

**Evaluación del efecto de dos niveles de pH en
la capacidad antioxidante de la semilla de
aguacate criollo (*Persea americana* Mill.)**

Guillermo Tomas Osorio Yat

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2013

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

Evaluación del efecto de dos niveles de pH en la capacidad antioxidante de la semilla de aguacate criollo (*Persea americana* Mill.)

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
el título de Ingeniero en Agroindustria Alimentaria en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Guillermo Tomas Osorio Yat

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2013

Evaluación del efecto de dos niveles de pH en la capacidad antioxidante de la semilla de aguacate criollo (*Persea americana* Mill.)

Presentado por

Guillermo Tomas Osorio Yat

Aprobado:

Jorge A. Cardona, Ph.D.
Asesor Principal

Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Director
Departamento de Agroindustria
Alimentaria.

Raul Espinal, Ph.D
Asesor

Raúl Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Evaluación del efecto de dos niveles de pH en la capacidad antioxidante de la semilla de aguacate criollo (*Persea americana* Mill.)

Guillermo Tomas Osorio Yat

Resumen: La comercialización de aguacate ha incrementado en 50% en los últimos años y su valor ha incrementado 42%, siendo los principales mercados Norteamérica y países europeos. En Centroamérica se acostumbra colocar la semilla del aguacate dentro del guacamole aduciendo que evita el oscurecimiento rápido de la pulpa. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de dos niveles de pH inicial y tres partes de la semilla de aguacate en características físico-químicas de la pulpa de aguacate. Además, determinar si estos tratamientos presentaban capacidad antioxidante a través del tiempo. Se evaluó semilla completa, tegumento y endospermo a niveles de pH de 6.8 y 4.5 y se comparó contra muestras de aguacate sin semilla agregada. El diseño experimental fue bloques completos al azar con arreglo factorial 2×4 a través del tiempo (6 horas) y tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron pH, color y polifenoles totales cada dos horas, y viscosidad al inicio y al final del estudio. No hubo diferencias significativas en la cantidad de polifenoles totales a través del tiempo a pesar del cambio de coloración de las muestras. El oscurecimiento se dio en muestras a pH 6.8 mientras que las muestras acidificadas (pH 4.5) mantuvieron su color durante el tiempo de evaluación. La viscosidad se redujo de forma similar en todos los tratamientos. No se pudo observar efecto antioxidante de las partes de la semilla de aguacate. Se requiere hacer estudios posteriores evaluando extractos de la semilla en esta y otras variedades comerciales de aguacate.

Palabras clave: Polifenoles totales, pardeamiento enzimático y croma.

Abstract: The avocado has increased 50% in merchandising, the market price increased around 42% in recent years. The main countries in avocado market are North America and European Union. In American Central the avocado seed is used to delay pulp oxidation. The objective of the study was to evaluate the effect of two levels of initial pH and three parts of avocado seed in physical-chemical characteristic of pulp. Furthermore, determining if these treatments showed antioxidant capacity over time. The entire seed, seedless, seed coat and seed endosperm was evaluated with 6.8 and 4.5 of pH and compared with seedless some. The experimental design was a completely-randomized block with 2×4 factorial arrangements repeat measures in time (6 hours) and with three repetitions. The evaluated variables were pH, color, polyphenol content at a frequency of two hours and viscosity in initial and finished hours. No significant differences in the amount of total polyphenols over time spite the change of color of the samples. Darkening occurred at pH 6.8 in samples while samples acidified (pH 4.5) maintained their color during the evaluation time. The viscosity was reduced similarly in all treatments. No effect was observed antioxidant parts avocado seed. Further studies are required to evaluate seed extracts in this and other commercial varieties of avocado.

Key words: Polyphenoles total, enzymatic browning and chroma.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen.	iii
Contenido	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	5
4 CONCLUSIONES.....	11
5 RECOMENDACIONES.....	12
6 LITERATURA CITADA	13

CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Descripción de los tratamientos.	4
2. Potencial de hidrógeno en la pulpa de aguacate con pH 6.8 (natural) y 4.5 (ajustado).....	6
3. Contenido de polifenoles totales equivalente a ácido gálico en la pulpa de aguacate con pH 6.78 y 4.5	6
4. Color de la pulpa de aguacate usando escala (L).	8
5. Color de la pulpa de aguacate usando escala (a).....	9
6. Color de la pulpa de aguacate usando escala (b).	9
7. Viscosidad del aguacate en el inicio y final del estudio en Pa.s.	10

Figuras	Página
1. Cromo de pulpa de aguacate a pH 6.8 (A) y pH 4.5 (B) a través del tiempo (6 horas).	8

1. INTRODUCCIÓN

La comercialización de aguacate (*Persea americana*) ha aumentado en los últimos años, ya que es un producto que las personas prefieren que acompañe a sus alimentos (Evaristo 2008). En el 2007 a aumentado su exportación en más de 50% en volumen y 42 % en valor, siendo los mercados principales Estados Unidos, Puerto Rico, Canadá, Europa, Croacia y las algunas islas del Caribe (Evaristo 2008). También la producción ha aumentado, siendo México el mayor productor de aguacate con 34% de participación en la producción mundial de los principales países (SAGARPA 2005). El crecimiento de consumo mundial de aguacate del 2001 al 2005 fue de 5% anual, siendo en el 2005 fue de 2780 toneladas métricas. El consumo promedio en Los Estados Unidos es 0.88 kg *per capita*, en la República Dominicana con consumo *per capita* de 10.83 kg/año (SEA, IICA y CNC 2007).

El aguacate naturalmente es sensible a cambios organolépticos, ya que al ser expuesto al aire, o al tener una sobre maduración y golpes pueden cambiar de color, olor y sabor que son causados por varios factores que alteran estas características propias del aguacate (Falconí 2008). La pulpa de aguacate contiene grasa 299 y proteínas 16 en g/kg; También contienen fenoles 29.4, esteroides 18.8 y flavonoides 42.5 (todos en mg/kg) (Arukwe *et al.* 2012). Tiene una composición de ácidos grasos saturados de 16-22%, ácidos grasos monoinsaturados 66-72%, ácido graso polinsaturado 8-11%, el ácido graso más predominante es el oleico (ácido graso insaturado) con un 64.87% (Ortega Tovar 2003).

En México y países centroamericanos acostumbran hacer guacamole (pasta de aguacate, limón, sal y otros condimentos), la semilla se coloca en el centro del guacamole aduciendo que evita la coloración negra causada por la enzima polifenol oxidasa (Bressani 2009). La polifenol oxidasas es una enzima que transforman de *o*-difenoil a *o*-quinonas, estas son muy reactivas con sus sustratos fenoles al tener contactos entre ellos (Falconí 2008). La semilla tiene una composición fitoquímica: saponinas 19.21, taninos 0.24, flavonoides 1.9, alcaloide 0.72 y fenoles 6.14, todos estos están expresados en mg/100 g de semilla, ya que estos pueden ser los que funcionan como antioxidante al tener interacción entre ellos (Arukwe *et al.* 2012).

En la Universidad del Valle de Guatemala se analizó la capacidad antioxidante de la semilla de aguacate criollo y la cantidad polifenoles totales que contiene. Se obtuvo un promedio de 312 mg/100 g de polifenoles totales (mg catecol/100 g de semilla de aguacate) y el valor de la capacidad antioxidante de la semilla varía según la variedad, para hacer este análisis se midió la limpieza de radicales libres, usando el radical Difenoil picril-hidracil (DPPH) (Bressani 2009).

En el departamento de Agroindustria alimentaria de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, se realizó un estudio sobre el efecto del escaldado y de la adición de metabisulfito de sodio en la evaluación física y sensorial de aguacate de variedad Hass deshidratado. Se evaluó diferentes niveles de metabisulfito de sodio (0%, 0.10%, 0.2% y 0.3%) y dos temperaturas (70 °C y 90 °C). Consistió en dos formas de evaluar, el primero en trozos de aguacate y el segundo en secado y molido. Se evaluó el rendimiento del aguacate, actividad de agua, humedad, color y análisis sensorial. El aumento del metabisulfito de sodio en el producto fue positivo en fijación de color (Falconí 2008).

En la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, no se ha realizado estudios sobre la semilla del aguacate, su composición, capacidad antioxidante y su relación con el pH ácido. Por tal razón los objetivos de este proyecto fueron:

- Evaluar el efecto de partes de la semilla de aguacate y adición de ácido cítrico en características físicas de la pulpa de aguacate a través del tiempo (6 horas).
- Evaluar el efecto de partes de la semilla de aguacate y adición de ácido cítrico en características químicas de la pulpa de aguacate a través del tiempo (6 horas).
- Determinar la parte de la semilla de aguacate que presenta capacidad antioxidante en la pulpa de aguacate.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio: El estudio se realizó en el Laboratorio de Análisis de Alimentos Zamorano (LAAZ), ubicado en el Valle del Yeguaré, departamento de Francisco Morazán.

Elaboración de polvo de semilla de aguacate: la semilla (aguacate criollo) esta compuesta por tres partes (tegumento, endospermo y embrión), se utilizaron el tegumento y el endospermo. Se secaron a 80 °C durante 3 horas (tegumento) y 12 horas (endospermo). Se molieron (molino Tecator, Cyclotex, modelo 1093 sample mill). Se tamizaron en mesh 40. La humedad utilizada fue de 13% en promedio.

Elaboración de la pasta de aguacate: Se utilizaron variedades que estaban disponibles en Honduras (criollos), se escogieron frutas que estaban uniformemente maduras para su fácil manipulación, se separaron las semillas, las cáscaras y la pulpa. Se vertió la pulpa dentro de un recipiente, luego con una batidora a velocidad uno se removió a modo que quedó mezclado.

Se separaron tres platos petris con 100 g de pulpas cada uno, agregándole un gramo de tegumento, a otro un gramo de endospermo molido y el otro solo contiene pulpa, luego en otro recipiente se agregó 250 g de pulpa de aguacate, todo esto tiene en promedio 6.8 de pH. En otro lado se separaron las mismas cantidades de platos petris con los mismos tratamientos pero con pH 4.5 usando ácido cítrico. Para obtener el tegumento y endospermo molido, primero se secaron las semillas de aguacates a 80 °C, se separaron el tegumento y endospermo para poder molerlos, para ser utilizado en los tratamientos se secaron a un promedio de 13% de humedad. Se tomaron medidas de las variables cada 2 horas tomando en cuenta el tiempo inicial.

Medición de pH: El pH se midió usando el potenciómetro (Acummet[®] modelo 15, Fisher scientific, United States of America) con resolución 0.1/0.01pH. Las siglas pH significa potencial de hidrógeno que contiene una disolución (Prichard 2003), los rangos que presentaron estos análisis son de 0 a 14, siendo ácidos de 0-6, 6.1-7.9 neutro y alcalino de 8-14. Se tomó la muestra de pulpa (en los platos petris), con el potenciómetro calibrado, se procedió a medir el pH de las muestras y se hizo lo mismo en las muestras repetidas a través del tiempo. Se introdujo el electrodo dentro de la pasta pero se lavó el electrodo con agua destilada antes y después de cada medición. Después de realizar las mediciones, se colocó el electrodo dentro de una solución buffer.

Determinación de color: Para la medición del color se usó el Colorímetro (Colorflex[®], modelo 45/0 HunterLab Reston, VA, United States of America) y el programa “Universal

Software” V4.00. Se encendió el aparato media hora antes de hacer las mediciones, se calibró el equipo con los discos estándar negro y blanco, se tomaron las muestras (5 gramos), se colocaron sobre la placa, se cubrió con un cobertor negro, se presionó la opción “Read sam”, apareció una ventanilla y se oprimió “Average” y se identificaron las muestras. Al haber terminado se exportó a Excel, se lavó y se limpió el área. Los resultados se presentaron en modelo L (luminosidad), a (posición entre rojo si es positivo y verde si es negativo) y b (posición amarillo si es positivo y azul si es negativo).

Determinación de polifenoles totales. Para medir los polifenoles totales se utilizó el espectrofotómetro (Spectronic instrument, Modelo LR45227 Milton Roy Company, United States of America). Este análisis se basó en el uso del reactivo Folin Ciocalteu (mezcla de fosfowolfrámico y fosfomolibdico), que se basa en la capacidad reductora de los polifenoles oxidados (Ainsworth y Gillespie 2007). Se tomó un gramo de aguacate, se diluyó en 9 mL de agua destilada, se agitó con un sonificador hasta que quedó bien lechoso. Se vertió en un tubo de ensayo 100 µL de la muestra, se agregó 1 mL de Folin-Ciocalteu, se agitó y se dejó reposar por 3 minutos. Se agregó 1 mL de carbonato de sodio, se agitó y se dejó reposar 7 minutos. Posteriormente se agregó 3 mL de agua destilada, se agitó y se dejó reposar por 3 horas. Finalmente se midió absorbancia de la solución a 726 nm. Este procedimiento se hizo para todas las unidades experimentales de forma triplicada. El contenido de fenoles totales fueron expresados en equivalente mg de ácido gálico, ya que se preparó una curva estándar, a través de una dilución de ácido gálico de 800, 400, 200, 100, 50, 25 y 0 ppm.

Análisis de viscosidad. Se utilizó el viscosímetro (Brookfield modelo DV II+). Al inicio de cada bloque, se midieron la viscosidad de cada unidad experimental. En el inicio se utilizaron tres revoluciones (RPM 1, 3 y 5) utilizando el máximo porcentaje de torque. Al final se utilizaron tres RPM diferentes (20, 50 y 70). Las unidades de medición que se utilizaron, fueron Pa.s (Pascuales segundos), se utilizó una muestra de 100 g por cada medición.

Diseño experimental: se utilizó el diseño experimental bloques completos al azar (BCA) con medidas repetidas en tiempo con arreglo factorial 2×3 correspondiente a acidez (Natural y pH 4.5) y partes de la semilla (tegumento, endospermo, semilla completa y sin semilla). Se hizo análisis de varianza (ANDEVA) con SAS®, separación de medias Lsmeans con probabilidad de 5%.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos.

pH	Parte de la semilla			
	Con semilla	Endospermo	Tegumento	Sin semilla
6.8	T1	T2	T3	T4
4.5	T5	T6	T7	T8

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Potencial de Hidrógeno. Los resultados de la medición del pH demostraron que dichos valores fueron en promedio de 6.8 (natural) y 4.5 (ajustado con ácido cítrico). Hubo significancia entre partes de la semilla, pH y tiempo. No existió interacción entre semilla \times pH, pero si mostró interacción entre parte de la semilla \times pH \times tiempo. La pulpa con partes de la semilla y pH 6.8 y 4.5 no tuvieron significancia entre ellos en cada tiempo (Cuadro 2). La pulpa de aguacate (pH 4.5) tuvo mayor estabilidad durante las seis horas a las que fue expuesto al ambiente. Por otro lado, se observó una reducción significativa del pH en las muestras con acidez natural (pH 6.8). En cuatro horas, existió un incremento en la acidez de las muestras de 6.7%, 4.2% y 1.7% con semilla, tegumento y sin semilla, respectivamente. Dichos cambios fueron más evidentes entre la segunda y cuarta hora de evaluación. El tegumento en la pulpa de aguacate con pH 6.8 mostró mejor estabilidad de pH, ya que dicho tratamiento comenzó con pH 6.83, cambio significativamente en la hora dos a pH 6.46 y no mostró cambio significativo a partir de este momento. La disminución del pH se puede deducir que es por la reacción lipolítica o por liberación de algunos ácidos grasos causados por la rancidez de los glicéridos (Kiger *et al.* 1980).

Polifenoles totales. Hubo significancia en partes de la semilla y pH, pero no mostró significancia en tiempo. No existió interacción entre partes de la semilla y pH. Las muestras de pulpa de aguacate con tegumento de la semilla a pH de 6.8, mostró una variación de 10% de cantidad de polifenoles totales más que el control, y al finalizar el estudio también fue que mostró 15% más que el control (Cuadro 3). Sin embargo, no fue el control que mostró menos cantidad de polifenoles, si no la pulpa con semilla a pH 4.5, esto presentó 12, 18, 7 y 12% menos que el control en cero, dos, cuatro y seis horas, respectivamente. Las muestras con endospermo con pH 6.8, mostraron mayor cantidad de polifenoles totales en la hora dos y cuatro.

La diferencia de cantidad de polifenoles en los tegumentos y endospermo en este estudio, se debió a que la semilla de aguacate también contiene polifenoles totales en 137.12 $\mu\text{g}/\text{mg}$ (Lee *et al.* 2008), ya que la semilla se le incorporó a la pulpa de forma molida. En ningún tratamiento se mostraron cambios de polifenoles totales a través del tiempo. Esto se debe a que el estudio no se analizó directamente la reacción de la PPO con los polifenoles totales, ya que el reactivo que se uso fue el Folin-Ciocalteu, este reactivo es una fuente de iones metálicos oxidativos. El aguacate criollo contiene minerales que pueden reaccionar con los metales oxidables que contiene el Folin-Ciocalteu, estos minerales son: sodio, calcio, magnesio, fósforo, potasio, zinc y cobre (Arukwe *et al.* 2012).

Cuadro 2. Potencial de hidrógeno en la pulpa de aguacate con pH 6.8 (natural) y 4.5 (ajustado)

Tratamientos		Tiempo (horas)			
pH	Parte de la semilla	0 Media ± D.E. ¹	2 Media ± D. E.	4 Media ± D. E.	6 Media ± D. E.
6.8	Con semilla	6.85 ± 0.25 ^{A(y)2}	6.65 ± 0.41 ^{A(y)}	6.24 ± 0.35 ^{A(z)}	6.05 ± 0.43 ^{A(z)}
	Endospermo	6.65 ± 0.48 ^{A(y)}	6.51 ± 0.52 ^{A(y)}	6.38 ± 0.19 ^{A(yz)}	6.12 ± 0.25 ^{A(z)}
	Tegumento	6.83 ± 0.58 ^{A(y)}	6.46 ± 0.38 ^{A(z)}	6.35 ± 0.15 ^{A(z)}	6.26 ± 0.27 ^{A(z)}
	Sin semilla	6.81 ± 0.25 ^{A(y)}	6.55 ± 0.48 ^{A(yz)}	6.31 ± 0.26 ^{A(z)}	6.14 ± 0.40 ^{A(z)}
4.5	Con semilla	4.53 ± 0.06 ^{B(z)}	4.62 ± 0.30 ^{B(z)}	4.58 ± 0.32 ^{B(z)}	4.54 ± 0.33 ^{B(z)}
	Endospermo	4.50 ± 0.00 ^{B(z)}	4.63 ± 0.06 ^{B(z)}	4.38 ± 0.10 ^{B(z)}	4.36 ± 0.05 ^{B(z)}
	Tegumento	4.50 ± 0.00 ^{B(z)}	4.43 ± 0.06 ^{B(z)}	4.43 ± 0.06 ^{B(z)}	4.30 ± 0.10 ^{B(z)}
	Sin semilla	4.52 ± 0.03 ^{B(z)}	4.48 ± 0.08 ^{B(z)}	4.45 ± 0.05 ^{B(z)}	4.40 ± 0.10 ^{B(z)}
CV (%) ³	3.34				

¹Desviación Estándar. ²Medias con diferentes letras mayúsculas (columna) o minúscula (fila) son significativamente diferentes. ³Coeficiente de Variación. R²= 0.98, (P=0.0001)

Cuadro 3. Contenido de polifenoles totales equivalente a ácido gálico en la pulpa de aguacate con pH 6.78 y 4.5

Tratamiento		Tiempo (horas)			
pH	Partes de la semilla	0 Media ± D.E. ¹	2 Media ± D.E.	4 Media ± D.E.	6 Media ± D.E.
6.8	Con semilla	2300 ± 165 ^{AB(z)2}	2220 ± 721 ^{AB(z)}	2480 ± 159 ^{AB(z)}	2170 ± 300 ^{AB(z)}
	Endospermo	2330 ± 180 ^{AB(z)}	2570 ± 108 ^{A(z)}	2560 ± 85.6 ^{A(z)}	2230 ± 324 ^{AB(z)}
	Tegumento	2430 ± 245 ^{A(z)}	2240 ± 626 ^{AB(z)}	2500 ± 252 ^{AB(z)}	2540 ± 330 ^{A(z)}
	Sin semilla	2210 ± 66.1 ^{AB(z)}	2360 ± 479 ^{AB(z)}	2100 ± 521 ^{B(z)}	2210 ± 291 ^{AB(z)}
4.5	Con semilla	1980 ± 768 ^{B(z)}	1990 ± 718 ^{B(z)}	1960 ± 556 ^{B(z)}	1980 ± 385 ^{B(z)}
	Endospermo	2050 ± 610 ^{AB(z)}	1970 ± 556 ^{B(z)}	2160 ± 707 ^{AB(z)}	2030 ± 601 ^{B(z)}
	Tegumento	2100 ± 668 ^{AB(z)}	2240 ± 786 ^{AB(z)}	2240 ± 661 ^{AB(z)}	2280 ± 494 ^{AB(z)}
	Sin semilla	2050 ± 862 ^{AB(z)}	1950 ± 726 ^{B(z)}	1920 ± 402 ^{B(z)}	1970 ± 493 ^{B(z)}
C.V. (%) ³	11.67				

¹Desviación Estándar. ²Medias con diferentes letras mayúsculas (columna) o minúscula (fila) son significativamente diferentes. ³Coeficiente de Variación. R²= 0.85, (P=0.0001)

Color de la pulpa escala L: Hubo significancia entre semillas, pH y tiempo. No hubo interacción entre parte de la semilla × pH, pero si se motró interacción entre pH × parte de la semilla × tiempo. Los valores de L tienen un rango 0 a 100, se considera oscuro (0-50) y claro (51-100). Las muestras con endospermo y tegumentos en los dos pH mostraron mayor significancia (Cuadro 4). Desde el inicio del experimento se evidenciaron diferencias significativas, con el endospermo de 6.5% menos luminoso que el control (pH 6.8 sin semilla). Las muestras con tegumento en los dos tipos de pH iniciaron con una diferencia significativa de 10% y 14% (pH 4.5 y 6.8) menos luminoso que el control.

El oscurecimiento de la pulpa de aguacate a través del tiempo, se observó con mayor significancia en muestras a pH de 6.8. Se observaron reducciones de 20%, 19%, 16% y 14% en la luminosidad después de 6 horas en los tratamientos sin semilla, endospermo, tegumento y con semilla, respectivamente. Hubo cambios de oscurecimiento en la pulpa con pH 4.5, desde el inicio hasta dos horas y se mantuvieron hasta el final del análisis (6 horas), teniendo un cambio total de 12%, 11%, 8% y 7% en tegumento, endospermo, sin semilla y con semilla respectivamente.

Color de la pulpa escala a: Se mostró alta significancia entre semilla, pH y tiempo. Hubo interacción entre partes de la semilla × pH e interacción entre parte de la semilla × pH × tiempo. Los valores de a representan rojo (valores positivos) y verde (valores negativos). Al iniciar el estudio se observó diferencia significativa entre los tratamientos, siendo el tegumento y el endospermo más cercano al cero (más rojizo). En cada tiempo hubo diferencias estadística, siendo el tegumento con valores altos (direccionándose al rojo) con un predio de 7% de diferencia a comparación del control (Cuadro 5). El cambio de coloración de verde a rojo fue significativo en todos lo tratamientos, siendo la pulpa sin semilla que marcó mayor diferencia con un 5% y 6% de cambio de coloración en pH 6.8 y 4.5, respectivamente, y el tegumento (que marcó diferencias significativa en cada tiempo) con 6% de cambio en el pH 4.5.

Color de la pulpa escala b: Hubo alta significancia en partes de la semilla, pH y tiempo. No hubo interacción entre partes de la semilla × pH, pero si mostró interacción entre parte de la semilla × pH × tiempo. Estos valores representan la escala de amarillo (valores positivos) contra azul (valores negativos). El color de la pulpa desde el inicio del estudio, marcó diferencia los tratamientos que tenían tegumentos en las dos formas de pH (Cuadro 6). Al final del estudio las muestras con tegumento y pH 6.8 cambios 19% de su coloración. Todos los tratamientos con pH 4.5 no presentaron cambios significativos de coloración durante las seis horas.

Índice de cromaticidad: indica el grado de desviación de gris hacia cromática pura de color. La degradación del color de la pulpa se observó mas afectado en el pH 6.8, no a si los de la pulpa con pH de 4.5 (Figura 1). Este índice se obtuvo con esta fórmula

$$a^2 + b^2 = c^2 \quad [1]$$

Cuadro 4. Color de la pulpa de aguacate usando escala (L).

Tratamientos		Tiempos (horas)			
pH	Parte de la semilla	0	2	4	6
		Media ± D. E. ¹	Media ± D. E.	Media ± D. E.	Media ± D. E.
6.8	Con semilla	53.9 ± 1.35 ^{AB(x)2}	50.3 ± 1.25 ^{B(y)}	47.1 ± 2.02 ^{CB(z)}	46.3 ± 5.19 ^{CB(z)}
	Endospermo	51.6 ± 2.28 ^{B(x)}	45.5 ± 1.49 ^{C(y)}	42.6 ± 4.03 ^{D(z)}	41.6 ± 2.70 ^{D(z)}
	Tegumento	48.4 ± 1.41 ^{C(x)}	42.9 ± 2.20 ^{D(y)}	40.5 ± 3.12 ^{E(Yz)}	40.1 ± 3.52 ^{D(z)}
	Sin semilla	54.9 ± 2.82 ^{A(x)}	49.1 ± 3.08 ^{B(y)}	46.7 ± 2.50 ^{CB(y)}	43.9 ± 3.10 ^{DC(z)}
4.5	Con semilla	55.2 ± 5.96 ^{A(y)}	53.6 ± 5.39 ^{A(yz)}	52.1 ± 5.91 ^{A(z)}	51.1 ± 6.29 ^{A(z)}
	Endospermo	53.3 ± 4.93 ^{AB(y)}	50.0 ± 3.13 ^{B(z)}	49.0 ± 3.38 ^{B(z)}	47.5 ± 5.11 ^{B(z)}
	Tegumento	50.4 ± 3.19 ^{BC(y)}	48.4 ± 3.81 ^{B(yz)}	46.3 ± 3.56 ^{C(z)}	44.1 ± 4.86 ^{C(z)}
	Sin semilla	55.4 ± 5.77 ^{A(y)}	53.1 ± 4.90 ^{A(yz)}	51.8 ± 3.61 ^{A(z)}	50.8 ± 4.67 ^{A(z)}

CV (%)³ 3.10

¹Desviación Estándar. ²Medias con diferentes letras mayúsculas (columna) o minúscula (fila) son significativamente diferentes. ³Coefficiente de variación. R² = 0.96. (P>0.0001).

∞

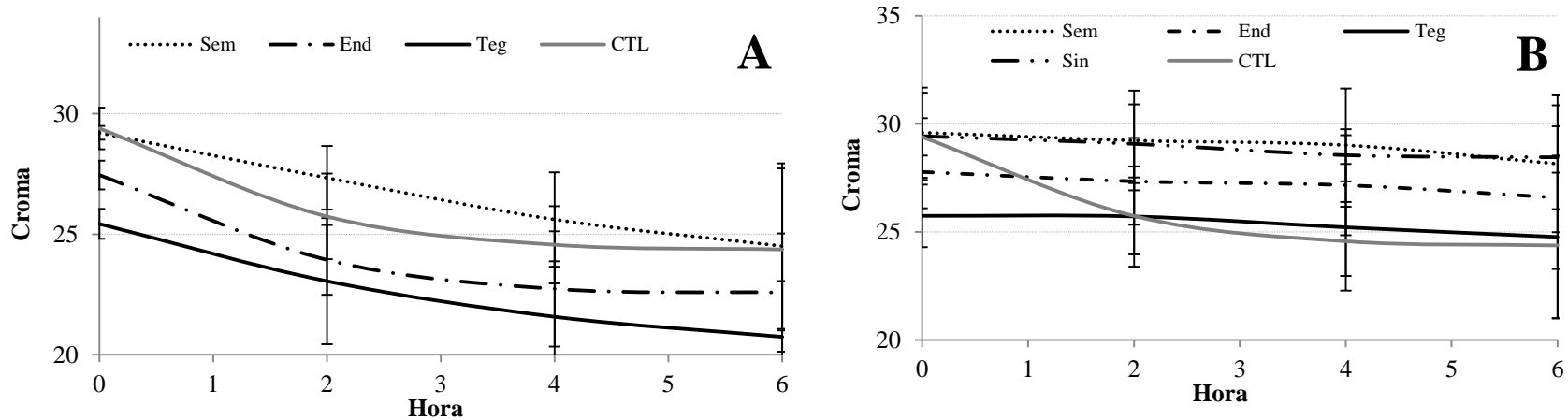


Figura 1. Croma de pulpa de aguacate a pH 6.8 (A) y pH 4.5 (B) a través del tiempo (6 horas).

Sem=semilla, End=endospermo, Teg=tegumento, Sin=sin semilla y CTL=control. R² de 0.94. Coeficiente de Variación de 4%

Cuadro 5. Color de la pulpa de aguacate usando escala (a).

Tratamientos		Tiempos (horas)			
pH	Parte de la semilla	0	2	4	6
		Media ± D. E. ¹	Media ± D. E.	Media ± D. E.	Media ± D. E.
6.8	Con semilla	-4.16 ± 0.60 ^{A(x)2}	-3.73 ± 0.20 ^{A(x)}	-2.37 ± 0.36 ^{A(y)}	-0.81 ± 1.12 ^{AB(z)}
	Endospermo	-0.75 ± 0.36 ^{C(x)}	0.07 ± 0.61 ^{CD(y)}	0.68 ± 0.26 ^{CD(yz)}	1.14 ± 0.24 ^{C(z)}
	Tegumento	0.09 ± 0.48 ^{D(x)}	0.97 ± 0.56 ^{D(y)}	1.91 ± 0.63 ^{D(z)}	2.25 ± 0.96 ^{D(z)}
	Sin semilla	-4.06 ± 0.74 ^{A(w)}	-3.08 ± 0.32 ^{AB(x)}	2.27 ± 0.54 ^{A(y)}	-1.06 ± 0.65 ^{A(z)}
4.5	Con semilla	-3.37 ± 1.18 ^{A(x)}	-2.63 ± 1.54 ^{B(x)}	1.74 ± 1.72 ^{AB(y)}	-0.41 ± 1.37 ^{AB(z)}
	Endospermo	-2.13 ± 0.96 ^{B(x)}	-0.53 ± 1.39 ^{C(y)}	0.43 ± 1.12 ^{C(z)}	1.15 ± 0.66 ^{C(z)}
	Tegumento	-0.69 ± 1.18 ^{CD(w)}	0.40 ± 1.08 ^{D(x)}	1.30 ± 1.33 ^{D(y)}	2.58 ± 1.38 ^{C(z)}
	Sin semilla	-3.37 ± 1.18 ^{A(w)}	-2.42 ± 1.74 ^{B(x)}	1.16 ± 1.47 ^{AB(y)}	0.03 ± 1.42 ^{B(z)}
CV (%) ³		0.87			

¹Desviación Estándar. ²Medias con diferentes letras mayúsculas (columna) o minúscula (fila) son significativamente diferentes. ³Coefficiente de variación. R² = 0.97. (P>0.0001)

Cuadro 6. Color de la pulpa de aguacate usando escala (b).

Tratamiento		Tiempo (Horas)			
pH	Parte de la semilla	0	2	4	6
		Media ± D.E. ¹	Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.
6.8	Con semilla	28.9 ± 0.23 ^{AB(x)2}	27.1 ± 1.30 ^{CB(y)}	25.5 ± 1.94 ^{BC(yz)}	24.5 ± 3.42 ^{C(z)}
	Endospermo	27.4 ± 0.60 ^{B(y)}	23.9 ± 1.45 ^{CD(z)}	22.7 ± 2.39 ^{D(z)}	22.6 ± 2.45 ^{D(z)}
	Tegumento	25.4 ± 0.62 ^{C(x)}	23.0 ± 2.60 ^{D(y)}	21.5 ± 2.33 ^{D(yz)}	20.6 ± 2.36 ^{E(z)}
	Sin semilla	29.1 ± 0.95 ^{AB(y)}	25.6 ± 1.75 ^{C(z)}	24.4 ± 1.60 ^{C(z)}	24.3 ± 3.36 ^{C(z)}
4.5	Con semilla	29.4 ± 2.17 ^{A(z)}	29.1 ± 2.33 ^{A(z)}	28.9 ± 2.60 ^{A(z)}	28.1 ± 3.16 ^{A(z)}
	Endospermo	27.7 ± 1.74 ^{B(z)}	27.3 ± 2.05 ^{B(z)}	27.1 ± 2.31 ^{B(z)}	26.6 ± 3.29 ^{B(z)}
	Tegumento	25.7 ± 1.49 ^{C(z)}	25.7 ± 2.31 ^{CB(z)}	25.1 ± 2.93 ^{C(z)}	24.6 ± 3.75 ^{C(z)}
	Sin semilla	29.2 ± 2.09 ^{AB(z)}	28.9 ± 1.83 ^{AB(z)}	28.5 ± 1.23 ^{AB(z)}	28.4 ± 2.41 ^{A(z)}
CV (%) ³		3.88			

¹Desviación Estándar. ²Medias con diferentes letras mayúsculas (columna) o minúscula (fila) son significativamente diferentes. ³Coefficiente de variación. R² de 0.94. (P>0.0001)

Con el cromatismo se puede observar la tonalidad de un color, ya que estos valores se presentaron entre verde y amarillo y la combinación de este color. El cambio de coloración total de la pulpa de aguacate se debe al pardeamiento enzimático, después de reaccionar la enzima polifenol oxidasa (PPO) con los fenoles convirtiendo a *o*-quinonas, los sustratos se polimerizan dentro de las células después de ser oxidados y forman compuestos oscuros de tipo melanoide, esto indica que deben tener correlación entre pardeamiento enzimático y el efecto de la PPO hacia los polifenoles (Ferreira 2010). Sin embargo este estudio no tuvo la misma correlación entre cantidad de polifenoles totales y pardeamiento de la pulpa de aguacate. La causa de esta variación pudo haber sido por la genética de la planta, madurez del fruto y enzima que actuaron.

Viscosidad. La viscosidad se midió en pascales segundos (Pas.s), y al momento de ser expuesta la pulpa de aguacate, se necesitaba mayor fuerza, después de 6 horas la fuerza era muy baja y tenía una viscosidad baja (Cuadro 7). La viscosidad cambia al tener reacciones enzimáticas en el sustrato, como sucede con catecol oxidasa, al oxidar dos moléculas de un *o*-difénol a dos moléculas de *o*-quinonas, y una reducción de oxígeno molar, forma dos moléculas de agua, también por acción de enzimas que ablandan tejidos como la pectinasa y la polygalacturonasa (Sellés 2007).

Cuadro 7. Viscosidad del aguacate en el inicio y final del estudio en Pa.s.

Tratamiento		Tiempo (horas)	
pH	Partes de la semilla	Inicio Media \pm D.E. ¹	Final Media \pm D.E.
6.8	Con semilla	5370 \pm 75.1 ^{CB(y)2}	793 \pm 10.5 ^{A(z)}
	Endospermo	3290 \pm 29.0 ^{A(y)}	646 \pm 5.69 ^{A(z)}
	Tegumento	3320 \pm 10.7 ^{C(y)}	722 \pm 11.8 ^{A(z)}
	Sin semilla	7190 \pm 26.5 ^{CB(y)}	785 \pm 0.79 ^{A(z)}
4.5	Con semilla	5620 \pm 23.0 ^{B(y)}	780 \pm 6.87 ^{A(z)}
	Endospermo	3370 \pm 5.72 ^{A(y)}	754 \pm 12.5 ^{A(z)}
	Tegumento	3400 \pm 3.42 ^{C(y)}	704 \pm 1.20 ^{A(z)}
	Sin semilla	7560 \pm 23.0 ^{B(y)}	803 \pm 6.87 ^{A(z)}
C.V.(%) ³		5.06	2.80

¹Desviación Estándar. ²Medias con diferentes letras mayúsculas (columna) o minúscula (fila) son significativamente diferentes. ³Coefficiente de Variación. R² = 0.96. Coeficiente de variación 4%.

4. CONCLUSIONES

- No hubo diferencias significativas en la cantidad de polifenoles totales a través del tiempo a pesar del cambio de coloración de las muestras.
- El oscurecimiento se dio en muestras a pH 6.8 mientras que las muestras acidificadas (pH 4.5) mantuvieron su color durante el tiempo de evaluación.
- La viscosidad se redujo de forma similar en todos los tratamientos.
- No se pudo observar efecto antioxidante de las partes de la semilla de aguacate en todo el tratamiento, sin embargo en la semilla a pH 6.8 mostró mejor estabilidad en color que el resto de los tratamientos.

5. RECOMENDACIONES

- Evaluar los polifenoles vía HPLC para encontrar los cambios específicos que no se lograron observar usando el reactivo Folin-Ciocalteu.
- Evaluar extractos etanólicos de la semilla de aguacate como antioxidante en la pulpa.
- Evaluar otras variedades de aguacate y los posibles antioxidantes de sus semillas
- Todos los análisis recomendados se deben de realizar a pH 4.5 (ajustado) y 6.8 (natural).

6. LITERATURA CITADA

Ainsworth E.A. y K.M. Gillespie. 2007. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. Illinois, United State. Vol 2(8). p 875-877.

Arukwe, U., B.A. Amadi, M.K.C. Duru, E.N. Agomuo, E.A. Adindu, P.C. Odika, K.C. Lele, L. Egejuru, y J. Anukike. 2012. Chemical composition of *Persea americana* leaf, fruit and seed. Nigeria. Vol 11. p 346-349.

Bressani, R. 2009. La composición química, capacidad antioxidativa y valor nutritivo de la semilla de variedades de aguacate. Guatemala. Proyecto Fodecyt No 02-2006.

Evaristo, R. 2008. Aguacate de RD: gran potencial (en línea). República Dominicana. Consultado 15 de mayo 2012. Disponible en <http://www.hoy.com.do/negocios/2008/8/23/244720/print>

Falconí Barriga, M.D. 2008. Efecto del escaldado y la adición de metabisulfito de sodio en la evaluación física y sensorial de aguacate Hass (*Persea americana*) deshidratado. Tesis Ing. Agroindustria Alimentaria, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 34 p.

Ferreira Holderbaum, D. 2010. Enzymatic Browning, Polyphenol Oxidase Activity, and Polyphenols in Four Apple Cultivars: Dynamics during Fruit Development. Brasil. HortScience, vol 45 (8). p 1150-1154.

Kiger, M.F., M.S. Ceballos, Y.G. Basaez y Caleb S. P. 1980. Preservación de palta (*Persea americana* Mill.) variedad fuerte, mediante el uso de aditivos químicos y baja temperatura. Chile. Tesis Licenciado en Agronomía. Chile. Universidad de Chile. 69 p.

Lee, S.G., M.H. Yu, S.P. Lee, y I.S.Lee. 2008. Antioxidant activities and Induction of apoptosis by methanol extracts from avocado. Korea. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition 37(3):269-275.

Ortega Tovar, M. A. 2003. Valor nutrimental de la pulpa fresca de aguacate Hass. México. Secretaria de desarrollo agropecuario del Estado de Michoacan. p 741-748. 7 p. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA), Universidad Tecnológico de Monterey. 2005. Uarapan, Michoacan, México. Plan rector sistema nacional de aguacate.

Secretaria de Estado de Agricultura (SEA), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y Consejo Nacional de Competitividad (CNC). 2007. Estudio de la cadena agroalimentaria de aguacate en la República Dominicana. Republica Dominicana. 60 p.

Sellés Marchat, S 2007. Pardeamiento enzimático del fruto de níspero (*Eriobotrya japonica* cv Algerie): enzimología y fisiología de la polifenol oxidasa. Tesis Doctor en Química. España. Universidad de Alicante