el tubérculo (*Dioscórea rotundata*), es exportado a mercados del Caribe y América del Norte, en cajas de cartón corrugado, y envueltos sin pelar en papel tipo Kraft, como elemento para evitar las fricciones internas y daños que puedan ocasionarse en su corteza, que posteriormente afecten la calidad del producto. El siguiente estudio tiene como finalidad, evaluar el comportamiento y eficiencia de otros tipos de materiales de empaque, en la germinación del tubérculo y la pérdida de peso del producto, debido a la exposición directa a la luz solar en el proceso de recolección y el tiempo de almacenamiento en bodega.

MATERIALES Y METODOS

Para el desarrollo metodológico del proyecto, y considerando el alcance del objeto de estudio, se seleccionaron muestras de ñame *Dioscórea rotundata* cultivadas en el departamento de Sucre, específicamente en la subregión Sabanas, con coordenadas geográficas de latitud 9.21667 y longitud -75.4. A fin de disminuir el ruido en el experimento, debido a factores asociados con el producto y conservar características homogéneas en la muestra, se consideró que los tamaños de lote, conservaran condiciones similares de cosecha. Además, las muestras se obtuvieron desde el momento de su cosecha, con el fin de disminuir la variabilidad externa del ambiente y minimizar los ruidos en el experimento, donde las fuentes de variación provengan solo de los factores a analizar. Una vez extraídas las muestras, se realizó un proceso de selección de las mismas, considerando como criterios de elección condiciones similares en peso

(900gr±100gr), tamaño homogéneo (largo 15cm±5cm, ancho 10cm±2cm), exentas de daños físicos o fitosanitarios como magulladuras o enfermedades durante el cultivo.

Adecuación de la materia prima.

Antes de iniciar los procesos experimentales, fue necesario realizar procedimientos de adecuación para la materia prima. Estos procedimientos consistieron en retirar de las muestras de ñame todo tipo de material físico ajeno a la naturaleza fisiológica del tubérculo, como material particulado adherido a la superficie externa de las muestras.

Protocolo experimental

Las ejecuciones experimentales se realizaron en varios momentos, y la fase inicial de la experimentación fue considerada desde el momento de la cosecha del producto. El protocolo experimental efectuado, se describe en la Figura 1.

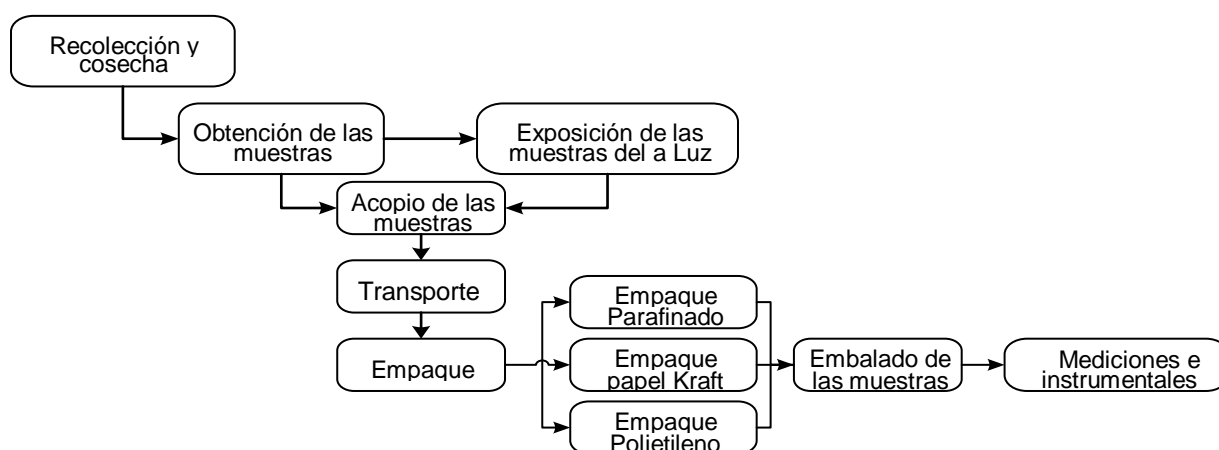


Fig. 1: Fases del estudio.

Este protocolo experimental se inició con la cosecha del producto en campo, una vez fueron extraídas las muestras de ñame, y según arreglo experimental, parte de ellas se sometieron a la exposición a la luz solar por cierto periodo de tiempo, ello con el propósito de identificar si la exposición a la luz matutina (8:00 am-12:00 m), durante la poscosecha, tiene un efecto negativo que represente modificación en las condiciones fisiológicas del tubérculo referentes a respiración. Luego, de cumplir con los tiempos de exposición a la luz solar, las muestras se acopiaron y se empacaron herméticamente para ser transportadas al laboratorio, de Bioprocesos de la Corporación Universitaria del Caribe-CECAR Carretera troncal de occidente - Vía Corozal - Sincelejo (Sucre), con temperatura promedio de 27°C y humedad relativa de 78% a una altura entre 50 y 180 msnm.

En la segunda fase del experimento, se realizaron las actividades de empaque, utilizando para ello tres tipos materiales diferentes. El primero consistió en realizar un recubrimiento a las muestras de ñame (no peladas) con el empleo de en una película de polietileno de baja densidad de 0.025 mm de espesor (P1), el segundo material utilizado fue el papel kraft para empacar las muestras de ñame (no peladas) con la aplicación de un solo recubrimiento(P2), y finalmente el tercer material empleado para recubrimiento de las muestras (no peladas) en parafina comercial por inmersión(P3). Una vez empacadas las muestras y rotuladas por tratamiento, se procedió a embalarlas mediante el uso de cajas de cartón doble corrugado (canal doble), forradas con cartón liso, con capacidad para 23 kilos, y dimensiones de 50x40x20 cm aproximadamente. De esta manera, se recreó la forma más similar posible de las condiciones habituales de empaque, embalaje y almacenamiento del producto, con fines de exportación.

Procesamiento estadístico de los datos.

Para el tratamiento estadístico de los datos, se utilizó un experimento factorial 4x3x8 bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones, para un total de 96 tratamientos por replica y 288 corridas experimentales. Los factores a considerar fueron el tiempo de exposición a la luz solar con cuatro niveles (0h, 1h, 2h y 3h), el tipo de empaque empleado con tres niveles: Polietileno de baja densidad(P1), papel kraft (P2), y Parafina(P3.) Y finalmente el tiempo de embalaje (1 a 60 días en intervalos de muestreo de 8 días aproximadamente). Las muestras seleccionas y empacadas se sometieron a un proceso de pesaje en una balanza de precisión, cada 8 días, durante los 60 días de tratamiento. Este diseño experimental se realizó

con el propósito de determinar diferencias significativas entre los valores medios del porcentaje de pérdida de humedad en las muestras de ñame dada por la interacción de los tres factores en estudio. Para ello, se empleó el siguiente modelo matemático (1).

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}; \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, c; l = 1, 2, \dots, n$$

En dónde; Y_{ijkl} = Variable de respuesta del diseño experimental (pérdida de peso) para las l repeticiones del i -ésimo factor de exposición a la luz, del nivel j del tipo de empaque y del nivel k del factor de tiempo de embalaje. μ , es la Media general de todos los tratamientos, α_i es el efecto que genera el nivel i del factor de exposición a la luz, β_j es el efecto que genera el nivel j del tipo de empaque, γ_k efecto que genera el nivel k del factor de tiempo de embalaje, $(\alpha\beta)_{ij}$ representa el efecto de interacción entre los niveles i y j de los factores de exposición a la luz y el tipo de empaque, respectivamente, $(\alpha\gamma)_{ik}$ hace referencia al efecto de interacción entre el nivel i de exposición a la luz y el nivel k del tiempo de embalaje, $(\beta\gamma)_{jk}$ representa el efecto de la interacción entre el nivel j de tipo de empaque y el nivel k del tiempo de embalaje, $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ es el efecto de interacción entre todos los niveles de todos los factores de exposición a la luz, tipo de empaque y tiempo de embalaje, es decir, los niveles i, j, k , ε_{ijkl} es el error aleatorio de todos los tratamientos (i, j, k) con las l réplicas.

Para realizar el análisis de varianza se tuvo en cuenta todos los datos de pérdida de peso recolectados para cada uno de los tratamientos que se generaron en el arreglo experimental al relacionar cada uno de los niveles de los factores de exposición a la luz, tipo de empaque y tiempo de embalaje, se procede entonces, a realizar un análisis de varianza (ANOVA). Para realizar este análisis de manera estadística, fue necesario hacer uso del software estadístico Statgraphics Inc. Es necesario resaltar que los datos de pérdida de peso están relacionados con la variación porcentual del tubérculo, la cual fue calculada mediante la ecuación 2, siendo el peso inicial el dato que se toma el primer día (1 día) y peso final son todos los niveles que hacen parte del factor de tiempo de embalaje.

$$\% \text{ Pérdida de peso} = \frac{(\text{peso inicial} - \text{peso final})}{\text{peso inicial}} \times 100\% \quad (2)$$

Para poder identificar cuáles son las mejores condiciones en cada uno de los factores de entrada (tiempo de exposición a la luz, tipo de empaque y tiempo de embalaje), se utilizó el test de Tukey para determinar el tratamiento que presente menor pérdida de peso en el tubérculo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la corrida de los experimentos, se consideró un error del 5%, con el fin de comparar con el estadístico de prueba F_0 y $\text{Valor } -P$. Ahora bien, y de acuerdo a los resultados del análisis de varianza, tabla ANOVA, para la variable de respuesta pérdida de Peso, debido a factores ambientales y de almacenamiento se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Análisis de Varianza para Pérdida de peso - Suma de Cuadrados Tipo III

Factores-Efectos principales	SCL	GL	CM	FC	Valor-P
A: Exposición a la Luz	30,2391	3	10,0797	10,98	0,0000
B: Empaque	264,039	2	132,019	143,78	0,0000
C: Tiempo de embalaje	316,575	7	45,225	49,25	0,0000
Interacciones					
AB	32,5744	6	5,42907	5,91	0,0000
AC	5,39639	21	0,256971	0,28	0,9994
BC	33,5292	14	2,39494	2,61	0,0018
Residuos	5,42599	42	0,12919	0,14	1,0000
Total corregido	176,298	192	0,918219		
Total	864,077	287			

Para el Factor A; Exposición a la luz se puede apreciar que el Valor $-P=0,000$ con 3 grados de libertad es menor que según el valor del error $\epsilon = 5\%$, esto indica que el factor “Exposición a la Luz” es estadísticamente significativo, por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alternativa H_A .

Factor B; Tipos de Empaque, se puede apreciar que el Valor $-P=0,0000$ con 2 grados de libertad es menor que el valor del error $\epsilon = 5\%$, esto indica que el factor “Tipos de empaque” también es estadísticamente significativo, por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alternativa H_A también para este factor. Se concluye además que existen un par de tratamientos con medias diferentes.

Factor C; Tiempo de embalaje, se puede apreciar que el Valor $-P=0,0000$ con 7 grados de libertad es menor que el valor del error $\epsilon = 5\%$, esto indica que el factor “Tiempo de embalaje” es otro factor considerado estadísticamente significativo, por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alternativa H_A , también para este factor. Se concluye además que existen un par de tratamientos con medias diferentes.

Para la interacción entre los factores $AB_{[(\alpha\beta)_{ij}]}$, se concluye, esto es el factor “Tiempo de Exposición a la Luz y Tipo de empaque, se puede apreciar que el Valor $-P=0,0000$ con 6 grados de libertad es menor que el valor del error $\epsilon = 5\%$, esto indica que la interacción entre el factor, “Tiempo de Exposición a la Luz” y “Tipos de Empaque” es estadísticamente significativo, por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alternativa H_A para este par de factores. Se concluye entonces que existe interacción entre este par de factores; $(\alpha\beta)_{ij}$, representa la interacción entre el factor $\alpha\beta$; de acuerdo a la tabla se puede observar que el Valor $-P$, para la interacción $(\alpha\beta)_{ij}=0,0000$; se puede concluir que existe un efecto de interacción entre estos dos factores.

Para la interacción entre los factores $AC_{[(\alpha\gamma)_{ij}]}$, esto es el factor “Tiempo de Exposición a la Luz y Tiempo de almacenamiento, se puede apreciar que el Valor $-P=0,99940$ con 21 grados de libertad es mayor que el valor del error $\alpha = 5\%$, esto indica que la interacción entre el factor, “Tiempo de Exposición a la Luz” y “Tiempos de Almacenamiento” No es estadísticamente significativo, por consiguiente se acepta la hipótesis nula H_0 y se rechaza la hipótesis alternativa H_A para este par de factores. Se concluye entonces que no existe efecto interacción entre este par de factores.

Para la interacción entre los factores $BC_{[(\beta\gamma)_{ij}]}$, esto es, el factor “Tipo de Empaque” y “Tiempo de almacenamiento”, se puede apreciar que el Valor $-P=0,0018$ con 14 grados de libertad es menor que el valor del error $\epsilon = 5\%$, esto indica que la interacción entre el factor, “Tipo de Empaque” y “Tiempos de Almacenamiento” es estadísticamente significativo, por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alternativa H_A para este par de factores. Se concluye entonces que, si existe, efecto de interacción entre este par de factores. $(\beta\gamma)_{ij}$, representa la interacción entre el factor $\beta\gamma$; de acuerdo a la tabla se puede observar que el Valor $-P$, para la interacción $(\beta\gamma)_{ij}=0,0047$, se logra concluir, que si existe un efecto de interacción entre estos dos factores.

Para la interacción triple entre los factores $ABC_{(\alpha\beta\gamma)_{ij}}$, esto es el factor “Tiempo de Exposición a la Luz, “Tipo de Empaque” y “Tiempo de almacenamiento”, se puede apreciar que el Valor $-P=1,000$ con 42 grados de libertad es mayor que el valor del error $\epsilon = 5\%$, esto indica que la interacción entre el factor, “Tiempo de Exposición a la Luz”, “Tipo de Empaque” y “Tiempos de Almacenamiento” No es estadísticamente significativo, por consiguiente se acepta la hipótesis nula H_0 y se rechaza la hipótesis alternativa H_A para estos tres factores. Se concluye entonces que no existe efecto interacción entre estos tres factores.

De los resultados de la tabla ANOVA y la suma de cuadrados medios se aprecia que el valor de los residuos con 192 grados de libertad, y un valor en el cuadrado medio de 0,4390, se puede inferir que predominan los efectos lineales, dado que la curvatura en las líneas, es poco perceptible. En la figura 2 se muestra la gráfica de medias para el factor “Exposición a la luz, con cuatro niveles; Exposición por una hora, dos, tres, y cuatro horas, los intervalos están contruidos con el método LSD, de tal forma que se quiere analizar el traslape entre las medias de los tratamientos para determinar si son estadísticamente iguales.

De acuerdo a la gráfica de medias se puede observar que para el factor; Exposición a la luz, las medias se traslapan, por lo tanto, las medias de los tratamientos 1, 2, y 4 son iguales, es decir no presenta variaciones estadísticamente hablando de la media poblacional. De tal forma que la variación o cambio de nivel en los tratamientos afecta de manera similar a la variable de respuesta, Pérdida de peso.

El nivel diferente, se encuentra cuando el producto se expone a tres horas de Luz. Para este caso es posible que se presenten errores debido a la medición, dado que el factor y sus niveles son totalmente ambientales, considerado como un factor no controlable.

El nivel 4, es el que presenta mayor variación porcentual de pérdida de peso, de tal forma que, cuando el producto presenta mayor exposición a la luz, es posible afirmar que en niveles altos de exposición se manifiestan mayores pérdidas de peso del producto, que para este caso alcanza una pérdida de peso en términos porcentuales del 3,05%.

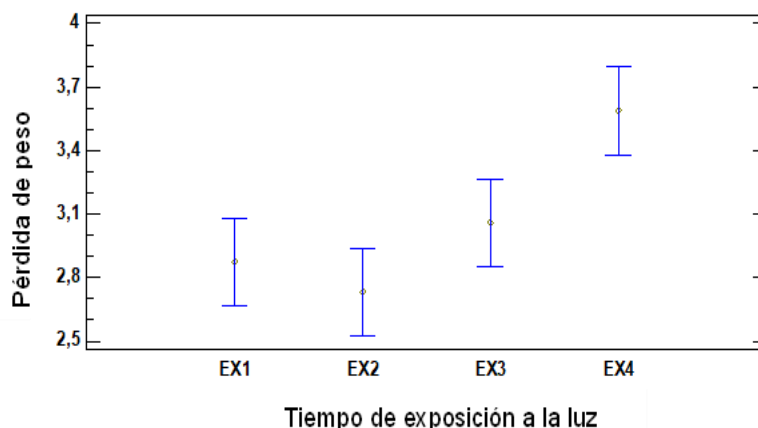


Fig. 2: Grafica de Medias para el factor "Exposición a la Luz", de LSD

Se realiza un análisis comparativo de las medias, para cada factor y sus correspondientes niveles, empleando también la prueba LSD de Fisher, como se aprecia, no existe una diferencia significativa en las gráficas para el factor "Exposición a la Luz" cuando se comparan los dos métodos, 96% de Fisher LSD, figura 2, y el método de Tukey, figura 3.

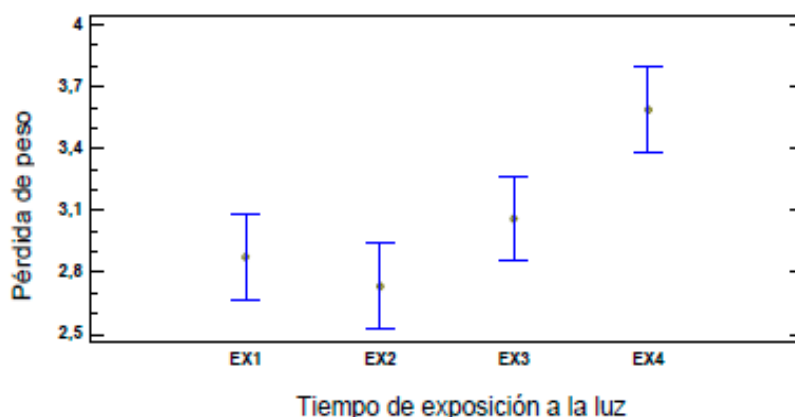


Fig. 3: Grafica de Medias para el factor "Exposición a la Luz", de Tukey

De acuerdo a una investigación realizada por (Villacrés., 2004) los tubérculos cuando son expuestos al sol pierden o eliminan agua. Paralelamente según Russo et al., (2007) "la temperatura puede aumentar en el interior de los tubérculos", por lo tanto, se puede decir que estos pierden peso. Además, existe la corriente del aire en el ambiente, lo que hace que este arrastre el vapor de agua que se encuentra alrededor de los tubérculos y de tal forman las raíces transpiren más, contribuyendo a la pérdida de peso de los ñames. (Iztacala., 2015).

En la figura 4 se muestra la gráfica de medias para el factor "tipo de Empaque, con tres niveles; Bolsas de Polietileno de baja densidad, Papel Kraft y Parafina, también para este factor, los intervalos están construidos con el método de Tukey, de tal forma que se quiere analizar el traslape entre las medias de los tratamientos para determinar si son estadísticamente iguales. De acuerdo a la gráfica de medias se puede observar que para el factor; Tipo de empaque, las medias no se traslapan, por lo tanto las medias de los tratamientos en los niveles 1, 2, y 3 son diferentes, es decir se presentan variaciones estadísticamente hablando del 4,2% con respecto a la media poblacional. De tal forma que la variación en los niveles del factor o cambio de nivel, tiene impactos en la variable de respuesta, Pérdida de peso. El nivel con pérdida de peso mayor se observa cuando se empaca el producto con papel Kraft, o nivel 2 de este factor.

También puede apreciarse, que el nivel para el tipo de empaque donde el producto tiene menos variación porcentual en el peso, es cuando se utiliza Polietileno de baja densidad, para este caso, es necesario efectuar otros análisis similares a largo plazo, de 3 meses en adelante, para revisar el comportamiento del producto en cuanto a calidad y apariencia.

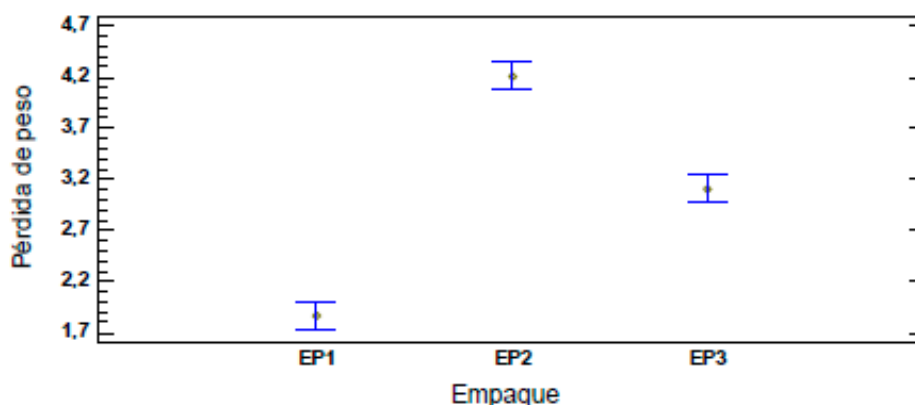


Figura 4. Grafica de Medias para el factor "Tipos de Empaque", de LSD.

Para concluir, el factor "Tipo de empaque el nivel -2, es el que presenta mayor variación porcentual por pérdida de peso, de tal forma que, cuando el producto es empacado en Papel Kraft, es posible afirmar que el ñame (*Dioscórea Rotundata*) pierde más peso cuando se almacena con este tipo de empaque. Por otro lado, se puede apreciar también, que a pesar de que no existe traslape entre las medias mediante el método LSD, para los niveles 1 y 2 del factor, la diferencia de medias no resulta muy diferente, presentando variaciones de peso de 3,1 % para el nivel 2 y 1,87% para el nivel 1. Por consiguiente, estos dos métodos de empaque resultan más eficientes al momento de empacar el producto, utilizando embalaje de cajas de cartón corrugadas tipo exportación. En la Figura 4 se puede apreciar el comportamiento de las medias.

Mediante un análisis comparativo de las medias, para cada factor, y sus correspondientes niveles, empleando también la prueba LSD de Fisher, como se aprecia en la figura 4, no existe una diferencia significativa en las gráficas para el factor "Tipos de Empaque" cuando se comparan los dos métodos, Tukey y LSD de Fisher. En la figura 5 se muestra el grafico de medias con 95% de Tukey.

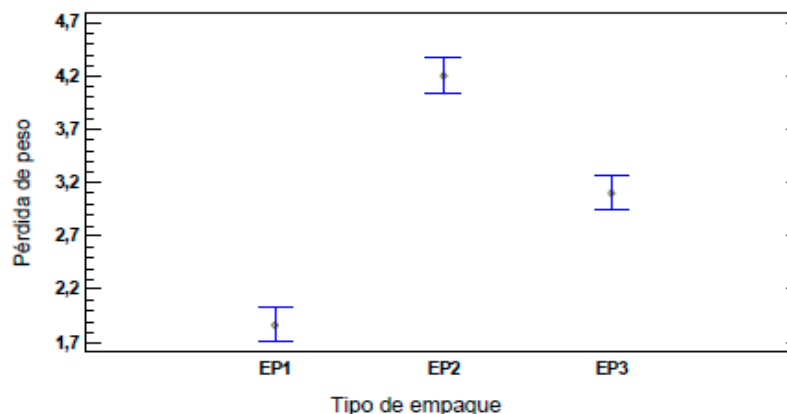


Fig. 5: Grafica de Medias para el factor "Tipos de Empaque", Tukey.

En un estudio realizado por Cenoz et al. (2016)(Cenoz, López, & Burgos, 2002) empacaron la mandioca con película de polietileno, en donde demostraron que la privación del oxígeno, retarda más el deterioro de las raíces, y de esta manera se logra una mayor conservación de los tubérculos, cabe resaltar que en los resultados, las raíces que fueron empacadas con este material fueron los que contaron con menor pérdida de peso que cuando no se hace uso de algún empaque, debido a que, este impidió la deshidratación del tubérculo. En el caso de la parafina se puede decir que este tipo de empaque es usado para disminuir el deterioro de los tubérculos, puesto que reduce la pérdida de agua, disminuye los niveles de respiración de la planta, además, limita el intercambio gaseoso (Huaraca, 2009). En un estudio realizado por Sánchez et al., (2014) compararon el empacado de la yuca con parafinada y sin parafina, de los resultados encontrados, se obtuvo que; al trabajar con parafina este tubérculo, se observa una menor pérdida de peso comparándolo con el producto sin empaque, debido a menor pérdida por deshidratación del producto. Lo que se dijo anteriormente, representa que, para los tipos de empaque, existe afectación a la variable de respuesta (pérdida de peso), debido a que se presentan pérdidas en el contenido de agua, pues en algunos tipos de empaque, esta disminución del contenido es mayor, como es el caso del papel kraft.

En la figura 6, se aprecia el gráfico de medias al 96% de Fisher-LSD, para el factor “Tiempo de Almacenamiento”, con 8(ocho) niveles; Tiempo de almacenamiento entre: 1y 8 días; 1 y 15 días; 1 y 21 días; 1 y 28 días; 1 y 35 días; 1 y 42 días; 1 y 52 días; 1 y 60 días. También para este factor, los intervalos están contruidos con el método de TUKEY y LSD, con un nivel de confianza del 95%, de tal forma que se quiere analizar el traslape entre las medias de los tratamientos para determinar si son estadísticamente iguales. De acuerdo a la gráfica de medias se pudo, observar que para el factor; Tiempo de Almacenamiento, las medias de algunos niveles se traslapan y otros niveles no se traslapan. Por los tanto las medias de los tratamientos en los diferentes niveles 1,2,3,4,5,6,7,8 son diferentes, es decir se presenta variaciones estadísticamente hablando. Dado la magnitud en el número de niveles, este punto se analizará con más detalle en la prueba de rangos múltiples. De tal forma que la variación en los niveles del factor o cambio de nivel, tiene impactos en la variable de respuesta, Pérdida de peso. El nivel con mayor variación de peso, se observa cuando se almacena el producto por espacio de 60 días, se aclara, además, que el producto inicia su pérdida de peso desde los 8 días de almacenamiento, incrementándose paulatinamente hasta alcanzar una variación porcentual en la pérdida de peso aproximadamente del 4,67% para el nivel 8, esto es, 60 días de almacenamiento en condiciones ideales y libre de luz solar. Es necesario entonces, continuar la investigación, con el fin de indagar la pérdida de peso del producto cuando se almacena con tiempos superiores a dos meses. Para concluir, el nivel -8, para el factor Tiempo de Almacenamiento, es el que presenta mayor variación porcentual de pérdida de peso, de tal forma que cuando el producto es almacenado por 2 meses, se puede concluir, y afirmar que el producto pierde peso de manera paulatina.

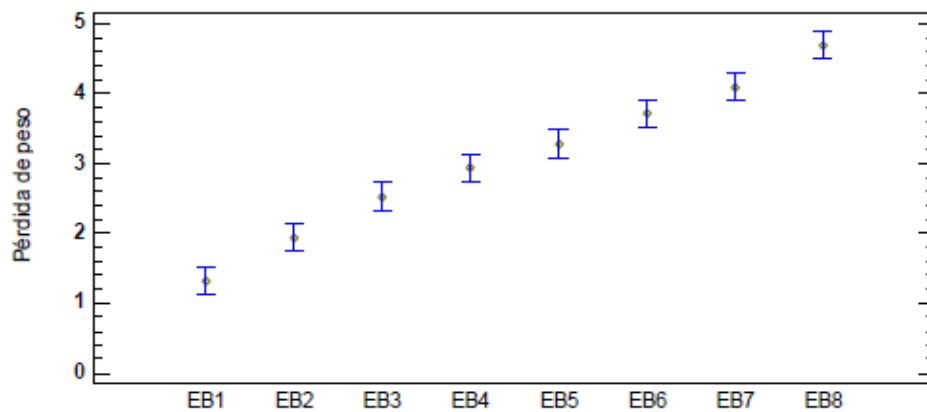


Fig. 6: Grafica de Medias para el factor “Tiempo de Almacenamiento” Fisher-LSD.

Se realiza un análisis comparativo de las medias, para cada factor, y sus correspondientes niveles, empleando también la prueba de medias y 95% de Tukey-HSD, como se aprecia en la figura 7. Se pueden observar diferencias en los intervalos de confianza para los niveles 3-4; 4-5; 5-6; y los niveles 6-7 para el factor “Tiempos de Almacenamiento” cuando se comparan los dos métodos, Tukey y LSD de Fisher. Estas diferencias en la prueba de Tukey, para grupos homogéneos, se pueden analizar también en la tabla 4 de rangos múltiples.

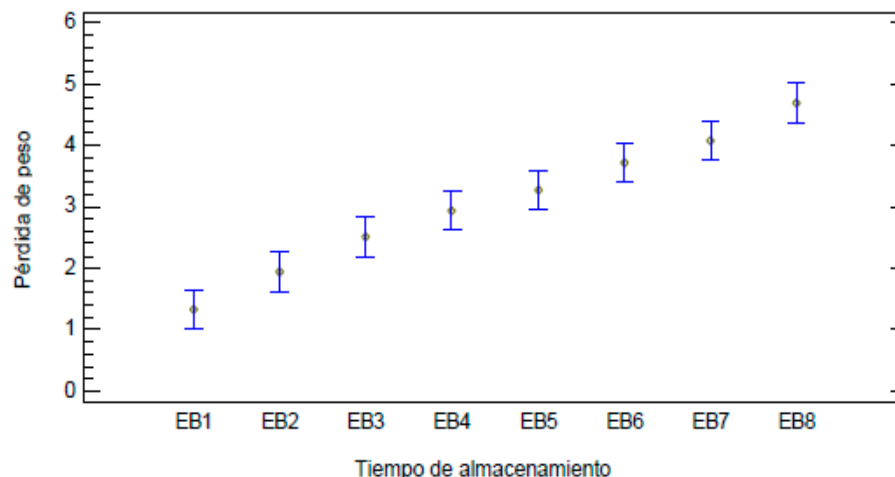


Figura 7. Grafica de Medias para el factor “Tiempo de Almacenamiento” LSD.

Según información brindada por (FAO, 2018) las frutas y hortalizas están compuesta normalmente por agua, y que a través del tiempo estas se van deshidratando, lo que se traduce a una disminución del peso fresco del producto. Entonces, si un ñame se encuentra almacenado, al pasar el tiempo este contará con menor peso y esto va a depender también de las condiciones de almacenamiento en las que se encuentre, tal y como se analizó anteriormente.

Con base en la Tabla 2, de Rangos Múltiples, se puede reconocer que el nivel 2, 1, y 3 del factor exposición a la luz, sus medias son iguales, estos tratamientos impactan de manera similar a la variable de respuesta por cualquier cambio de nivel en el factor. En resumen, estos tres niveles no tienen diferencias significativas estadísticamente. Lo que quiere decir que, si el producto se expone a luz solar durante una hora, dos horas o cuatro horas, no se presenta un cambio significativo en la variable de respuesta, como se muestra en la tabla de grupos homogéneos.

Tabla 2: Prueba de Rangos Múltiples 95%, para “Tiempo de Exposición” Tukey y LSD.

Ex. A la luz Tukey	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos.
EX2	72	2,73122	0,11929	X
EX1	72	2,87358	0,11929	X
EX3	72	3,05801	0,11929	X
EX4	72	3,58646	0,11929	X

Ex. A la luz LSD	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos.
EX2	72	2,73122	0,11929	X
EX1	72	2,87358	0,11929	XX
EX3	72	3,05801	0,11929	X
EX4	72	3,58646	0,11929	X

Del mismo modo, en la Tabla 3, de Rangos Múltiples, para el factor 2, Tipo de empaque, se puede observar que el nivel 1, 2, y 3 representados por el Polímero de baja densidad, Papel Kraft, y Parafina, se puede constatar que sus medias son diferentes, es decir no existe igualdad entre las medias para los diferentes niveles de este factor. De ello se pudo inferir un cambio significativo en la variable de respuesta, debido a la utilización de algunos de los tres materiales del factor.

Con relación al factor “tiempo de almacenamiento”, y a los ocho niveles que componen este factor, se pudo constatar diferencias, estadísticamente significativas, en la variable de respuesta (Pérdida de peso). Se logró determinar entonces, que en la medida en que el tiempo de almacenamiento del producto, se incrementó se experimentó también una variación en la variable de respuesta, o pérdida de peso del producto por tiempo de almacenamiento, como se muestra en la tabla de grupos homogéneos de la Tabla 4. De esta tabla se puede decir que no existe una diferencia significativa en las gráficas para el factor “Exposición a la Luz” cuando se comparan los dos métodos, Tukey y LSD de Fisher. Por lado, en la presente investigación, se evaluaron los resultados de las interacciones entre factores, para determinar el efecto o incidencia que produce el cambio de nivel de un factor sobre otro factor. Ahora bien, el efecto de interacción entre los factores: A=Tiempo de exposición a la Luz y B= Tipo de Empaque.

Tabla 3: Prueba de Rangos Múltiples 95%, para “Tipo de empaque” Tukey y LSD

Ex. A la luz Tukey	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos.
EP1	96	1,86655	0,0977997	X
EP2	96	3,10992	0,0977997	X
EP3	96	4,21048	0,0977997	X

Ex. A la luz LSD	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos.
EP1	96	1,86655	0,0977997	X
EP2	96	3,10992	0,0977997	X
EP3	96	4,21048	0,0977997	X

Con base en los datos arrojados por la tabla ANOVA (Análisis de Varianza), se puede observar que el Valor-P, =0,000 para la interacción de los factores A y B, es estadísticamente significativa dado que el Valor- P < $\alpha=0,05$ (nivel de error prefijado para la prueba de interacciones).

Tabla 4: Prueba de Rangos Múltiples 95%, para "Tiempo de almacenamiento" Tukey y LSD

Ex. A la luz- Tukey	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos.
EB1	36	1,32348	0,159706	X
EB2	36	1,93844	0,159706	XX
EB3	36	2,52108	0,159706	XX
EB4	36	2,93741	0,159706	XX
EB5	36	3,2762	0,159706	XX
EB6	36	3,71568	0,159706	XX
EB7	36	4,08992	0,159706	XX
EB8	36	4,69632	0,159706	X

Ex. A la luz LSD	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos.
EB1	36	1,32348	0,159706	X
EB2	36	1,93844	0,159706	X
EB3	36	2,52108	0,159706	X
EB4	36	2,93741	0,159706	XX
EB5	36	3,2762	0,159706	XX
EB6	36	3,71568	0,159706	XX
EB7	36	4,08992	0,159706	X
EB8	36	4,69632	0,159706	X

Ahora bien, según la gráfica de interacciones, de Tukey y Fisher, figura 8 y 9, para los factores A y B, también puede observarse que: 1. Un cambio en el nivel del factor "Tiempo exposición a la luz, tiene muy poca variación sobre el segundo factor, para este caso en el nivel 2, o nivel en el cual el Ñame es empacado en papel Kraft. Esto se resume, que cualquier cambio en el tiempo de exposición a la luz del producto (variable de respuesta), no afecta el peso del producto cuando se empa en papel Kraft. 2.

De la gráfica 9, se puede deducir, que un cambio en el nivel del factor "Exposición a la Luz, si afecta significativamente, y existe efecto de iteración, dado que la variación de nivel de este factor, conlleva a una menor pérdida de peso. De manera específica, cuando el producto se recubre con Parafina, y se empa en bolsas de polietileno de baja densidad, se presenta menor pérdida de peso. 3. Para este caso, y resumiendo la interacción de estos dos factores, es mejor trabajar con recubrimiento en Parafina, dado que el "El tiempo por exposición a la luz" no afecta significativamente a la variable de respuesta, esto es, la variación porcentual por pérdida de peso, alcanza solo el 1,9%.

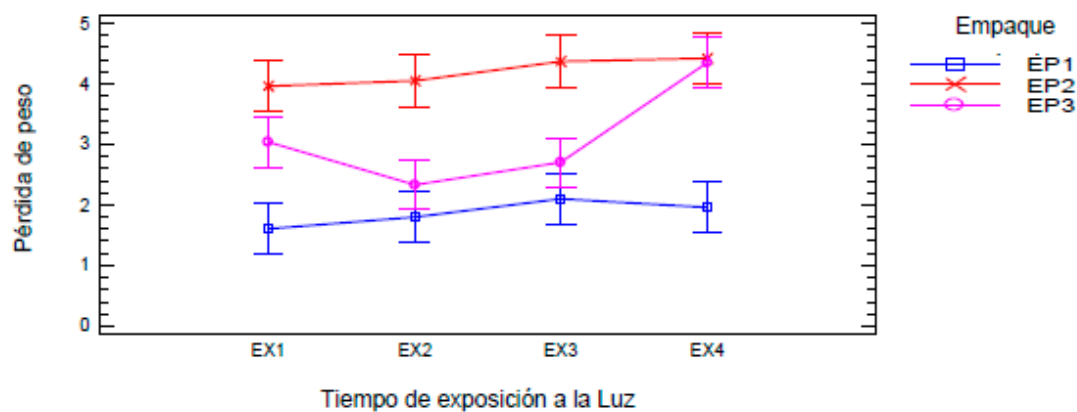


Fig. 8: Interacción de los factores A y B, Tukey

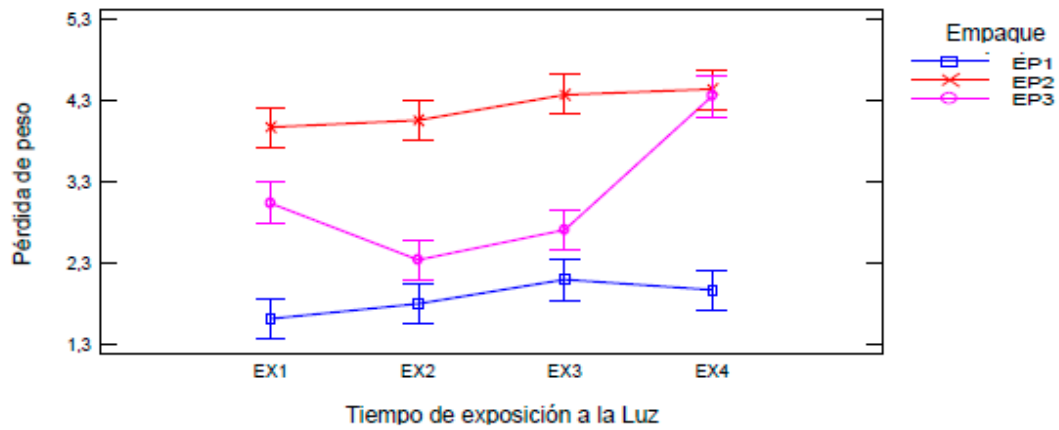


Fig. 9: Interacción de los factores A y B, Fisher

Quando se relaciona los factores : A=Tiempo de exposición a la Luz y C= Tipo de Empaque, estos presentan falta de efectos de interacción entre estos dos factores, se hace evidente en la figura 10, para la prueba de Tukey, y la figura 11 para la prueba de Fisher. Además, en estas dos graficas queda evidenciado que no existe diferencia significativa cuando se comparan los dos métodos (tukey y LSD).

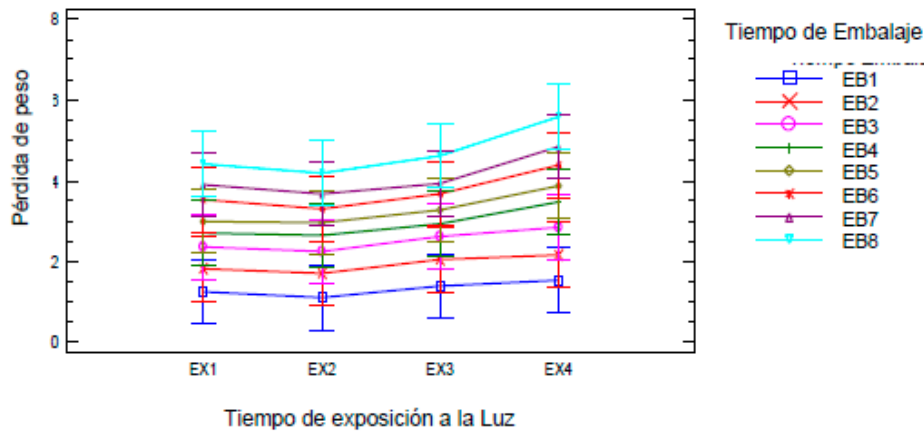


Fig. 10: Interacción de los factores A y C, Tukey

Siguiendo con el mismo analisis, Cuando se compara el factor B= Tipo de Empaque y C= Tiempo de Almacenamiento, y con base en los datos arrojados por la tabla ANOVA, ver tabla 1 (Análisis de Varianza), se puede observar que el Valor-P, =0,0047 para la interacción de los factores B y C, es estadísticamente significativa dado que el Valor- P < que $\alpha=0,05$ (nivel de error prefijado para la prueba de interacciones).

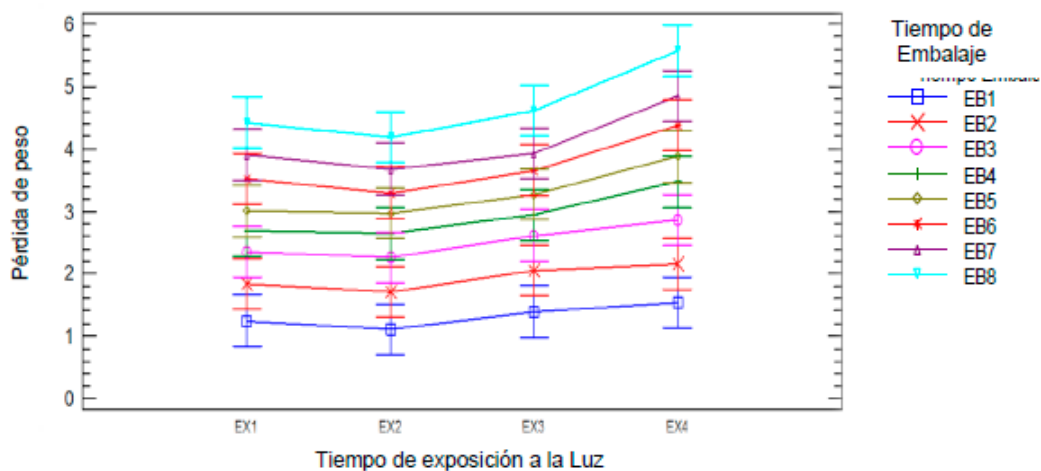


Fig. 11: Interacción de los factores A y C, Fisher

Ahora bien, de la gráfica de interacciones de Tukey, figura 12, para los factores B y C, también puede observarse que: 1. Un cambio en el nivel del factor “Tiempo de almacenamiento(o tiempo de embalaje), tiene incidencias en la variable de respuesta (Perdidas de peso) cuando el factor Tipo de Empaque, cambia al nivel 3, o nivel en el cual el ñame(producto) es empacado con Polímeros de baja densidad. Esto resume, que cualquier cambio en el Tiempo de Almacenamiento (variable de respuesta), afecta el peso del producto cuando se empaca con Polímeros de baja densidad, con pérdidas en el peso hasta del 3,1%. 2. De la misma figura 12, se puede deducir, que un cambio de nivel en el factor “Tiempo de Almacenamiento, existe efecto de iteración, dado que la variación de este factor, en el nivel 8, o sea un almacenamiento por espacio de 60 días, conlleva a una mayor pérdida de peso, cuando el producto se empaca con papel Kraft, con una variación porcentual en la disminución del peso de 5,4%.

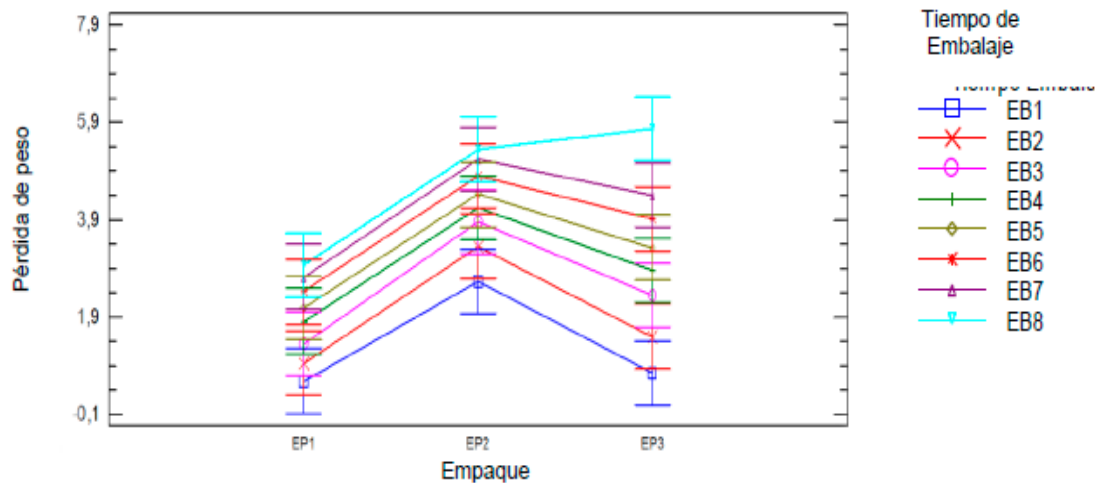


Fig. 12: Interacción de los factores B y C, Tukey

Empleando además la prueba LSD de Fisher, se efectúa el análisis de interacción entre los Factores “Empaque y el Tiempo de Embalaje”, como se aprecia en la figura 13, se demuestra también que no existe una diferencia significativa en las gráficas para esos dos factores. Además, cuando se comparan los dos métodos, Tukey y LSD de Fisher, para evaluar y analizar sus interacciones, en las figuras 12 y 13, se puede apreciar que la comparación de los resultados, se puede evidenciar, y corroborar pérdidas de pesos similares, por cualquier de los dos métodos, al someter el producto a diferentes tipos de empaques y tiempos de almacenamiento, o embalaje. Con respecto a la variable germinación, se puede decir que; de los tubérculos evaluados, el 25% presentó este fenómeno, siendo la bolsa de polietileno el material de empaque que contó con mayor número de ñames germinados, además, se puede inferir que algunos germinaban desde que contaban con 45 días de ser almacenados.

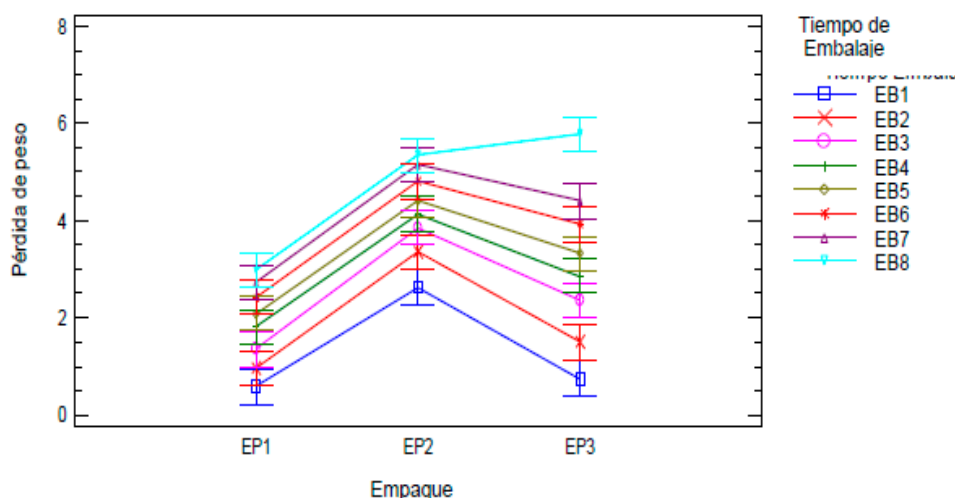


Fig. 13: Interacción de los factores B y C, Fisher

Fig. 13: Interacción entre los Factores Empaque y el Tiempo de Embalaje

El comportamiento del papel kraft fue dado en un segundo lugar, debido a que presentó germinación, pues casi todos los tubérculos que germinaron con este tipo de empaque comenzaron a efectuar este proceso a partir de los 52 días. En cambio, la parafina se consideró el mejor material para empacar el ñame en términos de germinación, debido a que la germinación se presentó a los 60 días, es decir, con esta película de parafina, el tubérculo puede ser almacenado en perfectas condiciones, hasta 60 días sin presentar alteraciones de germinación.

CONCLUSIONES

Según los datos de la tabla ANOVA, se observa que los tres factores resultaron estadísticamente significativos, del resultado se infiere y basándonos en el valor $-p$, los tres factores tienen impacto sobre la variable de respuesta Pérdida de Peso. De acuerdo a los datos suministrados por el ANOVA, se pueden obtener las siguientes conclusiones: 1) La menor pérdida de peso, se da cuando el producto es empacado con polímeros de baja densidad, le sigue en rendimiento y menor pérdida de peso, el recubrimiento con parafina, y el material de empaque con mayor pérdida de peso es el papel Kraft.

2) La investigación reveló que el factor "Tiempo de almacenamiento" tiene un impacto significativo en la variable de respuesta, "pérdida de peso". A medida que se incrementa el tiempo de almacenamiento, se experimenta una variación en la pérdida de peso del producto. Esto se ha confirmado a través de la tabla de grupos homogéneos en el cual se observa que para un día de almacenamiento del tubérculo (Nivel EB1-Tukey) la pérdida de peso alcanza el 1,3% por almacenamiento (Tabla 4). Igualmente, para el almacenamiento de 60 días (Nivel EB8), la pérdida de peso llega al 4,7% por almacenamiento. En resumen, se observan diferencias estadísticamente significativas entre los ocho niveles de tiempo de almacenamiento evaluados.

3) Además, se puede decir que el factor "Tiempo de Exposición a la Luz", para, cualquier cambio de nivel en el factor, no refleja cambios sustanciales en la pérdida de peso del producto, esto es, si cambia el nivel de exposición del producto (ñame) a luz, por 1, 2 o 4 horas, no se observan diferencias significativas en la pérdida de peso del producto al momento de su almacenamiento. 4) Cabe señalar también, que el producto inicia su pérdida de peso a partir del 8 día, desde su proceso de almacenamiento.

5) Con relación a la germinación, se puede inferir que la parafina es el material que permite que más se retrase el proceso de germinación del tubérculo luego de ser almacenado, para este caso, el recubrimiento del producto con parafina, mejora las condiciones de calidad, y por consiguiente tiene un impacto positivo en la pérdida de peso y almidones.

6) Otra conclusión relevante de la investigación está relacionado con el empacado del tubérculo utilizando polietileno de baja densidad, lo cual arroja resultados adversos. Bajo estas condiciones de embalaje, el ñame se expone más rápidamente al proceso de rebrote o germinación. Es decir, cuando el ñame se recubre con material de polietileno de baja densidad, se observa una respuesta negativa en su conservación, ya que favorece una germinación más rápida durante su almacenamiento en comparación con el uso de papel, kraft o parafina. 7) Es importante destacar que esta opción también conlleva consideraciones sobre los costos asociados al uso de los diferentes materiales y su correlación con el beneficio económico, específicamente en términos de la pérdida de peso del producto. Además, como se mencionó anteriormente, el empleo de polietileno de baja densidad puede afectar la calidad y apariencia del ñame, ya que se registra una tasa de germinación del 25% en los tubérculos almacenados utilizando esta alternativa.

8) Comparando los tipos de empaque; "Polietileno de baja densidad, Papel Kraft, y Recubrimiento con parafina, siguiente alternativa en menor pérdida de peso, para este caso el recubrimiento del tubérculo con parafina, se al cabo de los 60 días de almacenamiento, la menor pérdida de peso del 3,1%, se alcanza, cuando se empaca el producto utilizando un "Polímeros de baja densidad". Bajo este mismo enfoque el empaque con más afectación y como se observa en la gráfica de interacción (figura 12), la pérdida de peso fue del 5,4% cuando es empacado con parafina o papel Kraft, con un leve incremento cuando se emplea parafina.

9) Sin embargo, el recubrimiento con parafina demostró resultados más satisfactorios, sin presentar rebrotes o germinación del tubérculo durante los 60 días de almacenamiento, obviamente esto implica mejores condiciones en cuanto a calidad y conservación del tubérculo para fines de exportación. 10) Ahora bien, es posible efectuar estudios bromatológicos, a fin de comprobar y conservar las características iniciales del producto, por el uso de parafina como recubrimiento. Lo que indudablemente conduce a efectuar también un análisis en términos de costos a fin de evaluar la viabilidad de esta alternativa.

REFERENCIAS

Martínez, A., Tordecilla, L., y otros 3 autores. Caracterización socioeconómica y tecnológica del cultivo de ñame (*Dioscorea* sp.) en la región Caribe colombiana, *Avances en Investigación Agropecuaria*, 25(2), 7–34(2021)

Andrade, R. D., Palacio, J. C., Pacheco, W. A., y Betin, R. A., Almacenamiento de Trozos de Ñame (*Dioscorea rotundata* Poir) en Atmósferas Modificadas, <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000400008>, *Información Tecnológica*, 23(4), 65–72 (2012)

- Allaoui, H., Guo, Y., y Sarkis, J., Decision support for collaboration planning in sustainable supply chains, <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.367>, J. of Cleaner Production, 229, 761-774 (2019)
- Akissoe, N., Hounhouigan, J., Mestres, C., y Nago, M. How blanching and drying affect the colour and functional characteristics of yam (*Dioscorea cayenensis-rotundata*) flour, [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00546-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00546-0), El Sevier, Food Chemistry, 82, 257-264 (2003)
- Cenoz, P. J., López, A. E., y Burgos, Á. M., Factores ambientales que regulan el deterioro poscosecha en mandioca (*Manihot esculenta* CRANTZ), <http://revistas.unne.edu.ar/index.php/agr/article/view/473/407>, Agrotecnia, 0(8), 3-7 (2002)
- Coelho, L. F., Ferreira, S., y otros 3 autores, Darkening, damage, and oxidative protection are stimulated in tissues closer to the yam cut, attenuated or not by the environment, <https://doi.org/10.1002/jsfa.9192>, Journal of the Science of Food and Agriculture, 99 (1), 334-342 (2019)
- Donegá, M. A., Tessmer, M. A., y otros 4 autores, Fresh cut yam stored under different temperatures, <https://doi.org/10.1590/S0102-05362013000200012>, Horticultura Brasileira, 31, 248-254 (2013)
- Do Nascimento, A., Gomez C. D., y otros 5 autores., Effect of multilayer nylon packages on the oxidative damage of minimally processed yam, <https://doi.org/10.1590/1981-6723.09017>, Brazilian Journal of Food Technology, 22(e2017090) (2019)
- Chou, S. T., Chiang, B. H., y Chung, Y. C., Effects of storage temperatures on the antioxidative activity and composition of yam, DOI:10.1016/j.foodchem.2005.06.039, Food Chemistry, 98, 618-623 (2006)
- Deng, J. Y., y Jau, T. L., Effects of different storage conditions on steroidal saponins in yam (*Dioscorea pseudojaponica* Yamamoto) tubers, DOI:10.1016/j.foodchem.2008.02.061, Science Direct-Food Chemistry, 670-677 (2008)
- Procaribe, Guía práctica para el manejo orgánico de cultivo de ñame tipo exportación, https://www.swissaid.org.co/sites/default/files/Cartilla%2BÑame_Julio%2B2012.pdf (2012)
- González, M. E., EL ÑAME (*Dioscorea* spp.), Características , usos, valor medicinal , aspectos de importancia, Cultivos Tropicales(INCA), ISSN 0258-5936, 33(4), 5-15 (2012)
- Huaraca, Y. N., Respuesta del deterioro de la raíz de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedad camerún al uso de empaques de conservación en condiciones de la zona Satipo, <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1901/Huaracaeronimo.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (2009)
- Iztacala, F. D., Lucía, C. E., y Meza, P., Papel de la transpiración, Mecanismos de apertura estomática y Medidas de la transpiración, http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000051/lecciones/cap01/04_03.htm (2015)
- Martínez, A. M., Tordecilla, Z.L., y otros tres autores, Analysis of the technical efficiency of yam cultivation (*Dioscorea* spp.) in the Caribbean Region of Colombia, <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i2.12445>. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 15(2), 0-3 (2021)
- Russo, R., Botero, R., y Ruperto, J., Producción de Raíces y Tubérculos. Los ñames cultivados en la región atlántica de Costa Rica, <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/Output.pdf> (2007)
- Ondo, P., Kevers, C., y Dommes, J., Effects of storage conditions on sprouting of microtubers of yam (*Dioscorea cayenensis-D. rotundata* complex), <https://doi.org/10.1016/j.crv.2009.11.001>. Epub 2010 Jan 25, Comptes Rendus Biologies, C. R. Biologies 333, 28-34 (2010)
- Otegbayo, B., Effect of storage on the pasting characteristics of yam tubers, Doi: 10.1016/S0189-7241(15)30126-0, Official Journal of Nigerian Institute of Food Science and Technology, 32(2), 113-119 (2014)
- Perez, D., Campo, R., y Jarma, A., Respuesta fisiológica del ñame espino (*Dioscorea rotundata* Poir) a las densidades de siembra, doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.153202.18>, Cienc. Agr., 32(2), 104-112 (2015)
- Reina-Aranza, Y., El cultivo de ñame en el Caribe colombiano, Documentos de Trabajo sobre Economía Regional, ISSN: 1692-3715, No. 168 (2012)
- Sánchez, J. M., Ramos, L. H., y Torres, E. J., Efectos fisiológicos de badea (*Passiflora quadrangularis*) y yuca (*Manihot esculenta*) utilizando recubrimientos a base de cera y parafina bajo conservación en frío, <https://doi.org/10.23850/24220582.113>, Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales, 1, 33 (2014)
- Sanchez, D. B., Luna Castellanos, L. L., y otros 2 autores, Identificación de hongos asociados a la pudrición seca del ñame bajo condiciones de almacenamiento, Revista de Investigaciones Altoandinas, doi:<http://dx.doi.org/10.18271/ria>, 22(3), 199 - 214 (2020)
- Shulai, L., Yuqian, J., y otros 3 autores., Effects of different temperature and humidity on the quality of Chinese yam (*Rhizoma dioscoreae*) during storage, Doi:10.1109/HHBE.2011.6028397, Key Laboratory of Food Nutrition y Safety, Tianjin University of Science y Technology, Ministry of Education, 656-660 (2011)
- Simoës, A. D., Freire, C. S., y otros 3 autores, Quality of Minimally processed yam (*Dioscorea* sp.) stored at two different temperatures, doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n104rc>, Rev. Caatinga Mossoró 29(1) 25-36 (2016)
- Torres, R., Montes, E., Andrade, R., y Perez, O., Drying kinetics of two yam (*Dioscorea alata*) varieties, DYNA 79, ISSN 0012-7353, 171, 175-182 (2012)

Trade Map., List of importing markets for the product exported by Colombia in 2017, https://www.trademap.org/Country_SelProductCountry (2019)

Villacrés, E., Brito, G. B., y Espín, S., Alternativas agroindustriales con raíces y tubérculos andinos, <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3265>, Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo, 4, 117-142, (2004)

Zhao, L., Zhao, X., y otros 3 autores, Reduction of enzymatic browning of fresh-cut Chinese yam (*Dioscorea opposita*) by UV-C treatment, International Food Research Journal, ISSN 1985-4668, 28, 207-216 (2021)