

**PARÁMETROS DE INACTIVACIÓN DE LA ACTIVIDAD PEROXIDASA  
DURANTE EL PROCESO DE ESCALDADO DEL NAÑE (*Dioscorea  
Rotundata y alata*) A DIFERENTES TEMPERATURAS Y SU INCIDENCIA  
EN EL COLOR**



**AUTORES**

**BARRERA ALMANZA LUZ MAIRA**

**VEGA ORTEGA NORIS JUDITH**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

**BERÁSTEGUI**

**2016**

**PARÁMETROS DE INACTIVACIÓN DE LA ACTIVIDAD PEROXIDASA  
DURANTE EL PROCESO DE ESCALDADO DEL NAÑE (*Dioscorea  
Rotundata y alata*) A DIFERENTES TEMPERATURAS Y SU INCIDENCIA  
EN EL COLOR**



**AUTORES**

**BARRERA ALMANZA LUZ MAIRA**

**VEGA ORTEGA NORIS JUDITH**

**DIRECTOR**

**ARMANDO ALVIS BERMUDEZ Ing. Ph.D**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

**BERÁSTEGUI**

**2016**

## **RESPONSABILIDAD DE LOS AUTORES**

**El jurado calificador no se hace responsable de las ideas emitidas por los autores.  
(Artículo 46, acuerdo 006 de Mayo 29 de 1979) Consejo Superior.**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

Nota de aceptación

---

---

---

---

DEIVIS LUJÁN RHENALS

---

EMIRO LÓPEZ ACOSTA

---

Berástegui, fecha de sustentación

## **DEDICATORIA**

*Dedico este logro a Dios por dame la sabiduría, fortaleza y estar siempre a mi lado en cada momento vivido, hoy veo reflejada su promesa “**Esfuézate y sé valiente. No temas ni desmayes, que yo soy el Señor tu Dios, y estaré contigo por dondequiera que vayas**” Josue 1: 9.*

*A mis padres Emy Almanza, Fredy Barrera y hermanos por sus consejos, amor, apoyo incondicional y su confianza depositada en cada etapa compartida.*

*A mis amistades de lucha que compartieron este proceso de formación, brindándome su apoyo y confianza, Cindy, Milena, Noris, Yelenis, Surys y en especial a Lilibeth Doria por su sincera amistad y apoyo incondicional.*

***Luz Maira Barrera Almanza***

*A Dios, que me ha dado la fortaleza para continuar, cuando he estado a punto de caer;  
con toda la humildad de mi corazón.*

*A todos mis familiares, por su apoyo.*

*En especial a mi mami Noris Díaz y a mi tía Rufina Vega, por sus sabios consejos y  
confianza, sin duda alguna me han demostrado su amor.*

*A mis amigos, que aunque la mayoría de las veces parece que estuviéramos en una  
batalla, decidimos asumir el riesgo.*

***Noris Judith Vega Ortega***

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su agradecimiento a:

La UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA, por habernos brindado una excelente calidad académica.

Nuestro director ARMANDO ALVIS BERMUDEZ por brindarnos sus conocimientos, apoyo y dirección durante el desarrollo del proyecto.

EMIRO LOPEZ y DEIVIS LUJAN, jurados de este trabajo de investigación.

Al Grupo de Investigación de Procesos y Agroindustria de Vegetales GIPAVE.

Al personal de los laboratorios de Ingeniería aplicada, Análisis de alimentos, Planta piloto, por su colaboración, para llevar a cabo nuestro proyecto de investigación.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. RESUMEN.....</b>	<b>xii</b>
<b>2. ABSTRACT.....</b>	<b>xiii</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>4. REVISIÓN DE LITERARURA .....</b>	<b>16</b>
<b>4.1. ÑAME .....</b>	<b>16</b>
<b>4.2. PEROXIDASA.....</b>	<b>18</b>
<b>4.3. ESCALDADO.....</b>	<b>21</b>
<b>4.3.1. Propiedades termofísicas de los alimentos.....</b>	<b>22</b>
<b>4.3.2. Mecanismos de trasferencia de calor relacionada en el escaldado.....</b>	<b>24</b>
<b>4.3.3. Estudios sobre escaldado en tubérculos.....</b>	<b>26</b>
<b>4.4. COLOR.....</b>	<b>27</b>
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>29</b>
<b>5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>29</b>
<b>5.2. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>29</b>
<b>5.3. VARIABLES .....</b>	<b>29</b>
<b>5.3.1. Variables independientes.....</b>	<b>29</b>
<b>5.3.2. Variables dependientes.....</b>	<b>29</b>
<b>5.4. PROCEDIMIENTO.....</b>	<b>30</b>
<b>5.4.1. Obtención y adecuación de la materia prima.....</b>	<b>30</b>
<b>5.4.2. Tratamiento de escaldado y adquisición de datos.....</b>	<b>30</b>

5.4.3. Determinación de las propiedades termofísicas. ....	31
5.4.4. Determinación del coeficiente de transferencia de calor. ....	31
5.4.5. Medición de la actividad de peroxidasa. ....	31
5.4.6. Medición de cambios de color. ....	31
5.5. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	32
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	33
6.1. Propiedades termofísicas del ñame en función de la composición bromatológica y las temperaturas de escaldado.....	33
6.2. Determinación del coeficiente convectivo de transferencia de calor (h) ...	34
6.3. Inactivación de la actividad de peroxidasa .....	38
6.4. Incidencia del tiempo y la temperatura de escaldado en el color .....	43
7. CONCLUSIONES.....	48
8. RECOMENDACIONES.....	50
9. BIBLIOGRAFÍA.....	51
ANEXOS .....	55

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pag</b>
<b>Tabla 1.</b> Composición bromatológica promedio ( $\pm$ desviación estándar) en base húmeda de las variedades de ñame Espino tradicional y Diamante 22, valores por 100 g.	17
<b>Tabla 2.</b> Propiedades termofísicas promedio ( $\pm$ desviación estándar) del ñame variedad diamante 22 y espino tradicional a las diferentes temperaturas de escaldado (80 85 y 90 °C) determinados con el software DEPROTER (Alvis et al. 2012).	34
<b>Tabla 3.</b> Valores del coeficiente convectivo de transferencia de calor (h) en función de las temperaturas de escaldado.	37
<b>Tabla 4.</b> Actividad de peroxidasa en las variedades Diamante 22 y Espino tradicional, expresada en $U/*g^{-1}$ de muestra.	38
<b>Tabla 5.</b> Actividad de peroxidasa a diferentes tiempos y temperaturas de escaldado en variedad Diamante 22, expresada en $U/g^{-1}$ de muestra.	39
<b>Tabla 6.</b> Actividad de peroxidasa a diferentes tiempos y temperaturas de escaldado en variedad Espino tradicional, expresada en $U/g^{-1}$ de muestra.	40

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pag</b>
<b>Figura 1.</b> Temperatura del trozo de ñame (Diamante 22) durante el escaldado a las temperaturas de 80, 85 y 90 °C.	35
<b>Figura 2.</b> Temperatura del trozo de ñame (Espino tradicional) durante el escaldado a las temperaturas de 80, 85 y 90 °C.	36
<b>Figura 3.</b> Actividad de peroxidasa del ñame Diamante 22, en función de tiempo.	41
<b>Figura 4.</b> Actividad de peroxidasa del ñame Espino tradicional, en función de tiempo.	41
<b>Figura 5.</b> Comportamiento de los parámetros de color L (luminosidad), a (verde-rojo), b (azul-amarillo), respecto al tiempo para la variedad diamante 22	44
<b>Figura 6.</b> Comportamiento de los parámetros de color L (luminosidad), a (verde-rojo), b (azul-amarillo), respecto al tiempo para la variedad espino tradicional.	45
<b>Figura 7.</b> Comportamiento de los parámetros del color c (saturación) y h (tono), respecto al tiempo para la variedad diamante 22.	46
<b>Figura 8.</b> Comportamiento de los parámetros del color c (saturación) y h (tono), respecto al tiempo para la variedad espino tradicional.	47

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pag</b>
<b>Anexo 1.</b> Determinación del coeficiente convectivo de transferencia de calor h.	55
<b>Anexo 1a.</b> Relación adimensional de la temperatura vs el tiempo durante el experimento del escaldado a diferentes temperaturas y tiempos usada para la determinación del coeficiente de transferencia de calor.	
<b>Anexo 1b.</b> Pendiente de la sección lineal de la relación adimensional de la temperatura vs el tiempo usada para la determinación del coeficiente de transferencia de calor.	
<b>Anexo 2.</b> Ejemplo de cálculo de conversión de absorbancia en actividad enzimática (U/g)	56
<b>Anexo 3.</b> Análisis estadístico de la enzima peroxidasa.	57
<b>Anexo 4.</b> Análisis estadístico de parámetros de color.	61
<b>Anexo 5.</b> Equipos utilizados en el experimento.	67

## 1. RESUMEN

El ñame (*Dioscorea ssp.*) es una hortaliza tuberosa con importantes atributos nutricionales y medicinales, pero con reducidas experiencias en cuanto a su procesamiento, además se deteriora al ser cortado, por el oscurecimiento consecuencia de la actividad de peroxidasa y polifenoloxidasa, responsables del pardeamiento en los tubérculos procesados. El objetivo de este trabajo, fue determinar los parámetros de inactivación de la actividad de peroxidasa, durante el proceso de escaldado del ñame (*dioscórrea rotuntada y alata*) a temperaturas de 80, 85 y 90 °C con tiempos desde 20 hasta 120 s y su incidencia en el color. Los coeficientes de transferencia de calor para el escaldado en agua oscilaron entre 895 y 989 W/m<sup>2</sup>K para la variedad Diamante 22, mientras que para la variedad espino tradicional se encuentran entre 768 a 851 W/m<sup>2</sup>K. A las diferentes temperaturas y tiempos de escaldado se determinó, la actividad de peroxidasa, con lo cual se logró la inactivación por encima del 90%; a 80 °C desde 80 s, 85 y 90 °C a los 60 s para la variedad diamante 22 y para la variedad espino tradicional a 80 y 85 °C a los 60 s y a 90 °C a 40 s. siendo más rápida la inactivación en la variedad espino tradicional, ya que tiene menor actividad de la enzima. En cuanto a la incidencia del proceso de escaldado en los parámetros de color evaluados, se obtuvo que la temperatura, el tiempo y la interacción tiempo y temperatura ejercen un efecto significativo sobre estos (p<0.05).

## 2. ABSTRACT

Yam (*Dioscorea spp.*) Is a tuberous vegetable with important nutritional and medicinal attributes, but with reduced experiences regarding processing also deteriorates when cut, the blackening result of the activity of peroxidase and polyphenol oxidase, responsible for browning in processed tubers. The objective of this study was to determine the parameters for inactivating peroxidase activity during blanching process yam (rotuntada and alata *Dioscorea*) at temperatures of 80, 85 and 90 ° C with times of from 20 to 120 s incidence in color. The heat transfer coefficients for scalding water ranged from 895 and 989 W / m<sup>2</sup>K for variety Diamond 22, while for the traditional variety hawthorn are between 768-851 W / m<sup>2</sup>K. A different blanching times and temperatures were determined peroxidase activity, which inactivation above 90% was achieved; at 80 ° C for 80 s, 85 ° C and 90 s at 60 for 22 and diamond variety traditional variety hawthorn 80 and 85 ° C and 60 s at 90 ° C for 40 s. being faster inactivation hawthorn traditional variety, because it has lower enzyme activity. As for the impact of blanching process in color parameters evaluated, it was found that the temperature, time and interaction time and temperature have a significant effect on these (p <0.05).

### 3. INTRODUCCIÓN

El ñame *Dioscorea spp.* es una planta de enredadera, que pertenece a la familia Dioscoraceae, se utiliza principalmente para consumo directo, en forma cocida, frito y también puede ser utilizado para la fabricación de harinas, y dulces (González 2012).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la producción a nivel mundial en el periodo comprendido entre 1992 y 2013, ha sido liderada en un 97,23% por países africanos. El continente americano aporta el 2,77% de la producción mundial, siendo Colombia su mayor representante, con una producción de 363.036 toneladas en 2013 (FAOSTAT, 2015). El cultivo de ñame en Colombia es importante en la Costa Caribe, región que concentra el 90% de la producción nacional, principalmente en 26 municipios pertenecientes a los departamentos de Bolívar, Córdoba y Sucre (Reina 2012).

Las experiencias de procesamiento del ñame son reducidas, en contraste con el uso industrial que ha tenido la papa y la yuca, que han sido tubérculos ampliamente estudiados. En Colombia el 78% de la producción de ñame se dirige al mercado en fresco no se conocen transformaciones tecnológicas. Sin embargo, se ha tratado de obtener algunos productos a base de este tubérculo y no se descarta la existencia de pequeñas industrias de conservas caseras y ocasionales, pero de trascendencia regional (Andrade et al. 2012). El ñame (*Dioscórca Rotundata*), además de presentar altos rendimientos de producción, también presenta las mejores características para la transformación y obtención de harinas (Hurtado et al. 1997).

Dado que el ñame enfrenta un gran número de problemas que se ven reflejados principalmente en las pérdidas que sufre durante la postcosecha y comercialización, debido a que carece de sistemas adecuados de conservación, empaque y logística que le puedan brindar al producto condiciones favorables antes de llegar a su destino final (Sánchez y Hernández 1997; Andrade et al. 2012), como alternativa en el procesamiento del ñame, la aplicación del tratamiento térmico de escaldado permite industrialmente favorecer la conservación del producto, ya que se inactivan las enzimas que puedan ser perjudiciales en la calidad del producto final como las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasa, responsables del pardeamiento en los tubérculos procesados (Mendoza y Herrera 2012).

En esta investigación se evaluaron dos variedades de ñame; diamante 22 y espino tradicional. Se estudió la actividad de la peroxidasa y cambio del color, después de someter el ñame al proceso de escaldado, variando los tiempos y temperatura de proceso, obteniendo los parámetros experimentales referentes al proceso de escaldado en la reducción de la enzima.

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. ÑAME

El ñame ha sido un producto de consumo tradicional representativo económica y culturalmente, el cual constituye un importante alimento en las regiones tropicales, dada su eficiencia para producir energía digestible, distribuida en regiones tropicales y subtropicales de alta pluviosidad. (Alvis et al. 2008b; Pinzón 2014). Además de servir de alimento para el hombre (consumo en fresco o procesado), su utilidad se extiende a la industria farmacéutica (Asiedu et al. 2010; Vidal 2010; González 2012).

El ñame (*Dioscorea spp.*) es un género de amplia distribución y dentro de él se encuentran especies cultivadas y silvestres de la familia Dioscoreaceae; engloba especies originarias de África, Asia y América, La familia Dioscoreaceae está representada por entre seis y nueve géneros y alrededor de 600 a 900 especies, muchas de ellas de elevado potencial económico. Alrededor de 25 especies de *Dioscorea* son citadas como alimenticias (González 2012). Los ñames comestibles más importantes pertenecen a unas pocas especies como *D. rotundata* Poir., *D. alata* L, *D. cayenensis* Lam, *D. esculenta* (Lour.) Burkill, *D. dumetorum* (Kunth) Pax, *D. bulbifera* L., *D. trifida* L.f (mapuey), *D. opposita* auct. y *D. japonica* Thunb. (Aguilar 2012). En Colombia se pueden encontrar varias especies de ñame como el ñame criollo (*Dioscorea alata* L.), ñame espino (*D. rotundata* Poir.), ñame papa (*Dioscorea bulbifera* L.), ñame azúcar (*D. esculenta* [Lour.] Burk.) y ñampin (*Dioscorea trifida* L.f.). Se consideran *D. alata* y *D. rotundata* las especies de mayor importancia tanto por área sembrada como por demanda. (Vidal 2010).

El ñame espino es el más cultivado en el caribe colombiano y se conoce en otros países como ñame blanco. El tubérculo es aproximadamente de forma cilíndrica, la piel es lisa y de color marrón, y la carne por lo general de color blanco y firme. La función del tubérculo en su mayor parte (zona central) es la de almacenamiento de gránulos de almidón. Los gránulos de almidón son redondeados o elípticos y algunas especies de ñame (*D. rotundata*) los concentran más que otras especies (Vidal 2010).

Usos del ñame: los tubérculos se utilizan de manera similar a la papa, en la alimentación directa después de cocinados, en puré, sopas, guisos, frito, en forma de hojuelas crocantes. También se prepara una chicha o “masato” de ñame. En África, el ñame se usa en la preparación de “fufu”, alimento tradicional en estos pueblos, que consiste en una masa elástica elaborada con ñame cocido, molido y amasado en un mortero de madera. Y es principalmente utilizado en la industria farmacéutica (Alvis et al. 2008a; Reina 2012).

**Tabla 1.** Composición bromatológica promedio ( $\pm$  desviación estándar) en base húmeda de las variedades de ñame Espino tradicional y Diamante 22, valores por 100 g.

<b>Componentes (base húmeda)</b>	<b>Espino tradicional</b>	<b>Diamante 22</b>
<b>Humedad</b>	70,61 $\pm$ 0,36	69,18 $\pm$ 0,59
<b>Grasa</b>	0,05 $\pm$ 0,02	0,04 $\pm$ 0,00
<b>Proteína</b>	0,78 $\pm$ 0,02	1,84 $\pm$ 0,01
<b>Ceniza</b>	0,34 $\pm$ 0,04	1,01 $\pm$ 0,08
<b>Fibras</b>	0,19 $\pm$ 0,04	0,10 $\pm$ 0,00
<b>Carbohidratos Totales</b>	28,21 $\pm$ 0,33	27,93

FUENTE: Alvis et al. 2008a; Espinosa y Rodríguez 2014.

El ñame, como tubérculo, concentra su energía en forma de carbohidratos (80%-90%), de reserva en la raíz (almidón), y una concentración de proteínas del 12%, que se

considera superior a la determinada para otras raíces y tubérculos tropicales, mostrando un buen balance de aminoácidos esenciales. Además, contiene fibra dietaria (7 a 8%), compuestos antioxidantes, vitaminas y minerales, tales como ácido ascórbico (30 µg/g), calcio (140 µg/g) y fósforo (430 µg/g), que incrementan su valor nutricional. Por tanto, las calorías, que oscilan entre 100 y 130 Kcal/100 g, están determinadas por los carbohidratos complejos (Pacheco et al. 2008; Alvis et al. 2008a). En la tabla 1 se presenta la composición bromatológica en base húmeda de las variedades de ñame Espino tradicional y Diamante 22, en donde se destacan elementos importantes como el agua, carbohidratos y además posee bajo contenido de grasa.

#### **4.2. PEROXIDASA.**

La peroxidasa es una enzima que cataliza la oxidación de ciertos compuestos dadores de hidrógeno, como fenoles (guayacol, pirogalol) y aminos aromáticas (o-fenilendiamina) por medio de peróxidos ( $H_2O_2$ ). El substrato oxidable más usado es el guayacol, que es oxidado a un complejo coloreado de tetraguayacol en presencia de peroxidasa (Whitaker 1972):



La velocidad de formación del color rojo ladrillo puede ser utilizada como medida de la actividad enzimática por lecturas espectrofotométricas de las absorbancias en relación con el tiempo.

La peroxidasa presenta como grupo prostético un grupo Hem, cuyo átomo central de hierro forma complejos con diferentes compuestos, como los cianuros y la hidroxilamina, inhibiéndose su actividad enzimática (Fennema 2000).

La actividad enzimática depende del vegetal (los rábanos picantes son especialmente activos), del substrato oxidable que se emplea como reactivo y del pH y temperatura a que se trabaja. Como la mayoría de las enzimas, la peroxidasa puede ser inactivada por el calor, siendo una de las que precisan mayor temperatura y más tiempo para su inactivación. Posee, además, la propiedad peculiar de la regeneración enzimática. Este fenómeno consiste en que al inactivarla por medio del calor recupera parcialmente su

actividad después de un cierto tiempo. Esto ha sido explicado, aduciendo que la fracción proteica de la enzima sufre una desnaturalización sólo parcial, con pérdida de su estructura terciaria, si el calor se aplica un tiempo muy corto, produciéndose luego una reversión de la proteína a su estado normal por recombinación de sus grupos hidrógenos o sulfhidrúlicos (Fennema 2000).

Este efecto del calor sobre la actividad peroxidásica es muy importante en la industria de alimentos y la regeneración enzimática de la peroxidasa puede causar serios problemas en los caracteres organolépticos. Se ha demostrado en el laboratorio que esta actividad enzimática puede detenerse totalmente, si el calentamiento es suficientemente largo, de manera que sobre 30" la regeneración es muy débil generalmente (Matheis 1990; Barreiro y Sandoval 2001).

La investigación de la peroxidasa ha sido usada para evaluar la eficiencia del escaldado o blanqueo de verduras y también en el control de pasteurización de la leche.

Silva 2014. Estudio marcadores y fisiológicos bioquímicos involucrados en la conservación ñame (*dioscorea spp.*) como mínimo procesados, El objetivo de este estudio fue evaluar los cambios físico-químicos, bioquímica y la incidencia de *Pseudomonas sp.* del ñame en un mínimo de procesamiento, mantenido en tres tipos de paquetes a  $5 \pm 2$  ° C. Se seleccionó el ñame, se lavó con agua cadena y se mantuvo a 8 ° C durante 24 horas. Se peló y se cortó en rodajas de 3 cm de espesor, se enjuagaron en agua a  $5 \pm 2$  ° C durante 5 minutos higienizado (10 mg L<sup>-1</sup> de cloro activo), se sumergieron en agua clorada (5 mg L<sup>-1</sup> de cloro activo) por cinco minutos y drenado en coladores de cocina. Se pesaron aproximadamente 300 g de muestra, y fueron envasado en bolsas de polipropileno de 12 mm de espesor (PP 12); Polipropileno 4 mm de espesor (4 PP) y de múltiples capas de nylon de 15 mm de espesor (NY) 15, las dimensiones fueron 15 cm de ancho por 20 cm de largo. Seguidamente fueron sellados, se pesan y se mantienen en exhibidor vertical a  $5 \pm 2$  ° C durante 14 días. Se evaluó la pérdida de peso, el tiempo de cocción, pH, sólidos polifenoles totales solubles oxidasa, peroxidasa, catalasa, proteínas solubles, peróxido hidrógeno, peroxidación de lípidos, fenoles solubles totales, la incidencia de *Pseudomonas sp.* Y análisis visual. El diseño experimental fue completamente al azar en un factorial 3 x 8 (3 embalaje y 8 días de

análisis) con tres repeticiones. La peroxidasa, catalasa, proteínas solubles, peróxido de hidrógeno y la peroxidación de lípidos se realizaron en día 0; 7:14 forman factorial 2 x 3 (contenedores 2 y 3 días de pruebas). El promedio entre los paquetes se comparó mediante la prueba de Tukey ( $P < 0,05$ ) y el promedio en el tiempo se ajustaron siempre que sea posible para la ecuación de regresión. El nylon embalaje 15 uM grabados los momentos más bajos de la cocción, la pérdida de peso, la actividad de las enzimas polifenol oxidasa, peroxidasa y catalasa, proteínas menos solubles y la peroxidación lipídica. Además, no hubo incidencia de *Pseudomonas* sp. y se mantuvo la pérdida de menor calidad visual. El nylon de envasado de múltiples capas 15 uM es más conveniente mantener los hilos mínimamente procesados, por lo tanto, la reducción de los síntomas de deterioro durante el almacenamiento.

Dabonne et al., 2011. Evaluaron perfil enzimático de diferentes partes del ñame (*Dioscorea*) durante el almacenamiento. El propósito de este estudio fue investigar el efecto del almacenamiento en polisacaridasas (amilasas, celulasas y inulase), fosfatasa y PNP-glucosidasa ( $\alpha$ -glucosidasas,  $\alpha$ -fucosidasas,  $\alpha$ -galactosidasa,  $\beta$ -glucosidasas y  $\beta$ -galactosidasas,  $\alpha$ -manosidasas) actividades de diferentes partes del pertenecientes a las especies del complejo cayenensis- *Dioscorea rotundata*. Estos dos cultivares no contienen  $\alpha$ -glucosidasa,  $\alpha$ -fucosidase,  $\alpha$ -galactosidasa,  $\beta$ -glucosidasa,  $\beta$ -galactosidasa y actividades inulase. Las actividades detectadas en las diferentes partes del ñame fueron las de  $\alpha$ -manosidasa, fosfatasa, amilasas y celulasas. Las actividades de amilasa y celulasa se incrementaron en las diferentes partes de tubérculos de ñame durante el almacenamiento post-cosecha, mientras que  $\alpha$ -manosidasas, fosfatasa disminuyeron en estas mismas partes.

Oluwole O et al., 2016. La actividad y la inhibición de polifenol oxidasa en el ñame blanco (*Dioscorea Rotundata*. Var. Laasirin) en chips de patatas fritas para el consumo humano. El objetivo del presente estudio fue examinar la actividad de polifenol oxidasa en *Dioscorea rotundata* y la eficiencia de los tratamientos térmicos y químicos en la inhibición de esta enzima. El crudo polifenol oxidasa (PPO) de *Dioscorea rotundata*. Laasirin se aisló y se estudió la cinética usando la gráfica de Lineweaver-Burk. La actividad de la enzima se evaluó utilizando el método espectrofotométrico. En

el ñame la PPO cataliza la oxidación de diversos sustratos con catecol siendo el sustrato más fácilmente oxidado. La constante de Michaelis-Menten ( $K_m$ ) y la velocidad de reacción máxima ( $V_{max}$ ) de ñame PPO fueron 0,00037 y 0,3125, respectivamente. Los datos de inhibición demostraron que la enzima tenía menos actividad (71,70) cuando eran blanqueadas a 95 ° C durante 7 minutos con un tratamiento químico que implica una combinación de 0,5% de metabisulfito de sodio (calidad alimentaria) y ácido ascórbico al 0,5% (calidad alimentaria). La actividad fue más alta (83,02) cuando se tornó pálido 95 ° C durante 7 minutos. Este estudio ha demostrado que es posible inhibir la actividad de la oxidasa de polifenol en el ñame blanco usando los pretratamientos químicos y las condiciones de procesamiento descritas en este estudio para su posible adopción en la producción de chips de ñame congelados empaquetados por las industrias de alimentos.

### **4.3. ESCALDADO**

El escaldado es una importante operación unitaria en el procesado de frutas y hortalizas, siendo desde hace mucho tiempo una práctica común. El objetivo principal del escaldado es la desnaturalización de enzimas responsables del pardeamiento y de la alteración de aromas, efectos que pueden llegar a hacer al producto inaceptable comercialmente (Hernández 2009). El escaldado no es un sistema de conservación en sí mismo, es una operación previa de suma importancia en los procesos de conservación por calor de productos envasados, congelación y deshidratación de productos sólidos (Pazmiño 2010).

Para comprobar si el escaldado se ha realizado de forma correcta se analiza la presencia de catalasas y peroxidasas, enzimas que, a pesar de que no provocan el deterioro de los alimentos, sí son las más resistentes. Si no están activas quiere decir que el resto de enzimas, entre las que se incluyen las que pueden provocar efectos indeseables, también se han inactivado. Además de la desnaturalización de enzimas tiene otros objetivos como: eliminar el aire ocluido en el interior de los vegetales, reducir el número de microorganismos presentes, remover aromas y sabores indeseables, fijar el color y ablandar los tejidos para facilitar el pelado y el posterior despulpado (Zambrano et al. 2008).

El escaldado se puede efectuar por inmersión en agua caliente o con vapor saturado. El tiempo de tratamiento depende las características del alimento tales como dimensiones, grado de madurez y variedad. (Barreiro y Sandoval 2006). Desde el punto de vista ingenieril el tiempo de escaldado como proceso global representa el tiempo de residencia del producto en el aparato escaldador/hidrogenfriador el cual va a depender de los siguientes parámetros: Temperatura del baño de escaldado e hidrogenfriado, coeficiente convectivo de transferencia de calor (h), temperatura inicial y final del producto, tamaño y geometría del producto, propiedades termofísicas del producto, tales como: calor específico, conductividad térmica y densidad y método de calentamiento (baño de inmersión, fluido pasando a través del producto o viceversa) (Gallardo 2004).

Desde el punto de vista tecnológico, el tiempo de proceso dependerá de la actividad enzimática de la materia prima, de su estructura histológica, que determina la capacidad de transmisión del calor de los tejidos, y de la resistencia específica frente a la acción de temperaturas elevadas. Para calcular los tiempos de escaldado e hidrogenfriado se emplea la teoría de transferencia de calor en estado transitorio por conducción sujeto a condiciones límites convectivas (Gallardo 2004).

#### **4.3.1. Propiedades termofísicas de los alimentos**

Las propiedades térmicas son parámetros requeridos para llevar a cabo cálculos de transferencia de calor para procesos de calentamiento y enfriamiento de los alimentos y son datos esenciales en el diseño de equipos y de la ingeniería de alimentos. Las propiedades termofísicas como calor específico, densidad, conductividad térmica y difusividad térmica influyen en la transferencia de calor y son determinadas con base en la composición del alimento y la temperatura (Choi y Okos 1985; Rahman 1995; Singh 2000; Alvis et al. 2009; Alvis et al. 2012).

Las propiedades térmicas de frutas y vegetales son necesarias para calcular la rapidez de calentamiento o enfriamiento y para estimar las cantidades de calor requeridas en los procesos como: escaldado, pasteurización, evaporación, fritura, refrigeración, congelación, esterilización, secado entre otra, en los cuales hay intercambio de energía y masa (Alvis et al. 2009; Alvis et al. 2012).

## **CALOR ESPECÍFICO ( $C_p$ )**

Es la cantidad de energía, en forma de calor, que gana o pierde un sistema por unidad de masa, para que se produzca en él un cambio de temperatura de un grado, sin que haya cambiado de estado ecuación 1.

$$C_p = \frac{q}{m\Delta T} \quad (1)$$

Dónde:  $q$ : Es el calor ganado o perdido en Julios o Kilojulios (kJ),  $m$ : es la masa (kg),  $\Delta T$ : Es el cambio en la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$  o K),  $C_p$ : Es el calor específico (kJ/kg $^{\circ}\text{C}$ ) ó (J/kg  $^{\circ}\text{C}$ ). El subíndice p significa a presión constante.

## **CONDUCTIVIDAD TÉRMICA ( $k$ )**

La Conductividad Térmica con unidades W/ (m\*k) describe el transporte de energía en forma de calor a través de un cuerpo con masa como resultado de un gradiente de temperatura. De acuerdo con la segunda ley de la termodinámica, el calor siempre fluye en la dirección de la temperatura más baja. La definición de la conductividad térmica se encuentra dada en la ley de Fourier de conducción de calor: ecuación 2.

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

$dT/dx$  es el gradiente de temperatura en la dirección x. la constante de proporcionalidad  $k$  es la conductividad térmica (W/mk).

## **DENSIDAD**

Es la masa por la unidad de volumen, ecuación 3. Sus unidades en el sistema internacional son Kg/m<sup>3</sup>.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3)$$

## **DIFUSIVIDAD TÉRMICA**

Es la conductividad térmica dividida por el producto del calor específico y la densidad. Sus unidades en el sistema internacional de medidas son m<sup>2</sup>/s. Ecuación 4.

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p} \quad (4)$$

Se usa para la determinación de las velocidades de transferencia de calor en alimentos sólidos de distintas formas.

#### **4.3.2. Mecanismos de transferencia de calor relacionada en el escaldado**

En el escaldado se involucran dos de los tres mecanismos de transferencia de calor conocidos, estos son la convección y la conducción. La radiación no se presenta en estos casos ya que este es relevante solo cuando la transferencia de calor se manifiesta a través del espacio de los gases, y no a través de los fluidos utilizados en los procesos en estudio, como el agua o el vapor.

##### **Ecuación de transferencia de calor por conducción**

La transferencia de calor por conducción se expresa como la ley de Fourier para la conducción de calor en fluidos y sólidos, ecuación (5).

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (5)$$

Donde el signo negativo indica que el flujo de calor es en dirección de caída de temperatura, con el fin de satisfacer la segunda ley de la termodinámica, q es la velocidad de transferencia de calor en W, A es el área en m<sup>2</sup> y k es la conductividad térmica en W/mK.

##### **Ecuación de transferencia de calor por convección**

La convección es el mecanismo de transferencia de calor entre una superficie y un fluido. Cuando el fluido que rodea a la superficie del sólido tiene un movimiento convectivo natural o forzado, la velocidad de transferencia del sólido al fluido (o viceversa) se expresa mediante la ecuación (6).

$$q = hA(T_w - T_f) \quad (6)$$

Donde  $q$  es la velocidad de transferencia de calor en W,  $h$  es el coeficiente de transferencia de calor,  $A$  es el área en  $m^2$ ,  $T_w$  es la temperatura de la superficie del sólido en K,  $T_f$  es la temperatura promedio o general del fluido en K.

### **Coefficiente convectivo de transferencia de calor**

El coeficiente de transferencia de calor no es una propiedad de los alimentos, pero es un parámetro importante y necesario para diseñar y controlar el procesamiento de los alimentos donde los fluidos están sujetos a calentamiento, enfriamiento o medio de fritura (Rahman 1995; Alvis et al. 2010).

El coeficiente convectivo de transferencia de calor es el factor proporcional que representa la resistencia a la transferencia de calor, entre el fluido de calentamiento o enfriamiento y la superficie de un producto inmerso en él.

Cuando se analiza el enfriamiento de un cuerpo caliente, la pérdida de calor por convección en la superficie se manifiesta como una disminución en su energía interna. La transferencia de calor puede ser expresada por la ecuación 7.

$$Q = hA\Delta T \quad (7)$$

Dónde:  $Q$  es la velocidad de flujo de calor (J/s),  $h$  es el coeficiente convectivo de transferencia de calor ( $W/m^2 K$ ),  $A$  es el área de superficie ( $m^2$ ) y  $\Delta T$  es el gradiente de temperatura ( $^{\circ}C$ ).

La ecuación (8) es una forma de representar la conocida “ley del enfriamiento de Newton” (Edwards y Penney, 1986:2) y, matemáticamente constituye una ecuación diferencial de primer orden con el tiempo como variable independiente.

El coeficiente de transferencia de calor se determinará en el proceso de escaldado, considerando el estado cuasi-estacionario cuando la temperatura en el interior del sólido es uniforme.

$$hA(T_i - T_{\infty}) = -\rho V c_p \frac{dT}{dt} \quad (8)$$

La ecuación 8 se resolverá con las condiciones iniciales adecuadas y es expresada como se muestra en la ecuación 9.

$$\frac{(T_t - T_\infty)}{(T_i - T_\infty)} = e^{-(hA/\rho Vcp)t} \quad (9)$$

Mediante regresión lineal, usando datos experimentales, se calcula el coeficiente de transferencia de calor, graficando  $\ln \frac{(T - T_\infty)}{(T_0 - T_\infty)}$  Vs. t, del cual se obtendrá la pendiente ecuación 10.

$$m = - \frac{hA}{cp\rho V} t \quad (10)$$

Dónde:  $h$  es el coeficiente convectivo de transferencia de calor ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$ ),  $A$  es el área de superficie ( $\text{m}^2$ ),  $T_t$  es la temperatura localizada en un punto a un tiempo  $t$  ( $^\circ\text{C}$ ),  $T_i$  es la temperatura del producto al inicio del proceso ( $^\circ\text{C}$ ),  $T_\infty$  es la temperatura del medio de escaldado ( $^\circ\text{C}$ ),  $\rho$  es la densidad ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ),  $V$  el volumen de la muestra de ñame ( $\text{m}^3$ ),  $Cp$  el calor específico ( $\text{kJ}/\text{kg}^\circ\text{C}$ ) y  $\Delta T$  es el gradiente de temperatura ( $^\circ\text{C}$ ),  $t$  es el tiempo (s) y  $m$  es la pendiente de la sección lineal.

#### 4.3.3. Estudios sobre escaldado en tubérculos

El escaldado tiene distintos efectos sobre los alimentos. La cantidad de calor que el alimento recibe durante el escaldado altera inevitablemente su valor nutritivo y sus características organolépticas. Por lo general, la combinación de tiempo y temperatura utilizada para el escaldado se establece como solución de compromiso para que, reduciendo al mínimo las pérdidas de compuestos volátiles responsables del flavor y compuestos nutricionales, se asegure la adecuada inactivación de enzimas, sin reblandecer excesivamente el producto. También tiene influencia sobre el color ya que la temperatura y el tiempo influyen sobre los pigmentos.

Se han realizado diferentes estudios referentes al proceso de escaldado en tubérculos, entre los cuales podemos encontrar: Desactivación de la Enzima Peroxidasa Durante el Proceso de Escaldado de Papas (*Solanum tuberosum*) y el Almacenamiento a  $-18^\circ\text{C}$  por Ramírez (2009). Cuyos objetivos fueron determinar la actividad enzimática de

peroxidasa soluble (POD) en papas sometidas a un proceso de escaldado a 94,8°C por 1 minuto y 40 segundos y evaluar el comportamiento de la actividad residual en el producto almacenado en cámaras a -18°C. Guzmán et al. (2012). Determinaron el efecto de los pre-tratamientos escaldados, deshidratación osmótica y el recubrimiento con pectina en la reducción de humedad y la ganancia de aceite en papas criollas. Obteniendo como resultado, que el escaldado aumenta el porcentaje de aceite, mientras la osmo-deshidratación lo reduce en comparación con el control.

Mendoza y Herrera (2012). Determinaron la cinética de inactivación de la enzima peroxidasa y la cinética del color y textura en tubérculos de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo *phureja*) sometidos a escaldado mediante agua a 80°C, 90°C y vapor saturado a 93°C. En conclusión el modelo de transferencia de calor se ajustó a los perfiles de temperatura obtenidos experimentalmente. El cambio de color se ajustó a un modelo tipo Michaelis-Menten en la fase de activación y a un modelo de primer orden en la fase de desactivación, igual que el cambio de textura. La cinética de inactivación de la enzima peroxidasa se ajustó a un modelo de Lumry-Eyring. En general todos los procesos son fuertemente dependientes de la temperatura y el tiempo de tratamiento.

#### **4.4. COLOR**

La colorimetría es un método físico no destructivo muy utilizado para determinar el color de una muestra. Para medir el color se utiliza un instrumento calibrado denominado colorímetro o un espectrofotómetro que también permite obtener la curva espectral. La función del colorímetro, en el caso de un producto vegetal, es describir de una manera cuantitativa la coloración de la epidermis. Existen diferentes modelos propuestos para facilitar la especificación de objetos en colores de una forma estándar. Los diferentes modelos plantean un sistema de coordenadas tridimensional en el cual se define un sub espacio donde cada color queda definido por un punto único (Carvajal et al. 2011).

Entre los más importantes está el sistema CIE (Comisión Internacional de la Iluminación) por sus siglas en inglés descrito por Munsell y Hunter (Hernández 2013). Al medir el color se deben describir tres propiedades: matiz, que es el tono o clase de

color (rojo, azul, etc.); saturación, intensidad del color o grado de dilución del matiz con el blanco indica la profundidad del color (cuanto más saturado este un color, más intenso y vivo aparece; cuando pierde saturación se va aproximando al gris); y el brillo o grado de dilución del matiz con el negro que indica la luminosidad del color. La luminosidad y la tonalidad son los mejores descriptivos del color; siendo la tonalidad una relación entre los colores rojo, amarillo, azul y verde (Oyagüe 2007).

En el sistema Hunter Lab, se utilizan escalas opuestas del color, que se basan en la teoría de Hering acerca de la visión en color. Dicha teoría propone que el ojo se comparan los colores: rojo con verde y amarillo con azul, para definir la tonalidad percibida. Esta teoría se transforma a dos dimensiones del color: “a” que va de rojo (si es positiva) a verde (si es negativa) y “b” de amarillo (si es positiva) a azul (si es negativa). También se define una tercera coordenada: L (luminosidad), que es perpendicular a estas dos, donde 0 equivale al negro y 100 al blanco (Hernández 2013).

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo corresponde a una investigación de tipo experimental.

### **5.2. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO**

La presente investigación se realizó en la planta piloto y en el laboratorio de investigación (GIPAVE) de la Universidad de Córdoba – sede Berástegui, ubicada en el corregimiento de Berástegui, municipio de Ciénaga de Oro, Departamento de Córdoba, Colombia, con una temperatura ambiente promedio de 30 °C, humedad relativa 80%, una altura de 20 m.s.n.m. y una presión atmosférica promedio de 752 mm Hg.

### **5.3. VARIABLES**

#### **5.3.1. Variables independientes**

- Temperatura de escaldado (80, 85 y 90 °C).
- Tiempo de escaldado (20, 40, 60, 80, 100 y 120 s).

#### **5.3.2. Variables dependientes**

- Actividad de peroxidasa.
- Propiedades termofísicas (calor específico, densidad, conductividad térmica y difusividad térmica).
- Coeficiente convectivo de transferencia de calor (h).

- Color

## **5.4. PROCEDIMIENTO**

### **5.4.1. Obtención y adecuación de la materia prima.**

El ñame *Dioscorea Rotundata*, variedad 153 espino tradicional y *Dioscorea Alata* variedad Diamante 22, fueron lavadas, peladas y cortadas con una trozadora de papa en forma de paralelepípedo con dimensiones de (1x1x4 cm), con el fin de estar adecuadas para realizar el escaldado respectivo (Alvis et al. 2008).

### **5.4.2. Tratamiento de escaldado y adquisición de datos.**

El proceso de escaldado se llevó a cabo en una freidora de acero inoxidable marca Electric Fryer de 5 litros de capacidad y se utilizó agua destilada con contenido de 0,5% de ácido cítrico y 1% de ácido ascórbico, con el fin de reducir el pardeamiento enzimático de las muestras.

Las condiciones del proceso de escaldado fueron; temperaturas de 80, 85 y 90°C a diferentes tiempos de escaldado con variaciones de 20 s hasta 120 s.

La variación de temperatura de los trozos se midió insertando 2 termopares tipo K de 0,25 mm de diámetro por los extremos del trozo en sentido longitudinal hasta que las puntas de los dos termopares estuvieran cerca del centro geométrico. Para medir la temperatura del agua se usó otro termopar de las mismas características. Para cada condición de escaldado se utilizaron 2 trozos de ñame y se realizaron tres repeticiones. Por medio de un sistema de adquisición de datos (INTECH Micro 2100-A16 Rev 1.3), acoplados a un computador personal se registraron las temperaturas cada 20 segundos (Alvis et al. 2009).

Para pruebas de color y actividad de peroxidasa, se sumergieron simultáneamente 6 trozos de ñame para cada tiempo de escaldado establecido, el producto se extrajo del baño y se secó para eliminar el agua superficial. Este procedimiento se realizó por triplicado.

#### **5.4.3. Determinación de las propiedades termofísicas.**

Se determinaron las propiedades termofísicas; conductividad, difusividad térmica, calor específico y densidad de la muestra ingresando los datos de la composición bromatológica de las variedades del ñame y las temperaturas de escaldado, en el software DEPROTER (Determinación de Propiedades Termofísicas) de Alvis et al. (2012).

#### **5.4.4. Determinación del coeficiente de transferencia de calor.**

El coeficiente de transferencia de calor se determinó con base a las ecuaciones 8, 9 y 10 descritas anteriormente, y se realizaron 3 repeticiones.

#### **5.4.5. Medición de la actividad peroxidasa.**

La actividad peroxidasa se determinó mediante el método espectrofotométrico a 470 nm, las lecturas fueron realizadas por un periodo de 3 minutos, usando 0.2 ml de peróxido de hidrógeno (0.08 %) como sustrato y 0.2 ml de guayacol (0.5 %) como agente revelador (Silva 2014).

El extracto enzimático del ñame se preparó, siguiendo el procedimiento de Gaillard y Richard-Forget (1997). La enzima se extrajo a partir de las muestras escaldadas a las diferentes temperaturas, en una relación de 0.25 gramos de muestra y 6 ml de buffer fosfato 0.2 M con pH 6.0. La mezcla se centrifugo a 4000 rpm durante 15 minutos, el sobrenadante recolectado constituyo el extracto de la enzima utilizada para realizar los ensayos, se almacenó a 4 °C.

#### **5.4.6. Medición de cambios de color.**

Los parámetros de color, Luminosidad ( $L^*$ ), variación entre verde y rojo ( $a^*$ ), variación entre azul y amarillo ( $b^*$ ), saturación del color ( $C^*$ ) y ángulo de tonalidad ( $h^*$ ) se midieron con un colorímetro Colorflex EZ 45 (HunterLab®) (Ver Anexo 5). El colorímetro se calibró con un plato de cerámica estándar de color verde y blanco estándar antes de su lectura.

## **5.5. DISEÑO EXPERIMENTAL**

Este estudio fue conducido mediante un diseño completamente aleatorizado de 2 factores: temperaturas con 3 niveles y tiempo con 6 niveles, el análisis de los resultados se llevó a cabo mediante análisis de varianza de clasificación doble y pruebas de rangos múltiples (Tuckey).

Para cada tratamiento se realizaron 3 corridas experimentales e independientes replicas y en orden aleatorio. Los datos fueron analizados con el programa estadístico R.

## **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **6.1. Propiedades termofísicas del ñame en función de la composición bromatológica y las temperaturas de escaldado.**

En la Tabla 2, se muestra en resumen los datos correspondientes a las propiedades termofísicas de las variedades de ñame diamante 22 y espino tradicional a las temperaturas de escaldado 80°C, 85°C y 90°C, calculados mediante el software DEPROTER (Alvis et al. 2012), teniendo en cuenta los resultados bromatológicos obtenidos en el estudio realizado por Alvis et al. (2008a) y Espinosa y Rodríguez (2014), presentados en la revisión de la literatura.

Al analizar los valores obtenidos para las propiedades termofísicas, no se observaron diferencias significativas, al comparar las dos variedades a una misma temperatura.

Estas propiedades fueron utilizadas para el cálculo del coeficiente convectivo de transferencia de calor ( $h$ ), específicamente el calor específico ( $C_p$ ) y la densidad ( $\rho$ ).

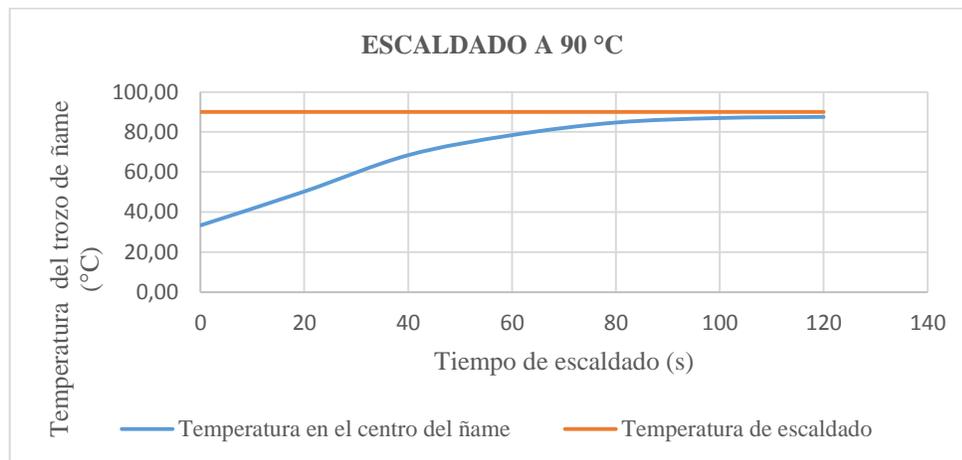
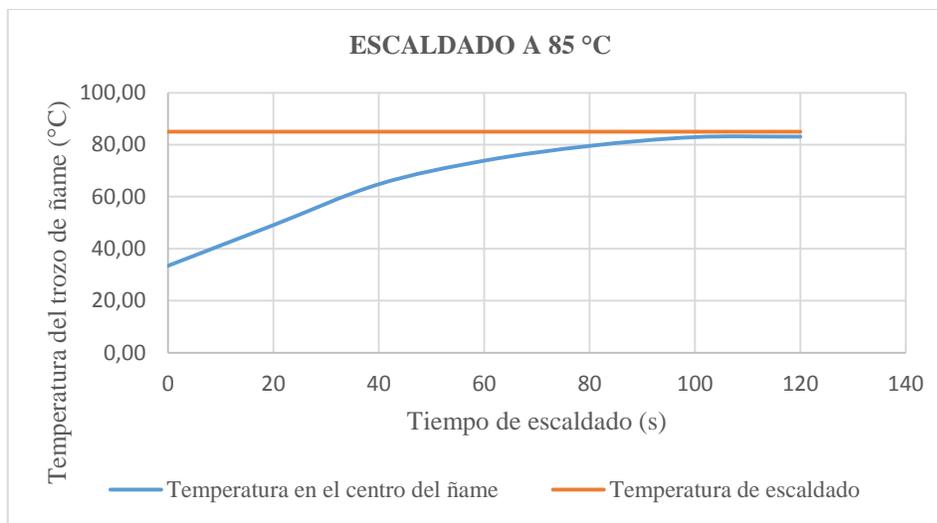
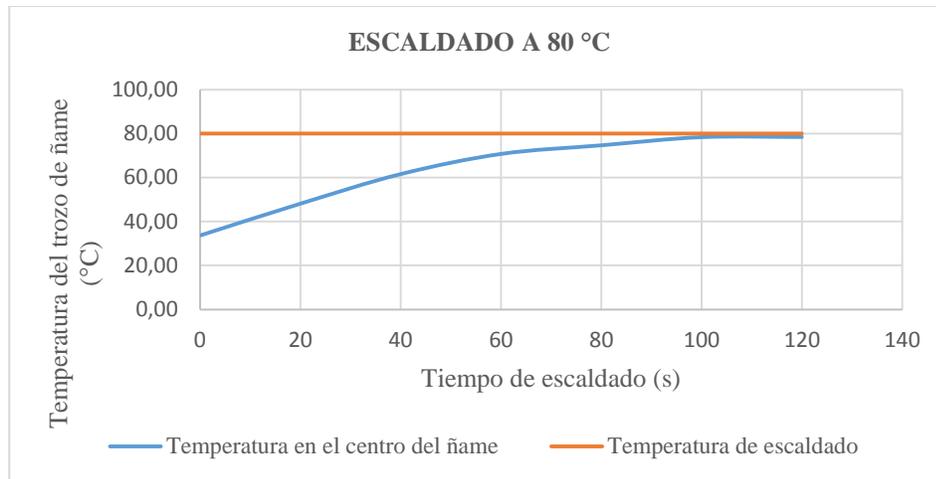
**Tabla 2.** Propiedades termofísicas promedio ( $\pm$  desviación estándar) del ñame variedad diamante 22 y espino tradicional a las diferentes temperaturas de escaldado (80 85 y 90 °C) determinados con el software DEPROTER (Alvis et al. 2012).

Propiedades Termofísicas	TEMPERATURA DE ESCALDADO					
	Diamante 22			Espino		
	80 °C	85 °C	90 °C	80 °C	85 °C	90 °C
<b>Cp (J/Kg°K)</b>	1323.56 $\pm$ 9.90	1326.47 $\pm$ 9.58	1329.30 $\pm$ 8.15	1324.61 $\pm$ 9.46	1327.53 $\pm$ 0.86	1330.36 $\pm$ 9.76
<b>K (W/m°C)</b>	14.15 $\pm$ 0.90	14.21 $\pm$ 0.79	14.25 $\pm$ 0.91	14.24 $\pm$ 0.84	14.29 $\pm$ 0.77	14.34 $\pm$ 0.90
<b><math>\alpha</math> (m<sup>2</sup>/s) *10<sup>-7</sup></b>	5.40 $\pm$ 0.88	5.44 $\pm$ 0.84	5.47 $\pm$ 0.88	5.43 $\pm$ 0.86	5.47 $\pm$ 0.90	5.51 $\pm$ 0.84
<b><math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	84.03 $\pm$ 0.99	83.90 $\pm$ 0.90	83.78 $\pm$ 0.98	83.96 $\pm$ 0.95	83.84 $\pm$ 0.89	83.71 $\pm$ 0.93

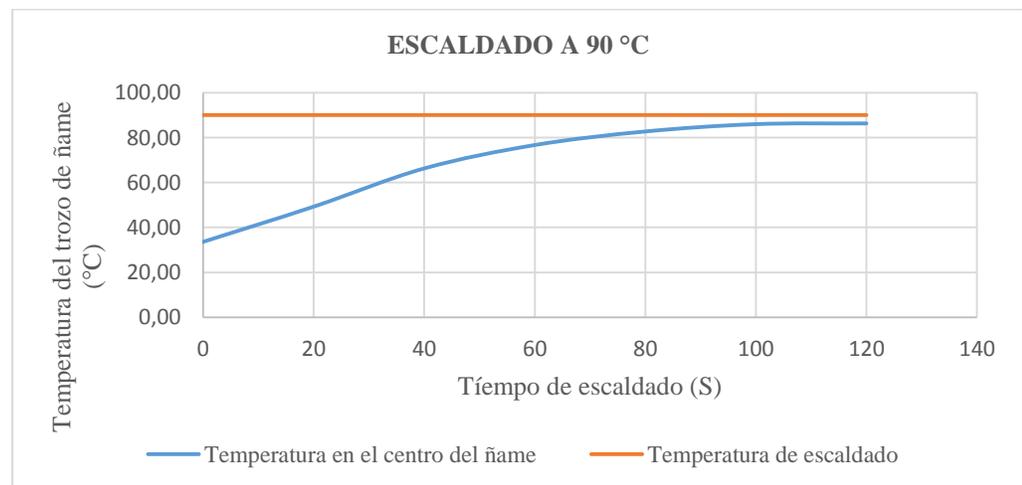
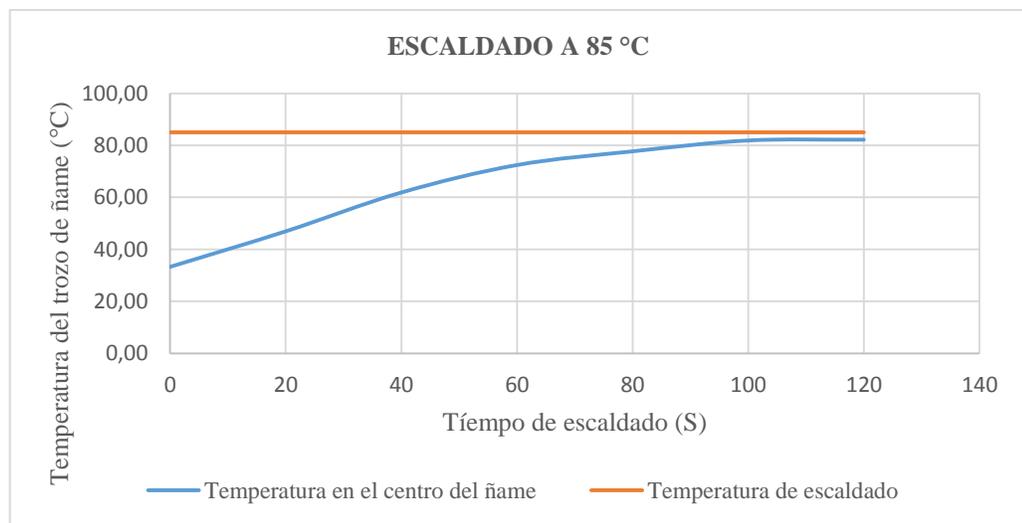
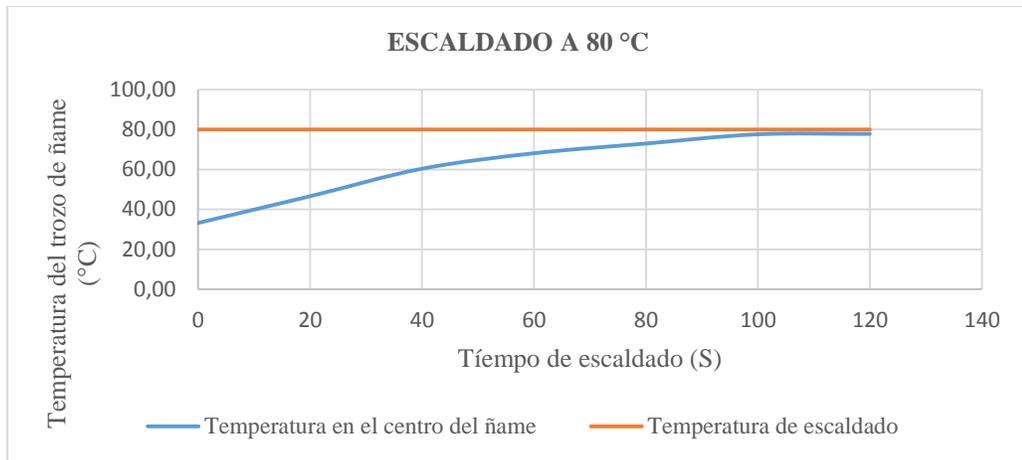
Propiedades termofísicas promedio ( $\pm$  desviación estándar) del ñame variedad diamante 22 y espino tradicional. Cp: Calor específico; k: conductividad térmica;  $\alpha$ : difusividad térmica;  $\rho$ : densidad.

## 6.2. Determinación del coeficiente convectivo de transferencia de calor (h)

En las Figura 1 y 2 se muestra la variación de la temperatura de los trozos de ñame con el tiempo para diferentes temperaturas de escaldado, observándose que en el interior del producto la temperatura aumentó rápidamente al comienzo del proceso, estabilizándose a partir de 80-100 segundos, dependiendo de la temperatura del agua, se da el mismo comportamiento para las dos variedades de ñame.



**Figura 1.** Temperatura del trozo de ñame (Diamante 22) durante el escaldado a las temperaturas de 80, 85 y 90 °C.



**Figura 2.** Temperatura del trozo de ñame (Espino tradicional) durante el escaldado a las temperaturas de 80, 85 y 90 °C.

El anexo 1a, representa la relación adimensional de la temperatura vs el tiempo obtenido a las temperaturas de 80, 85 y 90 °C, en el cual se observa que con el incremento de la temperatura, la velocidad de calentamiento de los trozos de ñame decrece. Mediante análisis de regresión lineal se obtuvieron las pendientes de la sección lineal (anexo 1b), usadas posteriormente para determinar el coeficiente convectivo de transferencia (h).

**Tabla 3.** Valores del coeficiente convectivo de transferencia de calor (h) en función de las temperaturas de escaldado.

Temperaturas de escaldado (°C)	Diamante 22	Espino Tradicional
	h (W/m <sup>2</sup> K)	
	promedio (± desviación estándar)	
<b>80</b>	895,73 ± 8,90	768,19 ± 8,90
<b>85</b>	926,04 ± 8,90	825,12 ± 10,70
<b>90</b>	989,97 ± 10,43	851,37 ± 9,07

Los valores del coeficiente de transferencia de calor encontrados en este estudio, para ñame variedad diamante 22 se encuentran entre 800 y 1000 W/m<sup>2</sup>K y para el espino tradicional entre 700 y 900 W/m<sup>2</sup>K, al analizar los valores, se observa que existen diferencias significativas entre las variedades (a 80 °C, h=895,73 W/m<sup>2</sup>K y 768,19 W/m<sup>2</sup>K; a 85 °C, 926,04 W/m<sup>2</sup>K Y 825,12 W/m<sup>2</sup>K; a 90 °C, 989,97 W/m<sup>2</sup>K y 851,37 W/m<sup>2</sup>K para ñame diamante 22 y espino tradicional, respectivamente) las diferencias entre los valores del coeficiente convectivo de transferencia de calor entre una variedad y la otra, pueden ser explicadas debido a las características de estas, así como en comparación con otros tubérculos.

En otros estudios en tubérculos como la papa sometidos a escaldado, se han reportado valores entre 219.7 W °C<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> para agua a 80°C, 223.6 W °C<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup> para agua a 90°C

(Mendoza y Herrera 2012). Los cuales son menores a los del ñame a estas mismas temperaturas, esto puede estar asociado al método utilizado para la medición de la temperatura y el método de solución de las ecuaciones de transferencia de calor.

### 6.3. Inactivación de la actividad peroxidasa

Se determinó la actividad inicial de peroxidasa (POD) en la materia prima. En la tabla 4 se presentan los promedios de actividad peroxidasa de las variedades de ñame (diamante 22 y espino tradicional), en la cual se puede observar que hay diferencias significativas entre los valores.

**Tabla 4.** Actividad peroxidasa en las variedades Diamante 22 y Espino tradicional, expresada en  $U/g^{-1}$  de muestra.

<b>Variedad</b>	<b>Actividad de peroxidasa</b>
<b>Diamante 22</b>	$0.741 \pm 0.003$
<b>Espino Tradicional</b>	$0.405 \pm 0.002$

Las actividades enzimáticas de la tabla 4 se presentan en unidades de  $U/g^{-1}$  es decir, una unidad de actividad peroxidasa se define como moles de sustrato  $min^{-1} * g^{-1}$ . Los valores presentados fueron calculados según se indica en el (anexo 2).

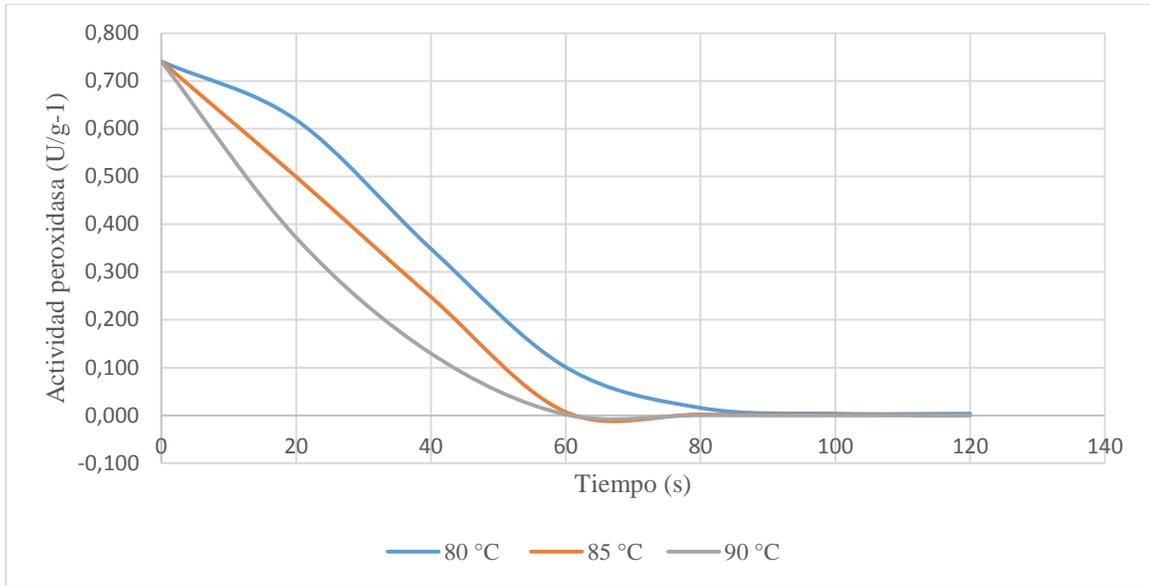
**Tabla 5.** Actividad peroxidasa a diferentes tiempos y temperaturas de escaldado en variedad Diamante 22, expresada en U/g<sup>-1</sup> de muestra.

<b>Actividad de peroxidasa a diferentes temperaturas de escaldado</b>						
<b>Tiempo de Escaldado</b>	<b>80 °C</b>		<b>85 °C</b>		<b>90 °C</b>	
	<b>U/g<sup>-1</sup></b>	<b>% de reducción</b>	<b>U/g<sup>-1</sup></b>	<b>% de reducción</b>	<b>U/g<sup>-1</sup></b>	<b>% de reducción</b>
<b>20</b>	0.618 ± 0.023	16.56	0.499 ± 0.011	32.64	0.372 ± 0.008	49.77
<b>40</b>	0.349 ± 0.009	52.94	0.248 ± 0.007	66.56	0.130 ± 0.004	82.51
<b>60</b>	0.101 ± 0.003	86.39	0.007 ± 0.002	99.06	0.002 ± 0.002	99.77
<b>80</b>	0.016 ± 0.005	97.89	0.002 ± 0.002	99.77	0.000 ± 0.000	100.00
<b>100</b>	0.003 ± 0.002	99.53	0.001 ± 0.002	99.88	0.000 ± 0.000	100.00
<b>120</b>	0.003 ± 0.002	99.53	0.000 ± 0.000	100.00	0.000 ± 0.000	100.00

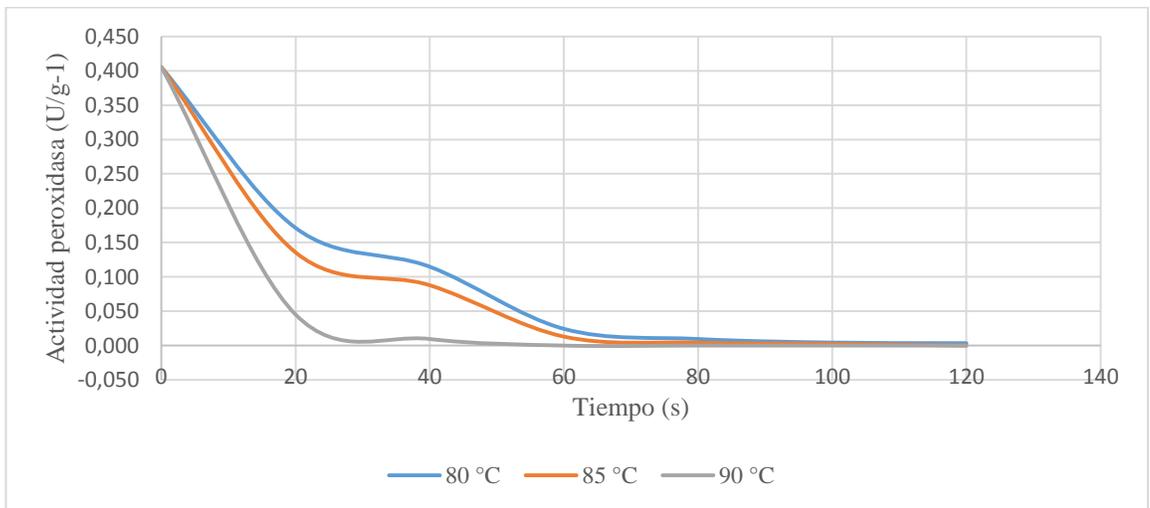
**Tabla 6.** Actividad peroxidasa a diferentes tiempos y temperaturas de escaldado en variedad Espino tradicional, expresada en U/g<sup>-1</sup> de muestra.

<b>Actividad de peroxidasa a diferentes temperaturas de escaldado</b>						
<b>Tiempo de Escaldado</b>	<b>80 °C</b>	<b>% de reducción</b>	<b>85 °C</b>	<b>% de reducción</b>	<b>90 °C</b>	<b>% de reducción</b>
<b>20</b>	0.171 ± 0.014	57.70	0.136 ± 0.017	66.51	0.045 ± 0.002	88.84
<b>40</b>	0.115 ± 0.011	71.66	0.088 ± 0.005	78.31	0.010 ± 0.002	97.64
<b>60</b>	0.024 ± 0.004	93.99	0.013 ± 0.003	96.78	0.000 ± 0.000	100.00
<b>80</b>	0.010 ± 0.002	97.64	0.004 ± 0.002	98.93	0.000 ± 0.000	100.00
<b>100</b>	0.004 ± 0.002	98.93	0.003 ± 0.000	99.36	0.000 ± 0.000	100.00
<b>120</b>	0.003 ± 0.002	99.14	0.000 ± 0.000	100.00	0.000 ± 0.000	100.00

En la tabla 5 se presentan los resultados de la actividad peroxidasa correspondiente a la variedad diamante 22 sometida a temperaturas de 80, 85 y 90 °C y tiempos de 20 hasta 120 segundos de escaldado. Observando una disminución de la actividad de peroxidasa a medida que aumenta la temperatura y el tiempo, a la temperatura de 85 °C y tiempo de 120 s se logra una disminución del 100% de la POD, igualmente a 90°C con tiempos de 80, 100 y 120 s, de forma similar se da para la variedad espino tradicional (tabla 6) excepto que a los 90 °C, se da la disminución es a partir de los 60 s. Esto de corrobora con la prueba de comparación de medias (P<0,05), es decir no existen diferencias significativas entre los tratamientos (anexo 3).



**Figura 3.** Actividad peroxidasa del ñame Diamante 22, en función de tiempo.



**Figura 4.** Actividad peroxidasa del ñame Espino tradicional, en función de tiempo.

En la figura 3 y 4 se muestra el perfil de tiempo de escaldado versus la actividad peroxidasa en el ñame variedad diamante 22 y espino tradicional a diferentes temperaturas. Las curvas obtenidas muestran un comportamiento decreciente de la actividad en función del tiempo y temperatura de escaldado. La forma del comportamiento enzimático fue similar a la observada en otros materiales como la papa (Mendoza y Herrera 2012).

El análisis de varianza indica que la temperatura de escaldado, tiempo de escaldado y la interacción temperatura:tiempo ejercen un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) sobre la inactivación de la actividad peroxidasa en las 2 variedades estudiadas.

Los residuales de los modelos estadísticos para actividad peroxidasa de los trozos de ñame sometidos a escaldado, no presentaron una distribución normal, pero si se cumplieron con los supuestos de independencia y homogeneidad.

Ya que no se cumple la normalidad y con el propósito de confirmar los resultados del análisis de varianza y del test de comparación de medias (tuckey), se realizaron las pruebas no paramétricas Kruskal-Wallis, corroborando que la temperatura, el tiempo y la interacción temperatura:tiempo, ejercen un efecto significativo sobre la actividad peroxidasa (anexo 3)

La menor actividad peroxidasa en ambas variedades obtenidas bajo condiciones de tiempo y temperaturas en las que se alcanza una mayor reducción, se pueden catalogar como favorables para posteriores procesos de transformación o conservación, como fritura, secado, obtención de harinas, congelación o empaques al vacío.

La peroxidasa es usada como indicador de la calidad de los tratamientos térmicos. Se acepta una disminución en su actividad superior al 90% como control para un escaldado adecuado, esta enzima controla los niveles de peróxidos que se generan en casi todas las células vivas y constituye una actividad importante para las plantas ya que evita el efecto perjudicial de los radicales libre (Polata et al. 2009)..

Con base a los resultados, se demuestra que con los parámetros tiempo y temperatura en los cuales se logra la inactivación de la actividad de la POD, esta es superior al 90% y pueden ser utilizados como indicadores de calidad para las variedades de ñame diamante 22 y espino tradicional.

Es decir a temperaturas de 80 °C desde 80 s, 85 y 90 °C a los 60 s para la variedad diamante 22 y para la variedad espino tradicional a 80 y 85 °C a los 60 s y a 90 °C a 40 s. siendo más rápida la inactivación en la variedad espino tradicional, ya que tiene menor actividad enzimática.

#### **6.4. Incidencia del tiempo y la temperatura de escaldado en el color**

Los parámetros de color obtenidos con el espectrofotómetro colorflex EZ fueron Luminosidad (L), Variación entre verde y rojo (a), variación entre azul y amarillo (b), saturación del color (C) y ángulo de tonalidad (h).

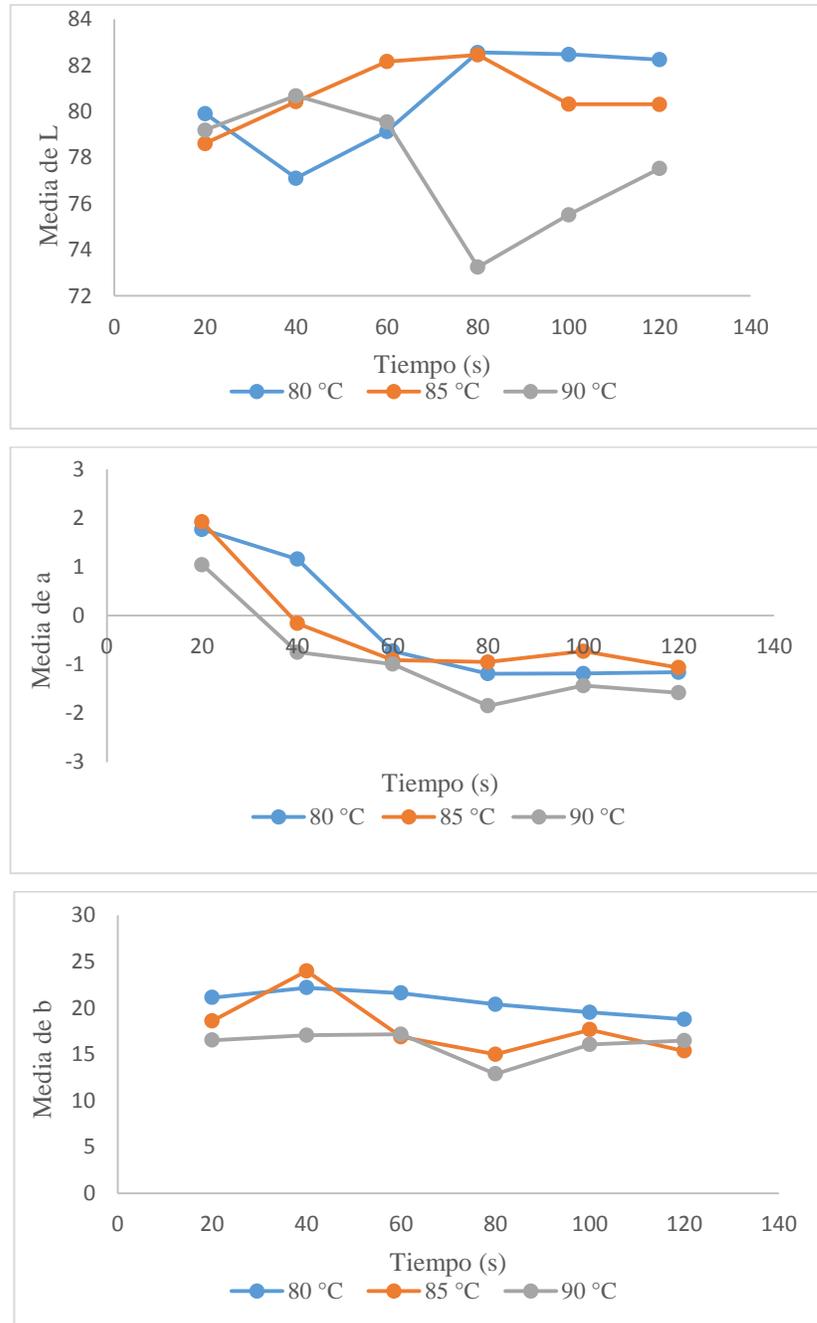
El análisis de varianza ( $p < 0,05$ ) del Anexo 4 muestra que la temperatura de escaldado, el tiempo de escaldado y la interacción temperatura:tiempo ejercen un efecto significativo sobre los parámetros de color evaluados en los trozos de ñame sometidos a escaldado, para las dos variedades (diamante 22 y espino tradicional).

Los residuales de los modelos estadísticos para los parámetros de color en los trozos de ñame sometidos a escaldado no presentaron una distribución normal, no se cumplió la independencia, pero si la homogeneidad de varianza (Anexo 4).

Dado que no se cumple la normalidad y con el propósito de confirmar los resultados del análisis de varianza y del test de comparación de medias (tuckey), se realizaron las pruebas no paramétricas Kruskal-Wallis, corroborando que la temperatura, el tiempo y la interacción temperatura:tiempo, ejercen un efecto significativo sobre los parámetros de color (anexo 4).

De acuerdo a la prueba tuckey al comparar la variable temperatura se tiene que existen diferencias significativas entre las medidas de cada parámetro ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $c^*$  y  $h^*$ ).

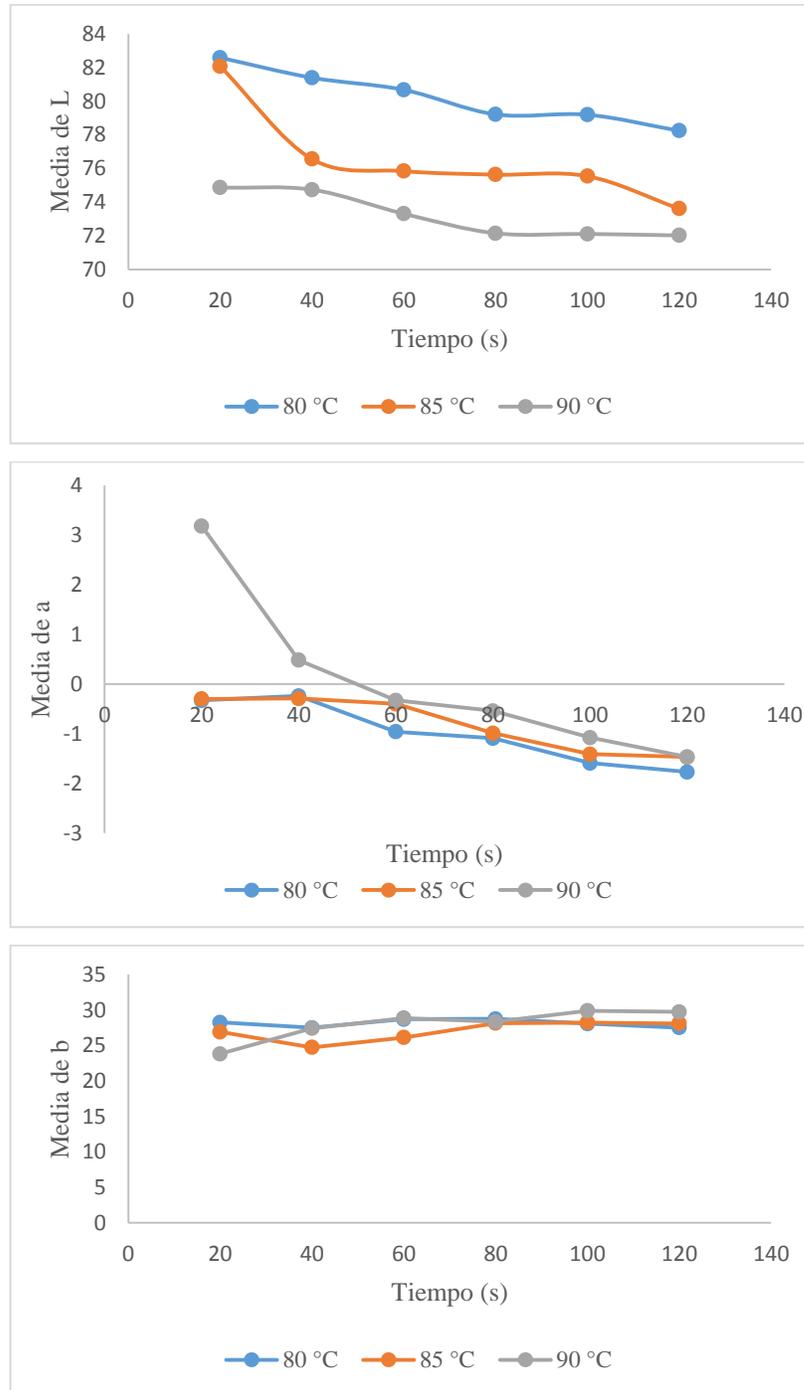
Para la variable tiempo al comparar las medias de los parámetros en las dos variedades, en general existen diferencias significativas excepto para  $L^*$ (luminosidad) en la variedad diamante 22, no existen diferencias significativas al comparar los tiempos 80-40, 100-40, 100-80, este último es igual para la variedad espino y para el parámetro  $b^*$  (azul amarillo).



**Figura 5.** Comportamiento de los parámetros de color L (luminosidad), a (verde-rojo), b (azul-amarillo), respecto al tiempo para la variedad diamante 22.

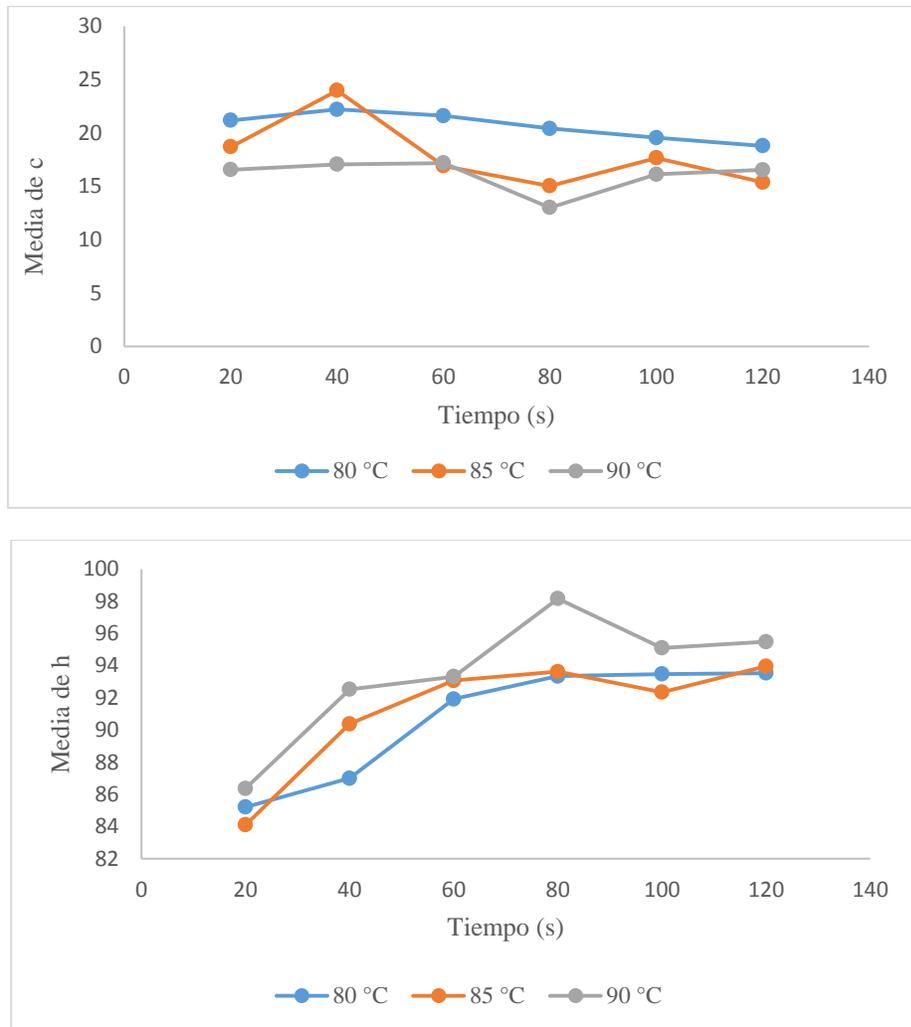
En la figura 5 se observa que el parámetro de luminosidad  $L^*$  es menor con el incremento de la temperatura, y mayor respecto al tiempo para la variedad Diamante 22,

a diferencia del espino tradicional donde hay una disminución de  $L^*$  al aumentar el tiempo de escaldado (figura 6). Para las dos variedades los valores de  $L^*$  son mayores a la temperatura de 80 °C.



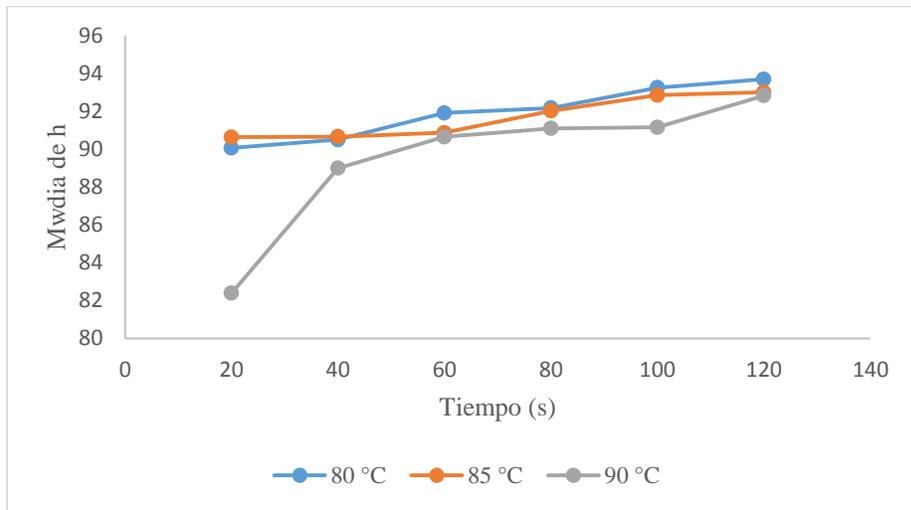
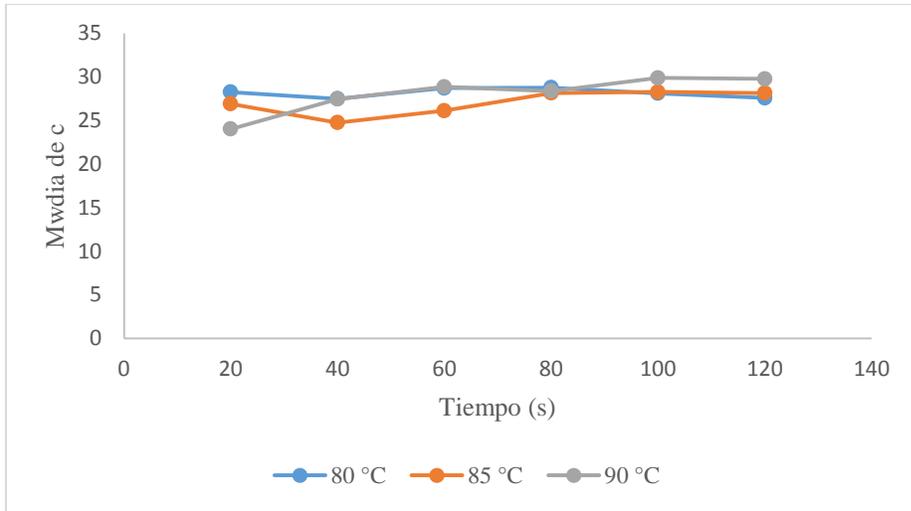
**Figura 6.** Comportamiento de los parámetros de color L (luminosidad), a (verde-rojo), b (azul-amarillo), respecto al tiempo para la variedad espino tradicional.

Para el parámetro  $a^*$  (verde-rojo) los resultados sugieren que los trozos de ñame durante el escaldado tienden al color verde y amarillo en la superficie ( $b^*$ ), esto ocurre para las dos variedades diamante 22 y espino tradicional.



**Figura 7.** Comportamiento de los parámetros del color  $c$  (saturación) y  $h$  (tono), respecto al tiempo para la variedad diamante 22.

En la figura 7 y 8 se observa que la saturación del color  $c^*$  tiene el mismo comportamiento en el tiempo y el tono  $h^*$  aumenta con el tiempo; siendo mayor en 90 °C para el diamante 22 y en 80 °C para el espino tradicional.



**Figura 8.** Comportamiento de los parámetros del color c (saturación) y h (tono), respecto al tiempo para la variedad espino tradicional.

## 7. CONCLUSIONES

- En la determinación de los parámetros de las propiedades termofísicas no existen diferencias significativas entre las muestras entre las variedades. Para la variedad Diamante 22 el calor específico se encuentra entre de 1323.560 y 1329.305 J/Kg°K, y la densidad entre 84.034 y 83.782 kg/m<sup>3</sup> y para el espino tradicional, el calor específico se encuentra entre 1324.618 y 1330.367 J/Kg°K y la densidad entre 83.967 y 83.715 kg/m<sup>3</sup>.
- El coeficiente de transferencia de calor  $h$ , aumentó al aumentarse la temperatura de escaldado, sus valores fueron  $895.73 \pm 8.90$ ,  $926.04 \pm 8.90$  y  $989.97 \pm 10.43$  para la variedad Diamante 22. Y  $768.19 \pm 8.90$ ,  $825.12 \pm 10.70$  y  $851.37 \pm 9.07$  para la variedad espino tradicional.
- En la evaluación del efecto temperatura:tiempo sobre la reducción de la actividad peroxidasa en la variedad Diamante 22 y espino tradicional, inicialmente esta se encontraba en valores de 0.741 U/g<sup>-1</sup> y 0.405 U/g<sup>-1</sup> de muestra disminuyendo el 100% a la temperatura de 85 °C por 120 segundos y a 90 °C a partir de los 80 s. Siendo más rápida la inactivación en la variedad espino tradicional, ya que tiene menor actividad enzimática.
- La temperatura de escaldado (80, 85 y 90 °C), el tiempo de escaldado (20 hasta 120 s) y la interacción temperatura-tiempo ejercen un efecto significativo sobre los parámetros de color evaluados en los trozos de ñame sometidos a escaldado, para las dos variedades (diamante 22 y espino tradicional). Las propiedades cromáticas (L, a\* b\* C y h), en este tubérculo son parámetros que contribuyen a su caracterización

pueden ser considerados en estudios cinéticos de degradación enzimática o térmica.

- En los resultados se puede observar que el proceso de escaldado a la temperatura y tiempo antes mencionada logró reducir por sobre un 90% la actividad enzimática de la peroxidasa del producto inicial, por lo que se puede concluir que el proceso utilizado es óptimo.

## **8. RECOMENDACIONES**

- Realizar estudios donde se evidencien los cambios de textura que se presentan durante el escaldado a diferentes temperaturas, ya que estos cambios que sufre el tubérculo debido principalmente a la gelatinización de almidones y solubilización de sustancias pécticas, produce pérdida de firmeza en el tejido (Abu-Ghannam y Crowley. 2006; Mendoza y Herrera 2012).
- Evaluar el efecto del escaldado combinado con otros tratamientos químicos para comparar el efecto sobre la actividad enzimática.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- **Abu-Ghannam, N. y Crowley, H. 2006.** The effect of low temperature blanching on the texture of whole processed new potatoes. *Journal of Food Engineering* 74: 335-344.
- **Alvis, A., Vélez, C., Rada-Mendoza, M. 2008a.** Composición de Ñames Frescos Cultivados en Colombia y Sometidos a Freído por Inmersión. *Información tecnológica* 19(1): 3-10.
- **Alvis, A., Vélez, C., Villada, H., Rada-Mendoza, M. 2008b.** Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas. *Información tecnológica* 19(1): 19-28.
- **Alvis, A., Cortés, L., Páez, M. 2009.** Transferencia de Calor y Materia durante la Fritura de Trozos de Ñame (*Dioscorea alata*). *Información tecnológica* 20(1): 99-109.
- **Alvis, A., Caicedo, I., Peña, P. 2010.** Determinación del Coeficiente de Transferencia de Calor a Través de una Aplicación de Computadoras. *Información tecnológica* 21(5): 13-20.
- **Alvis, A., Caicedo I., Peña P., 2012.** Determinación de Propiedades Termofísicas de Alimentos en Función de la Concentración y la Temperatura empleando un Programa Computacional. *Información tecnológica* 23(1): 111-116.
- **Andrade, R., Palacio, J., Pacheco, W., Betin, R. 2012.** Almacenamiento de Trozos de Ñame (*Dioscorea rotundata* Poir) en Atmósferas Modificadas. *Información tecnológica* 23(4): 65-72.

- **Asiedu, R., Sartie, A. 2010.** Crops that feed the World 1. Yams. Food Security 2: 305-315.
- **Barreiro, J., Sandoval, A. 2006.** Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas, Editorial Equinoccio. Universidad Simón Bolívar, p107.
- **Carvajal, J., Aristizábal, I., Oliveros, C., Montoya, J.** Colorimetría del Fruto de Café (*Coffea arabica* L.) Durante su Desarrollo y Maduración, (en línea), 2011. <http://www.bdigital.unal.edu.co/30571/2/29414-147778-1-PB.html>. Acceso 11 de Junio (2015).
- **Choi, Y. y Okos, M.R. 1985.** *Thermal properties in liquid foods-Review. In: Physical and Chemical properties of food.* Ed.M.Okos. American Society of Agricultural Engineering, p.p 93-101.
- **Dabonne S., Kouakou M., Kouassi H., Kouame L. 2011.** Enzymatic profile of different parts of yam (*Dioscorea*) tuber during storage. Agric. Biol. J. N. Am., 2(4): 591-597.
- **Fasina, O., Fleming, H. 2001.** Heat transfer characteristics of cucumbers during blanching. Journal of Food Engineering 47(3): 203-210.
- **Fennema, O. 2000.** Química de los Alimentos. 2ª ed. Zaragoza. España. Acribia. 1258 p.
- **Gallardo, M. 2004.** Validación Experimental de un Software Asistido por Internet para Describir el Proceso Combinado Escaldado - Hidroenfriado en Floretes de Brócoli (*Brassica oleracea L. var italica*). Universidad Austral De Chile.
- **González, M. 2012.** El Ñame (*Dioscorea* spp.). Características, usos y valor medicinal. Aspectos de importancia en el desarrollo de su cultivo. Cultivos Tropicales 33(4): 5-15.
- **Gauillard, F., Richard-Forget. 1997.** *Polyphenoloxidase from Williams Pear (Pyrus communis L., Cv Wuilliams): activation, purification and some properties,* Journal of Food Science, 74, 49-56.
- **Guzmán, L., Acevedo, D., Ganados, C. 2012.** Efecto del escaldado, deshidratación osmótica y recubrimiento en la pérdida de humedad y ganancia de aceite en trozos de papa criolla fritas. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial 10:(2).

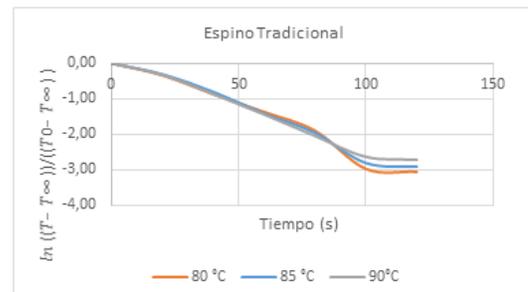
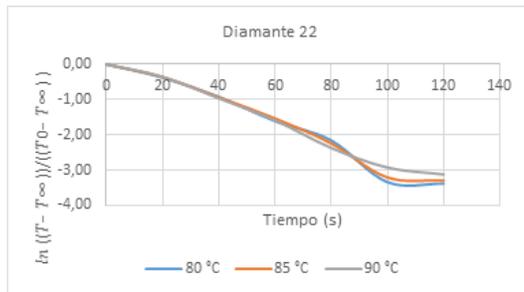
- **Hernández, C. 2009.** Acción Y Efectos de la Polifenoloxidasas en Alimentos. Monografía químico industrial, Universidad Veracruzana, Orizaba.
- **Hernández, I. 2013.** Efecto de la suplementación de dietas con vitamina d3 y 25-hidroxicolecalciferol en la estabilidad oxidante de la carne de cerdo. tesis de especialista en biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana, México, D. F.
- **Hurtado, J. 1997.** Valorización de las amiláceas “no- cereales” cultivadas en los países andinos: estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de sus almidones y de la resistencia a diferentes tratamientos estresantes. Tesis de grado, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Facultad de ingeniería de alimentos, Bogotá, Colombia.
- **Matheis, g. 1990.** La lipoxigenasa como enzima indicador en el blanqueado de verduras. Dragoco Report. Información sobre sabores. 2/1990: 52 – 59
- **Mendoza, R., Herrera, O. 2012.** Cinética de Inactivación de la Enzima Peroxidasa, Color y Textura en Papa Criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *phureja*) sometida a tres Condiciones de Escaldado. Información tecnológica 23(4): 73-82.
- **Oluwole O., Odediran O., Alagbe G., Eboagwu I., Jegede A, Ogundeji K., Olokoshe A., Asieba G., Onyibe J. 2016.** Polyphenol Oxidase Activity and Inhibition in White Yam (*Dioscorea Rotundata*. Var. Laasirin) Chips as African Fries for Human Consumption. Federal Institute of Industrial Research Oshodi, Lagos, Nigeria.
- **Oyagüe, J. 2007.** Estabilidad del color de la carne fresca. Nacameh 1(1):67-74.
- **Pacheco-Delahaye, E., Techeira, N., Garcia, A. 2008.** Elaboración y evaluación de polvos para bebidas instantáneas a base de harina extrudida de ñame (*Dioscorea alata*). Revista chilena de nutrición. 35 (4): 452-459.
- **Pazmiño, T. 2010.** Aplicación de una tecnología de acondicionamiento para la elaboración de papa prefrita congelada tipo bastón. Tesis Ingeniero de Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- **Pinzón, Y. 2014.** Caracterización morfológica y molecular de *Colletotrichum gloeosporioides* aislado de ñame (*Dioscorea* spp.) y establecimiento de una escala de virulencia para su caracterización patogénica. Tesis Magister en Microbiología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

- **Polata, H., Wilinska, A., Bryjak, J. y Polakovic, M. 2009.** Thermal inactivation kinetics of vegetable peroxidases. *Journal of Food Engineering* 91: 387–391.
- Rahman, S. *Food properties handbook*. ((p. 34)239). Boca Ratón, FL. CRC Press. (1995).
- **Ramírez, C. 2009.** Estudio Experimental de la desactivación de la enzima peroxidasa durante el proceso de escaldado de papas (*Solanum tuberosum*) y el almacenamiento a -18°C. Tesis ingeniero de alimentos, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- **Reina, Y. 2012.** El cultivo de ñame en el Caribe Colombiano. Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional. Banco de la República, centro de estudios económicos regionales (CEER) – Cartagena, ISSN: 1692 – 3795, 168.
- **Silva, E. 2014.** Marcadores bioquímicos e fisiológicos envolvidos na conservação de inhame (*Dioscorea* Spp.) minimamente procesado.
- **Singh, R.P. 2000.** Moving boundaries in food engineering. *Journal Food Technology* 54(2): 44-53.
- **Tirado, D., Acevedo, D., Guzmán, L. 2013.** Coeficientes convectivos de transferencia de calor durante el freído de láminas de tilapia (*Oreochromis Niloticus*). *Información tecnológica* 24(6).
- **Vidal, C. 2010.** El ñame espino (*Dioscorea rotundata* Poir.): una opción en la producción de jarabes edulcorantes intermedios para la industria alimentaria. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 1(2): 19-28.
- **Whitaker, J. 1972.** Principles of enzymology for the Food Sciences. Editorial Marcel Dekker In. New York. Vol 2: 592-615.
- **Yildiz, A., T., Palazoglu, K., Erdogan, F. 2007.** Determination of heat and mass transfer parameters during frying of potato slices. *Journal of Food Engineering* 79(1): 11-17.
- **Zambrano, J., Valera, A., Maffei, M., Materano, M., Quintero I. 2008.** Efecto del escaldado y la adición de preservativos sobre la calidad de la pulpa de mango tipo bocado almacenada bajo refrigeración. *Agronomía Tropical* 58(3).

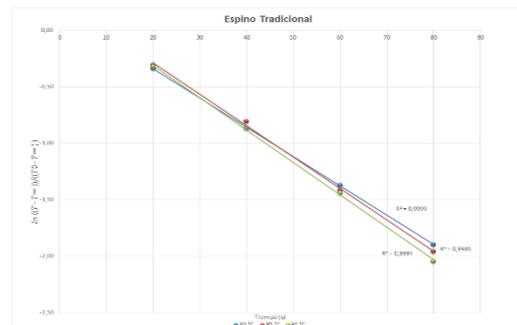
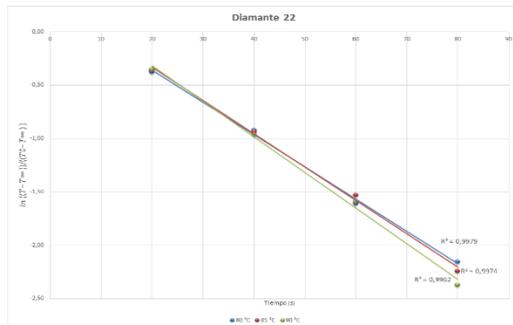
## ANEXOS

### Anexo 1. Determinación del coeficiente convectivo de transferencia de calor $h$

**Anexo 1a.** Relación adimensional de la temperatura vs el tiempo durante el experimento del escaldado a diferentes temperaturas y tiempos usada para la determinación del coeficiente de transferencia de calor.



**Anexo 1b.** Pendiente de la sección lineal de la relación adimensional de la temperatura vs el tiempo usada para la determinación del coeficiente de transferencia de calor.



**Anexo 2. Ejemplo de cálculo de conversión de absorbancia en actividad enzimática (U/g).**

80 °C	[Absorbancia] <sub>prom</sub>	U	U/g
0	0,155	0,017	0,405
<b>20</b>	<b>0,066</b>	<b>0,007</b>	<b>0,171</b>
40	0,044	0,005	0,115
60	0,009	0,001	0,024
80	0,004	0,000	0,010
100	0,002	0,000	0,004
120	0,001	0,000	0,003

Ejemplo de cálculo de la actividad de peroxidasa a la temperatura de 80 °C a los 20 segundos. Utilizando la siguiente ecuación

$$U = \frac{A * Vt * Fd}{t * \epsilon * Vm}$$

Donde; Fd: factor de dilución,  $\epsilon$ : coeficiente de extinción molar 36.8 nM cm<sup>-1</sup>, Vm: volumen de la muestra, Vt: volumen total de la reacción, t: tiempo de reacción y A:  $\Delta$ Abs 470 nm = [Absorbancia]<sub>prom</sub>.

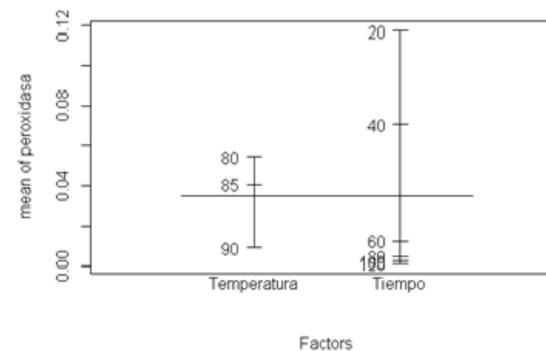
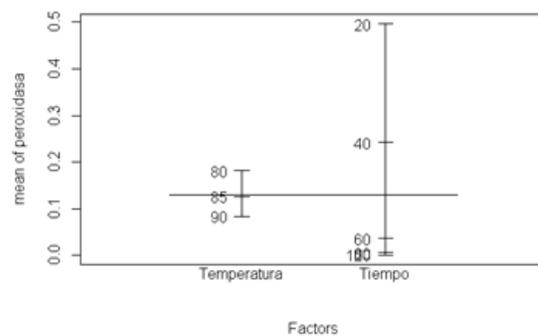
### Anexo 3. Análisis estadístico de la enzima peroxidasa

Análisis de varianza para peroxidasa

	Diamante 22						Espino tradicional					
	Df	Sum Sq	Mean Sq	Fvalue	Pr(>F)		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Temperatura	2	0.0867	0.0433	870.6	<2e-16	***	2	0.01955	0.009773	253.42	<2e-16	***
Tiempo	5	1.8376	0.3675	7382.9	<2e-16	***	5	0.10537	0.021073	546.46	<2e-16	***
Temperatura:Tiempo	10	0.0955	0.0096	191.9	<2e-16	***	10	0.02481	0.002481	64.32	<2e-16	***
Residuals	36	0.0018	0.0000				36	0.00139	0.000039			

signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Grafica de medias por tratamientos



**Prueba de comparación de medias Tukey (Nivel de confianza del 95%)**

**Diamante 22**

Temperatura

	diff	lwr	upr	p adj
85-80	-0.05565217	-0.06140072	-0.04990363	0
90-80	-0.09782609	-0.10357463	-0.09207754	0
90-85	-0.04217391	-0.04792246	-0.03642537	0

Tiempo

	diff	lwr	upr	p adj
40-20	-0.2544927538	-0.26449919	-0.244486313	0.0000000
60-20	-0.4600000000	-0.47000644	-0.449993559	0.0000000
80-20	-0.4907246377	-0.50073108	-0.480718197	0.0000000
100-20	-0.4950724638	-0.50507890	-0.485066023	0.0000000
120-20	-0.4953623189	-0.50536876	-0.485355878	0.0000000
60-40	-0.2055072462	-0.21551369	-0.195500806	0.0000000
80-40	-0.2362318839	-0.24623832	-0.226225443	0.0000000
100-40	-0.2405797100	-0.25058615	-0.230573269	0.0000000
120-40	-0.2408695651	-0.25087601	-0.230863125	0.0000000
80-60	-0.0307246377	-0.04073108	-0.020718197	0.0000000
100-60	-0.0350724638	-0.04507890	-0.025066023	0.0000000
120-60	-0.0353623189	-0.04536876	-0.025355878	0.0000000
100-80	-0.0043478261	-0.01435427	0.005658614	0.7791536
120-80	-0.0046376812	-0.01464412	0.005368759	0.7300109
120-100	-0.0002898551	-0.01029630	0.009716585	0.9999992

Interacción temperatura:tiempo

90:100-90:80	2.567391e-16	-0.021604859	0.021604859	1.0000000
85:120-90:80	3.842412e-16	-0.021604859	0.021604859	1.0000000
85:120-90:100	1.275022e-16	-0.021604859	0.021604859	1.0000000
90:120-90:100	1.387779e-17	-0.021604859	0.021604859	1.0000000
90:120-85:120	-1.136244e-16	-0.021604859	0.021604859	1.0000000

## Espino tradicional

### Temperatura

	diff	lwr	upr	p adj
85-80	-0.01405797	-0.01911762	-0.008998327	2e-07
90-80	-0.04550725	-0.05056689	-0.040447602	0e+00
90-85	-0.03144928	-0.03650892	-0.026389631	0e+00

### Tiempo

	diff	lwr	upr	p adj
40-20	-0.046666666	-0.05547395	-0.0378593868	0.0000000
60-20	-0.104927536	-0.11373482	-0.0961202565	0.0000000
80-20	-0.112753623	-0.12156090	-0.1039463434	0.0000000
100-20	-0.115072464	-0.12387974	-0.1062651839	0.0000000
120-20	-0.116231884	-0.12503916	-0.1074246043	0.0000000
60-40	-0.058260870	-0.06706815	-0.0494535900	0.0000000
80-40	-0.066086957	-0.07489424	-0.0572796769	0.0000000
100-40	-0.068405797	-0.07721308	-0.0595985175	0.0000000
120-40	-0.069565217	-0.07837250	-0.0607579378	0.0000000
80-60	-0.007826087	-0.01663337	0.0009811927	0.1058592
100-60	-0.010144927	-0.01895221	-0.0013376478	0.0161020
120-60	-0.011304348	-0.02011163	-0.0024970681	0.0055702
100-80	-0.002318841	-0.01112612	0.0064884391	0.9670885
120-80	-0.003478261	-0.01228554	0.0053290187	0.8395233
120-100	-0.001159420	-0.00996670	0.0076478593	0.9986325

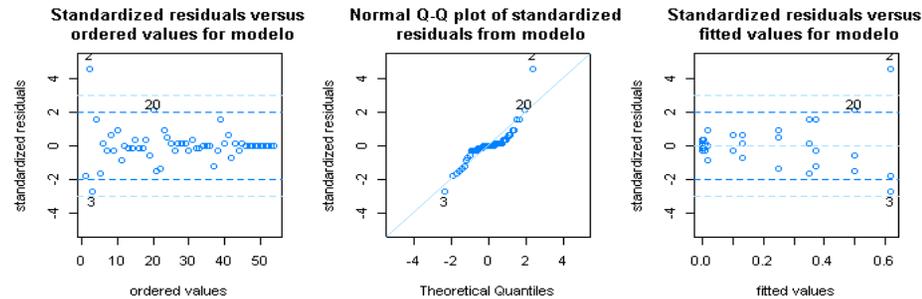
### Interacción temperatura:tiempo

90:80-90:60	-3.122502e-17	-0.019015756	0.019015756	1.0000000
90:100-90:60	-1.040834e-17	-0.019015756	0.019015756	1.0000000
85:120-90:60	4.336809e-18	-0.019015756	0.019015756	1.0000000
90:120-90:60	-7.285839e-17	-0.019015756	0.019015756	1.0000000
90:100-90:80	2.081668e-17	-0.019015756	0.019015756	1.0000000
90:120-90:80	-4.163336e-17	-0.019015756	0.019015756	1.0000000
85:120-90:80	3.556183e-17	-0.019015756	0.019015756	1.0000000
85:120-90:100	1.474515e-17	-0.019015756	0.019015756	1.0000000
90:120-90:100	-6.245005e-17	-0.019015756	0.019015756	1.0000000
90:120-85:120	-7.719519e-17	-0.019015756	0.019015756	1.0000000

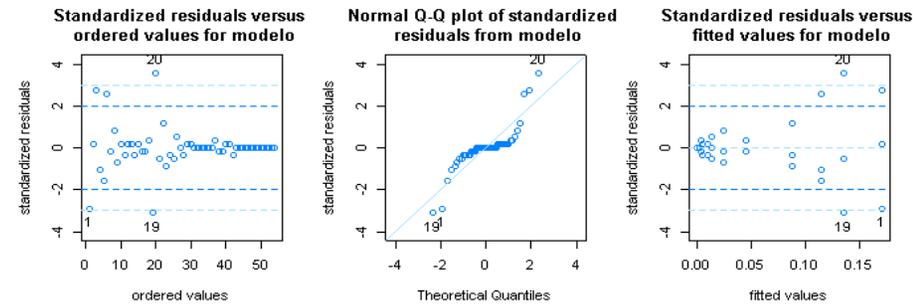
## Supuestos

Prueba	Variedad diamante		Variedad Espino tradicional	
		p-valor		p-valor
Durbin-Watson test	DW: 3.1595	0.9969	DW: 2.6716	0.5601
Shapiro-Wilk normality test	W: 0.81792	1.118e-06	W: 0.75025	3.19e-08
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)	F-valor: 1.1813	0.3263	F-valor: 2.0139	0.03829

### ✓ Diamante



### ✓ Espino



## Pruebas no parametricas

Prueba (Kruskal-Wallis)	Df	Variedad diamante		Variedad Espino tradicional	
		Chi- cuadrado	p-valor	Chi- cuadrado	p-valor
peroxidasa and Temperatura	2	7.2897	0.02612	12.91	0.001572
peroxidasa and Tiempo	5	42.141	5.515e-08	36.773	6.65e-07
peroxidasa and Temperatura:Tiempo	17	51.415	2.54e-05	52.528	1.697e-05

## Anexo 4. Análisis estadístico de parámetros de color.

Análisis de varianza para L													
Diamante 22							Espino tradicional						
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)		
Temperatura	2	109.93	54.96	4403.6	<2e-16 ***	Temperatura	2	443.7	221.85	25885.6	<2e-16 ***		
Tiempo	5	7.81	1.56	125.1	<2e-16 ***	Tiempo	5	154.2	30.84	3598.8	<2e-16 ***		
Temperatura:Tiempo	10	213.93	21.39	1714.0	<2e-16 ***	Temperatura:Tiempo	10	36.1	3.61	420.7	<2e-16 ***		
Residuals	36	0.45	0.01			Residuals	36	0.3	0.01				

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Análisis de varianza para a													
Diamante 22							Espino tradicional						
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)		
Temperatura	2	5.27	2.634	21553	<2e-16 ***	Temperatura	2	10.31	5.153	64711	<2e-16 ***		
Tiempo	5	58.05	11.610	94989	<2e-16 ***	Tiempo	5	39.04	7.808	98057	<2e-16 ***		
Temperatura:Tiempo	10	4.41	0.441	3605	<2e-16 ***	Temperatura:Tiempo	10	15.14	1.514	19010	<2e-16 ***		
Residuals	36	0.00	0.000			Residuals	36	0.00	0.000				

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Análisis de varianza para b													
Diamante 22							Espino tradicional						
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)		
Temperatura	2	190.25	95.12	18692	<2e-16 ***	Temperatura	2	12.85	6.427	2861	<2e-16 ***		
Tiempo	5	135.96	27.19	5343	<2e-16 ***	Tiempo	5	48.32	9.665	4302	<2e-16 ***		
Temperatura:Tiempo	10	87.41	8.74	1718	<2e-16 ***	Temperatura:Tiempo	10	61.61	6.161	2743	<2e-16 ***		
Residuals	36	0.18	0.01			Residuals	36	0.08	0.002				

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Análisis de varianza para c											
Diamante 22						Espino tradicional					
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Temperatura ***	2	188.46	94.23	18456	<2e-16	Temperatura	2	13.25	6.626	3022	<2e-16 ***
Tiempo ***	5	133.79	26.76	5241	<2e-16	Tiempo	5	47.75	9.551	4356	<2e-16 ***
Temperatura:Tiempo ***	10	86.93	8.69	1703	<2e-16	Temperatura:Tiempo	10	57.79	5.779	2636	<2e-16 ***
Residuals	36	0.18	0.01			Residuals	36	0.08	0.002		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

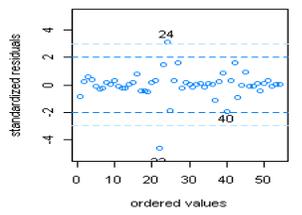
Análisis de varianza para h											
Diamante 22						Espino tradicional					
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Temperatura ***	2	76.8	38.39	30400	<2e-16	Temperatura	2	72.65	36.32	97583	<2e-16 ***
Tiempo ***	5	609.4	121.89	96509	<2e-16	Tiempo	5	164.51	32.90	88395	<2e-16 ***
Temperatura:Tiempo ***	10	42.2	4.22	3340	<2e-16	Temperatura:Tiempo	10	82.57	8.26	22183	<2e-16 ***
Residuals	36	0.0	0.00			Residuals	36	0.01	0.00		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

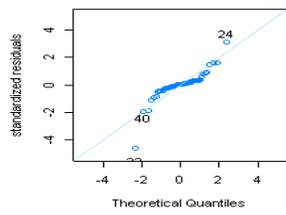
### Supuestos

Prueba Variedad diamante 22	L		a		b		c		h	
	Estadístico	p-valor	Estadístico	p-valor	Estadístico	p-valor	Estadístico	p-valor	Estadístico	p-valor
Durbin-Watson test	2.4825	0.2482	2.1263	0.01432	2.1396	0.01652	2.1509	0.0186	2.2261	0.0387
Shapiro-Wilk normality test	0.79002	2.374e-07	0.94914	0.02282	0.78789	2.12e-07	0.78134	1.504e-07	0.95427	0.03828
Levene's Test for Homogeneity of Variance	1.4695	0.3263	1.0082	0.4723	1.1203	0.3737	1.2392	0.2856	0.887	0.5922

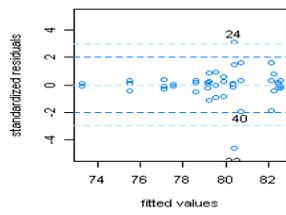
**Standardized residuals versus ordered values for modelo1**



**Normal Q-Q plot of standardized residuals from modelo1**



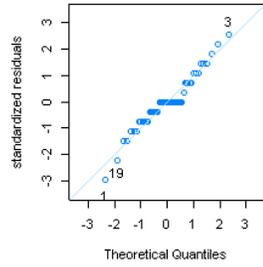
**Standardized residuals versus fitted values for modelo1**



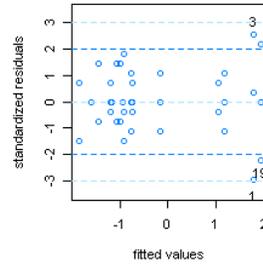
**Standardized residuals versus ordered values for modelo2**



**Normal Q-Q plot of standardized residuals from modelo2**



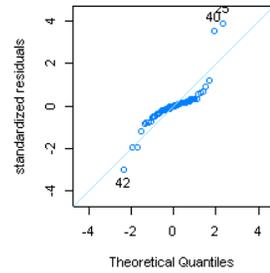
**Standardized residuals versus fitted values for modelo2**



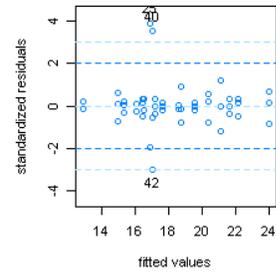
**Standardized residuals versus ordered values for modelo3**



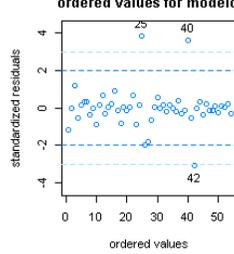
**Normal Q-Q plot of standardized residuals from modelo3**



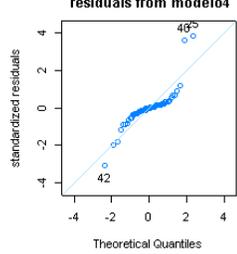
**Standardized residuals versus fitted values for modelo3**



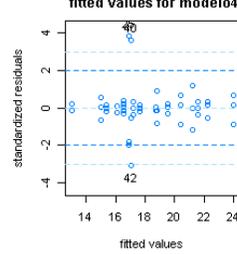
**Standardized residuals versus ordered values for modelo4**



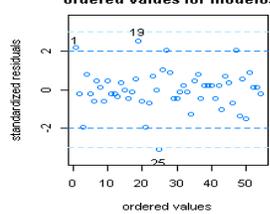
**Normal Q-Q plot of standardized residuals from modelo4**



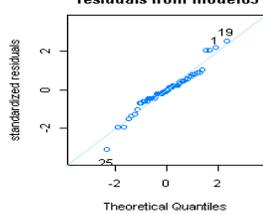
**Standardized residuals versus fitted values for modelo4**



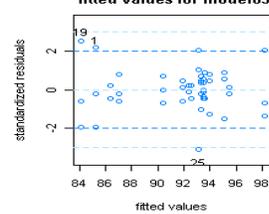
**Standardized residuals versus ordered values for modelo5**



**Normal Q-Q plot of standardized residuals from modelo5**

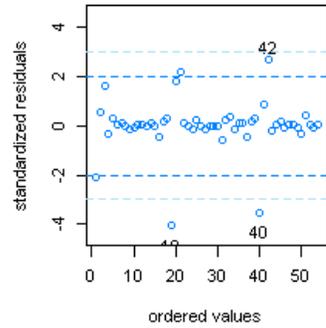


**Standardized residuals versus fitted values for modelo5**

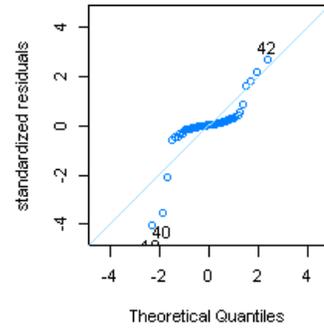


Prueba Variedad Espino Tradicional	L		a		b		c		h	
	Estadístico	p-valor	Estadístico	p-valor	Estadístico	p-valor	Estadístico	p-valor	Estadístico	p-valor
Durbin-Watson test	2.2096	0.03322	2.9922	0.9586	2.0295	0.004616	2.0815	0.00867	2.8789	0.8726
Shapiro-Wilk normality test	0.70011	3.321e-09	0.95712	0.05122	0.76816	7.674e-08	0.78675	1.996e-07	0.98374	0.6716
Levene's Test for Homogeneity of Variance	1.3374	0.2258	0.6383	0.8381	1.3224	0.2342	1.1941	0.317	0.5639	0.8964

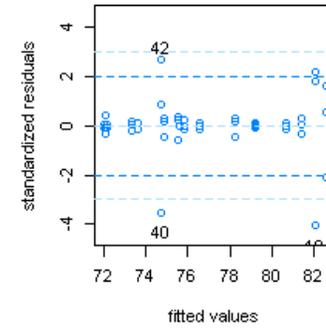
**Standardized residuals versus ordered values for modelo1**

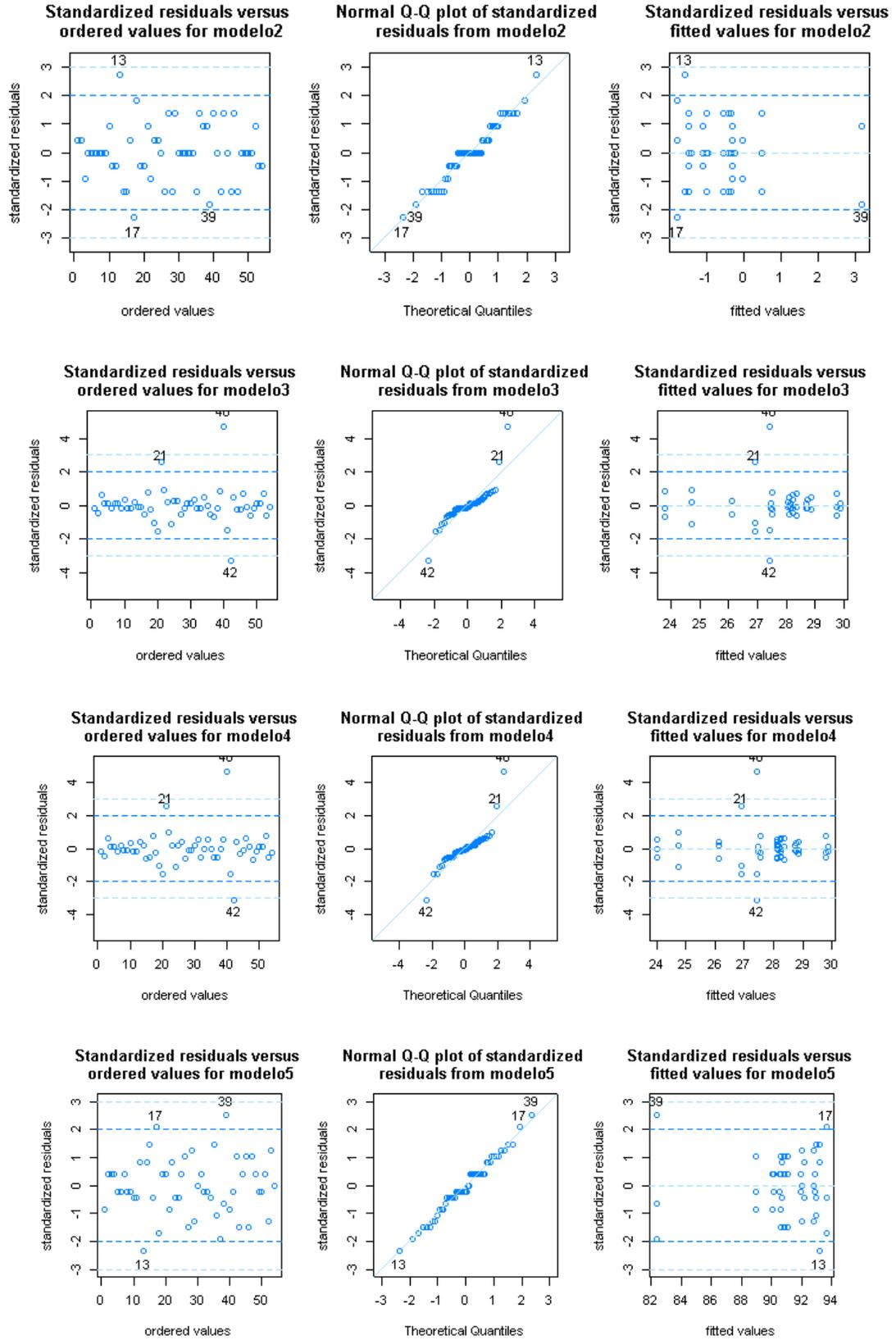


**Normal Q-Q plot of standardized residuals from modelo1**



**Standardized residuals versus fitted values for modelo1**





## Pruebas no parametricas

Prueba (Kruskal-Wallis) Diamante 22	Df	L		a		b		C		h	
		Chi-cuadrado	p-valor	Chi-cuadrado	p-valor	Chi-cuadrado	p-valor	Chi-cuadrado	p-valor	Chi-cuadrado	p-valor
		peroxidasa and Temperatura	2	13.952	0.0009338	8.7503	0.01259	27.643	9.938e-07	27.642	9.943e-07
peroxidasa and Tiempo	5	4.0183	0.5468	39.3	2.067e-07	16.147	0.006436	15.818	0.007382	42.616	4.421e-08
peroxidasa and Temperatura:Tiempo	17	52.467	1.735e-05	52.872	1.497e-05	52.762	1.558e-05	52.708	1.589e-05	52.851	1.509e-05

Prueba (Kruskal-Wallis) Espino	Df	L		a		b		C		h	
		Chi-cuadrado	p-valor	Chi-cuadrado	p-valor	Chi-cuadrado	p-valor	Chi-cuadrado	p-valor	Chi-cuadrado	p-valor
		peroxidasa and Temperatura	2	38.669	4.009e-09	3.2272	0.1992	9.5429	0.008468	9.1918	0.01009
peroxidasa and Tiempo	5	12.492	0.02864	47.88	3.757e-09	20.701	0.0009224	21.447	0.0006667	36.601	7.199e-07
peroxidasa and Temperatura:Tiempo	17	52.815	1.529e-05	52.829	1.52e-05	52.679	1.606e-05	52.585	1.662e-05	52.774	1.551e-05

**Anexo 5. Equipos utilizados en el experimento**



Freidora electri fryer



Cortadora de papa



Equipo de medición de color



INTECH Micro 2100-A16 Rev 1.3