

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

PROGRAMA DE POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA

MANEJO DEL CULTIVO Y DESHIDRATACIÓN DE FRUTOS DE UCHUVA (*Physalis peruviana* L.)

PAOLA MAGDALENA COLLI CORTÉS

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2018

**CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y
DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION**

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Paola Magdalena Colli Cortés, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Manuel Sandoval Villa, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Manejo del cultivo y deshidratación de frutos de uchuva (Physalis peruviana L.)

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 16 de noviembre de 2018

Colli Cortes Paola

Firma del
Alumno (a)

Manuel Sandoval Villa

Dr. Manuel Sandoval Villa

Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: Manejo del cultivo y deshidratación de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) realizada por la alumna: Paola Magdalena Colli Cortés bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

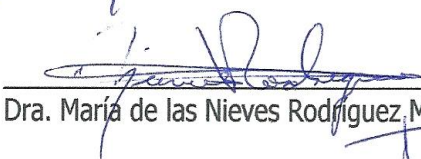
MAESTRA EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

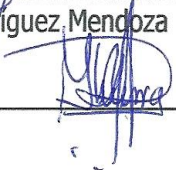
CONSEJERO (A)


Dr. Manuel Sandoval Villa

ASESOR (A)


Dra. María de las Nieves Rodríguez Mendoza

ASESOR (A)


Dra. Diana Guerra Ramírez

Montecillo, Texcoco, Estado de México, noviembre de 2018

MANEJO DEL CULTIVO Y DESHIDRATACIÓN DE FRUTOS DE UCHUVA

(*Physalis peruviana* L.)

Paola Magdalena Colli Cortés, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2018

RESUMEN

El conocimiento de las necesidades nutricionales de un cultivo específico conlleva a una mejor producción y calidad del mismo. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva Steiner (1, 2 y 3 dS m⁻¹), posición del fruto en el dosel vegetal (externos e internos) y etapa de madurez en la cosecha (madurez comercial MC y madurez comercial más 30 días M30) en frutos de *Physalis peruviana* L. en condiciones de invernadero sobre la calidad de frutos para consumo en fresco y cuantificar la actividad antioxidante en frutos deshidratados. La calidad de la uchuva fresca se determinó midiendo su peso, contenido de azúcar (°Brix), firmeza (Newtons) y color (L, a y b). En frutos liofilizados y deshidratados por convección se determinó la concentración de fenoles totales y flavonoides, además de capacidad antioxidante por medio de los ensayos ABTS, FRAP y DPPH para cada tratamiento. Se realizaron pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis y la prueba de Friedman. Los resultados demostraron que la CE no tuvo efecto sobre el peso, °Brix ni color en los frutos de uchuva, pero la firmeza fue mejor con CE de 1 dS m⁻¹. La posición solo tuvo efecto en el color de los frutos de uchuva. Los tratamientos en MC30 disminuyeron su peso y firmeza mientras que los °Brix aumentaron. Valores L y a del color del fruto presentaron diferencias significativas. La propiedad antioxidante en frutos deshidratados convectivamente tuvo menor actividad respecto a frutos liofilizados. La concentración de fenoles totales fue mejor en frutos con MC30, para flavonoides y la capacidad antioxidante obtuvo mejores resultados en frutos con MC. La posición de los frutos no afectó la capacidad antioxidante, además la CE afectó la concentración de flavonoides, ABTS y DPPH, teniendo diferente respuesta en cada tratamiento. Por otra parte el contenido de flavonoides fue mejor en frutos comerciales a lo obtenido en este estudio. La actividad antioxidante que fueron deshidratados por convección es parecida a frutos comerciales.

Palabras clave: Conductividad eléctrica, etapa de madurez, posición de frutos, capacidad antioxidante

AGRONOMIC MANAGEMENT OF THE CULTIVATION AND DEHYDRATION OF
UCHUVA FRUIT (*Physalis peruviana* L.)

Paola Magdalena Colli Cortés, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2018

ABSTRACT

Fruits with good quality it is necessary to know the nutritional and environmental needs of each crop. The present study evaluated if environmental and nutritional factors influenced in the quality of the fruits of fresh cape gooseberries and if this factors also intervene in the antioxidant capacity of dehydrated fruits.

The management of cape gooseberries crop was through electrical conductivity (CE) of Steiner solution with three levels 1, 2, 3 dS m⁻¹, the fruit position respect of vegetal canopy (external and internal) and the stage of maturity that they were harvested; commercial maturity (MC) and 30 days after of their commercial maturity (MC30). The quality of fresh cape gooseberries were determined for their weight, °Brix, firmness and color. For the antioxidant properties the fruits were dehydrated for two methods (lyophilization and convective dehydration) were determined concentration of total phenols (mg GAE g⁻¹) and flavonoids (mg EC g⁻¹), also their antioxidant capacity of ABTS, FRAP and DPPH (µmol TE g⁻¹) for each methods of dehydrated. Kruskal-Wallis and Friedman test were doing as statistical analysis. The CE did not affect the weight, ° Brix or the color of the cape gooseberries, the firmness was better with CE of 1 dS m⁻¹. The weight and firmness decreased in MC30 and increased °Brix in this maturity. L and b values presented significant differences and the position affected the color.

The concentration of flavonoids and antioxidant capacity obtained better results fruits in MC, phenols in fruits in MC30. The concentration of phenols and flavonoids and antioxidant capacity had not affected by position respect of vegetal canopy. The conductivity electrical affected the concentration of flavonoids, ABTS and DPPH, having different response in each treatment. The flavonoid content was better in commercial fruits. The antioxidant activity that were dehydrated by convection is similar to commercial fruits.

Keywords: Electrical conductivity, stage of maturity, position of fruit, antioxidant capacity.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados por permitirme realizar mis estudios de maestría, en especial al Posgrado de Edafología

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado durante mis estudios.

A los integrantes de mi consejo particular por la confianza, paciencia y tiempo dedicado durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados y sus aportaciones para el enriquecimiento de la tesis.

A mi familia por todo el apoyo que me brindaron durante estos dos años.

CONTENIDO

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS	ix
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
OBJETIVOS.....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos Particulares.....	2
HIPÓTESIS	2
Hipótesis general.....	2
Hipótesis Particulares.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA	3
Características del cultivo.....	3
Desordenes fisiológicos	4
Nutrición y rajado de los frutos.....	4
Propiedades antioxidantes de <i>Pyralis peruviana</i>	5
Métodos de deshidratación	6
BIBLIOGRAFÍA	8
CAPÍTULO I.....	12
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE FRUTOS DE UCHUVA POR LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE SOLUCIÓN STEINER.....	12
RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN	13
MATERIALES Y MÉTODOS	14
Diseño experimental.....	14
Cosecha	15

Análisis estadístico	16
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
Peso de frutos	17
Sólidos solubles (°Brix)	19
Firmeza de los frutos	20
Color de los frutos	23
CONCLUSIONES	25
BIBLIOGRAFÍA	26
CAPÍTULO II	30
EFFECTO DEL MÉTODO DE DESHIDRATACIÓN Y MANEJO DEL CULTIVO SOBRE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE FRUTOS DE UCHUVA	30
RESUMEN	30
INTRODUCCIÓN	31
MATERIALES Y MÉTODOS	32
Material vegetal	32
Tratamientos	32
Deshidratación de los frutos	33
Preparación de extractos	33
Reactivos e instrumentación	34
Contenido fenólico total	34
Flavonoides totales	34
Capacidad antioxidante	35
Análisis estadístico	36
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
Fenoles totales	36
Flavonoides	39
Capacidad antioxidante de frutos de uchuva	41

CONCLUSIONES	49
BIBLIOGRAFÍA	50

LISTA DE CUADROS

Capítulo I.

Cuadro 1.1. Pesos de los fertilizantes utilizados para cada tratamiento.....	14
Cuadro 1.2. Factores y niveles para la conformación de los tratamientos.	15
Cuadro 1.3. Tratamientos derivados de la combinación de la conductividad eléctrica en la solución nutritiva, etapa de cosecha del fruto y la ubicación del mismo: interior (I) o exterior (E) del dosel del cultivo de <i>Physalis peruviana</i> L.	16
Cuadro 1.4. Determinación de color de los frutos por efecto de la madurez de cosecha (MC madurez comercial y 30 días después de MC; MC30), posición de los frutos en el dosel y por conductividad eléctrica (CE) en la solución nutritiva.	23
Cuadro 1.5. Índice de color por efecto de conductividad eléctrica, posición del fruto en el dosel vegetal y etapa de madurez (MC madurez comercial y 30 días después de MC; MC30).	24

Capítulo II

Cuadro 2. 1. Composición de la Solución Steiner y pesos de los fertilizantes utilizados para cada tratamiento.....	32
Cuadro 2. 2. Conformación de tratamientos de la combinación de factores.....	33
Cuadro 2. 3. Capacidad antioxidante de frutos de uchuva	41

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

Figura 1.1. Distribución de los tratamientos obtenidos por el programa R. Amarillo = 1 dS m ⁻¹ , Rojo = 2 dS m ⁻¹ , Verde = 3 dS m ⁻¹	14
---	----

Figura 1.2. Etiquetado de frutos de uchuva (A) y etapas de madurez: comercial (MC) (B1) y 30 días después de madurez comercial (MC30) (B2).	16
Figura 1.3. Peso de los frutos de uchuva por efecto de conductividad eléctrica de la solución nutritiva, posición en el dosel vegetal y estado de madurez. Comparación de medias entre tratamientos.	18
Figura 1.4. °Brix en frutos de uchuva por efecto de conductividad eléctrica de la solución nutritiva, posición en el dosel vegetal y estado de madurez Comparación de medias entre tratamientos. Letras iguales indican que las diferencias no son significativas.....	20
Figura 1.5. Firmeza de frutos de uchuva por efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva, ubicación del fruto en el dosel vegetal y estado madurez. Comparación de medias entre tratamientos.	21
Figura 1.6. Efecto de la conductividad eléctrica (CE) en la firmeza de frutos de uchuva por efecto de la fecha de cosecha de los frutos (A) y conductividad eléctrica de la solución nutritiva (B).	22

Capítulo II

Figura 2. 1. Concentración de fenoles totales por efecto de los tratamientos agronómicos y método de deshidratación en el contenido de fenoles totales.....	36
Figura 2. 2. Concentración de flavonoides por efecto de la conductividad eléctrica (CE) de solución Steiner, posición del fruto dentro del dosel vegetal y etapa de madurez en la en frutos de uchuva deshidratados.	40
Figura 2. 3. Captación del radical ABTS por efecto de la conductividad eléctrica (CE) de solución nutritiva Steiner, posición del fruto en el dosel vegetal en diferente etapa de madurez en frutos de uchuva deshidratados.	43
Figura 2. 4. Efecto de la conductividad eléctrica (CE) de solución nutritiva Steiner, posición en el dosel vegetal en diferente etapa de madurez en frutos de uchuva deshidratados en FRAP (ferric reducing antioxidant power).....	45
Figura 2. 5. Captación del radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) por efecto de la conductividad eléctrica (CE) de solución nutritiva Steiner, posición en el dosel vegetal y etapa de madurez en frutos de uchuva deshidratados.....	47

INTRODUCCIÓN GENERAL

La uchuva pertenece a la familia Solanaceae, es originaria de los Andes, y actualmente se produce y distribuye en diferentes partes del mundo como, Sudáfrica, México, Nueva Zelanda, China, Malasia (Fisher y Herrera 2011). La importancia en este cultivo se debe a que los frutos de uchuva contiene compuestos con alto valor nutraceutico y económico. Los frutos contienen altos contenidos de vitaminas y minerales, compuestos fenólicos y withanólidos (compuestos esteroidales), carotenoides, ácidos grasos poliinsaturados, vitamina A, B y C, fitoesteroles, vitamina E y K ,hierro y fósforo (Ozturk *et al.*, 2017; Oliveira, 2016).

Las características de los frutos dependen mucho de la zona en que son cultivados, de la variedad y ecotipos a que pertenecen, altitud en que se encuentra el cultivo, e intensidad de luz, temperaturas promedio, además del manejo que se le dé como la fertilización, podas, tutorio, etc. (Fisher *et al.*, 2014).

Otro factor importante que determina la calidad de los frutos es su manejo poscosecha, existen diferentes prácticas que pueden evitar que la calidad de los frutos disminuya, que la vida de anaquel sea mayor y disminuir la tendencia a contaminarse con patogenos, tal como las atmosferas controladas o la deshidratación. Se han desarrollado diferentes técnicas de deshidratación de frutos: secado al aire, secado al sol, liofilización y microondas (Aktürk, *et al.*, 2015; Borchani *et al.*, 2011;). Muchos compuestos de interés nutraceuticos como sustancias antioxidantes, pueden ser modificados por estos procesos, ya que su presencia depende de enzimas, pH, temperatura y luz (Pokorny, 2003). Kamiloglu (2016) encontró que la mayoría de los compuestos son degradados por procesos térmicos, mientras que frutos liofilizados conservan en mayor medida sus propiedades antioxidantes.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva, la intensidad de luz y el estado de madurez de *Physalis peruviana* L. en condiciones de invernadero sobre la calidad de frutos para consumo en fresco y su capacidad antioxidante en frutos deshidratado.

Objetivos Particulares

- Medir el efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva en la calidad de frutos de *P. peruviana* L.
- Analizar el efecto de la incidencia de luz en la calidad de frutos de *P. peruviana*.
- Evaluar el efecto de dos estados de madurez al corte en la calidad de frutos de *P. peruviana*.
- Comparar la calidad nutracéutica de frutos de *P. peruviana* L. en función de los métodos de deshidratación.
- Cuantificar las propiedades nutracéuticas de *P. peruviana* a través del manejo del cultivo (CE, incidencia solar y madurez al corte)

HIPÓTESIS

Hipótesis general

El conocimiento de las necesidades del cultivo de *P. peruviana* a través de su manejo favorecerá la calidad de los frutos en fresco e incrementaran la calidad nutracéutica en frutos deshidratados.

Hipótesis Particulares

- Los frutos con conductividad eléctrica de 3 dS m^{-1} obtendrán mejor calidad.
- Frutos en los estratos con mayor incidencia de luz presentarán mejor calidad.
- La calidad de frutos en madurez comercial y 30 días después de su madurez comercial al corte será similar.
- El método de deshidratación cambia la calidad nutracéutica de frutos de uchuva.
- Las propiedades nutracéuticas en frutos deshidratados serán mejor con CE de 3 dS m^{-1} con mayor incidencia solar y con mayor madurez al corte.

REVISIÓN DE LITERATURA

Características del cultivo

El cultivo de uchuva es originario de los andes peruanos y pertenece a la familia de las solanáceas. La producción de este cultivo ha ido aumentando en los últimos años, en donde Colombia es el principal país productor y exportador, países africanos ocupan el segundo lugar debido a que ha tenido buena aceptación en Europa. Diversos productos incluyen a la uchuva (postres, pasteles, ensaladas, helados, mermeladas, pulpas, entre otras cosas) mientras que en México es un cultivo incipiente. El cultivo requiere de alta radiación solar, humedad y ambientes nublados (Singh *et al.*, 2012).

El fruto de la uchuva es una baya jugosa en forma de globo ovoide con un diámetro entre 1.25 y 2.5 cm, pesa de 4 a 10 g y contiene unas 100 a 300 semillas pequeñas de forma lenticular y su piel es delgada y lustrosa, está recubierta de un cáliz (Fischer, 2000). El fruto se caracteriza por tener un alto contenido nutrimental pues es fuente de vitaminas A, C y del complejo de la vitamina B (Tiamina, Riboflavina y Niacina), tiene altos contenidos de fósforo y proteínas, pero bajos niveles de calcio (Duque *et al.*, 2011). Le atribuyen numerosas propiedades farmacológicas por la presencia de múltiples withanólidos (lactona esteroideas) compuestos químicos reconocidos por sus propiedades citotóxicos contra diferentes tipos de cáncer, además tiene usos en la medicina tradicional por sus vitaminas, proteínas, minerales y ácidos (oleico y linoleico) que ayuda a la purificación de la sangre, fortificación del nervio óptico, control de la amibiasis, calcificación de los huesos, antimicobacteriales, antipirético, también contiene propiedades antioxidantes, antitumorales y su consumo reduce los niveles de glucosa en la sangre (Marín *et al.*, 2010; Puente *et al.*, 2010).

El cultivo de uchuva requiere radiación solar directa para una buena fructificación, la cual favorece la fotosíntesis del cáliz y las hojas adyacentes (Fisher, 2011). La uchuva es considerada una planta de día corto (Heinze y Mindash, 1991), la cual necesita en promedio ocho horas de luz para inducir su floración. En invernadero, donde se presenta menor intensidad lumínica, poca incidencia de luz UV y una mayor temperatura, la uchuva tiende a un mayor crecimiento longitudinal y lateral en sus ramas, en comparación con los cultivos a campo abierto (Fisher, 2000).

Respecto a sus requerimientos nutricionales, se han hecho diferentes estudios acerca de ello, se sabe que este cultivo es una gran demandante de N y se recomienda su adición durante las primeras etapas de desarrollo en el cultivo para su crecimiento. El K favorece el enraizamiento y ayuda a la formación de almidones e híbridos de azúcar, beneficia la floración

y el cuajamiento de los frutos (Angulo, 2000) por lo que se recomienda su aplicación antes de comenzar esta época. Un estudio realizado por Martínez *et al.* (2009) demostró que existe una fuerte afectación a la planta y al cultivo cuando se limitan elementos como el N, K y B, se presentan cambios drásticos en la arquitectura y en la textura de los tejidos, otro estudio del mismo autor que fue realizado para conocer el efecto de deficiencia de algunos elementos para la producción y calidad del fruto de la uchuva encontró que el B es un elemento fundamental para el buen desarrollo del fruto, pues está relacionado con su peso fresco y seco, el tamaño, y la masa seca de los cálices (Martínez *et al.*, 2008).

Cooman *et al.* (2005) realizó un estudio donde evaluó la oferta de Ca, B y Co en uchuva, encontró que el calcio y cobre influyen en el rendimiento de la cosecha, mientras que el boro tuvo efecto en el peso de los frutos junto con el calcio. El autor relaciona la ausencia de calcio y boro con el rajado de la uchuva, aunque también menciona que este fenómeno puede deberse a factores genéticos.

Desordenes fisiológicos

Uno de los principales problemas que presenta la uchuva es que presenta agrietamiento de los frutos, Cooman *et al.* (2005) definen el rajado o agrietamiento como un desorden fisiológico que se expresa en una fractura de la cutícula o epidermis y se presenta con mayor frecuencia en drupas (por ejemplo, durazno, ciruela, cereza), hesperidios (naranja) y especialmente en las bayas (frutos con piel delgada y a menudo con un gran número de semillas), como la uchuva y el tomate (Fisher, 2005).

Nutrición y rajado de los frutos

Gordillo (2004) menciona que el mayor porcentaje de rajado se presenta en los primeros meses de producción, porque el agua y los nutrientes del suelo se distribuyen sobre los pocos frutos ubicados cerca del suelo, lo que trae como consecuencia frutos con mayor tamaño y con ello mayor susceptibilidad al rajado.

El rajado produce pérdidas importantes (hasta un 20%) en la producción y comercialización de la uchuva y es la causa principal de rechazo por el exportador. Para evitar el rajado del fruto es importante mantener una humedad constante, (por debajo de la capacidad de campo), se deben tener niveles óptimos de calcio, boro y magnesio, evitar los excesos de nitrógeno y eliminar las primeras flores al inicio de la fase reproductiva (Fischer, 2005).

La calidad y cantidad de producción depende de una buena nutrición (Lara, 2000). La calidad de un cultivo se evalúa por la apariencia, tamaño, color, textura, firmeza, valor nutricional, composición en madurez de consumo, sanidad, sabor y aroma (San Martín-Hernández *et al.*, 2012)

En el caso de la uchuva deben mantenerse características importantes para su procesamiento y comercialización, dado que es importante por su alto contenido en vitaminas y minerales, se deben tener en cuenta algunas propiedades químicas como es el pH (3.7), porcentaje de acidez (1.66 a 2) y °Brix (entre 13 y 15). Dentro de las características físicas necesarias son el peso (en promedio 6.2 g), volumen, forma (redondez, esfericidad), área superficial, composición morfológica y tamaño (entre los 15 y 22 mm).

La Norma Técnica Colombiana (NTC 4580) (Icontec, 1999) indica en la uchuva seis grados de madurez, donde se toma en cuenta principalmente el color del fruto que va desde verde a naranja intenso. También indica su clasificación en cuatro categorías: extra, primera, segunda y tercera.

Propiedades antioxidantes de *Pyisalis peruviana*

Diversas investigaciones se han realizado sobre alimentos con capacidad antioxidante, debido a que se conoce que estos compuestos están asociados a la disminución de enfermedades crónicas degenerativas (Ramadan, 2011). Dado que, la oxidación induce que las especies reactivas de oxígeno desintegren la membrana celular causando daños en las proteínas de la membrana y mutaciones de ADN (Gupta, 2015).

Los antioxidantes se definen como cualquier sustancia que es capaz de retrasar, o prevenir la descomposición de grasas en alimentos u otro deterioro del sabor por la oxidación (Pokorny *et al.*, 2003). Gupta (2015) menciona que los antioxidantes son aquellas sustancias que se oponen o inhiben la reacción de oxidación por el oxígeno y peróxidos, la actividad de estas moléculas orgánicas son clasificadas en enzimáticas, no enzimáticas, solubles en agua y liposolubles. Otra función importante de los antioxidantes es que influyen en la calidad de los alimentos, por ejemplo, la oxidación de alimentos puede observarse en la disminución del valor nutricional y de la calidad sensorial del fruto, la forma en que estos actúan es por medio de dos rutas, la primera consta del escaneo o barrido de radicales libres estos son llamados antioxidantes primarios principalmente compuestos fenólicos como la vitamina E. En la segunda ruta participan los llamados antioxidantes secundarios los cuales pueden trabajar por varios mecanismos, como la unión de iones metálicos, barrido de oxígeno, conversión de

hidroperóxidos a especies no radicales, absorbiendo radiación UV o capturando oxígeno (Pokorny *et al.*, 2003). Hung y Duy (2012) mencionan que en general la actividad antioxidante en frutos y vegetales puede ser derivada principalmente de compuestos fenólicos. La capacidad antioxidante en compuestos fenólicos se debe a su grupo hidroxilo fenólico, ya que pueden donar un hidrogeno a los radicales libres, rompiendo la reacción en cadena en la oxidación de lípidos (Ramadan *et al.*, 2015), entre los principales compuestos fenólicos se encuentra quercetina, miricetina y kaemferol (Yildiz *et al.*, 2014).

El estudio de antioxidantes en uchuva ha sido de interés en los últimos años, se ha reportado que la uchuva tiene alto contenido de estos compuestos, los cuales están relacionados con sustancias como polifenoles y withanólidos (Mier y Caez, 2011), en otro estudio realizado por Ramadan *et al.* (2015) menciona que la actividad antioxidante de la uchuva es debida a compuestos monoterpénicos oxigenados, también se ha encontrado que el estado madurez puede ser un factor de cambio en la capacidad antioxidante en los frutos (Ramadan, 2011). Lashim y Elhaw (2016) encontraron compuestos alcaloides, glucósidos, saponinas, fenoles, esteroles, taninos, flavonoides diterpenos y aceites volátiles en diferentes tejidos de uchuva. Ramadan *et al.* (2015) también encontró otros compuestos como alcoholes, aldehídos, cetonas y acetonas, menciona que estos compuestos son los que les dan el sabor característico a los frutos de uchuva.

Kyriacou y Rouphael (2018) señalan que el metabolismo secundario puede ser regulado a través de la nutrición de los cultivos. Cuando se manejan soluciones nutritivas y se modifica el balance iónico puede afectar la composición y concentración de productos fitoquímicos entre ellos los antioxidantes. Kamiloglu (2016) encontró que la actividad antioxidante también puede verse modificada por las diferentes técnicas de deshidratación (aire, microondas, liofilización secado al sol, secado convectivo) en donde puede haber descomposición química, enzimática o térmica.

Métodos de deshidratación

La deshidratación es considerado un método para la conservación de alimentos, donde el principal objetivo es eliminar la humedad y así evitar proceso degenerativos por microorganismos, pero en este proceso puede haber alteraciones físicas y químicas, como cambios en sabor, color, tamaño y estabilidad nutrimental de los productos (Dalmau *et al.*, 2017; Adak *et al.*, 2016) diferentes estudios han descrito que modificaciones celulares y

estructurales son las principales cambios en el proceso de deshidratación (Dalmau *et al.*, 2017). Se han comparado diferentes métodos para la deshidratación de la uchuva; en general, estos frutos se secan después de la cosecha a 12 °C. Ávila *et al.* (2006) realizó un estudio donde encontró que el tiempo de almacenamiento óptimo para la uchuva es de 20 días a una temperatura de 18 °C.

Se han realizado otros estudios enfocados en métodos de secado en frutos de uchuva donde se utilizan métodos como deshidratación osmótica, por liofilización, por microondas o en estufa (secado convectivo).

Ciurzynska y Lenart (2011) describen que el proceso de liofilización consiste en que el producto a secar es cristalizado a bajas temperaturas para después llevarlo a sublimación (estado sólido a estado gaseoso). Obteniendo como beneficios la retención morfológica y bioquímica del producto mantenimiento su estructura, y en el caso de frutos mayor vida de anaquel, además de menor degradación nutricional y sensorial (Izli, 2017).

BIBLIOGRAFÍA

Adak, N., Heybeli, N. y Ertekin, C. 2017. Infrared drying of strawberry. *Food Chemistry*, 219:109-116.

Aktürk, Ö., Akpinar, A., Ercal, N. y Demirkol, O. 2015. Drying effects on the antioxidant properties of tomatoes and ginger. *Food chemistry*, 173:156-162.

Angulo, R. 2000. Siembra, soporte, poda y fertilización. En: Florez, V., G. Fischer y S. Ángel. (Eds.). 2000. Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L). UNIBIBLOS, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. pp. 41-49.

Ávila, J., Moreno, P., Fisher, G. y Miranda D. 2006. Influencia de la madurez del fruto y el secado del cáliz en uchuva (*Physalis peruviana* L.), almacenada a 18 °C. *Acta Agronómica* 55(4):29-38.

Borchani, C., Besbes, S., Masmoudi, M., Blecker, C., Paquot, M. y Attia, H. 2011. Effect of drying methods on physico-chemical and antioxidant properties of date fibre concentrates. *Food Chemistry*, 125:1194-1201.

Ciurzynka, A. y Lenart A. 2011. Free-Drying-Application in Food processing and Biotechnology-A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 61(3):165-171.

Cooman, A., Torres, C. y Gerald, F. 2005. Determinación de las causas del rajado del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo cubierta. *Agronomía Colombiana* 23(1): 74-82.

Dalmau, M. Bornhorst, G., Eim, V., Rossello, C. y Simal, S. 2017. Effects of freezing, freeze drying and convective drying on in vitro gastric digestion of apples. *Food Chemistry*, 215:7-16.

Duque, A. L., Giraldo, G. A., Quintero V. D. 2011. Caracterización de la fruta, pulpa y concentración de uchuva (*Physalis puruviana* L.). *Temas Agrarios* 16(1): 75-83.

Fisher, G. 2000. Crecimiento y desarrollo. In V. Flores, G. Fischer, A. Sora (Eds.). Producción y poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) (9-26). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía.

Fischer, G. 2005. El problema del rajado del fruto de uchuva y su posible control. In: Fischer, G.; miranda, D.; Piedrahita. W.; romero, Y J. (Ed.). Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en Colombia. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia 55-82.

Fisher, G. 2011. Aspectos fisiológicos de la uchuva en la producción orgánica. Memorias Seminario “Producción, manejo, transformaciones y comercialización de uchuva certificada orgánica en la Provincia de Pamplona III. Jornada Técnico Científica. Universidad de Pamplano, Colombia.

Fisher, G. and Herrera, A. 2011. Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). En E. Yahia. Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruit. Woodhead Publishing Limited, pp 384-385.

Fischer, G., Almanza-Merchan, P. y Miranda D. 2014. Importancia y cultivo de la uchuva. Revista Brasileira de Fruticultura, 36(1):001-015.

Gordillo O. 2004. Efecto de tres niveles de riego y cinco tratamientos de fertilización sobre la incidencia del rajado en frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.). Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Gupta, D. 2015. Methods for determination of antioxidant capacity: A review. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research 6(2):546-566.

Hung P. and Duy T. 2012. Effects of drying methods on bioactive compounds of vegetables and correlation between bioactive compounds and their antioxidants. International Food Research Journal 19(1):327-332.

Heinze, W., y Midash, M. 1991. Photoperiodische Reaktion von *Physalis peruviana* L. Garten Bauwissen Schaft Stuttgart 56(6): 262-264.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. 1999. Frutas frescas. Uchuva. Especificaciones. Norma Técnica Colombiana NTC 4580. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá.

Izli, G. 2017. Total phenolics, antioxidant capacity, colour and drying characteristics of date fruit dried with different methods. *Food Science and Technology*, 37(1):139-147.

Kamiloglu, S., Toydemir, G., Boyacioglu, D., Beekwilder, J., Hall, R. and Capanoglu, E. 2016. A review on the effect of drying on antioxidant potential of fruit and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 56:S110-S129.

Kyriacou, M. y Roupael, Y. 2018. Towards a new definition of quality for fresh fruit and vegetables. *Scientia Horticulturae* 234:463-469.

Lara, H. A. 2000. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra* 17(3):221-229.

Lashim, I. y Elhaw, M. 2016. Evaluation of secondary metabolites in callus and tissues of *Physalis peruviana*. *International Journal of Modern Botany* 6(1):10-17.

Marín, Z. T., Cortés R. M., Montoya, O. I. 2010. Uchuva (*Physalis peruviana* L.) ecotipo Colombia, mínimamente procesada inoculada con la cepa nativa *Lactobacillus plantarum* LPBM10 mediante la técnica de impregnación al vacío. *Revista Chilena de Nutrición* 37(4): 461-472.

Martínez F. E., Sarmiento J., Fischer, G. Jiménez, F. 2008 Efecto de la deficiencia de N, P, Ca, Mg, y B en componentes de producción y calidad de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana* 26(3): 389-398.

Martínez F. E., Sarmiento J., Fischer, G. Jiménez, F. 2009. Síntomas de deficiencia de macronutrientes y boro en plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana* 27(2):169-178.

Mier, H. y Cález, G. 2011. Contenido de polifenoles, carotenoides y capacidad antioxidante en frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en relación a su estado de maduración. Revisiones de la Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos 11(1b): 103-115.

Oliveira, S., Goncalves, F., Correta, P., Gulne, R. 2016. Physical properties of *Physalis peruviana* L. Open Agriculture, 1:55-59.

Ozturk, A., Özdemir, Y., Albayrak, B., Simsek, M. y Yildirim, K. 2017. Some nutrient characteristics of Goldenberry (*Physalis peruviana* L.) cultivar candidate from Turkey. Scientific Papers. Series B, Horticulture LXI: 293-297.

Pokorny, J., Yanishlieva, N. and Gordon, M. 2003. Antioxidants in food. CRC Press. Cambridge England. 1, 19 p.

Puente, L., Pinto-Muñoz, C., Castro, E. y Cortés, M. 2010. *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of highly functional fruit: A review. Food Research International 44: 1733-1740.

Ramadan, M. 2011. Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of Cape gooseberry (*Physalis peruviana*): An overview. Food Research International 44:1830-1836.

Ramadan, M., El-Ghorab, A. y Ghanem, K. 2015. Volatile compounds, antioxidants, and anticancer activities of Cape gooseberry fruit (*Physalis peruviana* L.): an in-vitro study. Journal of the Arab Society for Medical Research 10:56-64.

San Martín- Hernández C. Ordaz-Chaparro V. Sánchez-García P. Colinas-León M. Borges-Gómez L. 2012. Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. Agrociencia 46(3):243-254.

Singh, D. B., Pal A. A., Lal, S., Ahmed, N. y Mirza A. 2012. Growth and developmental changes of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits. The Asian Journal of Horticulture 7(2):374-378.

CAPÍTULO I

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE FRUTOS DE UCHUVA POR LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE SOLUCIÓN STEINER

RESUMEN

El desarrollo y calidad de los frutos está determinado por factores climáticos, edáficos nutricionales, entre otros, el buen manejo de estos factores puede favorecer y potenciar características deseables en los frutos. En este trabajo se evaluó el efecto de la conductividad eléctrica (CE) de la solución Steiner (1, 2 y 3 dS m⁻¹) en el peso, sólidos solubles (°Brix), firmeza y color (L, a, b; Índice de color=IC) en frutos de uchuva. Adicionalmente se determinó si la posición del fruto en el dosel vegetal y la madurez en que fueron cosechados afecta su calidad. Se obtuvieron 12 tratamientos de la combinación de la diferente CE, posición y madurez de fruto. A través de una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis se analizó si existieron diferencias significativas entre tratamientos y se realizó una comparación de medias de rangos, para conocer si algún tratamiento se recomendaría. La calidad de los frutos de uchuva fue afectada principalmente por el estado de madurez en que se encontraban. La CE de la solución nutritiva no tuvo efecto en peso, °Brix y firmeza de los frutos de uchuva. La posición de los frutos en el dosel vegetal tampoco afectó estas variables en los frutos de uchuva. Por otra parte, los frutos que fueron cosechados en MC30 perdieron peso y firmeza, pero los °Brix aumentaron, debido a diferentes procesos metabólicos que pueden degradar o incrementar propiedades deseables para la comercialización de los frutos en fresco. La posición y madurez en que fueron cosechados los frutos tuvieron efecto sobre el color en frutos de uchuva, para los valores de “a” no se presentaron diferencias significativas, para el índice de color (IC) las diferencias observadas fueron debido a la madurez de los frutos.

INTRODUCCIÓN

Los parámetros establecidos para obtener frutos de buena calidad van a depender de un conjunto de propiedades físicas y químicas. Durante el desarrollo de los frutos se llevan a cabo procesos metabólicos que son determinantes en su calidad, estos procesos dependen de factores que no siempre son favorables para un buen desarrollo de los frutos, por ejemplo, la disponibilidad de nutrientes, temperatura, incidencia solar, sanidad entre otros.

Los frutos son considerados listos para ser cosechados y comercializados cuando cumplen con parámetros de apariencia, textura, sabor, contenido nutricional y sanidad, muchas han sido las estrategias que los productores han buscado para mantener una calidad óptima durante su vida de anaquel y disminuir los efectos indeseables durante su vida poscosecha.

La calidad de los frutos de uchuva puede ser determinada de manera sensorial e instrumental, esto ayuda a conocer de manera más efectiva el estado de los productos. El sabor y la textura de los frutos de uchuva dependen de la etapa de madurez al corte, además es importante conservar sus propiedades almacenándolos bajo condiciones controladas de luz y temperatura.

En frutos producidos en hidroponía la CE es determinante en la calidad de los frutos, esta debe de estar en balance para ser aprovechada correctamente por las plantas. Se ha demostrado que cuando la CE es alta los procesos de fotosíntesis y transpiración puede verse afectados debido a la captación excesiva de iones de Na^+ y Cl^- o desequilibrio en la disponibilidad de nutrientes (Dorias *et al.*, 2001; Wu y Kubota, 2008).

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño experimental

El experimento se llevó a cabo en un invernadero del Colegio de Postgraduados, se utilizaron plantas de *Physalis peruviana* L. (uchuva) de cuatro años de edad, en cubetas de 20 litros con tezontle como sustrato. La obtención de frutos de uchuva fue mediante un diseño experimental completamente al azar, con tres tratamientos de conductividad eléctrica (CE) de la solución Steiner: 1, 2 y 3 dS m⁻¹, en el Cuadro 1.1 se presenta el peso de los fertilizantes de cada tratamiento.

Cuadro 1.1. Pesos de los fertilizantes utilizados para cada tratamiento

CE	1 dS m ⁻¹	2 dS m ⁻¹	3 dS m ⁻¹
g L ⁻¹			
Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O	0.53	1.06	1.40
KNO ₃	0.15	0.30	0.39
KSO ₄	0.13	0.26	0.44
MgSO ₄ 7H ₂ O	0.25	0.49	0.55
KH ₂ PO ₄	0.05	0.10	0.15

Cada tratamiento constó de nueve repeticiones con un total de 27 plantas. La aleatorización se realizó con el programa R como se muestra en la Figura 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25	26	27
			1 dS m ⁻¹	2 dS m ⁻¹	3 dS m ⁻¹			

Figura 1.1. Distribución de los tratamientos obtenidos por el programa R. Amarillo = 1 dS m⁻¹, Rojo = 2 dS m⁻¹, Verde = 3 dS m⁻¹.

Cosecha

Los frutos fueron seleccionados según su estado de madurez, de acuerdo con la norma Técnica Colombiana 4580 (NTC) (Icontec, 1999) pueden clasificarse de acuerdo al color que van adquiriendo con forme maduran, los que se encuentran listos para su comercialización son frutos que adquieren un color anaranjado intenso, en la NTC 4580 son clasificadas con el color 6, además el cáliz adquiere color amarillo (Fisher *et al.*, 2014).

Se seleccionaron y cosecharon frutos con madurez comercial (color 6) en la parte interna de la planta donde el dosel vegetal impide la incidencia solar directa a los frutos, y en la parte externa donde la radiación solar es directa, para cada tratamiento. Posteriormente se seleccionaron y etiquetaron frutos para cada tratamiento. Los frutos que fueron etiquetados se cosecharon 30 días después, obteniendo frutos de madurez comercial más 30 días (MC30) de la parte interna del dosel vegetal y de la parte externa del dosel (Figura 1.2), obteniendo frutos tal como se muestra en el Cuadro 1.2.

Cuadro 1.2. Factores y niveles para la conformación de los tratamientos.

Factores	Niveles		
Conductividad eléctrica (dS m⁻¹)	1	2	3
Estado de madurez	Madurez comercial (MC)		
	Madurez comercial más 30 días (MC30)		
Posición del fruto en el dosel vegetal	Frutos externos (E)		
	Frutos internos (I)		

De la combinación de factores y niveles se obtuvieron los tratamientos que se presentan en el Cuadro 1.3 A los frutos de cada tratamiento (250 g) se determinó su peso, sólidos solubles (°Brix) con un refractómetro ATAGO N-1E (0-32%), color con un colorímetro de reflexión Hunter Lab, y textura con un texturómetro Wagner Force Five modelo FDV-30.

Cuadro 1.3. Tratamientos derivados de la combinación de la conductividad eléctrica en la solución nutritiva, etapa de cosecha del fruto y la ubicación del mismo del dosel del cultivo de *Physalis peruviana* L.

Tratamiento	Abreviatura
Frutos con CE 1 dS m ⁻¹ con madurez comercial externos	1-MC-E
Frutos con CE 1 dS m ⁻¹ con madurez comercial internos	1-MC-I
Frutos con CE 1 dS m ⁻¹ más 30 días de su madurez comercial externos	1-MC30-E
Frutos con CE 1 dS m ⁻¹ más 30 días de su madurez comercial internos	1-MC30-I
Frutos con CE 2 dS m ⁻¹ con madurez comercial externos	2-MC-E
Frutos con CE 2 dS m ⁻¹ con madurez comercial internos	2-MC-I
Frutos con CE 2 dS m ⁻¹ más 30 días de su madurez comercial externos	2-MC30-E
Frutos con CE 2 dS m ⁻¹ más 30 días de su madurez comercial internos	2-MC30-I
Frutos con CE 3 dS m ⁻¹ con madurez comercial externos	3-MC-E
Frutos con CE 3 dS m ⁻¹ con madurez comercial internos	3-MC-I
Frutos con CE 3 dS m ⁻¹ más 30 días de su madurez comercial externos	3-MC30-E
Frutos con CE 3 dS m ⁻¹ más 30 días de su madurez comercial internos	3-MC30-I



Figura 1.2. Etiquetado de frutos de uchuva (A) y etapas de madurez: comercial (B1) y 30 días después de madurez comercial (B2).

Análisis estadístico

Los datos fueron procesados por un análisis no paramétrico mediante la prueba de Kruskal Wallis, se tomaron en cuenta tres factores, conductividad de solución Steiner con tres niveles

(1, 2 y 3 dS m⁻¹), posición del fruto en la planta (interna y externa) y etapa de madurez del fruto (madurez comercial y madurez comercial más 30 días) se realizó una comparación de medias de rangos para elegir el mejor tratamiento. Se utilizó el programa Statistical Analysis System (SAS versión 9, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso de frutos

Los frutos pesaron en promedio 2.8 g (Figura 1.3), se observó que su desarrollo está determinado por el estado de madurez del fruto, además de la conductividad eléctrica en la que este se desarrolló.

Estadísticamente los frutos con mayor peso fueron los que se encontraban en madurez comercial ($p < 0.05$) con valores de 2.7 a 3.0 g, los frutos en MC30 tuvieron valores en un rango de entre 2.4 a 2.9 g (Figura 1.3).

Mazorra *et al.*, (2003) menciona que frutos de uchuva que se encuentran en madurez comercial (cáliz del fruto con coloración amarillo verdoso) ha pasado por un periodo de rápido desarrollo, una vez finalizada comienza la etapa de senescencia del fruto, donde la pérdida de agua a través de la transpiración es mayor, debido a que la capa cerosa de su piel constituida por resinas terpénicas comienzan a degradarse (Balaguera-Lopez *et al.*, 2016), tal como se muestra en la Figura 1.3, donde se observa la pérdida de peso en los frutos cosechados 30 días después de su madurez comercial. Algunas enzimas que favorecen la debilitación de la pared celular son las pectinmetilesterasas y α -galactosidasas, las cuales, según Trincherro *et al.* (1999), aumentan su concentración cuando los frutos de uchuva están madurando.

La mayoría de los tratamientos no presentaron diferencias de peso cuando fueron cosechados en la parte externa o interna del dosel vegetal (posición del fruto). Fisher *et al.* (2014) encontraron que una buena incidencia solar sobre los cultivos proporciona las condiciones adecuadas para obtener frutos de buena calidad. Muniz *et al.* (2014) afirman que los frutos del género *Physalis* necesitan alrededor de 1500 a 2000 horas de luz al año para obtener una buena calidad en los frutos. Los frutos con el tratamiento 3-MC30 fueron los únicos que mostraron diferencias de peso, por efecto de posición, donde los frutos externos tuvieron pesos promedio de 2.6 g y los internos 2.9 g, contrario a lo que se esperaba, esto pudo deberse a que los frutos en la parte interna pertenecían a ramas primarias que tienen mayor cantidad de

asimilados que pueden traslocar fácilmente a los frutos que se encuentran en ellas (Mazorra, 2003).

En la Figura 1.3 se muestra el peso de los frutos en los tres niveles de CE, además de la comparación de medias entre tratamientos. Se observa que los tratamientos de MC-E, MC30-E y MC-I la CE no tiene efecto en el peso de los frutos, sin embargo, los frutos con el tratamiento MC30-I tuvieron mayor peso cuando la CE fue de 3 dS m⁻¹ que con CE de 1 y 2 dS m⁻¹ con la mismas condiciones de posición y etapa de cosecha.

Aguilar-Carpio *et al.* (2018) obtuvieron resultados similares, donde frutos con concentración de 150% (3 dS m⁻¹) de la solución Steiner tuvieron un 59% más peso al compararlos con frutos con 50% (1 dS m⁻¹) de la solución Steiner; ya que se tiene más disponibilidad de nutrientes generando mayor aprovechamiento y por lo tanto mejor oferta de carbohidratos.

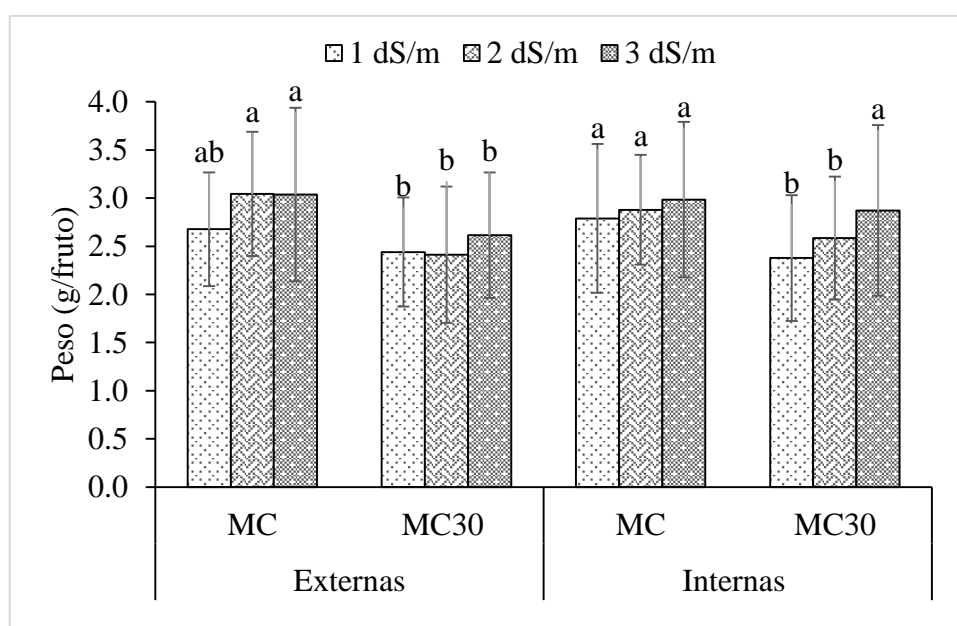


Figura 1.3. Peso de los frutos de uchuva por efecto de conductividad eléctrica de la solución nutritiva, posición en el dosel vegetal y estado de madurez. Comparación de medias entre tratamientos. Letras iguales indica que las diferencias no son significativas.

En cultivos hidropónico de papa, chile y albahaca (Calori *et al.*, 2017; Amalfitano *et al.*, 2017; Morano *et al.*, 2017) se encontró un máximo rendimiento en la producción cuando fueron tratados a conductividades eléctricas altas (2.2 dS m⁻¹, 4.1dS m⁻¹, 2.8 dS m⁻¹ respectivamente). Por otra parte, Samarakoon *et al.* (2006) encontraron una reducción del rendimiento de lechuga con altos niveles de CE. Lee *et al.* (2015) mencionan que una alta CE causa una disminución en la absorción de agua, lo cual puede afectar la tasa respiratoria de las plantas.

Las medias de los frutos en MC y MC30 fueron de 2.9a g y 2.6b g, esto afirma que los frutos en MC tienen mayor peso ($p < 0.05$), el valor promedio de los pesos en frutos externos e internos fue de 2.7 g para ambos casos sin diferencias significativas ($p > 0.05$)

En un estudio hecho por Herrera *et al.* (2011) en frutos de uchuva de plantas de diferente procedencia (cultivadas, silvestres e indeterminadas) y fertilización durante el experimento, se encontraron pesos de 5.68a, 5.07b, 5.08b. Alvarez-Herrera *et al.* (2015) obtuvieron frutos con 3.33 g. Miranda (2005) encontró que los pesos también pueden variar por ecotipo, características de lugar donde fueron cultivados (altitud, propiedades edáficas, características climáticas, etc.) y procedencia del fruto, encontrando que en frutos de Kenia y Sudáfrica han tenido pesos promedio entre 6 y 10 g, pero frutos del ecotipo Colombia han obtenido pesos de 4 y 5 g.

Sólidos solubles (°Brix)

Al contrario de lo que se muestra con el peso de los frutos, se registraron valores altos de sólidos solubles totales (°Brix) en frutos maduros (más 30 días de su madurez comercial; Figura 1.4), no hubo efecto por la posición del fruto dentro del dosel vegetal. Tampoco se mostraron diferencias significativas de °Brix por efecto de la CE ($p > 0.05$).

Los frutos con madurez comercial tuvieron un rango entre 12.8 ± 1.4 y 13.4 ± 1.6 °Brix con promedio de 13.1 ± 1.5 °Brix, según la NTC 4580, los frutos en madurez comercial deben de tener 15.1 °Brix, este dato es cercano a lo que se obtuvo en frutos cosechados 30 días después de su madurez comercial, con valores de entre 14.3 ± 1.5 a 16.3 ± 2.9 °Brix con un promedio de 15.1 ± 2.4 °Brix. Se encontraron valores similares en frutos de uchuva ecotipo Colombia provenientes de cultivos tipo exportación por Pinzón *et al.* (2015) donde obtuvieron valores de 14.5 y 15.8 °Brix almacenados por 18 días a 2 y 4 °C respectivamente, lo que podría indicar que los °Brix obtenidos en los frutos que permanecieron 30 días en el dosel vegetal son similares, obteniendo el mismo efecto en frutos almacenados a bajas temperaturas. Bravo *et al.* (2015) encontraron valores similares en frutos en MC (S3-S5 según NTC4589) con 14.17 y 13.30 °Brix.

Pinzon *et al.* (2015) también registró un valor de 17.3 °Brix en frutos que fueron almacenados a temperatura ambiente por 15 días, valor cercano a lo obtenido en el tratamiento 3-MC30-I (16.3 °Brix). Estas similitudes pueden ser atribuidas a que en ambos casos se generaron procesos metabólicos naturales donde aumentan azúcares como la sacarosa, glucosa y fructosa (Duque *et al.*, 2011), en el primer caso por no someterse a algún tratamiento

poscosecha y en el segundo caso a que había mayor sustrato para generar azúcares ya que se encontraban en la parte interna y con mayor CE.

Singh (2012) relaciona el contenido de sólidos solubles totales con el incremento de sustancias pépticas totales cuando los frutos están en proceso de madurez (1 a 8 semanas después de la antesis). Por otra parte, Balguera-Lopez *et al.* (2015) mencionan que el cáliz de los frutos puede ser una fuente importante de carbohidratos, a lo que se podría deber mayor contenido de azúcares en frutos sobremaduros.

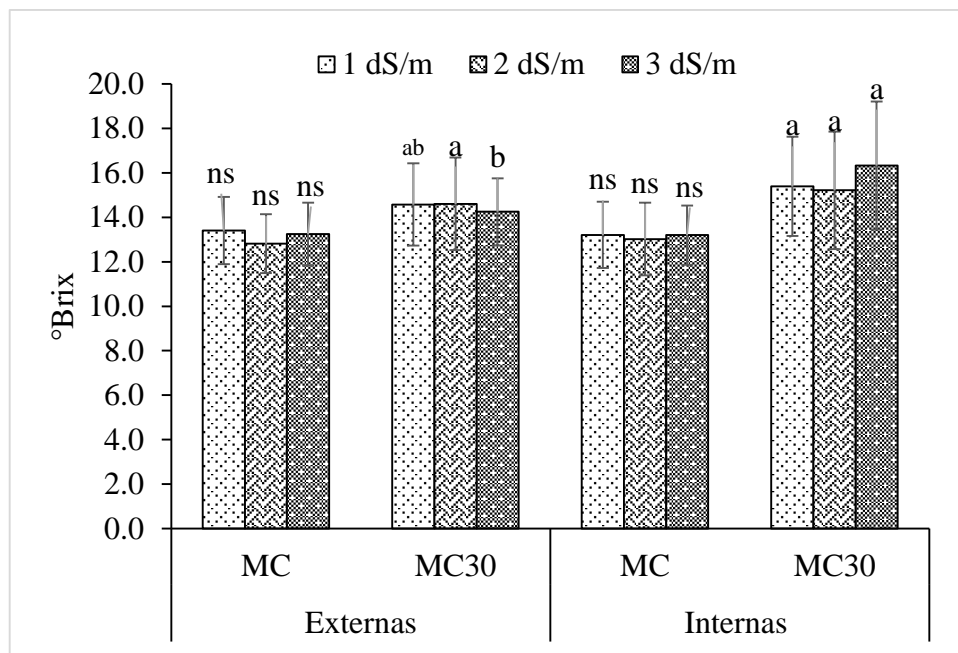


Figura 1.4. °Brix en frutos de uchuva por efecto de conductividad eléctrica de la solución nutritiva, posición en el dosel vegetal y estado de madurez Comparación de medias entre tratamientos. Letras iguales indican que las diferencias no son significativas.

En promedio los frutos, externos e internos, tuvieron valores promedio de 13.77 y 14.4 °Brix respectivamente, por lo que no hubo efecto por la posición en °Brix de los frutos de uchuva.

Firmeza de los frutos

Se ha observado que durante el desarrollo de los frutos de uchuva presentan cambios constantes en su firmeza. Singh, (2012) menciona que durante los primeros estadios de desarrollo (de una a ocho semanas después de la antesis) los frutos aumentan su firmeza de forma constante. Majumder y Mazumdar (2002) mencionan que hay un incremento de sustancias pépticas

durante el desarrollo de los frutos y estas son responsables de formar nuevas células en la pared celular. Sin embargo, se observa que la firmeza decrece en los frutos cuando estos comienzan su proceso de maduración (Figura 1.5). Paniagua *et al.* (2017) y Majumder y Mazumdar (2002) encontraron que esto puede deberse a la solubilización de las sustancias pécticas, por la síntesis de enzimas como la poligalacturonasas (PG), que a su vez está relacionado con la presencia de etileno. Balaguera-Lopez *et al.* (2014) mencionan que el etileno puede ser el responsable de la pérdida de firmeza y de maduración en frutos climatéricos como es el caso de la uchuva (Ávila *et al.*, 2006).

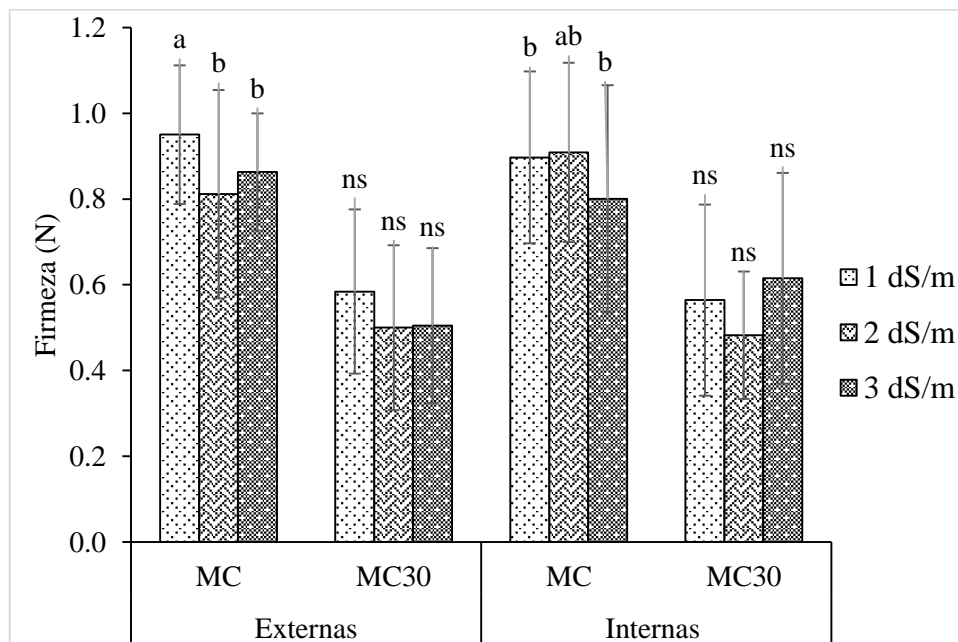


Figura 1.5. Firmeza de frutos de uchuva por efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva, ubicación del fruto en el dosel vegetal y estado madurez. Comparación de medias entre tratamientos. Letras iguales indican que las diferencias no son significativas.

La firmeza que se registró en frutos en MC va de 0.8 ± 0.2 a 1.0 ± 0.2 Newton (N), para frutos en MC30 se obtuvieron valores entre 0.5 ± 0.2 a 0.7 ± 0.7 N. Adicionalmente se tomaron las medias de los frutos en MC, MC30, Externos e Internos con valores de 0.87a, 0.57b, 0.73c y 0.71c N, respectivamente sin tomar en cuenta la CE. Estos valores son menores a lo reportado por otros autores; Pinzón *et al.* (2015) encontraron valores de 3.4 y 2.3 N bajo dos diferentes temperaturas con 15 días de almacenamiento.

Como se muestra en la Figura 1.5 estadísticamente el tratamiento que mostró mayor firmeza fue MC-E con CE de 1 dS m^{-1} , con una firmeza de 1.0 N , los demás frutos en MC su firmeza fue igual.

Los frutos con el tratamiento 2-MC30-I y 3-MC30-E presentaron mayor pérdida de firmeza; con 0.5 N . Trinchero *et al.* (1999) encontraron que los valores en frutos de uchuva fue menor en frutos con mayor madurez. Aunque los frutos en MC30 no tuvieron diferencias estadísticas ($p>0.05$), el tratamiento que conservó en mayor medida su firmeza fue 2-MC30-E.

Los frutos externos tuvieron mayor firmeza en la CE de 1 dS m^{-1} cosechados en madurez comercial, los frutos cosechados 30 días después de la parte externa del dosel vegetal su firmeza fue mayor con 2 y 1 dS m^{-1} .

En la Figura 1.6 A se muestra la firmeza obtenida del promedio general de cada etapa de madurez de los frutos, observando claramente como los frutos sobremaduros (MC30) pierden en gran medida su firmeza ($p<0.05$), Balguera-López *et al.* (2015) encontraron una tendencia similar en frutos con y sin cáliz donde la firmeza se pierde cuando se almacenaron por 15 días a temperatura ambiente. En este mismo gráfico también se observa que la firmeza en MC30 no se vio afectada por la CE.

Por otra parte, en la Figura 1.6 B se observa como la firmeza es mayor cuando la CE es de 1 dS m^{-1} y disminuye cuando la CE aumenta a 3 dS m^{-1} (valores promedio de cada CE, $p>0.05$). Tal vez es debido a que la alta CE disminuya el potencial hídrico, por lo que el flujo de agua disminuye en el fruto.

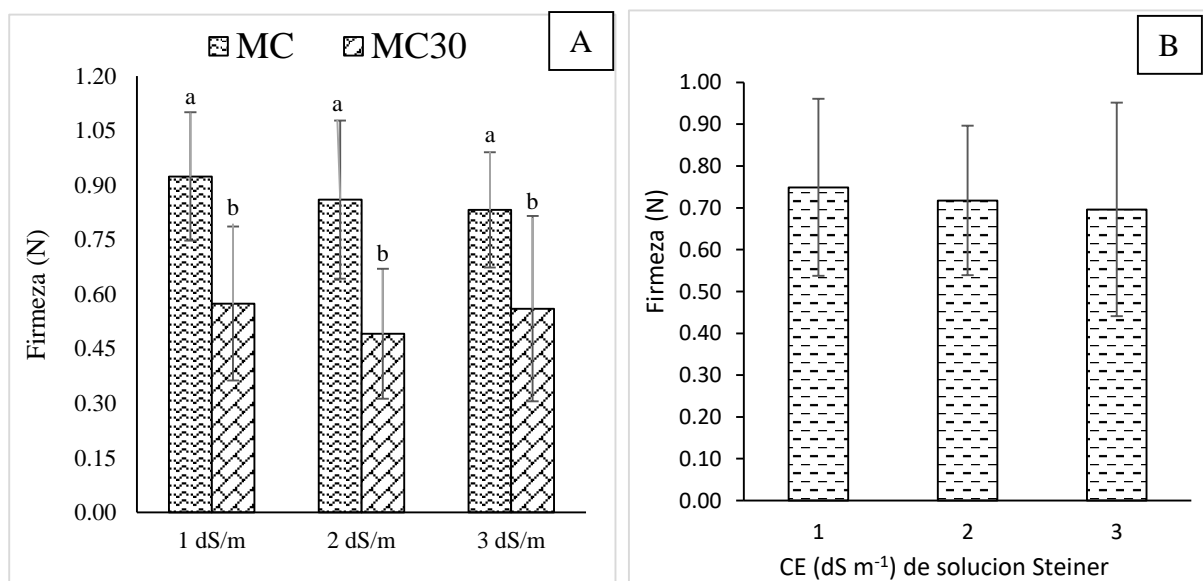


Figura 1.6. Efecto de la conductividad eléctrica (CE) en la firmeza de frutos de uchuva por efecto de la fecha de cosecha de los frutos (A) y conductividad eléctrica de la solución nutritiva (B). Letras iguales indican que las diferencias no son significativas

Color de los frutos

En el caso de la uchuva la determinación de color ha servido para conocer los estados de madurez de los frutos, en otros casos se ha evaluado para conocer rápidamente la calidad de los frutos dando un conocimiento general su estado como la presencia o no de daños mecánicos, sanidad, etc. En el Cuadro 1.4 se muestran los valores promedio y desviación estándar obtenidos en la determinación de color de los frutos de uchuva bajo los diferentes tratamientos.

Se ha descrito que durante el desarrollo de los frutos la clorofila decrece y los carotenoides aumentan, se ha encontrado que el β -caroteno se encuentra en mayor concentración en frutos con mayor madurez (Corrales-Bernal *et al.*, 2015; Trincherro *et al.* 1999).

Cuadro 1.4. Determinación de color de los frutos por efecto de la madurez de cosecha (MC madurez comercial y 30 días después de MC; MC30), posición de los frutos en el dosel y por conductividad eléctrica (CE) en la solución nutritiva.

CE	Posición	Externa al dosel			Interna al dosel		
		Madurez	L	a	b	L	a
1 dS m ⁻¹	MC	59.0±4.6 _a	19.0±5.6	50.6±9.7 _a	59.2±2.5 _a	21.4±2.6	54.3±2.7 _a
	MC30	53.3±3.4 _c	20 ±5.5	46.8±11 _b	51.8±4.3 _c	20.2±3.8	46.9±7.5 _b
2 dS m ⁻¹	MC	54.9±4.2 _b	19.0±6.1	42.5±11 _b	53.5±4.0 _c	19.8±4.3	44.7±8.5 _b
	MC30	56.3±5.6 _b	16.1±5.5	42.5±13 _b	60.3±4.0 _a	20.3±4.4	50.4±8.3 _a
3 dS m ⁻¹	M C	55.8±4.5 _b	19.0±5.0	43.4±10 _b	53.5±5.0 _b	22.2±2.7	49.5±4.0 _b
	MC30	58.4±3.2 _a	18.3±6.4	48.5±12 _b	59.5±3.5 _a	20.8±3.0	53.6±2.7 _a

Se encontraron diferencias significativas en L (luminosidad) y b (mide colores de amarillo a azul) que indica el tono en los frutos de uchuva. Respecto a L los tratamientos 2-MC30-I, 3-MC30-I, 1-MC-I, 1-MC-E fueron los de mayor luminosidad. Estos frutos se encontraban principalmente en la parte interna del dosel vegetal. No se observó ninguna tendencia respecto a la CE y al estado de madurez de los frutos. Para “a” (mide colores de verde a amarillo) no se encontraron diferencias significativas ($p>0.05$).

Los valores de b fueron mayores en los tratamientos 1-MC-I, 3-MC30-I, 1-MC-E y 2-MC30-I, al igual que para L no se encontraron tendencias para el factor CE, ni para estado de madurez de los frutos.

Índice de color (IC)

Las diferencias en el índice de color (IC) ($p < 0.05$) se relacionaron con la madurez del fruto, los frutos con CE 1 dS m^{-1} tuvieron valores más altos en frutos con madurez comercial más 30 días (Cuadro 1.5). Los frutos con CE de 2 y 3 dS m^{-1} fueron los de mayor valor en madurez comercial. La CE no afectó el índice de color, tampoco se encontraron diferencias en función de la posición del fruto. El mayor IC fue en frutos de la parte interna del dosel vegetal. Se ha reportado que el etileno es el responsable de regular los genes de la biosíntesis de carotenoides durante la maduración Wisutiamonkul *et al.* (2017).

Cuadro 1.5. Índice de color por efecto de conductividad eléctrica, posición del fruto en el dosel vegetal y etapa de madurez (MC madurez comercial y 30 días después de MC; MC30).

Posición en dosel	Conductividad eléctrica (dS m^{-1})					
	1		2		3	
	Externas	Internas	Externas	Internas	Externas	Internas
MC	6.4 b	6.7 b	8.1 a	8.3 a	7.9 a	8.4 a
MC30	8.0 a	8.3 a	6.7 b	6.7 b	6.4 b	6.6 b

También se observó que el IC aumenta conforme la CE es mayor en madurez comercial, contrario a lo que ocurre en frutos con madurez comercial más 30 días, este disminuye en CE de 3 dS m^{-1} .

Pinzón *et al.* (2015) mencionan que en frutos con mayor madurez (15 días de su madurez comercial) el IC aumenta y baja su luminosidad almacenados a temperatura ambiente, y los que se sometieron a frutos almacenados a 2 y $4 \text{ }^\circ\text{C}$ presentan la misma tendencia, pero los valores son menores con IC de 7 y $8 \text{ }^\circ\text{C}$, estos valores son similares a los datos obtenidos mayores en 1 en MC30 en 2 dS m^{-1} MC y en 3 dS m^{-1} en MC.

Los frutos de uchuva durante el proceso de maduración cambian de color normalmente de verde a naranja. Conforme los frutos maduran los valores de IC aumentan, el cambio de coloración se debe a la presencia gradual de carotenoides y etileno (proceso de maduración depende del etileno) donde el IC es bajo hay menos carotenoides (Balaguera-López, 2014).

CONCLUSIONES

El peso y °Brix en frutos de uchuva no fueron afectados por la conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva. En general, la firmeza de los frutos fue baja, la mejor se presentó cuando se utilizó solución nutritiva con CE de 1 dS m^{-1} con frutos cosechados en madurez comercial y del exterior del dosel (1-MC-E).

La posición de los frutos en el dosel vegetal no tuvo efecto en el peso, ° Brix y firmeza de la uchuva.

El estado de madurez de los frutos de uchuva tuvo efecto en peso, °Brix y firmeza. Los frutos cosechados a 30 días después de su madurez comercial disminuyeron su peso y firmeza, mientras que los °Brix aumentaron.

El color en frutos de uchuva fue diferente para los valores de L y b, en frutos de MC con CE de 1 dS m^{-1} en frutos externos e internos y frutos con MC30 en la parte interna con CE de 2 y 3 dS m^{-1} . Para “a” no presentó diferencias significativas.

La CE de la solución nutritiva no tuvo efecto en el color de los frutos, pero la posición y madurez indujeron diferencias significativas.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar-Carpio, C., Juárez-López, P., Campos-Aguilar, I., Alia-Tejacal, I., Sandoval-Villa, M. y López-Martínez, V. 2018. Análisis de crecimiento y rendimiento de uchuva (*Physalis peruviana* L.) cultivada en hidroponía e invernadero. Revista Chapingo Serie Horticultura 24(3): 83-94.

Álvarez-Herrera, J. Fischer, G. y Vélez-Sánchez, J. 2015. Producción de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo diferentes láminas de riego, frecuencias de riego y dosis de calcio. Revista colombiana de ciencias hortícolas 9 (2): 222-233.

Amalfitano, C. Del Vacchio, L., Somma, S., Cuciniello, A. and Caruso, G. 2017. Effects of cultural cycle and nutrient solution electrical conductivity on plant growth, yield and fruit quality of 'Friariello' pepper grown in hydroponics. Horticultural Science 44 (2): 91-98.

Ávila, J., Moreno, P., Fisher, G. y Miranda D. 2006. Influencia de la madurez del fruto y el secado del cáliz en uchuva (*Physalis peruviana* L.), almacenada a 18 °C. Acta Agronómica 55(4):29-38.

Balaguera-López, H., Martínez, C. y Herrera-Arévalo, A. 2014. Papel del cáliz en el comportamiento poscosecha de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) ecotipo Colombia. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 8(2):181-191.

Balaguera-López, H., Martínez-Cárdenas, C. and Herrera-Arévalo, A. 2016. Effect of the maturity stage on the postharvest behavior of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits stored at room temperature. Bioagro 28(2):117-124.

Bravo, K., Sepulveda-Ortega, S., Lara-Guman, O., Navas-Arboleda, A. y Osorio, E. 2015. Influence of cultivar and ripening time on bioactive compounds and antioxidant properties in Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). Journal of the Science of Food and Agriculture, 95:1562-1569.

Calori, A., Factor, T., Feltran J., Watanabe, E., Moraes, C. and Purquerio, L. 2017. Electrical conductivity of the nutrient solution and plant density in aeroponic production of seed potato under tropical conditions (winter/spring). *Bragantia*, Campinas 76(1): 23-32.

Corrales-Bernal A., Vergara A., Rojano B., Yahia E. y Maldonado. 2015. Características nutricionales y antioxidantes de la uchuva colombiana (*Physalis peruviana* L.) en tres estadios de maduración. *Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición* 65(4):254-262.

Dorias, M., Papadopoulos, A. and Gosselin A. 2001. Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomie* 21:367-383.

Duque, A. L., Giraldo, G. A., Quintero V. D. 2011. Caracterización de la fruta, pulpa y concentración de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Temas Agrarios* 16(1): 75-83.

Miranda, D. 2005. Criterios para el establecimiento, los sistemas de cultivo, el tutorado y la poda de la uchuva. En G. Fisher, D. Miranda, W. Piedrahíta y J. Romero. Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva *Physalis peruviana* L. en Colombia. Colombia bogota, Universidad Nacional de Colombia Facultad de Agronomía. pp-31.

Fischer, G., Almanza-Merchan, P. y Miranda, D. 2014. Importancia y cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Brasileña de Fruticultura* 36(1):1-15.

Herrera, A., Ortiz, J., Fisher, G. and Chacón, M. 2011. Behavior in yield and quality of 54 cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) accessions from north-eastern Colombia. *Agronomía Colombiana* 29(2):361-371.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. 1999. Frutas frescas. Uchuva. Especificaciones. Norma Técnica Colombiana NTC 4580. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá.

Lee, Y., Yoo, C., Park, N. and Yeoung, Y. 2015. Influence of various nutrient concentration on the growth and yield of summer strawberry cultivars cultivated in a hydroponic system. *Horticulture Environment and Biotechnology* 56(4):421-426.

Majumder, K. and Mazumdar, B. 2002. Changes of pectic substances in developing fruits of cape-gooseberry (*Physalis peruviana* L.) in relation to the enzyme activity and evolution of ethylene. *Scientia Horticulturae* 96: 91-101.

Mazorra, M., Quintana, A., Miranda, D., Fischer, G. y Chávez, B. 2003. Análisis sobre el desarrollo y la madurez fisiológica del fruto de la uchuva. *Agronomía Colombiana* 21(3):175-189.

Morano, G. Amalfitano, C., Sellitto, M., Cucinello, A., Maiello, R. and Caruso G. 2017. Effects of nutritive solution electrical conductivity and density on growth, yield and quality of sweet basil grown in gullies by subirrigation. *Advances in Horticultural Science* 31(1):25-30.

Muniz, J., Kretzchmar, A., Rufalo, L., Pelizza T., Rufalo, A. y de Macedo, T. 2014. General aspects of *physalis* cultivation. *Ciencia Rural, Santa María* 44(6): 964-970.

Paniagua, C., Santiago-Doménech, N., Kirby, A., Gunning, P., Morris, V., Quesada, M. y Matas, A. 2017. Structural changes in cell wall pectins during strawberry fruit development. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118:55-63.

Pinzon, E., Reyes, A., Álvarez-Hernández, J. Leguizamo, M. y Joya, J. 2015. Comportamiento del fruto de uchuva *Physalis peruviana* L. bajo diferentes temperaturas de almacenamiento. *Revista de Ciencias Agrícolas* 32(2):26-35.

Samarakoon, U., Weerasinghe, P. y Weerakkody, W. 2006. Effect of electrical conductivity (EC) of nutrient solution on nutrient uptake, growth and yield of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) in stationary culture. *Tropical agricultural research*, 18:13-21.

SAS Institute Inc. 2002. SAS/STAT ® User's Guide. Version 9.0 SAS Institute Inc., Cary. NC, USA.

Singh, D. B., Pal A. A., Lal, S., Ahmed, N. y Mirza A. 2012. Growth and developmental changes of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits. The Asian Journal of Horticulture 7(2):374-378.

Trincherro, G., Sozzi, G., Cerri, A., Vilella, F. and Fraschina A. 1999. Ripening-related changes in ethylene production, respiration rate and cell-wall enzyme activity in goldenberry (*Physalis peruviana* L.) a solanaceous species. Postharvest Biology and Technology 16:139-145.

Wisutiamonkul, A., Ampomah-Dwamena, C., Allan, A. and Ketsa, S. 2017. Carotenoid accumulation in durian (*Durio zibethinus*) fruit is affected by ethylene via modulation of carotenoid pathway gene expression. Plant Physiology and Biochemistry 115:308-319.

Wu, M. y Kubota, C. 2008. Effects of electrical conductivity of hydroponic nutrient solution on leaf gas exchanges of five greenhouse tomato cultivars. HortTechnology 18(2):271-277.

CAPÍTULO II

EFFECTO DEL MÉTODO DE DESHIDRATACIÓN Y MANEJO DEL CULTIVO SOBRE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE FRUTOS DE UCHUVA

RESUMEN

La deshidratación es un procedimiento para la conservación de frutos percederos. Durante el secado los frutos pierden parcialmente sus propiedades nutraceuticas debido principalmente a la degradación térmica de compuestos fenólicos. La pérdida de propiedades antioxidantes en frutos de *Physalis peruviana*, se ha estudiado extensamente en varios países como Colombia, Perú y Turquía, sin embargo en México, el cultivo de esta especie se encuentra en sus etapas iniciales. El objetivo de este trabajo fue evaluar las propiedades antioxidantes de frutos de uchuva, cultivados en México, bajo diferentes condiciones de manejo del cultivo y deshidratación. Las plantas de uchuva se cultivaron aplicando diferente conductividad eléctrica (CE) 1, 2 y 3 dSm⁻¹. A partir de estas plantas se cosecharon frutos del dosel externo (E) o del interno (I) de la planta y en madurez comercial (MC) y treinta días después de su madurez comercial (MC30). Una vez cosechados, los frutos, fueron deshidratados por liofilización o secado convectivo. Las propiedades antioxidantes, *in vitro*, fueron evaluadas cuantificando fenoles y flavonoides totales así como la capacidad antioxidante por los ensayos ABTS, FRAP y DPPH. Los datos obtenidos fueron analizados aplicando pruebas no paramétricas de Friedman. De acuerdo con los resultados, en general, los frutos deshidratados por liofilización presentaron mayor capacidad antioxidante ($p < 0.05$). El contenido fenólico total fue más alto (3.15 mg GAE g⁻¹) en frutos MC30. La CE tuvo efecto en algunos parámetros como contenido de flavonoides, ABTS y DPPH. El contenido de flavonoides en frutos MC-E fue mayor a CE de 1 y 2 dS m⁻¹ (0.37 y 0.28 mg EC g⁻¹). Los frutos protegidos de la luz con CE de 2 dS m⁻¹ presentaron una mayor capacidad antioxidante aplicando el ensayo ABTS (11.33 μmol ET g⁻¹), además, los frutos en MC30 presentaron la mayor capacidad antioxidante a una CE de 3 dS m⁻¹ (10.98 μmol ET g⁻¹). Finalmente los frutos en MC de la parte interna del dosel, tuvieron la menor capacidad antioxidante a CE de 1 dS m⁻¹ en el ensayo DPPH (3.64 μmol ET g⁻¹). Respecto a los frutos en MC, la capacidad antioxidante fue menor a los resultados obtenidos de frutos liofilizados y similares a los frutos deshidratados por convección. Con base en los resultados obtenidos la posición del fruto en el dosel vegetal no tuvo efecto en la capacidad antioxidante, los frutos de uchuva cosechados en madurez comercial y de plantas cultivadas a una CE de 2 dS m⁻¹ presentaron una mayor capacidad antioxidante.

INTRODUCCIÓN

El estrés oxidativo es un proceso natural, consistente en la producción de radicales libres oxigenados y nitrogenados, que responde a diferentes procesos metabólicos (Pisoschi *et al.*, 2016). Un exceso de radicales libres puede generar enfermedades degenerativas, ya que pueden crear daños en la membrana celular y mutaciones en el ADN (Gupta, 2015). Existen diferentes sustancias responsables de contrarrestar su efecto negativo por medio de moléculas que son capaces de captar estos radicales (antioxidantes) (Kamiloglu *et al.*, 2016).

Estas sustancias antioxidantes, por ejemplo los compuestos fenólicos, son derivadas del metabolismo secundario que genera la planta al encontrarse bajo algún tipo de estrés (climático, nutricional, radiación, plagas o enfermedades, salinidad, etc.) (Pokorny *et al.*). Se ha encontrado que el consumo de alimentos con propiedades antioxidantes ayuda a la disminución de estos efectos. Múltiples estudios se han realizado con la finalidad de potencializar estas propiedades a través del manejo del cultivo y la poscosecha del producto por medio del conocimientos de los requerimientos nutricionales, disponibilidad de agua, luz, etapa de madurez y el cultivar (Bravo *et al.* 2015). También se han estudiado factores como la regulación del etileno sobre el desarrollo de los frutos y la deshidratación (Chang *et al.*, 2016) para la conservación de su capacidad antioxidante.

Diversos estudios han demostrado que los frutos de uchuva tienen propiedades antioxidantes tanto en fresco como deshidratados (Ramadan *et al.*, 2015; Valdenegro *et al.*, 2012; Puente *et al.*, 2011). En este trabajo se evaluaron el efecto del manejo del cultivo y los métodos de deshidratación de los frutos de uchuva, sobre sus propiedades antioxidantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Los frutos de uchuva se cosecharon de plantas de cuatro años de edad, cultivadas en condiciones de invernadero en el colegio de Postgraduados campus Montecillo.

Tratamientos

El manejo del cultivo se realizó mediante un diseño completamente al azar donde se aplicaron tres tratamientos de conductividad eléctrica (CE) de la solución Steiner: 1, 2 y 3 dS m⁻¹, en el Cuadro 2.1 se presentan el pesos de los fertilizantes para cada tratamiento.

Cuadro 2. 1. Composición de la Solución Steiner y pesos de los fertilizantes utilizados para cada tratamiento

CE	1 dS m ⁻¹	2 dS m ⁻¹	3 dS m ⁻¹
g L ⁻¹			
Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O	0.53	1.06	1.40
KNO ₃	0.15	0.30	0.39
KSO ₄	0.13	0.26	0.44
MgSO ₄ 7H ₂ O	0.25	0.49	0.55
KH ₂ PO ₄	0.05	0.10	0.15

Se tomaron frutos según su estado de madurez, que conforme a la norma Técnica Colombiana 4580 son clasificadas por su apariencia física (color), se seleccionaron frutos en madurez comercial que son catalogados con el número 6 (Icontec, 1999). Se tomaron también frutos de la parte interna del dosel vegetal de la planta donde la incidencia solar es limitada (I) y frutos de la parte externa donde la radiación solar es directa (E). Igualmente se cosecharon frutos que permanecieron en la planta 30 días a partir de su madurez comercial con estas últimas características. En el Cuadro 2.2 se muestran los tratamientos formados de la combinación de factores.

Cuadro 2. 2. Conformación de tratamientos de la combinación de factores.

CE	Estado de madurez	Posición	Abreviatura
1 dS m ⁻¹	Madurez Comercial	Externas	1-MC-E
		Internas	1-MC-I
	Mas 30 días de su madurez comercial	Externa	1-MC30-E
		Interna	1-MC30-I
2dS m ⁻¹	Madurez Comercial	Externa	2-MC-E
		Internas	2-MC-I
	Mas 30 días de su madurez comercial	Externa	2-MC30-E
		Internas	2-MC30-I
3 dS m ⁻¹	Madurez Comercial	Externa	3-MC-E
		Internas	3-MC-I
	Mas 30 días de su madurez comercial	Externa	3-MC30-E
		Internas	3-MC30-I

Con el fin de comparar los resultados de esta investigación, adicionalmente se tomaron frutos de uchuva deshidratada de origen comercial, provenientes de Colombia y Perú.

Deshidratación de los frutos

Los frutos obtenidos a partir de los diferentes tratamientos de manejo agronómico (Cuadro 2.2), fueron divididos en dos grupos para su deshidratación, el primer grupo fue sometido a secado por liofilización (liofilizadora marca Labconco 48 horas, -56 °C y 0.016 mBar) y el segundo grupo se deshidrato por secado convectivo en una deshidratadora marca Sedona (45 °C, por 72 horas, con flujo de aire). Completado el proceso de deshidratación los frutos se colocaron en bolsas herméticas para su posterior análisis

Preparación de extractos

Las muestras de frutos de uchuva (10 g) deshidratadas por las técnicas de liofilización y secado convectivo y sometidos a diferentes tratamientos de manejo agronómico, fueron trituradas en un nutribullet. A partir de cada una de las muestras molidas se pesó un gramo y se mezcló con 10 mL de metanol al 80% (v/v), la mezcla se agitó en vortex (3 minutos), después se ajustó el pH a 3 con HCl al 10%. La extracción de los frutos se llevó a cabo por sonicación (15 minutos), y agitación (30 minutos). Finalmente la mezcla de extracción fue centrifugada (15 minutos a

4000 rpm). El sobrenadante se recuperó y se llevó a un volumen final de 10 mL con metanol al 80%. Cada muestra se extrajo por triplicado. A partir de los extractos se cuantificaron los fenoles y flavonoides totales y se evaluó la capacidad antioxidante por los ensayos ABTS, FRAP y DPPH.

Reactivos e instrumentación

Los reactivos de Folin-Ciocalteu, carbonato de sodio anhidro, ácido 3,4,5-trihidroxibenzoico (ácido gálico), 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico (Trolox), 2,2-azinobis ácido -3 etilbenzotiazolino-6-sulfónico (ABTS), ácido sulfúrico, persulfato de potasio, acetato de sodio trihidratado, ácido acético glacial, 2,4,6-tripiridil-s triazina (TPTZ), ácido clorhídrico, cloruro de hierro (III) hexahidratado, catequina, fueron adquiridos de Sigma Aldrich. La medición de absorbancias para cuantificar los fenoles totales, flavonoides, y evaluar la capacidad antioxidante se llevó a cabo en un lector de microplacas (Biotek Instruments Inc., Winooski, VT, USA), equipado con bombas de inyección automática y el software de análisis de datos Gen5TMdata.

Contenido fenólico total

La concentración de fenoles totales se llevó a cabo por el método de Folin Cicaltu (Singleton y Rossi, 1965) adaptado a microplacas. En cada pozo de una microplaca de 96 pozos se colocó una alícuota de 25 μL de cada extracto, 125 μL de agua destilada, 20 μL de Folin-Ciocalteu diluido 1:10 y 30 μL de una solución de Na_2CO_3 al 20 %, se mezcló y se dejó en reposo en oscuridad por 30 minutos, transcurrido el tiempo se leyó la absorbancia a 760 nm en un lector de microplacas. Simultáneamente se preparó una curva de calibración con ácido gálico en un intervalo de concentraciones de 0.001 a 0.011 mg mL^{-1} . Los resultados fueron expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra en base seca (mg EAG g^{-1}).

Flavonoides totales

La concentración de flavonoides fue cuantificada por el método de Kubola y Siriamornpun (2011), adaptado a microplacas. En tubos Falcon de 10 mL se mezclaron: una alícuota (0.5 mL) de cada extracto, agua destilada (2.5 mL) y NaNO_2 al 5% (0.15 mL). La mezcla se dejó reposar 6 minutos y luego se adicionó AlCl_3 al 10 % (300 μL), después de 5 minutos se adicionó NaOH al 5 % (1 mL). La mezcla se agitó en vortex a 3000 rpm por 3 minutos. Finalmente se tomaron 200 μL de cada mezcla de reacción y se transfirieron a una microplaca de 96 pozos y se

midieron las absorbancias a 510 nm. Simultáneamente se realizó una curva de calibración con catequina, en un intervalo de concentraciones de 0.001 a 0.033 mg mL⁻¹. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de catequina por gramo de muestra en base seca (mg EC g⁻¹).

Capacidad antioxidante

El ensayo ABTS se llevó a cabo por el método de Pellegrini *et al.* (1999), adaptado a microplacas. En cada pozo de una microplaca, se colocaron 20 µL de cada extracto y se mezcló con 180 µL de una solución de ABTS (mezcla de ABTS 7.4 mM y persulfato de sodio 2.6 mM, 1.1 v/v) se dejó reposar en oscuridad y se leyó la absorbancia a 734 nm en un lector de microplacas. La curva de calibración se preparó con el ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico (Trolox) en un intervalo de concentraciones de 5 a 50 µmol. Los resultados fueron expresados como µmol equivalentes de trolox por gramo de muestra en base seca (µmol ET g⁻¹).

El ensayo FRAP se llevó a cabo por el método de Benzie y Strain (1996) adaptado a microplacas. En una microplaca de 96 pozos se colocaron 20 µL de cada extracto y 180 µL de disolución FRAP, previamente preparada. La disolución FRAP se preparó mezclando 10 mL de buffer de acetato 300 mM, 1 mL de solución TPTZ 10mM y 1 mL de solución FeCl₃6H₂O 20 mM) y 60 µL de agua. Se dejó reposar por 10 minutos y se midió la absorbancia a 595 nm en un lector de microplacas. La curva de calibración se preparó con Trolox en un intervalo de concentraciones de 3.8 a 46.1 µmol Los resultados fueron expresados en µmol equivalentes de trolox por gramo de muestra en base seca (µmol ET g⁻¹).

Para el ensayo de DPPH se realizaron diluciones correspondientes de cada muestra con un volumen final de 1000 µL. Se tomaron 200 µL de cada dilución de cada tratamiento, y se colocaron en una microplaca, adicionando 50 µL de la disolución de DPPH. Pasados 30 minutos se leyó la absorbancia a 515 nm en un lector de placas. La capacidad antioxidante se expresó en micromoles equivalente de trolox por gramo de muestra (µmol ET g⁻¹).

El porcentaje de DPPH degradado fue determinado por la siguiente ecuación:

$$\% \text{ DPPH}_{\text{degradado}} = \left(1 - \frac{A_m - A_b}{A_c - A_b} \right) \times 100$$

Donde A_m , A_b , A_c es la absorbancia del antioxidante de referencia o de la muestra, blanco y el control, respectivamente.

Análisis estadístico

Se conformaron bloques de cada Los resultados se analizaron aplicando la prueba no paramétrica de Friedman con el programa R (versión 3.4.3, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestra la concentración de fenoles totales, flavonoides y la capacidad antioxidante en frutos de uchuva bajo diferentes métodos de deshidratación y manejo del cultivo.

Fenoles totales

La concentración de fenoles totales en frutos liofilizados se encontró en un intervalo de 2.30 ± 0.09 a 3.28 ± 0.17 mg EAG g^{-1} , mientras que en frutos deshidratados por convección la concentración fue de 1.13 ± 0.13 a 1.50 ± 0.18 mg EAG g^{-1} . El contenido fenólico de frutos deshidratados comerciales de origen colombiano fue de 1.05 mg EAG g^{-1} y los peruanos de 3.56 mg EAG g^{-1} , estos valores son similares a los reportados en este estudio para frutos deshidratados por convección y liofilizados respectivamente.

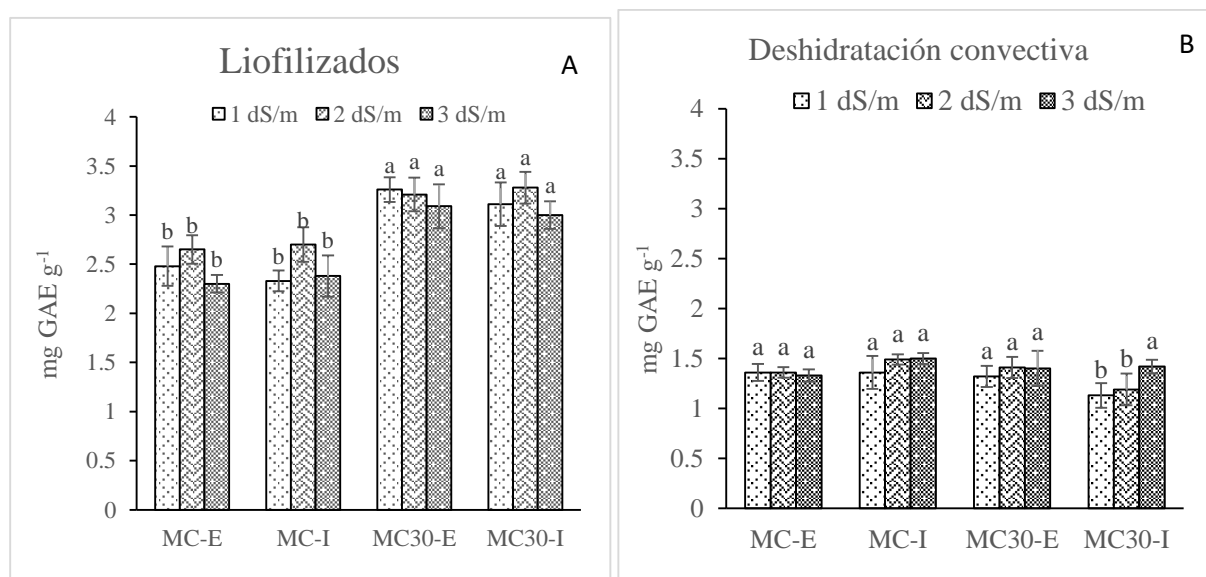


Figura 2. 1. Concentración de fenoles totales por efecto de los tratamientos agronómicos y método de deshidratación en el contenido de fenoles totales. Letras iguales indican que las diferencias no son significativas, $p < 0.05$).

Como se muestra en la Figura 2.1, la mayor concentración de fenoles en frutos liofilizados se encontró en el tratamiento 2-MC30-I con 3.28 mg EAG g⁻¹. En frutos deshidratados por convección la mayor contenido de fenoles se encontró en la combinación 3-MC-I (1.50 mg EAG g⁻¹).

En general frutos en MC30 presentaron mayor concentración de compuestos fenólicos y no se encontraron diferencias significativas entre la posición de los frutos. La concentración de fenoles en frutos de uchuva por efecto de la CE no se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) en los tratamientos en frutos liofilizados.

Diferentes estudios han reportado que el contenido fenólico en frutos de uchuva es menor a lo obtenido en este estudio. En 6 tipos de uchuva de diferentes partes de Turquía, la concentraciones de fenoles totales se encuentra en el intervalo de 0.42-0.48 mg EAG g⁻¹ peso seco (Ozturk *et al.*, 2017). En otro estudio, Bravo *et al.* (2015) encontraron que el contenido fenólico total fluctuó entre 0.59-0.77 mg EAG g⁻¹ en frutos frescos. Estas diferencias podrían deberse a factores ambientales en que se desarrolla el fruto, el cultivar, características de suelo o sustrato, fertilización, etc. y al manejo durante la determinación de su capacidad antioxidante. Carvajal de Pabón *et al.* (2012) mencionan que los compuestos fenólicos son respuesta genética a factores de estrés como la luz, nutrición.

Por otra parte, Shofian *et al.* (2011) determinaron la concentración de fenoles totales en frutos liofilizados de carambola, mango, papaya, melón y sandía, encontrando valores inferiores al de la uchuva liofilizada en este estudio (1.37, 0.76, 0.40, 0.14 y 0.15 mg EAG g⁻¹), por lo tanto se podría considerar que la uchuva deshidratada es una fuente importante de estos compuestos.

Se observó que la concentración de fenoles fue mayor en los frutos liofilizados disminuyendo aproximadamente 52% en frutos deshidratados por convección. Nunes *et al.* (2016) encontraron una tendencia similar al evaluar fenoles solubles e insolubles de guayaba deshidrata por liofilización y secado en horno, en este caso la mayor pérdida de estos compuestos ocurrió con el secado en horno con 48% de pérdida de fenoles y 29% en los frutos liofilizados. Hung y Duy (2012) encontraron que los fenoles totales en vegetales como el tomate, zanahoria, berenjena y remolacha el contenido de fenoles totales fue mayor en frutos liofilizados, que en los deshidratados por calor. Valdenegro *et al.* (2013) mencionan que en frutos liofilizados de uchuva la preservación de compuestos fenólicos es de hasta 94%.

Sathyadevi y Subramanian (2015) reportaron que en frutos de uchuva deshidratados en estufa a 50 °C la concentración de fenoles en un extracto etanólico fue de 76.84 mg EAG g⁻¹. Izli *et al.* (2014) obtuvieron resultados de 2.39 y 2.36 mg EAG g⁻¹ con métodos térmicos (75 y 100

°C con 160 W para cada temperatura) en frutos de uchuva; estos valores son ligeramente mayores a la concentración de fenoles de frutos deshidratados por método convectivo de esta investigación, siendo parecidos a la concentración de fenoles en frutos liofilizados (promedio general de 2.81 mg EAG g⁻¹). López *et al.* (2013) encontraron que la concentración de fenoles puede aumentar conforme se incrementa la temperatura de secado (90 °C) pero a bajas temperaturas los fenoles suelen disminuir (50 °C).

Contrario a lo antes mencionado, Izli *et al.* (2014), afirman que la deshidratación es un método de conservación de alimentos y explica que la disminución de compuestos fenólicos al ser deshidratados por procesos térmicos (convectivos), se debe a que las enzimas oxidativas no son inmediatamente inactivadas, continuando los procesos químicos que degradan moléculas que favorecen la actividad antioxidante. Las polifenoloxidasas y peroxidasas son algunas enzimas que menciona este autor, las cuales pueden degradar compuestos polifenólicos, además, se pueden formar nuevos compuestos, por ejemplo, algunos polifenoles pueden unirse a proteínas modificando su estructura haciendo imposible su determinación, esto también se menciona por Kamiloglu *et al.* (2016).

Valdenegro *et al.* (2012) encontraron un aumento en la concentración de compuestos fenólicos de uchuva, sin deshidratar, conforme los frutos llegan a madurez comercial. Opuesto a esto, Bravo *et al.* (2015) encontraron que la concentración de fenoles decrece 50% conforme la uchuva está en proceso de maduración; este autor menciona que podría deberse a la disminución progresiva de metabolitos primarios que son los responsables de generar sustratos para la biosíntesis de estos compuestos.

La concentración de fenoles en MC30 podría explicarse considerando que en esta etapa de maduración los procesos fisiológicos presentan pocos cambios. Sin embargo, el contenido fenólico disminuye drásticamente por el método de deshidratación (Ciurzynka, y Lenart 2011; Duque *et al.*, 2011).

Respecto a la posición del fruto, las tendencias en la concentración de fenoles se observan en la Figura 2.1 En frutos liofilizados, no se observan diferencias significativas por efecto de la incidencia de luz en los fruto (Gráficos A y B). La misma tendencia se observa en frutos en MC30.

Los frutos que fueron deshidratados por convección presentaron diferencias significativas respecto a frutos liofilizados, los desarrollados en la parte interna fueron los tratamiento con mejor concentración de fenoles en MC, esto ocurrió cuando los frutos crecieron con CE de 2 y 3 dS m⁻¹, en frutos en MC30 esta tendencia cambio ya que la concentración de

fenoles fue mayor en frutos de la parte externa con CE de 2 y 3 dS m⁻¹, se mostró que con CE 3 dS m⁻¹ la posición fue igual.

Diversos autores destacan que la capacidad antioxidante se puede modificar por la temperatura, radiación, el CO₂ y disponibilidad de agua (Olivoto *et al.*, 2017). Además, la producción de estos metabolitos secundarios puede deberse a diferentes factores como el estrés, ya que son compuestos que la planta produce cuando está bajo alguna condición no favorable. Por otra parte, Etzbach *et al.* (2018) mencionan que también puede deberse a procesos auto-oxidativos que pueden desencadenarse por la luz o enzimas.

Flavonoides

La concentración de flavonoides en frutos liofilizados se encontró en el intervalo de 0.37±0.03-0.19±0.01 mg EC g⁻¹ con un promedio general de 0.25 mg EC g⁻¹. En frutos deshidratados por convección la concentración de flavonoides fluctuó entre 0.35±0.02-0.04±0.02 mg EC g⁻¹, con un promedio de 0.22 mg EC g⁻¹. Las concentraciones de flavonoides en frutos deshidratados de origen comercial provenientes de Colombia y Perú fueron de 0.30 y 0.54 mg EC g⁻¹ respectivamente, siendo mayores a las encontradas en este estudio.

En la Figura 2.2 se muestra la tendencia de la concentración de flavonoides en frutos liofilizados (A) y deshidratados por convección (B), en general frutos en MC tuvieron mayor concentración de flavonoides que los frutos sobre maduros. El contenido de flavonoides no presentó diferencias significativas respecto a la posición de los frutos en el dosel vegetal de la planta. En frutos liofilizados la mayor concentración de flavonoides se encontró en el tratamiento 1-MC-E con 0.37 mg EC g⁻¹ y en frutos deshidratados por convección se presentó en 2-MC-I.

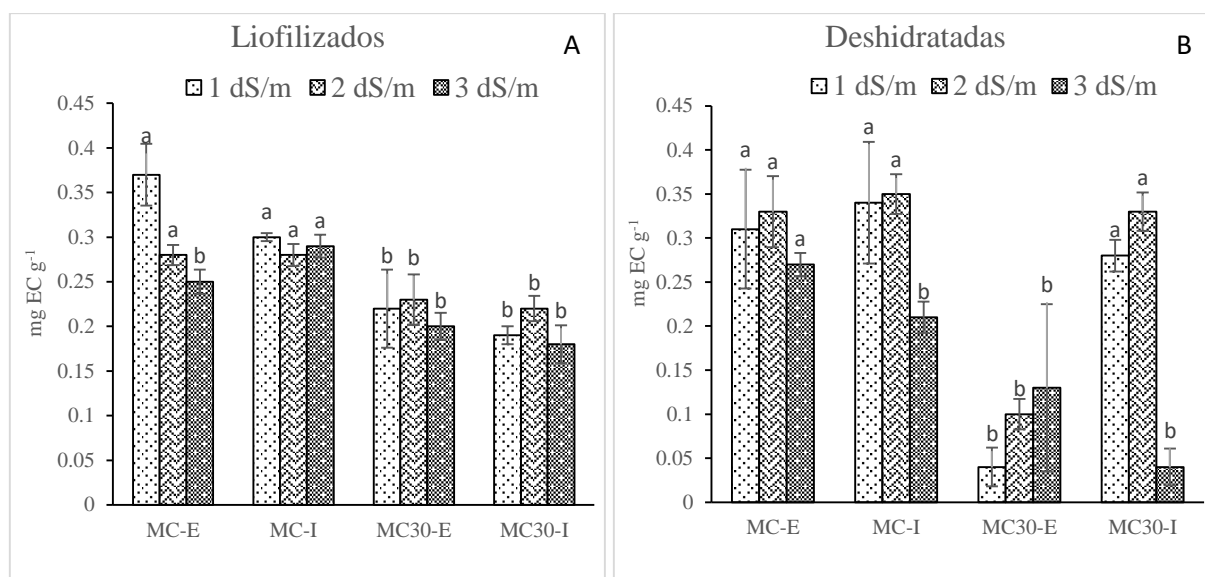


Figura 2. 2. Concentración de flavonoides por efecto de la conductividad eléctrica (CE) de solución Steiner, posición del fruto dentro del dosel vegetal y etapa de madurez en la en frutos de uchuva deshidratados. Letras iguales indican que las diferencias no son significativas, $p < 0.05$).

Sathyadevi y Subramanian (2015) encontraron que el extracto etanólico de frutos de uchuva, secados en estufa a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, contenía 241 mg EC g^{-1} . Mientras que en un extracto acuoso de frutos liofilizados, la concentración de flavonoides fue de 4.87 mg EC g^{-1} (Areiza-Mazo *et al.*, 2013). El contenido de flavonoides en un extracto de frutos de uchuva en madurez comercial, obtenido con la mezcla de extracción: hexano, acetona, tolueno y etanol fue de 0.65 mg EC g^{-1} (Corrales-Bernal *et al.*, 2015). Estos valores son superiores a los encontrados en este estudio, debido a que los flavonoides se cuantifican en extractos.

Se encontró que los frutos en MC tuvieron mayor concentración de flavonoides y estos compuestos disminuyeron durante los 30 días que permanecieron en la planta, este resultado es acorde con el de Corrales-Bernal *et al.* (2015) quien estudió el contenido de flavonoides en frutos de uchuva en tres estados de madurez y encontró que dichos compuestos disminuyeron conforme los frutos maduraban.

También se observó que la concentración de flavonoides no se vio afectada por el método de deshidratación en frutos en MC manteniéndose similares cuando se liofilizaron y se deshidrataron por convección. Para los frutos internos se observaron tendencias similares a la ya antes mencionada para ambos métodos de deshidratación. La menor concentración de flavonoides, en frutos deshidratados por convección, se presentó en MC30 a $1\text{ y }3\text{ dS m}^{-1}$.

Al comparar los frutos que fueron cosechados de la parte externa e interna del dosel vegetal se mostró el contenido de flavonoides en los tratamientos fueron diferentes entre sí, y esto podría ser un efecto de la CE.

En la mayoría de los casos la concentración de flavonoides de frutos deshidratados por convección fue más o menos igual a la concentración de los liofilizados, excepto para los tratamientos en MC30-E, ya que en frutos deshidratados conectivamente disminuyó su concentración aproximadamente 57.15% respecto a frutos liofilizados.

El contenido de flavonoides se vio afectado por el cambio de la CE, teniendo comportamiento diferente en frutos liofilizados y deshidratados por convección. Como ya se había mencionado frutos liofilizados en MC-E disminuyó la concentración de flavonoides conforme la CE aumentaba.

Para los frutos en deshidratación convectiva los frutos en MC-I y MC30-I mostraron la misma tendencia, cuando la CE es de 1 y 2 dS m⁻¹, la concentración de flavonoides fue mayor y disminuyó cuando la CE fue de 3 dS m⁻¹.

Capacidad antioxidante de frutos de uchuva

En el Cuadro 2.3 se indica el valor promedio de la capacidad antioxidante determinada por los ensayos ABTS, FRAP y DPPH en frutos de uchuva liofilizados.

Cuadro 2. 3. Capacidad antioxidante de frutos de uchuva

Factores	ABTS	FRAP	DPPH
	$\mu\text{mol ET g}^{-1}$		
MC-E	11.8 ± 0.8	5.5 ± 0.7	7.7 ± 0.6
MC-I	10.5 ± 1.4	5.3 ± 0.6	7.5 ± 1.0
MC30-E	10.8 ± 0.3	3.7 ± 0.03	3.9 ± 0.2
MC30-I	10.6 ± 0.5	3.6 ± 0.3	3.9 ± 0.2
1 dS m ⁻¹	10.8 ± 1.3	4.5 ± 1.1	5.4 ± 2.1
2 dS m ⁻¹	11.4 ± 0.7	4.9 ± 1.3	6.3 ± 2.5
3 dS m ⁻¹	10.6 ± 0.7	4.2 ± 0.8	5.8 ± 1.9

En general la capacidad antioxidante fue mayor cuando se aplicó el ensayo ABTS, con un promedio de 10.92 $\mu\text{mol ET g}^{-1}$, por otra parte FRAP y DPPH presentaron valores promedio de 4.53 y 5.75 $\mu\text{mol ET g}^{-1}$ respectivamente. Se presentan tendencias similares para estos dos últimos ensayos, donde se observa que la capacidad antioxidante es mayor en frutos en MC y

disminuye en frutos cosechados 30 días después de su madurez comercial. Respecto a la CE se presentó mejor respuesta antioxidante en frutos con CE de 2 dS m⁻¹.

En este trabajo se observa que la capacidad antioxidante disminuyó 40.8 % cuando los frutos estaban sobre maduros (MC30), sin embargo la concentración de compuestos fenólicos en dichos frutos resultó ser mayor, por lo tanto la reducción en la capacidad antioxidante en frutos sobre maduros puede estar relacionada con la disminución del contenido de flavonoides, asimismo, de acuerdo con Eitzbach *et al.* (2018), los carotenoides en los frutos de uchuva, que también contribuyen a la capacidad antioxidante, se degradan durante la maduración de los frutos.

ABTS

La capacidad de captar el radical ABTS en frutos liofilizados se encontró en el intervalo de 9.73±0.85-12.60±0.74 μmol ET g⁻¹. Para frutos deshidratados por convección el rango fue de 5.28±0.63 a 8.26±0.57 μmol ET g⁻¹. La capacidad antioxidante de frutos comerciales fue de 5.15 μmol TE g⁻¹ en frutos colombianos y 7.94 μmol TE g⁻¹ en frutos peruanos, estos valores fueron parecidos a frutos deshidratados por convección.

El tratamiento que presentó mayor capacidad antioxidante por el ensayo ABTS fue MC, tal como se muestra en la Figura 2.3 (A). En un estudio *in vitro* de la actividad antioxidante de durazno, higos y pasas se determinó la actividad para captar este radical y se encontraron valores de 9.50, 6.50 y 90.37 μmol TE g⁻¹ respectivamente (Chang, 2016), los valores en durazno e higo fueron similares a lo obtenido en esta investigación, tanto en frutos liofilizados como deshidratados convectivamente. De acuerdo con Valdenegro *et al.* (2012) la capacidad antioxidante, aplicando el ensayo ABTS de frutos frescos de uchuva en MC fue de 5.8 μmol ET g⁻¹.

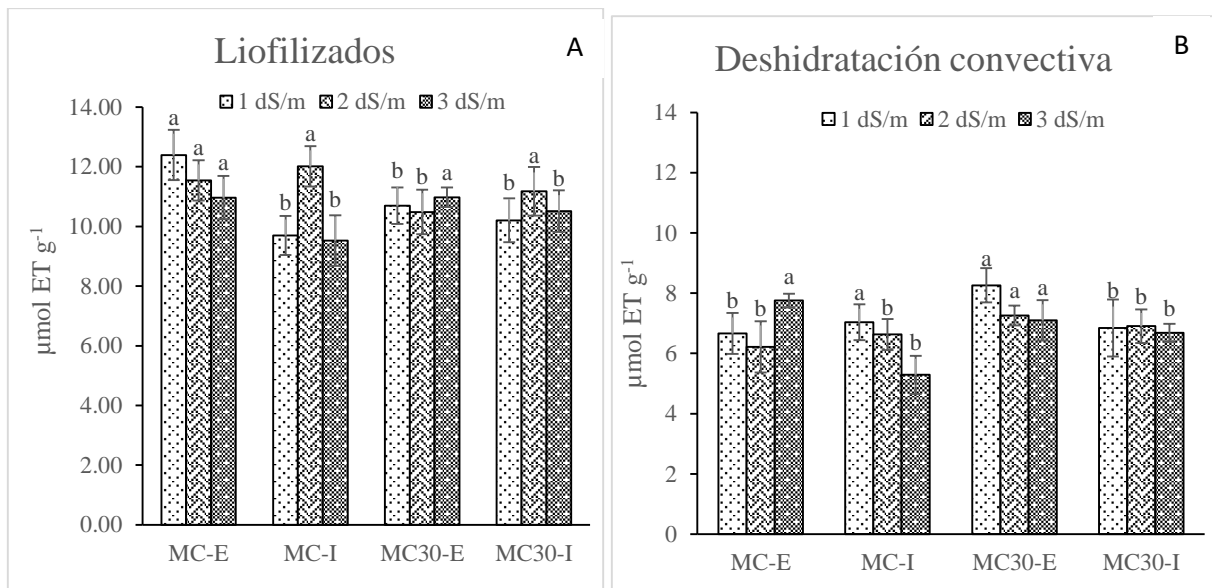


Figura 2. 3. Captación del radical ABTS por efecto de la conductividad eléctrica (CE) de solución nutritiva Steiner, posición del fruto en el dosel vegetal en diferente etapa de madurez en frutos de uchuva deshidratados. Letras iguales indican que las diferencias no son significativas, $p < 0.05$.

La capacidad antioxidante en frutos deshidratados por convección disminuyó en promedio un 38% respecto a los liofilizados, este resultado es acorde con Cortes *et al.* (2015) quienes encontraron que la capacidad antioxidante en frutos de uchuva fue 1.14 veces más al ser liofilizados. En otro estudio, se demostró que la capacidad antioxidante de ciruelas deshidratadas por secado convectivo, a 60 y 70°C, fue menor (73.9 y 88.0 $\mu\text{mol Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente) que por liofilización (109.9 $\mu\text{mol Trolox } \text{g}^{-1}$) (Michalka *et al.*, 2016).

Los valores del ensayo ABTS son diferentes cuando los frutos externos son cosechados en MC y después de 30 días (Figura 2.3) en frutos liofilizados y deshidratados por convección, Valdenegro *et al.* (2012) encontró que cuando los frutos de uchuva son almacenados 14 días a temperatura ambiente su capacidad antioxidante disminuye naturalmente un 17%, además de este proceso natural en ciertos casos esta diferencia puede deberse también a la CE del cultivo (MC en CE de 1 y 2 dS m^{-1}).

En la Figura 2.3 (A) se observa que frutos liofilizados en MC y MC30 internos tuvieron mayor captación del radical con CE de 2 dS m^{-1} . En frutos en MC-E no tuvieron diferencias significativas respecto a la CE, esta diferencia en función de las necesidades y requerimientos nutrimentales durante el desarrollo o etapa de madurez de los frutos y además la disponibilidad de nutrientes pueden haber provocado algún tipo de respuesta a la producción de metabolitos secundarios.

En frutos deshidratados por convección, se observa que los requerimientos nutricionales son diferentes cuando se encuentran en diferentes estadios de madurez por consiguiente sus procesos metabólicos pueden cambiar el contenido de moléculas con propiedades antioxidantes, en el grafico B de la Figura 2.3 se observa mayor captación del radical con CE de 1 dS m⁻¹ para frutos en MC-I, mientras que la captación de este radical es mayor en MC-E con CE de 3 dS m⁻¹.

Se comparó la posición del fruto en el dosel vegetal (Figura 2.3), para frutos liofilizados se observó que la captación de radicales ABTS no tuvo diferencias significativas, estadísticamente los frutos en MC-E fueron mejores a los frutos cosechados en la parte externa del dosel vegetal, como se observa en el grafico A Figura 2.3 esto ocurre cuando la CE es de 1 y 3 dS m⁻¹, la disponibilidad de nutrientes pudo influir en la alta capacidad antioxidante. Por otra parte en frutos internos se observa una mejor captación en CE de 2 dS m⁻¹ en MC y MC30, esto podría deberse a que tienen un cierto grado de estrés por la poca disponibilidad de luz y en frutos con mayor madurez la captación del radical fue mayor en frutos externos (Grafico A, Figura 2.3).

La capacidad antioxidante decrece cuando la CE aumenta, estadísticamente frutos que se desarrollaron con 1 y 2 dS m⁻¹ fueron mejores a frutos con 3 dS m⁻¹ ($p < 0.05$), mientras que en frutos en MC30 su captación permanece constante con los cambios en CE, esto puede deberse a que los frutos con menor CE desarrollaron estrés nutrimental, promoviendo la síntesis de moléculas para contrarrestar los efectos derivados del estrés. Una comparación de la calidad nutracéutica entre frutos de melón, aplicando el ensayo ABTS, cuyas plantas se fertilizaron con lixiviados de vermicomposta (menor concentración de N, P, K, Ca, y Mg) y solución Steiner 2 dS m⁻¹, se encontraron valores de 5.33 $\mu\text{mol ET g}^{-1}$ y 3.65 $\mu\text{mol ET g}^{-1}$, respectivamente (Preciado-Rangel *et al.*, 2015).

Como ya se había mencionado en frutos MC-E la capacidad antioxidante disminuyó al aumentar la CE. En frutos MC30-E, la capacidad antioxidante fue similar en cada CE. Pero en frutos en MC-I y MC30-I fue mayor con CE de 2 dS m⁻¹, probablemente por la falta de luz solar, en estos bloques se encontró la menor capacidad antioxidante con CE de 1 y 3 dS m⁻¹. En frutos deshidratados por convección en MC-E la captación de radicales ABTS fue mayor en CE de 3 dS m⁻¹, en frutos MC30 la capacidad antioxidante fue mayor con CE de 1 dS m⁻¹. En los frutos en MC-I la captación fue menor mientras disminuía la CE, los frutos en MC30-I no modificaron con el cambio de la CE.

FRAP

En el ensayo FRAP (ferric reducing antioxidant power) los antioxidantes reducen al complejo férrico 2, 4, 6-Tris (2-piridil)-s-triazina al complejo ferroso-(2, 4, 6-tripiridyl-s-triazine).

La capacidad de los frutos de uchuva de reducir el ion férrico en frutos liofilizados fue de 3.34 ± 0.52 a 6.03 ± 0.36 $\mu\text{mol ET g}^{-1}$. En el caso de frutos deshidratados por convección su capacidad fue de 0.93 ± 0.37 a 3.49 ± 0.22 $\mu\text{mol ET g}^{-1}$. Existieron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$). También se determinó la capacidad antioxidante en frutos comerciales deshidratados de uchuva, encontrando valores de 1.27 $\mu\text{mol ET g}^{-1}$ para frutos colombianos y 3.21 $\mu\text{mol ET g}^{-1}$ en frutos peruanos; la capacidad antioxidante de frutos comerciales fue menor a frutos liofilizados, pero es parecido a los frutos de uchuva deshidratados por convección.

La actividad FRAP fue mayor en frutos liofilizados ($p < 0.05$) tal como se muestra en la Figura 2.4 donde la pérdida de capacidad antioxidante en frutos deshidratados por convección fue aproximadamente de 60%. En un estudio realizado en ciruela deshidrata mediante liofilización y secado convectivo, se encontró mayor capacidad antioxidante para los frutos liofilizados tal como ocurrió en este estudio, estos autores argumentan que esta diferencia podría deberse a que los frutos que se deshidrataron por convección estuvieron un periodo prolongado de oxigenación, disminuyendo los compuestos que captan estos radicales (Michalska *et al.*, 2016).

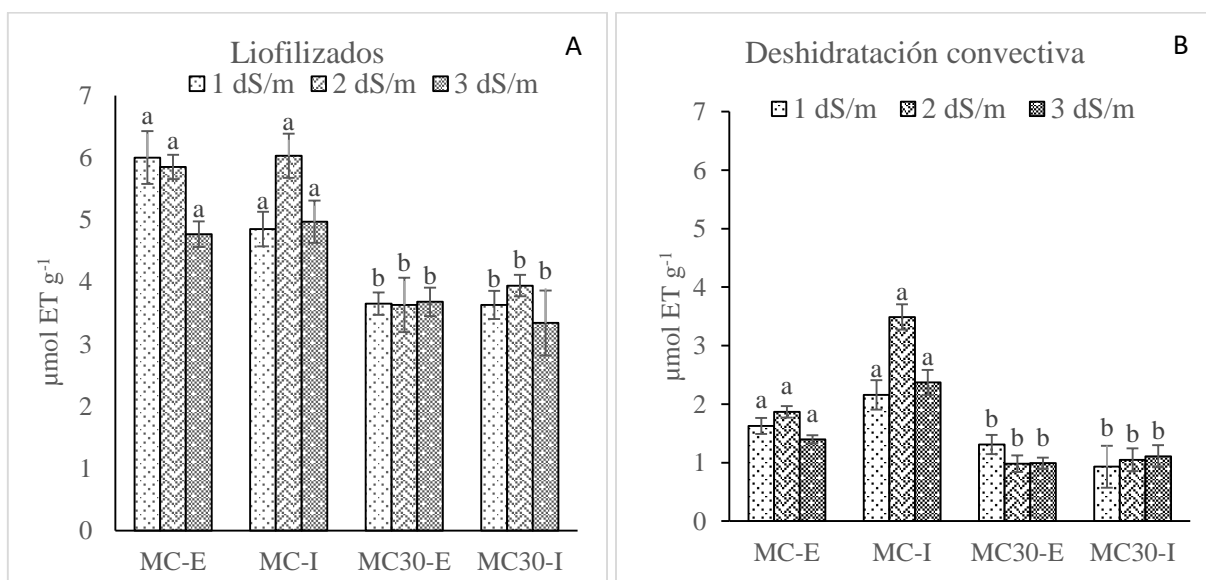


Figura 2. 4. Efecto de la conductividad eléctrica (CE) de solución nutritiva Steiner, posición en el dosel vegetal en diferente etapa de madurez en frutos de uchuva deshidratados en FRAP (ferric reducing antioxidant power). Letras iguales indican que las diferencias no son significativas, $p < 0.05$.

El tratamiento con mayor actividad FRAP fue 2-MC-I con $6.03 \mu\text{mol ET g}^{-1}$ (Figura 2.4), seguido de 1-MC-E con un valor de $6.0 \mu\text{mol TE g}^{-1}$, estos bloques no presentaron diferencias significativas. Por otra parte, los frutos en MC30 tuvieron los valores más bajos ($3.65 \mu\text{mol ET g}^{-1}$), valores similares ($3.45 \mu\text{mol ET g}^{-1}$) fueron encontrados en frutos de uchuva (Corrales-Bernal *et al.*, 2015).

En la Figura 2.4 se aprecia que frutos en MC tienen mayor capacidad antioxidante tanto en frutos externos como en los internos y para ambos métodos de deshidratación, ya que los frutos que fueron cosechados en MC30 disminuyeron aproximadamente un 35% su actividad antioxidante, tal como ocurrió en la concentración de flavonoides y DPPH.

Frutos en MC y en MC30 no se observa diferencias significativas cuando los frutos están en la parte externa y en la parte interna del dosel vegetal en frutos liofilizados y deshidratados por convección, los frutos sobre maduros presentan la actividad antioxidante más baja con 0.93 a $1.33 \mu\text{mol ET g}^{-1}$.

Como se muestra en la Figura 2.4 los frutos en MC y MC30 presentaron diferencias significativas por efecto de la CE. Para frutos en MC y MC30, en estos últimos los valores de FRAP fueron la mitad de lo obtenido en frutos de MC.

En un estudio realizado por Shofian *et al.* (2011) reportaron que la sandía y el melón tienen capacidad antioxidante alrededor de $5 \mu\text{mol ET g}^{-1}$ valores similares a los obtenidos en frutos de uchuva de este estudio, pero otros frutos como la carambola, mango y papaya su capacidad antioxidante es mayor ($10 \mu\text{mol ET g}^{-1}$).

Por otra parte, se han reportado valores muy altos en la capacidad de reducción del ion férrico en frutos de uchuva deshidratada (por aire a 50°C) con $544.8 \mu\text{mol ET g}^{-1}$ (López *et al.*, 2013), esto podría deberse al método de extracción para realizar las pruebas de antioxidantes además de otros factores como el tipo de cultivar, clima en que se desarrollaron, características del sustrato o propiedades de suelo utilizado en el experimento y nutrición.

DPPH

Para este ensayo los frutos liofilizados presentaron valores en el intervalo de 3.64 ± 0.18 a $8.58 \pm 0.12 \mu\text{mol ET g}^{-1}$, mientras que los frutos deshidratados por convección la captación de este radical estuvo en el intervalo de 2.13 ± 0.03 a $8.60 \pm 0.75 \mu\text{mol ET g}^{-1}$. La capacidad

antioxidante en las marcas comerciales de frutos de uchuva deshidratada fueron de $1.67 \mu\text{mol ET g}^{-1}$ y $5.16 \mu\text{mol ET g}^{-1}$ en frutos colombianos y peruanos, respectivamente.

En la Figura 2.5 se muestra el comportamiento de los frutos de uchuva deshidratados al medir su capacidad para captar el radical libre DPPH. El mejor tratamiento para este ensayo se presentó en 2-MC-1, seguido de 2-MC-E con 8.58 y $5.41 \mu\text{mol ET g}^{-1}$ respectivamente.

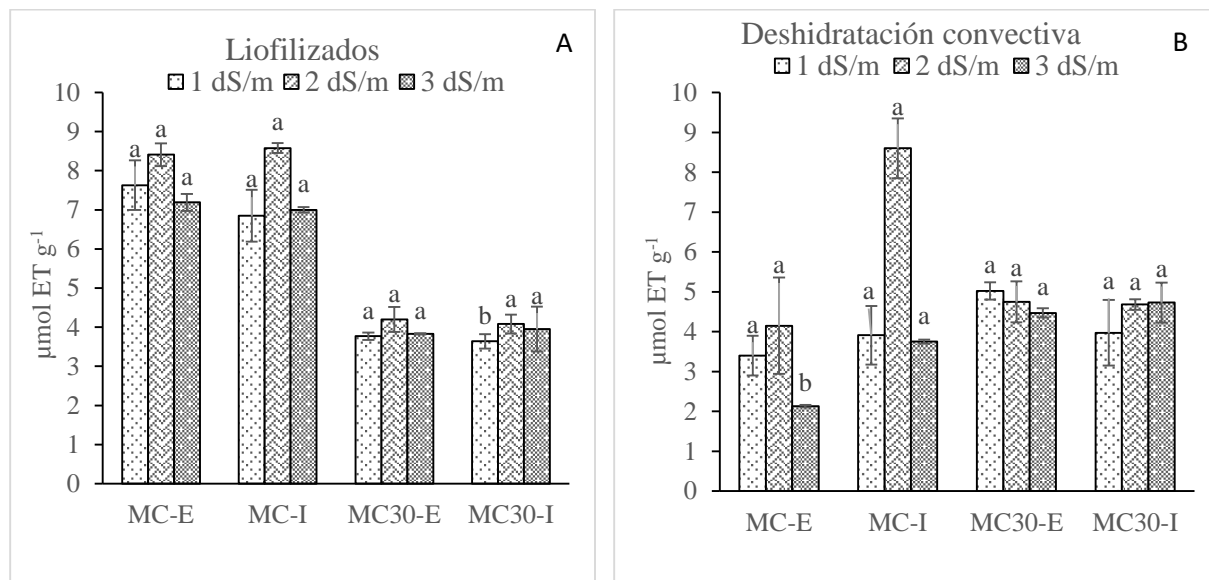


Figura 2. 5. Captación del radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) por efecto de la conductividad eléctrica (CE) de solución nutritiva Steiner, posición en el dosel vegetal y etapa de madurez en frutos de uchuva deshidratados. Letras iguales indican que las diferencias no son significativas, $p < 0.05$).

Se observa una gran diferencia en la actividad antioxidante respecto a la madurez de los frutos, En frutos liofilizados cosechados en la parte externa del dosel vegetal. La captación del radical DPPH fue mayor en frutos en MC (aproximadamente 49%) que en frutos cosechados 30 días después de su madurez comercial. Mier y Caez (2011) encontró que al medir DPPH en frutos de uchuva la capacidad antioxidante incrementa conforme llegan a su madurez comercial, pero no se han reportado estudios donde se mida la actividad antioxidante en frutos sobre maduros. En frutos deshidratados por convección en MC30 la captación de DPPH conservó en mayor medida su actividad antioxidante que los frutos en MC, los frutos en MC fueron afectados en mayor medida cuando son deshidratados por procesos térmicos.

En frutos externos con MC30-I la captación del radical DPPH fue mayor con CE de 2 y 3 dS m^{-1} , que cuando la CE es de 1 dS m^{-1} .

La capacidad antioxidante en frutos liofilizados en MC no mostró diferencia entre frutos externos e internos en la captación del radical DPPH. Los frutos internos deshidratados por

convección tuvieron mayor capacidad antioxidante (2-MC-I), tal vez debido a algún error durante su determinación, aunque se observó una clara disminución de la captación de este radical cuando los frutos son deshidratados por métodos térmicos.

Para frutos liofilizados la mayor capacidad antioxidante se presentó para los tratamientos con CE de 2 dS m⁻¹; cuando la CE se encontraba en 1 y 3 dS m⁻¹ la captación del radical DPPH no mostró diferencias tanto en frutos en MC y en MC30.

Los frutos en MC-E y MC-I con deshidratación convectiva tuvieron una mejor captación del radical DPPH con CE de 2 dS m⁻¹, la capacidad antioxidante en frutos en MC30-E disminuyó cuando la CE incrementó y, finalmente, los frutos en MC30-I fueron mejores con CE de 2 y 3 dS m⁻¹.

Restrepo (2008) encontró valores de 2.10 μmol ET g⁻¹, valor similar a los obtenidos en frutos deshidratados por convección. Como se muestra en la Figura 2.5 los frutos liofilizados presentan una mayor capacidad antioxidante, cuando se aplica el ensayo DPPH, que los frutos deshidratados por secado convectivo. Valdenegro *et al.* (2013) observaron tendencias similares al determinar DPPH en frutos de uchuva liofilizados y secados en horno.

Se han reportado valores de DPPH de 2.10 y 1.92 μmol ET g⁻¹, estos valores están por debajo a los que se obtuvieron en esta investigación, Ozturk *et al.* (2007) encontró valores similares al determinar la capacidad antioxidante de 6 accesiones de uchuva colectadas en diferentes lugares de Turquía obteniendo valores entre 5.14 y 6.04 μmol ET g⁻¹, Izli *et al.* (2014) reportaron valores de 11.49, 12.48, 11.76 y 12.76 μmol ET g⁻¹ en frutos sometidos a secado a diferentes temperaturas (75 y 100 a 160 W, cada una). Este mismo autor encontró una correlación de la actividad antioxidante con el contenido de fenoles, sugiriendo que la disminución de la capacidad antioxidante de los frutos de uchuva se debe a la degradación de compuestos fenólicos. López *et al.* (2013) reportó valores de 295 μmol ET g⁻¹ en frutos de uchuva deshidratados por aire a 50 °C.

CONCLUSIONES

El método de deshidratación afectó la concentración de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en los frutos de uchuva, siendo mejor al ser liofilizados ($p < 0.05$).

Los frutos en madurez comercial (MC) presentaron una mayor concentración de flavonoides y capacidad antioxidante por los ensayos FRAP y DPPH. La concentración de compuestos fenólicos fue mayor para frutos en madurez comercial más 30 días.

La posición de los frutos no afectó la capacidad antioxidante.

La conductividad eléctrica afectó la concentración de flavonoides y capacidad antioxidante aplicando los ensayos ABTS y DPPH teniendo diferente respuesta en cada tratamiento. La CE no afectó el contenido de fenoles totales y FRAP.

El contenido de antioxidantes fue diferente entre las dos marcas de frutos comerciales, la actividad antioxidante fue mejor para frutos peruanos. En frutos comerciales el contenido de flavonoides fue mejor a lo obtenido en este estudio. Respecto a la concentración de fenoles fue ligeramente mayor en frutos peruanos.

En general la capacidad antioxidante de los frutos colombianos y peruanos fue menor a lo obtenido en frutos liofilizados. Los frutos peruanos fueron similares a frutos deshidratados por convección.

BIBLIOGRAFÍA

Areiza-Mazo, N., Maldonado, M. y Rojano, B. 2013. Extracto acuoso de uchuva (*Physalis peruviana*): actividades antiproliferativa, apoptotic y antioxidante. *Perspectivas en Nutrición Humana* 15(1):41-55

Benzie, I. F. F. and Strain, J. J. 1996. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry* 239: 70-76.

Bravo, K., Sepulveda-Ortega, S., Lara-Guman, O., Navas-Arboleda, A. y Osorio, E. 2015. Influence of cultivar and ripening time on bioactive compounds and antioxidant properties in Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95:1562-1569.

Carvajal de Pabón, L., Yahia, E., Cartagena, R., Peláez, C., Gaviria, C. y Rojano, B. 2012. Cacacidad antioxidante de dos variedades de *Fragaria x ananassa* (Weston) Duchesne (fresa) sometida a variaciones en la nutrición. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 17(1):37-53.

Chang, S., Alasalvar, C. and Shahidi, F. 2016. Review of dried fruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health benefits. *Journal of functional foods*, 21:113-132.

Ciurzynka, A. y Lenart A. 2011. Free-Drying-Application in Food processing and Biotechnology-A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 61(3):165-171.

Corrales-Bernal A., Vergara A., Rojano B., Yahia E. y Maldonado. 2015. Características nutricionales y antioxidantes de la uchuva colombiana (*Physalis peruviana* L.) en tres estadios de maduración. *Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición* 65(4):254-262.

Cortés, G., Prieto, G. y Rozo, W. 2015 Caracterización bromatológica y fisicoquímica de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) y su posible aplicación como alimento nutraceutico. *Revista Ciencia en Desarrollo* 6(1):87-97.

Duque, A. L., Giraldo, G. A., Quintero V. D. 2011. Caracterización de la fruta, pulpa y concentración de uchuva (*Physalis puruviana* L.). *Temas Agrarios* 16(1): 75-83.

Duque A., Villamizar, R. y Giraldo, G. 2011. Evaluación de las técnicas de secado de uchuva (*Physalis peruviana* L.) y mora (*Rubus glaucus*) con aire caliente y aire caliente-microondas. Revista Tumbaga 6:17-28

Etzbach, L. Pfeiffer, A., Weber, F. Schieber, A. 2018. Characterization of carotenoid profiles in goldenberry (*Physalis peruviana* L.) fruits at various ripening stages and in different plant tissues by HPLC-DAD-APCI-MSⁿ. Food Chemistry, 245:508-517.

Fawzy, M. 2011. Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*): An overview. Food Research International, 44:1830-1836.

Gupta, D. 2015. Methods for determination of antioxidant capacity: A review. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research 6(2):546-566.

Hung P. y Duy T. 2012. Effects of drying methods on bioactive compounds of vegetables and correlation between bioactive compounds and their antioxidants. International Food Research Journal 19(1):327-332.

Izli, N., Yildiz, G., Unal, H., Isik, E. y Uylaser, V. 2014. Effect of different drying methods on drying characteristics, color total phenolic content and antioxidant capacity of Goldenberry (*Physalis peruviana* L.). International Journal of Food Science and Technology 49:9-17.

Kamiloglu, S., Toydemir, G., Boyacioglu, D., Beekwilder, J., Hall, R. and Capanoglu, E. 2016. A review on the effect of drying on antioxidant potential of fruit and vegetables. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 56:S110-S129.

Kubola, J. & Siriamornpun, S. 2011. Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril and seed) of Thai gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng). Food Chemistry 127: 1138-114.

Leites, C., Deyse, P. y Ferreira, L. 2015. Osmotic dehydration of physalis (*Physalis peruviana* L.): Evaluation of water loss and sucrose incorporation and the quantification of carotenoids. Foods Science and Technology 63: 1128-1136.

Leites, C. y Deyse, P. 2015. Short Communication: Osmotic Dehydration of Physalis-Influence of Ultrasound Pretreatment. *Food Engineering Reviews* 7: 193-197.

López, J., Vega-Gálvez, A., Torres, M., Lemus-Mondaca, I. y Di, K. 2013. Effect of dehydration temperature on physic-chemical properties and antioxidant capacity of goldenberry (*Physalis peruviana* L.). *Chilean Journal of Agricultural Research* 73(3): 293-300.

Michalska, A., Wojdylo, A., Lech, K., Lysiak, G. y Figiel, A. 2016. Physicochemical properties of whole fruit plum powders obtained using different drying technologies. *Food Chemistry* 207:223-232.

Mier, H. y Cáez, G. 2011. Contenido de polifenoles, carotenoides y capacidad antioxidante en frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en relación a su estado de maduración. *Revisiones de la Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos* 11(1b): 103-115.

Nunes, J., Lago, M., Castelo-Branco, V., Olvera, F., Gudes, A., Perrone, D. y Monteiro, M. 2016. Effect of drying method on volatile compounds, phenolic profile and antioxidant capacity of guava powders. *Food Chemistry* 197:881-890.

Olivoto, T., Nardino, M., Carvalho, I., Follmann, D., Szareski, J., Ferrari, M., Pelegrin, A. y Souza, V. 2017. Plant secondary metabolites and its dynamical systems of induction in response to environmental factors: A review. *African Journal of Agricultural Research* 12(2): 71-84.

Ozturk, A., Özdemir, Y., Albayrak, B., Simsek, M. y Yildirim, K. 2017. Some nutrient characteristics of Goldenberry (*Physalis peruviana* L.) cultivar candidate from Turkey. *Scientific Papers. Series B, Horticulture* LXI:293-297.

Pisoschi, A., Pop, A., Cimpeanu, C. y Predoi, G. 2016. Antioxidant capacity determination in plants and plant-derived products: A review. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016:1-36.

Pokorny, J., Yanishlieva, N. and Gordon, M. 2003. *Antioxidants in food*. CRC Press. Cambridge England.1, pp 29.

Preciado-Rangel, P., García-Villela, K., Fortis-Hernández, M., Trejo, R., Rueda, E. y Esparzarivera, J. 2015. Nutraceutical quality of cantaloupe melón fruit produced under fertilization with organic nutrient solution. *Ciencia e Investigación Agraria* 42(3):475-481.

Puente, L., Pinto-Muñoz, C., Castro, E. y Cortés, M. 2010. *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of highly functional fruit: A review. *Food Research International* 44: 1733-1740.

R version 3.4.3. The R Project for Statistical Computing. Vienna Austria.

Ramadan, M., El-Ghorab, A. y Ghanem, K. 2015. Volatile compounds, antioxidants, and anticancer activities of Cape gooseberry fruit (*Physalis peruviana* L.): an in-vitro study. *Journal of the Arab Society for Medical Research* 10:56-64.

Restrepo, A. 2008. Nuevas perspectivas de consumo de frutas: Uchuva (*Physalis peruviana* L.) y Fresa (*Fragaria vesca* L.) mínimamente procesadas fortificadas con vitamina E. Tesis Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 109 p.

Sathyadevi, M. y Subramanian, S. 2015. Extraction, isolation and characterization of bioactive flavonoids from the fruits of *Physalis peruviana* linn extract. *Asian Journal of pharmaceutical and clinical research*, 8(1):152-157.

Singleton, V. L. & Rossi, J. A. 1965. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16: 144-158.

Sheng-Tao, F. y Ji-KaiL. 2012. Ten new whitanolides from *Physalis peruviana*. *Steroids* 77: 36-44.

Shofian N., Hamid, A., Osmá, A., Saari, N., Anwar, F., Par, M. and Hairuddin, M. 2011. Effect of freeze-drying on the antioxidant compounds and antioxidant activity of selected tropical fruits. *International Journal of Molecular Sciences* 12:4678-4692.

Valdenegro, M., Fuentes, L., Herrera, R., Moya-Leon, A. 2012. Changes in antioxidant capacity during development and ripening of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) fruit and response to 1-methylcyclopropene treatment. *Phosharvest Biology and Technology* 67:110-117.

Valdenegro, M., Almonacid, S., Henriquez, C. Fuentes, L. y Simpson, R. 2013. The effects of drying processes on organoleptic characteristics and the health quality of food ingredients obtained from goldenberry fruits (*Physalis peruviana*).

Wisutiamonkul, A., Ampomah-Dwamena, C., Allan, A. y Ketsa, S. 2017. Carotenoid accumulation in durian (*Durio zibethinus*) fruit is affected by ethylene via modulation of carotenoid pathway gene expression. *Plant Physiology and Biochemistry* 115:308-319.