



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

ÁREA ACADÉMICA DE QUÍMICA

“EFECTO DE LAS CONDICIONES DE SECADO EN PAPA
ROJA (*OXALIS TUBEROSA* MOL.) SOBRE SU CAPACIDAD
ANTIOXIDANTE”

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN QUÍMICA EN ALIMENTOS

PRESENTA

ILSE MONROY RODRÍGUEZ

ASESORES

DR. JUAN PABLO HERNÁNDEZ URIBE

DRA. ALMA DELIA ROMÁN GUTIÉRREZ

DRA. FABIOLA ARACELI GUZMÁN ORTÍZ



M. en A. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO
DIRECTOR DE CONTROL ESCOLAR
DE LA U.A.E.H.
Presente:

Por este conducto le comunico que el jurado asignado al pasante de la Licenciatura de Química en Alimentos **Ilse Monroy Rodríguez**, quien presenta el trabajo de investigación "**Efecto de las condiciones de secado en papa roja (*Oxalis tuberosa mol*) sobre su capacidad antioxidante**", después de revisar el trabajo en reunión de Sinodales, estos han decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del Jurado:

Presidente	Dr. Juan Pablo Hernández Uribe
Secretario	Dr. Apolonio Vargas Torres
Primer vocal	Dra. Alma Delia Román Gutiérrez
Segundo vocal	Dra. Fabiola Araceli Guzmán Ortiz
Tercer vocal	Dr. Javier Castro Rojas
Primer suplente	Dr. Juan Homero Roldan Rojas
Segundo suplente	Dra. Heidi María Palma Rodríguez

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
 "Amor, Orden y Progreso"
 Mineral de la Reforma, Hidalgo, 17 de Octubre de 2016

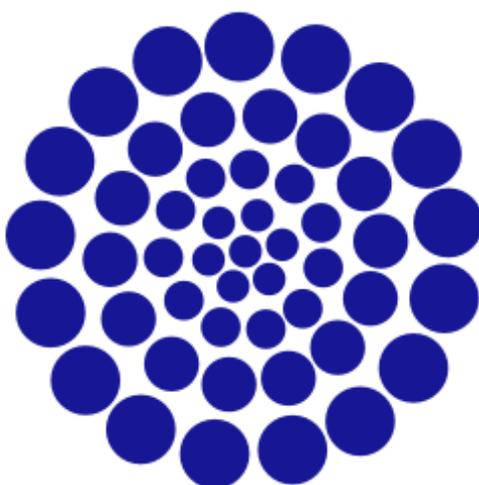
Dra. María Luísa Soares da Silva
 Coordinadora Adjunta
 Licenciatura en Química de Alimentos



Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
Área Académica de Química

Ciudad del Conocimiento
 Carretera Pachuca - Tulancingo km. 4.5
 Colonia Carboneras
 Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42184
 Tel. +52 771 7172000 exts. 2200 y 2201, Fax 6502
 aaq_icbi@uaeh.edu.mx





CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Este trabajo fue realizado en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos II del Área Académica de Química (AAQ) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) bajo la dirección del Dr. Juan Pablo Hernández Uribe y co-dirección de la Dra. Alma Delia Román Gutiérrez y la Dra. Fabiola Araceli Gúzman Ortíz.

El trabajo de investigación fue realizado gracias al financiamiento y beca otorgada a la alumna Ilse Monroy Rodríguez (Folio: Beca-221902-24446-1861) por el Proyecto CONACYT Cb-2013-01-221902 “Extracción y caracterización de polisacáridos y componentes bioactivos de la Oca (*Oxalis tuberosa*) para su aplicación en el desarrollo de alimentos funcionales”.

CONGRESOS

Parte de los resultados obtenidos en este trabajo de investigación fueron presentados en el segundo Congreso Internacional de Alimentos Funcionales y Nutraceuticos 2016 llevado a cabo en Querétaro, Querétaro y en el Food and Biotechnology International Congress 2016 llevado a cabo en Pachuca, Hidalgo.



DEDICATORIA

*A Díos,
A Emmanuel y Emílíano.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por todas las bendiciones recibidas en mi vida, por las personas que puso en mi camino, por mi familia y la oportunidad de vida de haber terminado una carrera profesional.

A mi madre, Guillermina, por creer en mí, apoyarme incondicionalmente y querer lo mejor para mí.

A mis padre, Leonel, por su cariño, su apoyo y cuidar de mí en todo momento.

A mis hermanos, Leonel, Diana y Valeria, por formar parte de mí equipo de vida.

A Gibran, por ser mi compañero de vida y cómplice de todas mis aventuras, porque desde hace tiempo mis logros son tus logros y tus logros son los míos. Te amo.

A Emmanuel, por llegar a mi vida y llenarla de alegría, por todo lo que me has enseñado y por todo tu amor, te amo hijo.

A Emiliano, por ser ese impulso de energía que tanto necesito todos mis días, por llenar nuestras vidas de luz, porque tú y tu hermano son mi más grande motivación. Te amo.

A la Dra. Alma Delia Román Gutiérrez, no sólo por su aportación en este trabajo, sino por todos sus consejos y por cuidar del bienestar e intereses de todos sus alumnos y sobre todo le agradezco mucho su amistad.

A la Dra. Fabiola Araceli Guzmán Ortiz, por su paciencia, sus consejos, asesorías y por siempre tener la mejor disposición para apoyarme, le agradezco mucho el tiempo extra que se tomaba para esperar a que terminara mis experimentos, también agradezco mucho su amistad.

Al Dr. Juan Pablo Hernández Uribe, por permitirme formar parte de su proyecto de investigación y por todo su apoyo. Gracias.

A todos mis profesores, cuerpo académico de la Lic. Química en Alimentos, por ser un gran ejemplo para todos nosotros; sus alumnos y por todas sus enseñanzas. Gracias.

A mis amigos de la Universidad y compañeros de laboratorio por hacer de mi estancia en la Universidad muy agradable y por todo su apoyo. Les deseo muchos éxitos en su vida profesional y personal.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
NOMENCLATURA.....	11
1.0 RESUMEN.....	13
2.0 INTRODUCCIÓN.....	15
3.0 ANTECEDENTES	16
3.1.0 PAPA ROJA (<i>Oxalis tuberosa mol.</i>)	16
3.1.1 CLASIFICACIÓN BOTÁNICA	17
3.1.2 MORFOLOGÍA.....	18
3.1.3 CULTIVO DE PAPA ROJA EN EL MUNDO	19
3.1.4 IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA PAPA (COMÚN)	19
3.1.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA	20
3.2.0 METABOLITOS SECUNDARIOS	21
3.3.0 ANTOCIANINAS	23
3.3.1 MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DE ANTOCIANINAS.....	25
3.3.2 EL EFECTO TÉRMICO SOBRE LA ESTABILIDAD DE LAS ANTOCIANINAS.....	26
3.4.0 COMPUESTOS FENÓLICOS.....	27
3.4.1 MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE FENOLES.....	27
3.4.2 EL EFECTO TÉRMICO SOBRE LA ESTABILIDAD DE LOS FENOLES.....	28
3.5.0 ANTIOXIDANTES.....	29
3.5.1 FUNCIONALIDAD DE LOS COMPUESTOS ANTIOXIDANTES.....	29
3.5.2 ALIMENTOS COMO FUENTES DE ANTIOXIDANTES.....	30
3.5.3 MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE.....	31
3.5.4 FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LOS ANTIOXIDANTES	34
3.6.0 SECADO O DESHIDRATACIÓN COMO MÉTODO DE CONSERVACIÓN	35
3.6.1 TRATAMIENTOS DE SECADO EN ALIMENTOS.....	36

3.6.2 MÉTODOS DE DESHIDRATACIÓN EN FRUTAS Y HORTALIZAS CON AIRE CALIENTE.....	37
3.7.0 DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LOS ALIMENTOS.....	40
3.8.0 ACTIVIDAD DE AGUA.....	41
3.9.0 TRANSFERENCIA DE CALOR.....	42
3.10.0 VELOCIDAD DE SECADO.....	43
3.10.1 CINÉTICA DE SECADO.....	44
4.0 OBJETIVO GENERAL.....	46
5.0 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	46
6.0 MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
6.1.0 SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	48
6.2.0 DETERMINACIÓN INICIAL DE HUMEDAD TOTAL.....	49
6.3.0 CINÉTICA DE SECADO.....	49
6.3.1 MODELADO DE LAS CURVAS DE SECADO EN PAPA ROJA.....	50
6.3.2 CÁLCULO DE VELOCIDAD DE SECADO EN PAPA ROJA.....	50
6.3.3 COEFICIENTE DE DIFUSIÓN EFECTIVA DEL AGUA (D_{EFW}).....	52
6.3.4 ENERGÍA DE ACTIVACIÓN.....	52
6.4.0 DETERMINACIÓN DE ANTOCIANINAS MONOMÉRICAS TOTALES.....	53
6.5.0 DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES.....	54
6.6.0 DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE POR DPPH (2,2' - diphenyl-1-picrylhydrazyl).....	56
6.7.0 DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE POR ABTS• + (2,2 azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico).....	57
6.8.0 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PLASMÁTICA DE REDUCCIÓN DE HIERRO (FRAP).....	59
6.9.0 DETERMINACIÓN DE COLOR EN MUESTRAS SECAS.....	60
7.0 RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	61
7.1.0 OBTENCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	61
7.2.0 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD TOTAL.....	62

7.2.1 CINÉTICAS DE SECADO	63
7.2.2 CONTENIDO ADIMENSIONAL DE HUMEDAD (E) EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DE SECADO.....	64
7.2.3 VELOCIDAD DE SECADO DE LA PAPA ROJA.....	66
7.2.4 DIFUSIVIDAD EFECTIVA DEL AGUA Y ENERGÍA DE ACTIVACIÓN DE LA PAPA ROJA	67
7.3.0 DETERMINACIÓN DE ANTOCIANINAS	72
7.4.0 DETERMINACIÓN DE FENOLES TOTALES	74
7.5.0 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE	77
7.6.0 MEDICIÓN DE COLOR	81
8.0 CONCLUSIONES	83
9. SITIOS DE CONSULTA.....	84
10. BIBLIOGRAFÍA	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Comparación de las diversas variedades de oca criolla y doméstica localizadas en sur América.	16
2. Clasificación de metabolitos secundarios en base a su composición química.	23
3. Estructura y sustituyentes de las antocianinas	24
4. Expresión matemática de la actividad de agua	42
5. Diagrama de proceso del presente trabajo de investigación	48
6. Rodajas de papa roja antes del secado	49
7. Rodajas de papa roja después del proceso de secado	50
8. Diferentes tamaños de muestra de oca	63
9. Pérdida de peso (g de agua) de papa roja en función del tiempo para cada temperatura de secado	64
10. Contenido adimensional de humedad (E) de papa roja calculado en función de la temperatura de secado	66
11. Representación gráfica del logaritmo natural del contenido adimensional de humedad (E) del papa rojo calculado en función de la temperatura de secado	67
12. Velocidad de secado de papa roja calculada de la cinética de secado a 30°C	70
13. Velocidad de secado de papa roja calculada de la cinética de secado a 45°C	71
14. Velocidad de secado de papa roja calculada de la cinética de secado a 60°C	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas	Página
1. Taxonomía de la oca (<i>Oxalis tuberosa</i> mol.)	17
2. Composición de la oca	21
3. Agliconas, substituyentes y longitud de onda máxima en función de la coloración en antocianinas	25
4. Métodos de determinación de antocianinas	26
5. Actividad de agua (Aw) mínima requerida para el crecimiento de microorganismos	43
6. Dimensiones y peso de oca	62
7. Contenido de antocianinas en oca fresca y deshidratada	74
8. Contenido de Fenoles totales en oca (<i>Oxalis tuberosa</i> mol.)	75
9. Resultados de los ensayos de actividad antioxidante	80
10. Resultados del color en base al sistema CIE L*A*B* expresados como ΔE en Oca	83

NOMENCLATURA

Símbolo	Nombre	Unidades
A_w	Actividad de agua	
P	Presión parcial del vapor de agua	Pa
P_0	Presión del vapor de saturación del agua pura	Pa
HRE	Humedad relativa en equilibrio	%
E	Contenido adimensional de humedad	
L	Espesor de laplaca	cm
X_0	Contenido inicial de humedad	g agua/ g sólidos secos
Xequilibrio	Contenido de humedad en equilibrio	g agua/ g sólidos secos
Defw	Coeficiente de difusión efectiva	cm ² /s
Π	Pi	
M	Pendiente	
E_a	Energía de activación	KJ/mol
T	Temperatura	°C
R	Constante universal de los gases	KJ/mol
%H ₂ O	Contenido de humedad en porcentaje	%
P_i	Peso inicial	g
P_2	Peso final	g
A	Área	cm ²
r^2	Radio elevado al cuadrado	cm
%SS	Porcentaje de sólidos secos	%
P_{ss}	Peso de los sólidos secos	g
HX	Humedad en exceso	
HXequilibrio	Humedad en equilibrio	g agua/ g sólidos secos
R	Velocidad de secado	g agua/ cm ² s
W_{ss}	Masa del sólido seco	g sólido seco
X_{x_1}	Humedad libre en el tiempo 1	g agua/ g sólidos secos
X_{x_2}	Humedad libre en el tiempo 2	g agua/ g sólidos secos
t_{x_1}	Tiempo 1	s
t_{x_2}	Tiempo 2	s

1.0 RESUMEN

La papa roja u oca (*Oxalis tuberosa* mol.) es un tubérculo nativo de la zona de los andes que ha sido exportado en los últimos años en diferentes países, entre ellos México. Diferentes autores han reportado concentraciones considerables de compuestos fenólicos en oca y especies vegetales similares, a los cuales se atribuye actividad antioxidante.

Debido a que su cultivo es de temporada, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de un tratamiento de deshidratación en estufa con recirculación de aire a diferentes temperaturas (30, 45 y 60°C) sobre la estabilidad de los compuestos bioactivos (fenoles y antocianinas) en papa roja (*Oxalis tuberosa* mol.). El propósito de deshidratar la papa roja, es para facilitar su incorporación a alimentos procesados además de las ventajas que los alimentos secos tienen como; mayor vida de anaquel, disminución de tamaño y facilitar el almacenamiento. En cuanto a los métodos empleados en el presente estudio, los resultados del tratamiento de secado fueron descritos con base a las cinéticas de secado de la segunda ley de Fick, con el propósito de tener mayor control en el proceso de secado. En la determinación de antocianinas monoméricas totales y fenoles totales fueron empleados los métodos espectrofotométricos de diferencial de pH y método de Folin-Ciocalteu respectivamente, por otra parte, la actividad antioxidante fue determinada por los ensayos 2,2-bis-azino-ácido-3-etilbenzotiazolona-6-sulfónico (ABTS), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) y el ensayo de habilidad plasmática de reducción de hierro (FRAP). Los resultados en las muestras deshidratadas a 30°C, 45°C y 60°C fueron comparados con lo obtenido en la muestra de papa roja fresca. La humedad total inicial del producto fue de 85.83% \pm 0.01, la humedad al equilibrio en la papa deshidratada a 30, 45 y 65°C fueron de 10.9%, 10.7% y 10.5%, El coeficiente de difusión de agua a 30°C, 45°C y 60°C fue de; 6.41 E⁻⁹, 1.98 E⁻⁸ y 2.91 E⁻⁸ (cm²/min) Los resultados de la energía de activación fueron; 0.22 KJ/mol, 0.08 KJ/mol y 0.1 KJ/mol para 30°C, 45°C y 60°C, respectivamente, al aumentar la temperatura del proceso de deshidratación la energía de activación disminuye y esto a su vez se ve reflejado en el aumento de velocidad de secado.

Respecto a la concentración de compuestos bioactivos, el contenido de antocianinas monoméricas totales no presentó cambios significativos ($p < 0.05$) entre las muestras deshidratadas y la muestra fresca cuya concentración fue de 42.81 ± 2.38 (mg de Cianidina 3-glucosida en 100g de muestra, base seca).

Por otra parte lo que se vio más afectado fue la estabilidad de los compuestos fenólicos al disminuir 16.9%, 22.0% y 36.4% respectivamente en comparación con la concentración de fenoles de la papa roja fresca (470.10 ± 13.96 mg de ácido gálico en 100g de muestra, base seca), la pérdida de fenoles tuvo mayor efecto en el rendimiento de actividad antioxidante determinada por los tres ensayos según el análisis de correlación de pearson (ABTS $r=0.89$ $p < 0.001$, DPPH $r=0.85$ $p < 0.001$ y FRAP $r=0.85$ $p < 0.001$).

La actividad antioxidante determinada por el ensayo ABTS disminuyó 19.5% a 30°C, 85.2% a 45°C y 91.4% a 60°C respecto a la concentración del producto fresco (3.85 ± 0.076 $\mu\text{mol Trolox/g}$ muestra, base seca), según los resultados de los ensayos DPPH disminuyó 58.6% y 37.1% según el ensayo FRAP respecto a la concentración en el producto fresco (103.57 ± 8.35 $\mu\text{mol Trolox/g}$ muestra y 1590 ± 36.4 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$ muestra, base seca). El incremento de temperatura se considera como un factor crítico para la conservación de compuestos antioxidantes en oca secada en estufa con recirculado de aire.

2.0 INTRODUCCIÓN

Oxalis tuberosa mol. conocida en su zona nativa como oca y en México como papa roja o papa ratona representa una rica fuente de antioxidantes por lo que podría considerarse como una excelente opción de alimento a incorporarse en la dieta habitual de los mexicanos, debido a las ventajas que su cultivo tiene; por ser una planta resistente a plagas, cambios climáticos y excelente rendimiento a diferencia de otros tubérculos. Las propiedades funcionales de los antioxidantes podrían prevenir muchas enfermedades crónicas degenerativas no transmisibles, que son uno de los principales problemas de salud pública.

Además, al igual que otros tubérculos, la papa roja representa una fuente rica de carbohidratos (13.8–85.2 g/100 g de materia seca M.S.) dentro de los cuales cabe destacar la presencia de almidón, por la relevancia tecnológica que éste tiene al ser incorporado en alimentos industrializados, también contiene una concentración considerable de calcio (40–247 ppm M.S.) y hierro (8–49 ppm M.S.), el objeto de estudio del presente trabajo es cuantificar los compuestos bioactivos mayoritarios que han sido reportados en otros proyectos de investigación (fenoles y antocianinas), y correlacionar su concentración con la actividad antioxidante, además de analizar su comportamiento al someter este producto a un tratamiento de deshidratación, el cual es considerado un método de conservación efectivo que facilitaría su incorporación a diferentes productos alimenticios enriqueciendo y mejorando sus propiedades funcionales o con fines tecnológicos como aumento de rendimiento o efecto conservador al introducir compuestos antioxidantes que retardan la degradación química del alimento. A pesar de que existan estudios previos que hayan reportado el contenido de compuestos bioactivos en papa roja, estos resultados pueden variar dependiendo de las condiciones de cultivo, por lo que podría haber variaciones significativas cuando un producto se cultiva en una zona geográfica diferente aun tratándose de la misma especie y variedad.

La relevancia de analizar el comportamiento o estabilidad de un compuesto en alimentos sometido a diferentes procesos, se debe al cambio que podría tener su composición química, lo que demeritaría o mejoraría su calidad nutricional y funcional.

3.0 ANTECEDENTES

3.1.0 OCA (*Oxalis tuberosa* mol.)

La oca o papa roja (*Oxalis tuberosa*) es una planta herbácea perenne, con tallo erguido en las primeras fases de desarrollo que pasa a postrarse más adelante, a medida que madura. Se cultiva por su crujiente raíz comestible, donde la planta almacena almidón durante el invierno o en los períodos fríos en que no está creciendo. La multiplicación vegetativa de la acederilla se lleva a cabo por medio de esquejes o a través de sus tubérculos. Los tubérculos tienen forma elíptica o cilíndrica que pueden ser de color blanco, amarillo, rojo y púrpura. Su longitud varía entre 5 y 7.5 cm y diámetro, entre 2.5 y 3.75 cm. Como puede observarse en la Figura 1, existe una diversidad de colores y tamaños entre las variedades de oca (Recuperado el 15 de enero del 2016 de: <http://www.fao.org/traditional-crops/oca/es/>).

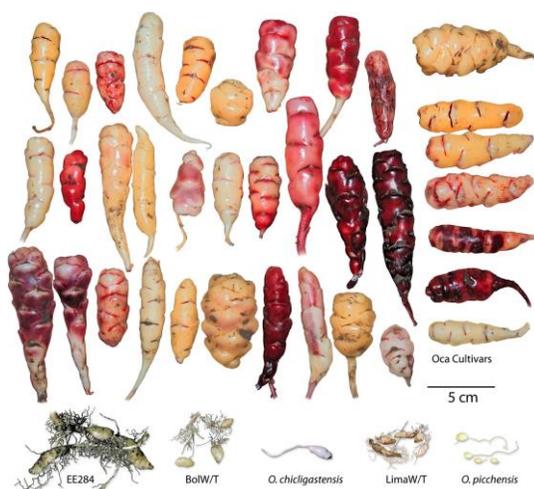


Figura 1. Comparación de las diversas variedades de oca criolla y doméstica localizadas en sur América. (Emshwiller, *et al.*, 2009)

La papa roja, también nombrada oca u papa ratona, crece en los países de Sudamérica como Ecuador, Perú y Bolivia, aunque también puede llegar a estar presente en Chile, Argentina, Colombia y Venezuela, el cultivo de oca tiene un papel

importante en la alimentación en las zonas rurales de sur América (Montaldo, *et al.*, 1996).

Esta papa es de tamaño pequeño parecido al de la papa de cambray y alargada como una zanahoria, presenta versatilidad en su coloración de crema, amarillas, rosa, naranja y morado. Su valor nutrimental podría variar, dependiendo del genotipo. La papa roja es consumida tradicionalmente, en algunas recetas tradicionales de la zona andina, como sopas, guisos, o tal como se come la papa tradicional (horneada o al vapor) (Chirinos, *et al.*, 2008).

3.1.1 CLASIFICACIÓN BOTÁNICA

El tubérculo de la papa roja o papa ratona (como es conocida en México) u oca como es conocida en Perú (País de origen), su taxonomía se muestra descrita en la Tabla 1.

Tabla 1. Taxonomía de la oca (*Oxalis tuberosa* mol.)

Reino	<i>Plantae</i>
Filo	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Geraniales</i>
Familia	<i>Oxalidacease</i>
Género	<i>Oxalis</i>
Especie	<i>Tuberosa</i>

(Extraído de: http://www.peruecologico.com.pe/flo_oca_1.htm el día 20 de Octubre del 2015)

Existen al menos 50 variedades. Las mayores colecciones de germoplasma de oca se encuentran en Perú, en Cusco, donde se registran 400 accesos, también en Puno y Huancayo; y en Ecuador en Quito.

Las variedades de OCA más comunes en Perú son las siguientes:

1. Zapallo oca, de tubérculos amarillos.
2. Chachapea oca, de tubérculos grises y dulces.
3. Paucar oca, de tubérculos rojos y dulces.

4. Mestiza oca, de tubérculos blancos.
 5. Nigro oca, de tubérculos negruzcos.
 6. Lunchcho oca, de tubérculos blancos y amargos, usados en la preparación de chuño.
 7. Huari chuchu, de tubérculos rojos muy alargados.
- (Extraído de: http://www.peruecologico.com.pe/flo_oca_1.htm el día 20 de Octubre del 2015)

3.1.2 MORFOLOGÍA

De forma generalizada y a pesar de las diferencias entre variedades, a continuación se describe los rasgos morfológicos comunes de la oca como especie.

Altura: La oca es una herbácea compacta de tipo perenne y mide entre 20 y 30 cm de alto.

Tallo: Sus tallos tienen forma cilíndrica y su color varía entre amarillo, verde, violeta y rojizo.

Hojas: La oca tiene hojas alternas y trifoliadas, parecidas al trébol. Su tipo de crecimiento, forma, ángulo y grosor, las hacen muy eficientes para realizar la fotosíntesis.

Inflorescencia: Se forma en las axilas superiores de los tallos y presentan de 4 a 5 flores. Cada flor tiene 5 pétalos amarillos con rayas moradas, 10 estambres y un pistilo de tamaño variable. La estructura floral la polinización cruzada.

Tubérculos: Los tubérculos de la oca tienen forma elipsoidal, claviforme o cilíndrica, cuyo sabor puede ser dulce o amargo. Presentan numerosas yemas u “ojo” en toda su superficie, y colores muy variados como el blanco, amarillo, rosado, anaranjado, rojo y morado.

(Extraído de: http://www.peruecologico.com.pe/flo_oca_1.htm el día 20 de Octubre del 2015)

3.1.3 CULTIVO DE PAPA ROJA EN EL MUNDO

La Oca (papa roja) crece principalmente en los Andes, entre los 2,800 y 4,000 msnm (metros sobre el nivel del mar), sin embargo su cultivo se ha extendido a otros países como Nueva Zelanda, que se ha convertido en el principal exportador de este cultivo a los mercados de Europa (Chirinos, *et al.*, 2008).

Los cultivos andinos, son considerados actualmente como alimentos de alta calidad, no sólo por su valor nutricional, sino también por las condiciones nativas de cultivo rústico en las que se dan, presentan mejor resistencia a sequía, climas helados incluso suelos salinos. Se considera que los cultivos de tubérculos tienen un gran potencial de transformación en productos procesados (Jacobsen, *et al.*, 2003)

La reproducción de la Oca es por tubérculos y tallos, mas no por semillas. Su cultivo es muy parecido al de la papa (*Solanum tuberosum* L.). En condiciones normales produce 5t/ha (toneladas por hectárea), en condiciones mejoradas rinde 7t/ha y de manera experimental se han alcanzado las 40t/ha. Se considera que el cultivo de oca podría ser mucho más productivo en términos de rendimiento e incluso podría ser más rentable que el cultivo de papa común (*Solanum tuberosum* L.) por la funcionalidad de sus compuestos bioactivos (Mejía-Muñoz, *et al.*, 2006). Sin embargo, por el momento no hay registros de comercio a nivel internacional y sólo se considera importante en las zonas étnicas donde se cultiva.

3.1.4 IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA PAPA (COMÚN)

Para comparar el potencial de comercialización y de la incorporación de papa roja a productos procesados a nivel industrial, podría compararse con las estadísticas de la papa que comúnmente se consume a nivel global (*Solanum tuberosum* L.), que igual que el tomate, pertenece a la familia de las Solanáceas. Al contrario que los rojos frutos del tomate, los frutos propiamente dichos de la patata son unas bayas pequeñas y verdes, que tienen un poder altamente tóxico debido a su elevado contenido en solanina. Los tubérculos de la papa no son frutos, sino brotes subterráneos engrosados, que contienen las sustancias de reserva para que

pueda germinar una nueva planta. A esto se debe su alto valor nutritivo (Vollmer, *et al.*, 1999).

Menos de un tercio de la producción de papa se destina a consumo humano como tal; la mayor parte sirve para elaborar alimentos que se consumen fritos, almidón, glucosa (jarabe de glucosa), alcohol y productos deshidratados y para alimentación animal. En el mercado se encuentran múltiples variedades; no todas sirven para el almacenamiento doméstico. En los cultivos, el rendimiento por hectáreas muy elevado (Vollmer, *et al.*, 1999).

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los cultivos más importantes en México, después del maíz, frijol, trigo y arroz. Entre los vegetales solo los cultivos de tomate y pepino ocupan mayor superficie. La papa es cultivada en diferentes regiones bajo diferentes condiciones tecnológicas y ecológicas, las cuales determinan el rendimiento que se obtiene por hectárea. Aunque la papa es uno de los vegetales más cultivados en México no es precisamente la más productiva, pues hay evidencia que demuestra que especies como la *Oxalis tuberosa* mol. Conocida como papa roja entre otras características tiene mayor potencial de productividad que la papa común (Mejía, *et al.*, 2006).

3.1.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA

Existen estudios donde se ha analizado la composición química de la oca (Chirinos, *et al.*, 2008 y León-Marroú, *et al.*, 2011), con el fin de saber en qué tipo de alimentos podría ser incorporada, además de conocer a fondo que funcionalidad podría presentar en aplicaciones tecnológicas y nutrimentales. Como puede apreciarse en la Tabla 2, la mayor parte de la composición de la oca es agua, al igual que en la mayoría de los alimentos de origen vegetal, en segundo lugar se encuentra el contenido de carbohidratos, del cual se asume que a comparación de otros tubérculos, predomina el contenido de almidón, el resto de los componentes presenta un contenido menor al 1%, por lo que no se le consideraría una fuente importante de proteínas y grasas. Los minerales mayoritarios en oca según León- Marroú, *et al.*, (2011) son fósforo, hierro, calcio y zinc y en vitaminas; A, B₁, B₂, B₃, B₁₂ y C.

Tabla 2. Composición de la oca

ELEMENTO	%
Humedad	86.79
Carbohidratos	10.41
Grasa	0.47
Fibra	0.78
Ceniza	0.78
Proteínas	0.77
Minerales	0.06
Vitaminas	0.04

(León-Marrou, et al., 2011)

3.2.0 METABOLITOS SECUNDARIOS

Debido a la resistencia de los cultivos de oca y por la diversidad de coloración que presentan sus diferentes variedades, se le ha considerado que podría ser una fuente de compuestos bioactivos también conocidos como metabolitos secundarios, los cuales pueden ejercer una función biológica en los organismos que los consumen, como el caso de los compuestos antioxidantes (Lachman & Hamouz, 2005).

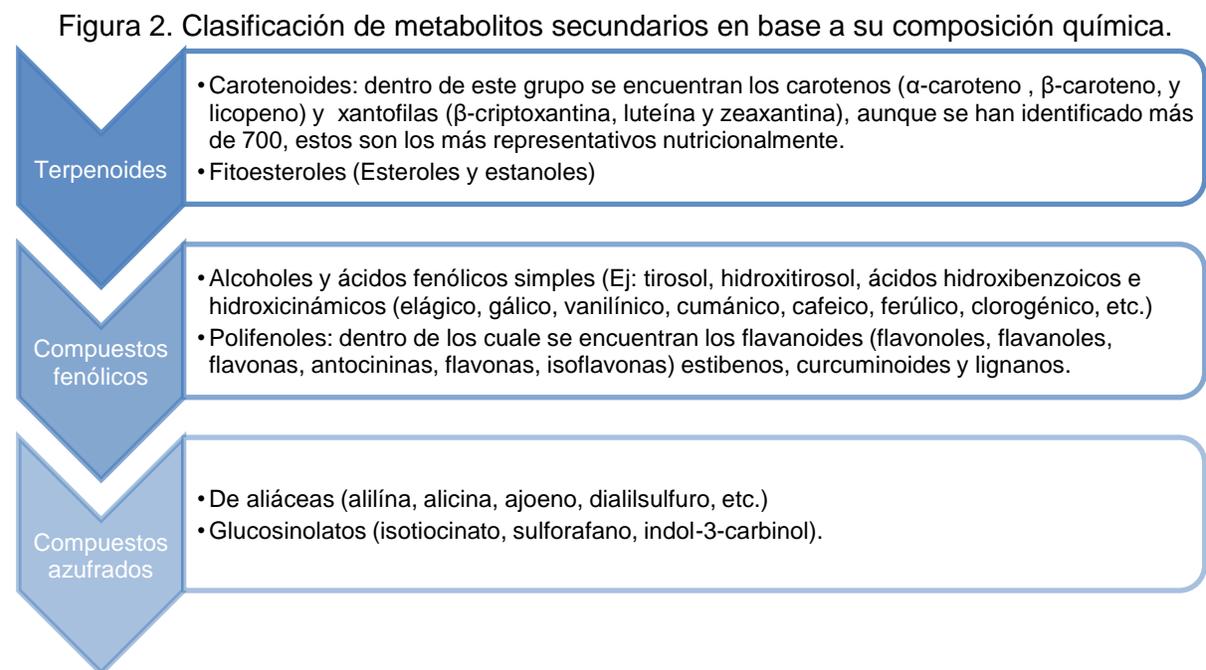
El metabolismo se define como el conjunto de reacciones químicas por las cuales el organismo sintetiza y degrada los compuestos de los que está hecho y que son indispensables para que lleve a cabo sus funciones. En los organismos de origen vegetal, una forma de clasificar a los productos resultantes del proceso metabólico, es en base a los que predominan, de forma general; en metabolitos primarios y secundarios. Los metabolitos primarios, son aquellos que derivan del metabolismo del carbono y de los cuales resultan los componentes mayoritarios, como lo son; los lípidos, los carbohidratos, aminoácidos y nucleótidos, otra característica importante de estos metabolitos, es que se encuentran presentes en todas las plantas. Por otra parte, los metabolitos secundarios, son aquellos compuestos minoritarios, que se obtienen por rutas alternas al metabolismo del carbono y que están complementadas por compuestos químicos minoritarios (Ávalos-García & Pérez-Urria, 2009).

Los metabolitos secundarios son objeto de investigación por la funcionalidad que aportan en los productos de origen vegetal, al servir como agentes de protección

ante el ataque de insectos, agentes patógenos (baterías y hongos), algunos también tienen la función de inhibir la germinación de esporas (Vivanco, *et al.*, 2005).

La protección química de los metabolitos secundarios consiste en actividad antimicrobiana y actividad antioxidante. Una forma de promover la producción de estos compuestos es exponiendo a la especie vegetal a situaciones de estrés, como lo son: el consumo de herbívoros, ataque por microorganismo, virus, bacterias y hongos, competencia por el espacio (suelo, luz y nutrientes), condiciones climáticas extremas (Arias-Zabala, *et al.*, 2009).

Los metabolitos secundarios se clasifican principalmente en tres grupos; terpenoides, compuestos fenólicos y compuestos azufrados en base a su composición química y vías biosintéticas (Valdés y Balbín, 2000) a su vez cada grupo clasifica más compuestos bioactivos, de los cuales existe un gran variedad en base a alguna estructura química específica o funcionalidad. En la Figura 2, se muestra la clasificación de compuestos bioactivos, además de algunos de los ejemplos más representativos de cada grupo presentes en alimentos.



(Martínez-Roldán & Carbajal-Azcona, 2010)

Es necesario realizar análisis que confirmen y determinen la presencia de metabolitos secundarios en frutas y hortalizas, pues, a pesar de tratarse de especies similares, existen diversos factores pre y postcosecha que pueden alterar la calidad en productos de origen vegetal, tales como; pérdida de masa fresca, color de epidermis, firmeza del producto, sabor, aroma y concentración de compuestos bioactivos (Pelayo- Zaldívar *et al.*, 2005 y Terrazzan *et al.*, 2006) por consiguiente podrían considerarse dichos factores como posibles causas en caso de variabilidad de concentraciones de compuestos bioactivos en muestras similares. Además la síntesis de los metabolitos secundarios también se ve afectada por la concentración de carbono, hidrógeno y azufre, el estado acuífero y la temperatura ambiental son algunos de los más factores más importantes (Valdés & Balbín, 2000).

Dentro de los factores que pueden afectar la concentración de metabolitos secundarios, según Cantillano, *et al.*, (2012) que evaluaron el impacto de las condiciones de cultivo en la concentración de compuestos fenólicos y actividad antioxidante presente en frutillas (fruto originario de Brazil) describió como puntos críticos de la precosecha; el tipo de tratamiento de fertilización a emplear, la aplicación de pesticidas, la calidad de la plántula, condiciones meteorológicas y disponibilidad de agua, por otra parte, en la fase postcosecha consideraron como factores importantes el grado de madurez en la que el fruto es cosechado, manejo del producto, temperatura, humedad relativa y tipo de almacenamiento.

3.3.0 ANTOCIANINAS

Las antocianinas son un grupo derivado de los fenoles, las cuales están ampliamente distribuidas en alimentos, especialmente en frutas y tejidos florales; son utilizadas como nutraceuticos en su forma seca y pulverizada. Éstos compuestos son los principales responsables del color rojo, azul, violeta y morado de casi todas las plantas, utilizándose en la industria alimenticia como colorantes (Shahidi y Nacz, 2004).

Estos pigmentos naturales forman parte de un subgrupo de los flavonoides caracterizado por el siguiente esqueleto de carbono C-6-C-3-C-6. La estructura

precursora de las antocianinas recibe el nombre de antocianidinas, que son estructuras básicas que consisten en un anillo aromático, fusionado con un anillo heterocíclico que tiene un oxígeno en su estructura y a la vez están unidos por un enlace carbono-carbono a un anillo aromático. Cuando las antocianidinas se encuentran unidas a un azúcar, recibe el nombre de antocianina. En la Figura 3 se muestra la estructura química base de las antocianinas y en la Tabla 3, se desglosa el nombre que recibe la antocianina en función del grupo sustituyente, además de la coloración que presenta cada antocianina en función de la longitud de onda máxima (Wrolstad, 2001).

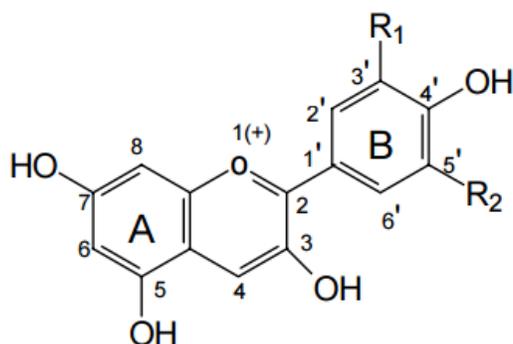


Figura 3. Estructura y sustituyentes de las antocianinas (Wrolstad, 2001)

Tabla 3. Agliconas, sustituyentes y longitud de onda máxima en función de la coloración en antocianinas.

Aglicona	Substitución		λ_{\max} (nm)
	R1	R2	
Pelagordina	H	H	494 (naranja)
Cianidina	OH	H	506 (naranja-rojo)
Delfinidina	OH	OH	508 (azul-rojo)
Peonidina	OCH ₃	H	506 (naranja-rojo)
Petunidina	OCH ₃	OH	508 (azul-rojo)
Malvidina	OCH ₃	OCH ₃	510 (azul-rojo)

La variedad de antocianinas depende del número de grupos hidroxilados, el número de azúcares y de carboxilatos aromáticos enlazados al azúcar de la molécula, además de la posición de sus enlaces y su naturaleza (Kong, *et al.*, 2003).

En alimentos se tienen identificados 23 antocianidinas (Anderson & Jordheim, 2006) de los más comunes en plantas vasculares son la pelagordina, cianidina, delfinidina, peonidina, petunidina y malvadina (Clifford, 2000). El tipo de antocianinas predominantes que se han reportado en papa roja son pelagordina y cianidina (Rodríguez-Saona, *et al.*, 1998).

3.3.1 MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DE ANTOCIANINAS

En Tabla 4, se simplifican algunos métodos de determinación de antocianinas por la técnica espectrofotométrica UV-VIS descritos por Castañeda (2008).

Tabla 4. Métodos de determinación de antocianinas.

MÉTODO	FUNDAMENTO
Curvas de Calibración	Se traza una curva de calibración a partir de concentraciones conocidas de un tipo de antocianina en un rango de longitudes de onda entre 490-550 nm, para obtener el resultado de la muestra por interpolación.
Método diferencial	Este método se basa en la degradación del pigmento en pH ácido (de 4.5 a 1.0), principalmente por la transformación del ión cromóforo (flavilio), este no es un método selecto y sólo cuantifica a las antocianinas monoméricas.
Medidas simples de absorbancia	En general para los flavonoides, se presentan dos bandas de lectura, la primera se encuentra en un rango de 240 a 285 nm y la segunda en un rango de 480 a 550 nm. Las antocianinas también se someten a un pH ácido y se toma lectura a una sola longitud de onda (que es cuando presentan cambio) de 490 a 550 nm. Este método puede no ser muy preciso por las interferencias con otros compuestos.

3.3.2 EL EFECTO TÉRMICO SOBRE LA ESTABILIDAD DE LAS ANTOCIANINAS

Las antocianinas son compuestos termolábiles, por lo tanto su estabilidad puede verse afectado en tratamientos térmicos a altas temperaturas, lo que se ve reflejado en su rendimiento final (Zapata-Bustamante, *et al.*, 2015). El contenido de azúcares como fructosa y glucosa tienen un efecto negativo sobre el contenido de antocianinas, además la velocidad de degradación puede asociarse a la velocidad a la cual el azúcar presente en el alimento es convertido a compuestos tipo furfural, como el 5-hidroximetilfurfural (HMF) (Markakis, *et al.*, 1957), estos compuestos se forman durante la reacción de Maillard (Zapata-Bustamante, *et al.*, 2015). Por otra parte, las altas temperaturas pueden provocar la pérdida del azúcar glicosilante en la posición 3 de la molécula y apertura del anillo con la consecuente producción de chalconas incoloras (Timberlake, 1980). Yue y Xu (2008) determinaron que hasta 30% del contenido de antocianinas expuestas a una temperatura de 100°C por 30 min en jugo de arándano se convertían en antocianidinas o moléculas más pequeñas al perder su azúcar conjugado.

Por otra parte, otros autores también demostraron que las antocianinas se degradaban al exponer diferentes alimentos a diversos procesos térmicos, como; proceso de fritura, deshidratación, tostado, métodos de cocción, etc. (Kita, *et al.*, 2013; Yang, *et al.*, 2010; Tian, *et al.*, 2016). Esto puede deberse a la susceptibilidad que tienen los azúcares a ser hidrolizados al ser expuestos a altas temperaturas, lo que afecte negativamente la estructura química de las antocianinas.

3.4.0 COMPUESTOS FENÓLICOS

Los compuestos fenólicos son sustancias que provienen del metabolismo secundario de las plantas y se encuentran naturalmente en alimentos y bebidas de origen vegetal. Desde el punto de vista químico, son estructuras aromáticas o alifáticas. Se relacionan directamente con algunas características de los alimentos como son el sabor, color, la palatabilidad y el valor nutricional. Dentro de la clasificación general se encuentran los fenoles, ácidos fenólicos y flavonoides, que constituyen un amplio grupo de sustancias químicas consideradas metabolitos secundarios de las plantas, con diferentes estructuras químicas y propiedades. Químicamente los fenoles pueden ser definidos como sustancias que poseen un anillo aromático con uno o más grupos hidroxilo, incluyendo a sus derivados funcionales. La principal causa de interés de estudio se debe a sus propiedades antioxidantes (Porrás-Loaiza & López-Malo, 2009). Existen más de 8000 compuestos fenólicos identificados (Shahidi & Nazk, 1995).

El comportamiento antioxidante de los compuestos fenólicos parece estar relacionado con su capacidad para quelar metales, ya sea manteniendo o incrementando su actividad catalítica o reduciéndolos (Decker, 1997). Los ácidos fenólicos presentan generalmente actividad antioxidante en frutas, verduras y otras plantas (Zheng & Wang, 2001).

3.4.1 MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE FENOLES

El método por excelencia para la determinación de fenoles totales es el método de Folin-Ciocalteu, por ser un método sencillo, reproducible de rápida aplicación, éste método espectrofotométrico se basa en una reacción colorimétrica de oxido-reducción que presentan los fenoles en medio básico, siendo el reactivo de Folin-Ciocalteu el agente oxidante (Wootton-Beard, *et al.*, 2011). Para determinar el perfil del contenido de fenoles, en investigaciones con alimentos, la mayoría de los investigadores se apoyan de la determinación por HPLC (Chirinos, *et al.*, 2009; Ryan, & Prescott, 2010; Lorenzo & Sichertti, 2016). Últimamente, se han planteado nuevos

métodos para la determinación y separación de compuestos fenólicos con el apoyo de las nuevas tecnologías de membrana (microfiltración, ultrafiltración y nanofiltración) (Castro-Muñoz, *et al.*, 2016), por otra parte también se han empezado a desarrollar una nueva metodología cuyo fundamento se basa en la quimioluminiscencia en microfluidos, basados en reacciones con permanganato de ácido reforzado por formaldehído, entre otros compuestos para determinar sólo el contenido de fenoles totales (Haddabi, *et al.*, 2016).

3.4.2 EL EFECTO TÉRMICO SOBRE LA ESTABILIDAD DE LOS FENOLES

Al igual que en el resto de los compuestos nutricionales presentes en alimentos, al ser expuestos a altas temperaturas pueden experimentar cambios en su estructura lo que ocasione una disminución en el rendimiento final. Sin embargo, diversos estudios proponen que el comportamiento en fenoles es diferente, dependiendo de la matriz que los contiene, las interacciones con otros componentes presentes en alimentos, las condiciones de secado, además de que los resultados podrían variar dependiendo del método de determinación.

En muestras donde hay aminoácidos libres y azúcares reductores, sometidas a altas temperaturas, pueden ocurrir reacciones de Maillard o pardeamiento no enzimático, donde se generan variedad de productos, intermediarios y pigmentos marrones (melanoidinas); los cuales contribuyen a la actividad antioxidante, sabor y color de los alimentos, además de ser agentes reductores que pueden ser detectados por el método de Folin-Ciocalteu (Zapata-Bustamante, *et al.*, 2015). En los siguientes estudios se demostró que no hay un comportamiento definido en el contenido de fenoles, lo que significa que podrían aumentar, disminuirse o mantenerse Zapata-Bustamante, *et al.*, (2015) en granos de cacao sometidos al proceso de tostado a 150°C; Kita, *et al.*, (2015) en papas rojas y moradas sometidas al proceso de freído a 180°C y Tian, *et al.*, (2016) en papas sometidas a diferentes proceso de cocción (hervidas, sofritas, al vapor, al horno y en microondas). Por otra parte, podría considerarse como un punto crítico el tiempo al que se exponen los

alimentos para poder apreciar la pérdida de fenoles como lo reportó Burgos, *et al.*, (2013) en el proceso de hervir papas en su contenido fenólico.

3.5.0 ANTIOXIDANTES

Como se mencionó en el apartado de metabolitos o compuestos bioactivos, cumplen con diversas funciones en alimentos, siendo de mayor interés aquellos con funcionalidad antioxidante, además de contribuir a su aspecto (color), aroma y sabor. Los antioxidantes son un grupo variado de sustancias presentes de forma natural en muchos alimentos de origen vegetal, y son de importancia para el campo de la medicina y de la industria alimenticia por sus beneficios sobre la salud. Los antioxidantes cumplen con dos funciones principalmente. La primera, consiste en su empleo como aditivos en alimentos para evitar su deterioro, los cuales se obtienen por medio de su extracción en alimentos que los contiene de forma natural. La segunda función más importante de los antioxidantes es el efecto que tienen para combatir los radicales libres del organismo que son los responsables de causar daño celular, en diferentes niveles, y de ese modo combatir enfermedades crónicas degenerativas que afectan la calidad de vida de las personas (Badui, 1999).

3.5.1 FUNCIONALIDAD DE LOS COMPUESTOS ANTIOXIDANTES

Para hablar de la funcionalidad de los antioxidantes, es importante mencionar primero los efectos negativos que tiene los radicales libres en el organismo, un radical libre es un compuesto químico que no suele compartir electrones para formar un compuesto nuevo sino que solo oxidan a otros compuestos y tienen la facultad de convertirlos en radicales libres también, creando una reacción en cadena que altera a compuestos importantes para la funcionalidad normal del organismo, como las biomoléculas que forman parte de la estructura celular; lípidos, proteínas y ADN (Maldonado-Saavedra, *et al.*, 2010).

Aunque es inevitable la formación de estos radicales libres, pero también existen ciertas circunstancias que promueven su formación, como lo es la exposición a ciertas radiaciones y el consumo de tabaco (Maldonado-Saavedra, *et al.*, 2010).

El principal problema de la propagación de radicales libres por nuestro cuerpo radica en la capacidad que tienen de alterar las funciones normales de la células y su estructura, desencadenando enfermedades. Un ejemplo de este efecto es el que ejercen el colesterol de tipo LDL, que una vez oxidado, se acumula fácilmente en las arterias provocando la formación de la placa de ateroma que pueden provocar infartos. Por lo tanto se le atribuye a la formación de radicales el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, procesos neurodegenerativos como el Alzheimer, enfermedades inflamatorias e incluso ciertos tipos de cáncer (Extraído el día 20 de Octubre del 2015 de: <http://www.portalantioxidantes.com/antioxidantes-en-alimentos/>).

Los compuestos antioxidantes cumplen con la función de contrarrestar el efecto negativo de los radicales libres (Pineda-Alonso, *et al.*, 1999). Existen sistemas antioxidantes en el organismo que los combaten, estos sistemas están formados por enzimas de tipo catalasas y superóxido dismutasa. Otra forma de combatir los efectos de la oxidación es por medio de los antioxidantes exógenos; los cuales son sustancias que se encuentran de forma natural en alimentos de origen vegetal, los efectos de los antioxidantes que mayor impacto tienen en la prevención de enfermedades crónico degenerativas no transmisibles son; anti-cancerígenas, anti-hipertensivas, anti-flamatorias y anti-coagulatorias (Extraído el día 20 de Octubre del 2015 de: <http://www.portalantioxidantes.com/antioxidantes-en-alimentos/>).

3.5.2 ALIMENTOS COMO FUENTES DE ANTIOXIDANTES

En los últimos años, grupos de investigación y expertos en nutrición han enfatizado en los efectos positivos del consumo de antioxidantes. Por lo que han surgido líneas de investigación para confirmar la presencia de antioxidantes en diversos grupos alimenticios, considerando que el incorporar este tipo de alimentos en una dieta habitual es la fuente ideal de obtención.

Además de la concentración existente en los alimentos, hay otros factores de los cuales depende el aporte final de antioxidantes en el organismo, los cuales son:

-La estructura química de los alimentos que va ligado a la biodisponibilidad del antioxidante.

-La matriz de la cual se obtiene (estado físico del alimento)

-Tipo de alimento (procesado o natural).

Entre los antioxidantes más abundantes en los alimentos se encuentran; el ácido ascórbico, vitamina E, los carotenoides, y los polifenoles (Pineda-Alonso, *et al.*, 1999).

Los principales alimentos que cumplen con esta función de origen vegetal, frutos y hortalizas, se consideran que los alimentos con mayor concentración de polifenoles y antocianinas son aquellos de pigmentación azulada, púrpura y roja (Pineda-Alonso, *et al.*, 1999)

3.5.3 MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

Existen diversos ensayos para medir la capacidad antioxidante en alimentos y muestras biológicas. No sólo es un término químico referente a la capacidad reductora de un compuesto determinado, actualmente también es aplicado en otras ciencias como biología, medicina, epidemiología y nutrición (Floegel *et al.*, 2010). La capacidad antioxidante se define como la habilidad de reducir moléculas en alimentos y sistemas biológicos para evitar la acción de los radicales libre. La aplicación del concepto de actividad antioxidante en muestras biológicas permite entender el efecto benéfico de los compuestos antioxidantes en el efecto que éstos tienen para la prevención de enfermedades (Floegel, *et al.*, 2011).

De forma general, los ensayos *in vitro* para determinar la actividad antioxidante pueden clasificarse según Prior (2015) en:

- Ensayos que involucran reacciones de transferencia de átomo de hidrógeno, en esta categoría se encuentran los ensayos; ORAC (capacidad de absorción de radicales de oxígeno), TRAP (parámetro de captura de radicales

antioxidantes total), Ensayo de blanqueo crocin, IOU (consumo de oxígeno inhibido), inhibición de oxidación de los ácidos linoleico e inhibición de oxidación LDL inducida.

- Ensayos que implican la reacción de transferencia de electrones; TEAC (capacidad antioxidante Trolox equivalente), FRAP (parámetro antioxidante de capacidad reductora de ion férrico), DPPH (difeníl-1-picrilhidrazil radical), CUPRAC (poder reductor de cobre (II)), determinación de fenoles totales por el reactivo de Folin-Ciocalteu y ABTS (2,2-azinobis, ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico radical).
- Otros ensayos; TOSC (capacidad total oxidante de barrido), inhibición de Briggs-Rauscher de reacción oscilante, quimioluminiscencia y electroquimioluminiscencia.

En los últimos años se han desarrollado una amplia gama de ensayos espectrofotométricos para medir la capacidad antioxidante en alimentos, dentro de los más populares y usados en diferentes análisis se encuentran; 2,2 azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico (ABTS) y 1,1-difeníl-2-picrilhidrazil (DPPH), entre otros como la capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC) y capacidad de reducción férrica (FRAP) (Floegel, *et al.*, 2011).

La mayoría de los ensayos tiene un mismo fundamento; en el cual un radical sintético tiene la capacidad de presentar un cambio de color al hacerse reaccionar con una muestra biológica al estabilizar al radicar, dicho cambio de coloración es monitoreado en un espectrofotómetro, contando como patrón un estándar apropiado para el tipo de actividad antioxidante. Usualmente son más empleados el Trolox y vitamina C, los resultados son expresados como concentración equivalente de dichos compuestos. De forma general, los ensayos que miden la capacidad antioxidante puede dividirse en dos grupos, los primeros evalúan la capacidad de reducción en los radicales que presentan un vire de color como en los ensayos ABTS, DPPH y FRAP. En los segundos, implica una transferencia del átomo de hidrógeno, como el ensayo ORAC, en el que los antioxidantes compiten por el sustrato contra los radicales generados térmicamente (peroxilo), por lo que se le correlaciona más a éste último ensayo con la actividad antioxidante en un sistema biológico (Rodríguez-Amaya, 2010). La

mayoría de estos ensayos ha sido utilizados para estimar la capacidad antioxidante en las frutas y verduras frescas (Thaipong, *et al.*, 2006).

El ensayo ABTS se basa en la decoloración (de azul a verde claro) (Floegel, *et al.*, 2011) del radical monocatiónico pre-formado de 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS•) el cual es generado por la oxidación de ABTS con persulfato de potasio, en el ensayo se monitorea la reducción en presencia de antioxidantes donadores de hidrógeno. Este método es aplicable tanto para antioxidantes de afinidad lipofílica como hidrófila, por lo tanto es ideal para la determinación de capacidad antioxidante en flavonoides, carotenoides, hidroxicinamatos y antioxidantes en plasma. Los factores importantes a considerar en este ensayo son la concentración del antioxidante y la duración de la reacción de inhibición del catión radical. A diferencia de ensayos similares como el ensayo TEAC (Trolox equivalent antioxidant activity) (Ensayo de ABTS ferrilo mioglobina) resulta ser más conveniente al ser aplicado el catión radical ABTS sin la necesidad de un radical intermediario, además de ser aplicable en muestras en soluciones acuosas y lipídicas (Re, *et al.*, 1998).

El ensayo DPPH se basa en la reducción del DPPH (hidracina 1,1-difenil-2-picrilo), el cual es un radical estable que tiene un electrón desapareado de valencia de un átomo de nitrógeno (Eklund, *et al.*, 2005). Para determinar la actividad antirradical, los compuestos antioxidantes presentes en la muestra reaccionan con la solución DPPH (color púrpura) a una solución color amarillo claro. Durante el proceso del ensayo DPPH, es importante cuidar factores como; la exposición a la luz, oxígeno y pH de las muestras, para poder contar con resultados confiables (Ozcelik, *et al.*, 2003). A lo largo del tiempo, la metodología de la determinación de capacidad antioxidante por DPPH ha sido estandarizada para poder comparar los resultados con diferentes experimentos a nivel mundial (Sharma & Bhat, 2009). En diferentes estudios donde se analizó la correlación entre compuestos bioactivos y actividad antioxidante han demostrado una correlación alta entre los ensayos ABTS y DPPH con el contenido de fenoles totales (Thaipong, *et al.*, 2006 & Yang, *et al.*, 2010).

El ensayo ORAC detecta la reacción química fluorescente en la molécula causado por un ataque de los radicales libres, éste ensayo se basa en los radicales peroxilo que son los principales responsables de afecciones en un sistema biológico. Por lo

tanto, es el ensayo que más se correlaciona con la actividad biológica de los antioxidantes (Prior, 2015).

El ensayo FRAP es diferente a los anteriores, ya que no se ve involucrada una reacción con radicales libres para la reducción del hierro de Fe^{3+} a Fe^{2+} . (Gorinstein *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2003; Pellegrini *et al.*, 2003; Samaniego-Sánchez *et al.*, 2007). La reacción de reducción se da en presencia del Fe^{2+} con 2,4,6-tripiridil-s-triazina (TPTZ) para formar un color azul-violeta con un máximo de absorción a 593 nm.

3.5.4 FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LOS ANTIOXIDANTES

Existen diversos factores a los cuales se exponen los alimentos que podrían afectar positiva o negativamente su actividad antioxidante, los cuales podrían ser: el procesamiento al que se someten los alimentos, las condiciones de almacenamiento, la exposición a altas temperaturas y exposición directa a oxígeno.

Diversos estudios hablan de un efecto determinado en la actividad antioxidante en diferentes tipos de muestra, por ejemplo; Flores-Álvarez, *et al.*, (2011) analizaron el efecto del tiempo de almacenamiento y tipo de procesamiento en los antioxidantes presentes en nopal, donde concluyeron que tras el paso del tiempo, se pierde la capacidad antioxidante en nopal no procesado superior a las muestras que fueron sometidas a proceso de escaldado y deshidratación.

Por otra parte, García-Hernández (2005) evaluó el efecto de procesos de conservación térmicos y no térmicos de actividad antioxidante en *Cajanus cajan* (leguminosa nativa de Venezuela), demostrando que los procesos de conservación de tipo térmico podrían afectar más los compuestos antioxidantes que un proceso no térmico como la fermentación.

Específicamente hablando del efecto de la temperatura en alimentos con alto contenido de compuestos antioxidantes, Acevedo y Avanza (2004) analizaron el efecto del proceso de pasteurización en jugos de lima, en su trabajo puede analizarse que no sólo existe un impacto relacionado con la sensibilidad de los

antioxidantes a la temperatura sino que influye mucho el tiempo de exposición a altas temperaturas, ya que monitorearon la pérdida de ácido ascórbico en rangos de tiempo determinados en el proceso de pasteurización.

En otro estudio que respalda la importancia del efecto del tiempo de exposición a altas temperaturas en tubérculos realizado por Tian, *et al.*, (2016) no describieron de forma específica un comportamiento de que causaba la exposición a diferentes procesos térmicos de cocción de papa en sus compuestos antioxidantes, ya que en algunos caso a pesar de que la temperatura de exposición era elevada en contraste de otros métodos como lo es un proceso de freído, no obtuvo resultados homogéneos, en algunas muestras disminuía el contenido de antioxidantes y en otros no. Aunque de forma generalizada se notó un mayor impacto en la degradación de antioxidantes en procesos con largos tiempos de exposición.

El propósito de evaluar el efecto de un factor determinado en el rendimiento de antioxidantes en un alimento es la posibilidad de establecer una tendencia de comportamiento. Sin embargo, no siempre es posible como lo descrito por Kita, *et al.*, (2013) donde evaluaron el efecto del proceso de freído en diversas variedades de papa (*Solanum tuberosum*) roja y morada, donde la mayoría de las muestras mostraron una pérdida considerable de compuestos antioxidantes, en algunos otros casos se obtuvieron resultados opuestos. Esto puede deberse a la presencia de azúcares reductores y aminoácidos libres en alimentos, que tras exponerse a altas temperaturas dan como resultado productos intermediarios de la reacción de Maillard, los cuales son pigmentados y a algunos de ellos se les atribuye cierta actividad antioxidante (Zapata, *et al.*, 2015).

3.6.0 SECADO O DESHIDRATACIÓN COMO MÉTODO DE CONSERVACIÓN

El proceso de secado o deshidratación es una de las tecnologías de conservación más antiguas que existen, en un inicio se aprovechaba de las propiedades solares para secar carne o pescado. Con el objetivo de disminuir el

agua y así evitar fenómenos de descomposición, bajo este principio que se basan los métodos de conservación por reducción del contenido acuoso (Aguilar, 2012).

Por otra parte en la producción de alimentos de origen vegetal como frutas y hortalizas, es de suma importancia recurrir a métodos de conservación por su gran producción a nivel industrial, y tomando en cuenta que algunas especies vegetales es difícil de conseguir a lo largo del periodo anual, pues sus condiciones de cultivo no siempre lo permiten. Usualmente éste tipo de productos tienen un alto contenido acuoso (aproximadamente el 80% de su composición) lo que las hace especialmente susceptibles a la descomposición microbiana. La pérdida económica es relevante si se considera que alrededor del 30 a 40% de la producción se pierde, debido al mal manejo, transporte y almacenamiento (Ceballos-Ortiz y Jiménez Munguía, 2012).

Los alimentos con bajo porcentaje de humedad como las semillas y cereales, generalmente tienen mayor estabilidad en su conservación (Aguilar, 2012).

El término deshidratación se refiere cuando a un alimento se le es eliminada prácticamente toda el agua (contener al menos 13% de humedad). Los principales objetivos de utilizar este método en la industria alimentaria, además de aumentar la vida útil del alimento, son: mayor estabilidad al almacenarlo, practicidad de empleo al consumidor, disminución de costos de transporte y almacenaje, esto se debe a la disminución de peso y volumen (Aguilar, 2012).

La deshidratación en alimentos, inicia desde los poros más grandes y desde el medio de los poros, y de tener tasas de eliminación de agua no uniformes e interfaces de vapor de agua no planas dentro de los poros individuales, así como a través de las secciones de los materiales alimenticios. Las estructuras porosas de alimentos tienen una buena conectividad de poro para las moléculas de agua. A medida que avanza la deshidratación, contenido de agua y el apoyo de agua-agua y las interacciones entre macromoléculas y agua, disminuyen, haciendo que las estructuras porosas de alimentos adopten conformaciones más compactas, a este fenómeno se debe la disminución de tamaño de la muestra (Wang y Liapis, 2012).

3.6.1 TRATAMIENTOS DE SECADO EN ALIMENTOS

En el secado de alimentos se suelen emplear las siguientes tecnologías.

- a) Secado por aire o por contacto: Se realiza a la presión atmosférica normal, aplicando la transferencia de calor por conducción (se emplea una superficie de contacto caliente) o convección (se emplea aire). Los equipos deshidratadores que se utilizan para provocar este secado artificial son: secadores solares (naturales o semi-artificiales) y secadores por gas caliente (de horno, de bandeja, de túnel, por arrastre neumático y por atomización).
- b) Secado al vacío: Se realiza a presiones inferiores, logrando el vacío que facilita la evaporación del agua. Se realiza con equipos de bandeja al vacío.
- c) Crio-deshidratación o liofilización: Consiste en someter al alimento a un proceso de congelación seguido de una sublimación.

La principal ventaja que presenta este método, a diferencia de otros, es que produce alimentos con alta concentración de nutrientes, los alimentos se hacen muy estables prolongando su vida de anaquel. Una de sus desventajas, es que no ofrece productos de calidad superior a los productos naturales, además de que no son completamente estériles, debido a que se pueden quedar bacterias que son muy resistentes al calor (productoras de esporas).

Algunos de los alimentos que se someten con mayor frecuencia al método de conservación por secado y deshidratación están las frutas (principalmente ciruelas, higos, dátiles, uvas, entre otras), la leche en polvo, el huevo en polvo, la carne, las papas deshidratadas, etc. (Aguilar, 2012).

3.6.2 MÉTODOS DE DESHIDRATACIÓN EN FRUTAS Y HORTALIZAS CON AIRE CALIENTE

La deshidratación de frutas y hortalizas a nivel industrial, se lleva a cabo por diferentes métodos. Lo que difiere de un método a otro es la forma en la que la energía debe suministrarse para evaporar el agua y ser removida en forma de vapor a la superficie del alimento. La transferencia de calor en alimentos puede darse por radiación, conducción o convección. Aunque estos tres mecanismos de transferencia

de calor se pueden utilizar durante la deshidratación, normalmente, dependiendo del producto, aunque sólo uno de ellos predomina. El método más común para la transferencia de calor en frutas y hortalizas es el empleo de corriente de aire caliente, donde la convección es el principal fenómeno de transferencia. Cuando el calor es suministrado a la superficie del alimento por conducción. Esta técnica se puede definir como una operación, en la cual hay una transferencia simultánea de calor y de masa, en la que la actividad de agua de un material es reducida a través de la remoción de agua por evaporación en una corriente de gas insaturado libre (Costa & Ferreira, 2007).

A continuación, se describe algunos de los métodos más usados usualmente para la deshidratación de productos de origen vegetal.

- Proceso de deshidratación en túneles con aire caliente.

La deshidratación con aire caliente por medio de túneles es uno de los procesos comerciales más usados en la conservación de alimentos, principalmente de frutas y hortalizas (Askari, *et al.*, 2009). El empleo de aire sirve para conducir el calor al alimento y para retirar el agua que el alimento libera. En un sistema de túneles, el producto se coloca en bandejas o transportadores y se exponen a una corriente de aire caliente. Los secadores de túnel están clasificados con base en los mecanismos de movimiento de los alimentos y la dirección de la corriente de aire, la cual puede ser paralela o en contracorriente al alimento. Si la corriente de aire es para el alimento, las condiciones iniciales para la deshidratación son óptimas, pero conforme el aire remueve la humedad del alimento, la eficacia del aire para deshidratar al alimento decrece. Si el flujo de aire a contracorriente es usado exclusivamente, las condiciones para deshidratar son óptimas en la etapa final del proceso. Normalmente, estas dos direcciones de corriente de aire son combinadas en secadores de dos etapas para mejorar la eficiencia de secado y calidad final del alimento. Las temperaturas del aire que son usadas dependen del alimento y se encuentran normalmente entre 70°C y 90°C en la primera etapa y entre 55°C y 70°C en la segunda, lo cual da como resultado un tiempo de deshidratación de 8 a 16 horas (Karmas y Harris, 1988).

Sin embargo, en otros estudios con diferentes muestras como; chile rojo (Arora, *et al.*, 2006), manzana (Meisami-asl, *et al.*, 2010), uvas (Li, *et al.*, 2008) y papas

(Hassini & Belghith, 2004) proponen diferentes condiciones de temperatura y velocidad de aire de secado para conservar mejor la calidad del producto.

- Combinación de métodos en deshidratación con aire caliente.

A pesar de que la deshidratación con aire caliente es un método eficaz y económico para productos de origen vegetal, se recurre a la combinación de diferentes métodos de deshidratación para mejorar la calidad final de los productos (Aktas, *et al.*, 2007).

- Deshidratación con microondas.

Uno de los métodos en los que se ha comprobado podría conservarse la calidad nutricional en alimentos es por microondas (Tian, *et al.*, 2016) sin embargo, por el costo de producción sería elevado, por lo que a nivel industrial no sería competitivo respecto a la deshidratación con aire caliente, por lo común llega a implementarse en etapas finales del proceso (Ceballos-Ortiz & Jiménez-Munguía, 2012). Una de las ventajas de combinar métodos de secado es la posibilidad de disminuir el tiempo del proceso y mejoras en la calidad del producto.

- Deshidratación en productos pre-tratados con secado osmótico.

Otra forma de disminuir los tiempos de deshidratación es disminuyendo el contenido inicial de humedad en el producto, por medio de pre-tratamientos; como lo es la deshidratación osmótica, además de mejorar el sabor, la textura y conservación de nutrientes del producto, sólo deberá considerarse los cambios en la composición química del alimento al añadir solutos (Ruíz-López, *et al.*, 2010).

- Deshidratación con tratamiento ultrasónico.

Otro método que se ha empleado en combinación de la deshidratación con aire caliente es por ondas ultrasónicas, aunque aún no se ha investigado a fondo el efecto de este tipo de tratamientos en la calidad de frutas y hortalizas, se ha demostrado que los tiempos de secado disminuyen, la transmisión de onda ultrasónicas se lleva a cabo en medio líquido, posiblemente la disminución de tiempo de secado se debe a la formación de micro túneles en las membranas del tejido celular vegetal que permiten que la difusividad del agua incremente (Fernández & Rodríguez, 2008).

3.7.0 DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LOS ALIMENTOS

El término contenido de agua de un alimento se refiere al agua total que forma parte de él. Sin embargo, en los tejidos animales y vegetales, el agua no está uniformemente distribuida (Badui, 1999). La presencia de macromoléculas en los alimentos proporciona interacciones macromoleculares de agua que pueden superar significativamente la pérdida parcial de las interacciones agua-agua para hacer que las moléculas de agua adyacentes sean fuertemente unidas a las macromoléculas de alimentos (Wang y Liapis, 2012).

La importancia del contenido de agua en los alimentos radica en las propiedades coligativas, reológicas y de textura. Otro factor determinante es la relación que existe entre el contenido de agua y la posibilidad de desarrollo microbiano en el alimento. Como se ha ejemplificado el contenido de agua en el alimento en términos de “agua libre” y “agua ligada”, la primera sería la única disponible para el crecimiento microbiano y para intervenir en las otras transformaciones, y que la segunda está unida a la superficie sólida y no actúa por estar “no disponible o móvil”. Es decir, bajo este sencillo esquema, sólo una fracción del agua, llamada actividad del agua es capaz de propiciar estos cambios y es aquella que tiene movilidad o disponibilidad. Es con base en este valor empírico que se puede predecir la estabilidad y la vida útil de un producto, y no con su contenido de agua; refleja el grado de interacción con los demás constituyentes, además de que se relaciona con la formulación el control de los procesos de deshidratación y de rehidratación, la migración de la humedad en el almacenamiento y muchos otros factores (Badui, 1999).

El término de “agua ligada” e “hidratación” se refiere a la tendencia general del agua a asociarse con las sustancias hidrófilas (incluido los materiales celulares). El grado y fuerza de unión del agua o hidratación depende de diferentes factores entre los que se incluye la naturaleza del constituyente no acuoso, la composición salina, el pH y la temperatura (Fennema, 2000).

Existen varias formas de asociar al agua ligada, como el contenido de agua en equilibrio de una muestra a una temperatura dada y baja humedad relativa, o como aquella que no afecta significativamente a la constante dieléctrica a altas frecuencias

y consecuentemente su movilidad rotacional está dificultada por la sustancia a que está asociada (Fennema, 2000).

Por estas razones, en los alimentos existen diferentes estados energéticos en los que se encuentra el agua; es decir, no toda el agua de un producto tiene las mismas propiedades fisicoquímicas, y esto se puede comprobar fácilmente por las diversas temperaturas de congelamiento que se observan; en general, un alimento se congela a -20°C , pero aun en estas condiciones una fracción del agua permanece líquida y requiere de temperaturas más bajas, por ejemplo -40°C , para que solidifique completamente (Badui, 1999).

3.8.0 ACTIVIDAD DE AGUA

El término de “actividad de agua” (a_w) es muy importante en el estudio de la ciencia de los alimentos, se refiere a la intensidad con que el agua se asocia a los diferentes componentes no acuosos. Resulta más práctico tomar en cuenta la actividad de agua de los alimentos que su contenido de agua, ya que se ha demostrado que dependiendo de la naturaleza de los compuestos de alimentos, pueden presentarse diferentes tipos de reacciones de descomposición aún tenido el mismo contenido acuoso, también cuando se habla del crecimiento microbiano y su viabilidad de desarrollo, se describen en función de éste término

Si se considera una solución ideal, de las que no existen muchas en los alimentos, con solutos en muy reducida concentración, este término puede expresarse como se muestra en la Figura 4, donde se expresa la relación entre la presión de vapor de agua del substrato de cultivo (P) y la presión de vapor de agua del agua pura (P_0) (Fennema, 2000).

Figura 4. Expresión matemática de la actividad de agua

$$a_w = \frac{P}{P_0}$$

En la Tabla 5, se muestra la relación entre actividad de agua necesaria en alimentos para el desarrollo microbiano, al cual se atribuye la mayoría de los fenómenos de descomposición en alimentos.

Tabla 5. Actividad de agua (a_w) mínima requerida para el crecimiento de microorganismos

Microorganismos	Actividad de agua
Bacterias	0.91
Levaduras	0.88
Mohos	0.80
Bacterias halófilas	0.75
Mohos xerófilos	0.65
Levaduras osmófilas	0.60

(Badui, 1981)

Al haber una concentración elevada de agua biodisponible en el alimento, los métodos de deshidratación al igual que los tratamientos térmicos a altas temperaturas han demostrado ser efectivos para inhibir o retardar el desarrollo de microorganismos responsables de descomposición en alimentos.

3.9.0 TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor puede darse por tres mecanismos:

- **Conducción:**

En este mecanismo el calor se transmite a través de un cuerpo por transporte molecular, o sea, por movimiento de moléculas individuales, sin que exista mezcla (*Knoule*, 1995).

- Convección:

El calor se transmite por mezclas de las partes calientes con las frías de un mismo material, es decir, por movimiento de porciones macroscópicas de materia o racimos de moléculas, el mecanismo se conoce con el nombre de convección o transporte turbulento de calor. La convección ésta restringida al caso de los fluidos. Es poco común que el calor se transmita a través de los fluidos por conducción pura sin que exista algo de convección, debido a que se forman torbellinos por los cambios de densidad producidos por la temperatura (*Geankoplis, 1998*).

- Radiación:

Es la transmisión de energía a través del espacio por medio de ondas electromagnéticas. Si la radiación atraviesa un espacio vacío, no se transforma en calor ni en ninguna otra forma de energía y no es desviada de su camino. Si se encuentra materia den éste camino, la radiación será transmitida, reflejada o absorbida. Únicamente la energía absorbida es la que se transforma en forma de calor y su transformación es cuantitativa (*Geankoplis, 1998*). Otro aspecto importante a considerar en el proceso de secado es la eficiencia con la que realiza en función del tiempo necesario que toma para que se lleve a cabo.

3.10.0 VELOCIDAD DE SECADO

La velocidad de secado de un material depende de las propiedades del material, como la densidad global de masa del material deshidratado, el contenido inicial de humedad y su relación con el contenido de humedad en equilibrio en condiciones de secado (Knoule, 1995 y Sharma, *et al.*, 2003). El conocer el comportamiento de la velocidad de secado en un proceso es para saber en qué momento el proceso aún es dinámico o cuando dejó de serlo.

Para determinar la velocidad de secado, deberá considerarse dos aspectos importantes en el proceso de deshidratación, como lo son; la transferencia del agua del interior del alimento hasta la superficie de éste y la remoción de ésta de la superficie al medio ambiente. En una curva de secado se relaciona el contenido de

humedad del alimento con el tiempo, en este gráfico podemos hallar las fases del proceso, las cuales son:

- 1.-Periodo de acoplamiento; donde las condiciones de la superficie del alimento llegan a un equilibrio con el aire caliente, este es el periodo más corto.
- 2.-Periodo de velocidad de deshidratación constante; en esta fase el agua está fácilmente disponible del producto en proceso, en esta etapa la velocidad de deshidratación será dada por la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del flujo de aire. En este punto, la pérdida de agua se da de forma rápida.
- 3.-Periodo de transición (contenido de humedad crítico)
- 4.- Periodo de velocidad de deshidratación decreciente, esta fase inicia cuando el agua por evaporarse se encuentra en las estructuras internas del alimento, por lo que la velocidad estará dada por la difusión del agua del alimento, lo cual irá ligado con la disponibilidad del agua en el alimento, por lo que la temperatura dejará de ser un punto crítico en el proceso (Diamante, *et al.*, 2010).

La calidad del secado en alimentos se encuentra en función de la velocidad de secado, lo cual depende de los siguientes factores según (Knoule, 1995 & Sharma, *et al.*, 2003):

- a) La temperatura que depende del alimento, superficie del alimento a desecar, y sequedad del aire, ya que entre menor sea la humedad del aire que rodea al alimento, mayor será la velocidad de secado.
- b) Velocidad del movimiento del aire, entre más rápido fluya el aire en torno al alimento, la velocidad de secado aumentará.
- c) Si la presión atmosférica disminuye, ocasiona que disminuya el punto de ebullición.

3.10.1 CINÉTICA DE SECADO

La deshidratación es una operación en la que se da el transporte simultáneo de calor y masa. En ésta operación debe aportarse el calor sensible y el calor de sublimación necesario para la evaporación, o sublimación, mientras el agua o el

vapor de agua se transportan por el interior del alimento hasta la superficie de evaporación, donde el vapor de agua se transfiere desde el alimento hacia la atmósfera circundante (Fito, *et al.*, 2001).

Las variables que determinan el tiempo de secado de un material son:

- Aire: Temperatura, velocidad másica, humedad, características del flujo (dirección), etc.
- Producto: Humedad, tamaño, forma, estructura, etc.

La velocidad con la que se seca un producto depende de varios factores, algunos directamente relacionados con el producto y otros relacionados con el aire de secado, entre los que cabe destacar según Fito, *et al.*, (2001):

- Isoterma de sorción del producto.
- Dimensiones del producto.
- Velocidad superficial relativa del aire respecto al sólido.
- Temperatura de aire.
- Humedad relativa del aire.
- Densidad de carga, porcentaje de llenado, etc.

La naturaleza del material (composición, estructura, etc.) influye en el valor de la a_w que está muy relacionado con la forma en que está ligada el agua, de manera tal que influye también sobre la velocidad de secado. Por tal motivo es necesario conocer la relación a_w -humedad de equilibrio (isoterma de sorción) (Fito, *et al.*, 2001)

Cuando las características de las partículas sólidas sean suficientemente uniformes y permita la determinación de su superficie, se determina la variación de la velocidad de secado con el tamaño de las mismas si el aire circula a través del lecho del material. Si no cumple con tales condiciones la velocidad de secado se relaciona con la altura del lecho del material (Fito, *et al.*, 2001).

4.0 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la deshidratación de papa roja (*Oxalis tuberosa mol.*) a través de una estufa con recirculado de aire a diferentes temperaturas sobre la concentración de antocianinas, compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante, utilizando métodos *in vitro* para determinar la funcionalidad del producto seco.

5.0 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Deshidratar la papa roja a 30, 45 y 60°C en estufa con recirculación de aire describiendo el fenómeno con base al modelado de cinéticas de secado de la segunda ley de Fick para un mayor control de las variables del proceso.
- Cuantificar la concentración de compuestos fenólicos totales por el método de Follin-Ciocalteu en papa roja fresca y seca a diferentes temperaturas para evaluar la estabilidad de estos compuestos.
- Determinar la concentración de antocianinas con del método diferencial de pH en papa fresca y deshidratada para determinar el comportamiento de dichos compuestos bioactivos.
- Determinar actividad antioxidante mediante los ensayos DPPH, ABTS y FRAP en la papa roja fresca y deshidratada para correlacionar la actividad antioxidante con la concentración de antocianinas y compuestos fenólicos.
- Evaluar el color en la papa roja fresca y deshidratada para conocer si existe relación con los cambios de concentración de compuestos bioactivos y su capacidad antirradical.

6.0 MATERIALES Y MÉTODOS

En la Figura 5, se muestra el diagrama de trabajo del presente proyecto de investigación.



Figura 5. Diagrama de proceso del presente trabajo de investigación.

6.1.0 SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La materia prima se obtuvo de diferentes mercados y productores de la zona de Tulancingo, se seleccionó las papas en mejores condiciones sin daño físico aparente y de éste lote de papas, se tomaron las muestras de forma aleatoria. Para lograr que el proceso de secado fuera lo más homogéneo posible, luego de ser lavadas y desinfectadas, la papa roja fue rebanada con ayuda de un rayador de alimentos y para el secado en estufa las muestras fueron dispuestas en charolas rectangulares de malla de acero inoxidable, lo cual puede apreciarse en la Figura 6 y en la Figura 7 se observan las muestras de papa roja al término del proceso de deshidratación.

Figura 6. Rodajas de papa roja antes del secado



Figura 7. Rodajas de papa roja después del proceso de secado



6.2.0 DETERMINACIÓN INICIAL DE HUMEDAD TOTAL

La determinación de humedad inicial se hizo con base a la norma mexicana de alimentos NMX-F-428-1982 para la determinación de humedad (método rápido de la termobalanza). Se colocaron las muestras de papa cortadas en rodajas con peso entre 0.5-1g en charolas de aluminio en termobalanza (MB45 marca OHAUS), determinando la humedad de modo manual hasta que las muestras alcanzaron peso constante (cese de la pérdida de peso). La determinación se realizó por triplicado.

6.3.0 CINÉTICA DE SECADO

Se realizó el secado en una estufa con recirculación de aire Marca Thermolyne, modelo Oven series 9000, la velocidad de recirculación del aire fue de 1.5 m/s, las papas fueron lavadas y desinfectadas, posteriormente fueron rebanadas con un pela papas manual, de modo que las rodajas fueran lo más homogéneas

posible en cuanto a grosor, después se colocaron en charolas de acero inoxidable con orificios. Las muestras fueron tomadas en el momento que se llevaba a cabo el proceso de deshidratación y se determinó para cada una su contenido de humedad con base a la metodología propuesta por la AACC (Asociación Americana de Química de Cereales) el método AACC 44-19 (2001) determinando humedad en estufa a 135°C.

6.3.1 MODELADO DE LAS CURVAS DE SECADO EN PAPA ROJA

La representación del contenido de humedad frente al tiempo transcurrido permitió obtener las curvas de cinética de secado. Para la descripción de estos resultados se empleó el modelo de la segunda Ley de Fick. Los parámetros del modelo fueron obtenidos mediante ajuste de curvas de secado experimentales, en las diferentes condiciones de operación, temperatura y tiempo. La metodología empleada fue según lo reportado por Tovar (2007).

6.3.2 CÁLCULO DE VELOCIDAD DE SECADO EN OCA

Para determinar la velocidad de secado se calculó primero el porcentaje de sólidos secos presentes en la muestra. Posteriormente se calculó el contenido de humedad inicial expresado en base seca como g agua/ g sólidos secos. Así mismo se determinó la cantidad de humedad en equilibrio, que es cuando se alcanza una condición de equilibrio con el medio circundante.

Para el cálculo de la velocidad de secado primero se calculó el contenido de agua libre, que se define como el agua en exceso con relación a la humedad de equilibrio. Se refiere al agua que se puede evaporar y depende de la concentración de vapor en la corriente gaseosa, se calculó por medio de la expresión (1):

$$(1) \text{ Agua libre} = W_{\text{exceso}} - X_{\text{equilibrio}}$$

Donde:

Agua libre= g de agua/ g de sólidos secos

W_{exceso} = Agua en exceso

$X_{\text{equilibrio}}$ = Humedad en equilibrio

Humedad en equilibrio: Humedad del sólido cuando su presión de vapor se iguala a la presión de vapor del medio ambiente circundante. Es decir, humedad del sólido cuando está en equilibrio con el gas. Empleando éstos datos se calculó la velocidad de secado por medio de la expresión (2):

$$(2) R = \frac{W_{ss} (X_{x1} - X_{x2})}{A(t_{x1} - t_{x2})}$$

Donde:

R = g H₂O/ s cm²

W_{ss} = Masa del sólido seco (g)

W_{x1} = Agua libre en el tiempo 1 (s)

W_{x2} = Agua libre en el tiempo 2 (s)

t_{x1} = Tiempo 1 (s)

t_{x2} = Tiempo 2 (s)

A = Área de secado (cm²)

Para el cálculo del área de secado se tomó un promedio de 100 muestras de rodajas de papa roja, las dimensiones fueron tomadas con apoyo de un vernier, por lo que se consideró la fórmula de área de un cilindro.

6.3.3 COEFICIENTE DE DIFUSIÓN EFECTIVA DEL AGUA (D_{EFW})

Para el cálculo del coeficiente de difusión de agua primero se calculo el contenido adimensional de humedad, el cual fue calculado por medio de expresión (3):

$$(3) E = \frac{HX_{t(n)} - \text{equilibrio}}{HX_0 - \text{HXequilibrio}}$$

Donde:

E= Contenido adimensional de humedad

$HX_{t(n)}$ =Humedad en el tiempo n (s)

HX_0 =Humedad inicial

Por medio del inverso del contenido adimensional de humedad contra el tiempo, se obtiene el valor de la pendiente por medio de regresión lineal, para calcular el coeficiente de difusión de agua fue empleada la expresión (4).

$$(4) D_{\text{efw}} = - \frac{L^2 m}{\pi^2}$$

Donde

D_{efw} = Coeficiente de difusión de agua (cm^2/s)

L= Espesor de la placa (cm)

m= Pendiente

6.3.4 ENERGÍA DE ACTIVACIÓN

La energía de activación se determina representando gráficamente el logaritmo natural del coeficiente de difusión de agua contra el inverso de la temperatura (K). De la pendiente de la recta se obtiene $-E_a/R$ y de la ordenada en el origen se deduce $\ln D_0$ a partir de la ecuación de Arrhenius (Martínez, *et al.*, 1998).

$$(5) E_a = m \cdot R$$

Donde:

E_a = Energía de activación (KJ/mol K)

m = Pendiente

R = Constante universal de los gases ($8.314 \text{ KJ mol}^{-1}$)

6.4.0 DETERMINACIÓN DE ANTOCIANINAS MONOMÉRICAS TOTALES

Para la determinación de antocianinas se llevó a cabo en base a la metodología de diferencial de pH descrita por Lee, *et al.*, (2005) y Castañeda *et al.*, (2011) con algunas modificaciones, la cual se basa en la inestabilidad de las antocianinas en relación al pH por lo que se considera una determinación selectiva. Para esta metodología no fue necesaria la obtención de la curva de calibración pues los resultados fueron reportados en base a la fórmula número 6.

OBTENCIÓN DEL EXTRACTO

Para la obtención del extracto, luego de homogenizar los productos, se pesaron 250g de cada una de las muestras y se dejaron macerar en 150 ml de solución metanólica acidificada al 0.2% en un lapso de tiempo de 12-16h, el extracto fue filtrado al vacío y se aforó a un volumen de 250 ml con la solución metanólica, el extracto fue protegido de la luz, forrando los matraces con papel aluminio para evitar la foto oxidación.

DETERMINACIÓN DE ANTOCIANINAS POR DIFERENCIAL DE pH

A partir del extracto de las muestras, se diluyeron 1 mL de extracto con 9 mL de la solución buffer de pH 1 (KCL 0.025M) y al igual que con la solución buffer de pH 4.5 (NaCH₃COOH 0.4M), se dejaron reaccionar por al menos 20 min (y hasta un máximo de 50 min) posteriormente se midió la absorbancia a 520 y 720nm. Cada ensayo realizado fue por triplicado.

Los resultados se expresaron en base a la fórmula (6):

$$(6) \text{Antocianinas totales}_{(mg/L)} = \frac{AxM \square\square\square\square 10^3}{\epsilon xl}$$

Donde;

A=(absorbancia_{520nm} – absorbancia_{700 nm})_{pH1} – (absorbancia_{520nm} – absorbancia_{700 nm})_{pH 4.5}

MW = Peso molecular de la cianidina 3 glucósida = 449.2 g/mol

DF= Factor de dilución

10³ = factor de conversión de g a mg

ε= coeficiente de extinción molar de la cianidina 3 glucósida = 26900 Lxmol⁻¹xcm⁻¹

l= longitud de la celda = 1 cm

6.5.0 DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES

En la determinación de fenoles totales se siguió el método descrito por Abdel–Aal y Hucl (1999) con algunas modificaciones. La concentración de fenoles totales fue medida a partir del extracto obtenido de cada muestra, éste método espectrofotométrico se basa en una reacción colorimétrica de oxido-reducción que presentan los fenoles en medio básico, siendo el reactivo de Folin-Ciocalteu el agente oxidante.

CURVA DE CALIBRACIÓN

Para la determinación de fenoles totales en papa roja se empleó como estándar el ácido gálico (Sigma Aldrich St. Louis MO, USA, G7384) con base a la metodología empleada por Chirinos *et al.* (2009) para diferentes especies de *Oxalis tuberosa mol.* donde también determinaron el contenido de fenoles totales. Las concentraciones empleadas fueron de 0 a 0.5 mg/ml y la absorbancia empleada fue de 765 nm.

OBTENCIÓN DEL EXTRACTO

Para la extracción de las muestras deshidratadas y muestra fresca, fueron homogenizadas con apoyo del proceso de molienda, posteriormente se pesaron 0.5 g de producto, posteriormente se colocaron en tubos de centrifuga de 10 mL, posteriormente se adicionaron 10 mL de la solución de metanol al 80% y se agitaron durante un periodo de 16-24 h protegiendo las muestras de la luz. Posteriormente se centrifugaron las muestras a 3000 rpm durante 10 minutos, se recolectó el sobrenadante de las muestras y se desecharon los sedimentos. Este proceso de extracción es el mismo que se llevó a cabo en los ensayos de determinación de actividad antioxidante.

DETERMINACIÓN DE FENOLES TOTALES

Se tomaron 20 μ L y se colocaron tubos eppendorf de 5 mL, 1.58 mL de agua destilada, 100 μ L de reactivo de Folin-Ciocalteu diluido en agua 1:2 y 300 μ L de carbonato de sodio al 10%, se mezclaron con ayuda de un vortex, posteriormente se resguardaron los tubos de la luz por 2 h, al terminar este tiempo se tomó la lectura de las absorbancias a una longitud de onda de 765 nm. Cada uno de los ensayos fue realizado por triplicado.

Los cálculos se realizaron con base a la curva de calibración y se expresó como mg equivalente de ácido gálico por cada 100 gramos de muestra con la siguiente ecuación:

(7)

$$\frac{\text{mg equivalentes de ácido gálico}}{100\text{g de muestra}} = \frac{\mu\text{g de ácido gálico}}{\text{mL}} \times \frac{1}{\text{peso de la muestra (g)}} \times 10 \text{ mL} \times 10$$

6.6.0 DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE POR DPPH (2,2' -diphenyl-1-picrylhydrazyl)

Para el desarrollo de esta técnica se llevó a cabo según la metodología propuesta por Abdel-Ala y Huid (1999) y Brand-Williams, *et al.*, (1995) con algunas adaptaciones. Éste método se basa en la estabilidad del radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH), este reactivo es un radical libre estable, que en soluciones polares presenta una coloración violeta fuerte y su máxima absorbancia se obtiene a una longitud de onda de 520 nm y al reaccionar con un compuesto antioxidante se aparean los electrones libres dando como resultado una coloración amarilla en la solución.

PREPARACIÓN DE LA CURVA ESTÁNDAR

Se preparó una solución estándar (solución madre 1) 4 mM de trolox, posteriormente se realizaron diluciones a partir de la solución madre que fueron de 0-200µM con agua destilada. La curva de calibración fue trazada en base a los resultados obtenidos con la fórmula de porcentaje de actividad antirradical (Ecuación 8) y los resultados fueron expresados como mg. equivalentes de trolox en 100 g de muestra.

OBTENCIÓN DE LOS EXTRACTOS

Para la obtención de los extractos se realizó en base a la metodología empleada para extracción de compuestos fenólicos descrita en el apartado 6.5.0.

ENSAYO DE DPPH

La solución del radical DPPH (Sigma Aldrich St. Louis MO, USA, D9132) se preparó disolviendo 2.5mg del radical con 40ml de metanol, posteriormente se aforó la solución a 50mL con metanol y se protegió de la luz. Se tomó un alícuota y se midió su absorbancia a 520 nm, se ajustó la absorbancia de la solución a 0.5 adicionando metanol puro a la solución diluida. Una vez ajustada la absorbancia de la solución se colocaron 200µL de las muestras extraídas en tubos previamente protegidos y 2000µL de la solución de DPPH, se midió la lectura de cada muestra a los 40 minutos de reacción. El porcentaje de inhibición se calculó con la siguiente ecuación.

(8) Porcentaje de actividad antirradical

$$\% \text{Actividad Antirradical} = 1 - \frac{(\text{Abs de la muestra})}{\text{Abs control}} \times 100$$

6.7.0 DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE POR ABTS•+ (2,2 azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico)

Esta determinación se llevó a cabo siguiendo la metodología de Scartezzini, *et al.* (2006) en función de la capacidad del compuesto antioxidante para atrapar el catión ABTS•+.

PREPARACIÓN DE LA CURVA ESTÁNDAR

La curva estándar se preparó a partir de la solución madre de trolox igual a la que fue preparada para la metodología de DPPH, con un rango de concentraciones de 0 a 2.5 µM, los resultados fueron expresaron como porcentaje de inhibición, se

graficó absorbancia contra porcentaje de inhibición y el resultado fue expresado con base al porcentaje de inhibición correspondiente a una concentración de trolox conocida.

OBTENCIÓN DEL EXTRACTO

Para la obtención de los extractos se realizó en base a la metodología empleada para extracción de compuestos fenólicos descrita en el apartado 6.5.0.

ENSAYO DE ABTS⁺⁺

Primero se preparó la solución de ABTS⁺⁺ (Sigma Aldrich St. Louis MO, USA A1888) 7 mM con persulfato de potasio 2.4 mM (K₂S₂O₈, Sigma Aldrich St. Louis MO, USA, 216224) en 10 mL con agua destilada (solución madre), la solución se dejó en reposo por un periodo de 12 h en refrigeración y protegida de la luz, posteriormente se tomó una alícuota de 550 µL y se aforó a 50 mL con etanol puro (solución 2), ésta solución se protegió de la luz y se conservó en hielo durante su uso. Se tomó lectura de la solución 2 a 734 nm, y se ajustó a 0.7 ± 0.02 de absorbancia, la solución fue ajustada con etanol puro y solución madre.

Para el análisis de muestras se tomaron 990 µL de la solución ajustada a 0.7 de absorbancia y se tomó lectura de la absorbancia exacta a 734 nm (tiempo cero) en seguida se añadió 10 µL de la muestra tratando de no introducir aire al depositar la muestra sin sacar la celda del espectrofotómetro, por último se tomó lectura tras 5 minutos de reacción. Los resultados fueron expresados como mg equivalentes de trolox en 100g de muestra (peso seco).

El porcentaje de inhibición se calculó con la siguiente ecuación (9)

$$(9)\% \text{ de inhibición} = \frac{(\text{Abs muestra } t_0 - \text{Abs de la muestra } t_5)}{\text{Abs muestra } t_0 - \left(\frac{\text{Abs disolvente } t_0 - \text{Abs disolvente } t_5}{\text{Abs disolvente } t_0} \right)} \times 100$$

6.8.0 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PLASMÁTICA DE REDUCCIÓN DE HIERRO (FRAP)

El análisis de FRAP fue realizado de acuerdo al método descrito Benzie y Strain (1996) con ligeras modificaciones. Éste ensayo mide la capacidad antioxidante de acuerdo con su capacidad para reducir el hierro férrico (Fe^{+3}) presente en un complejo con la 2,4,6-tri(2-piridil)-s-triazina (TPTZ) hasta la forma ferrosa (Fe^{+2}).

PREPARACIÓN DE LA CURVA ESTÁNDAR

La curva de calibración para este método se realizó con sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) con una concentración de 0 a 5 mM, los resultados fueron expresados como $\mu\text{mol Fe (II)}$ presentes en 100 g de muestra.

ENSAYO FRAP

Para la preparación del extracto empleado en esta técnica se empleó la misma metodología empleada en los ensayos de actividad antioxidante anteriores.

El reactivo de FRAP fue preparado por una mezcla de las siguientes soluciones;

- Solución de TPTZ (2,4,6-tripiridil-s-triazina, Sigma Aldrich St. Louis MO, USA, T1253) 10 mM en una solución de ácido clorhídrico 40 mM (la solución de HCl fue preparado en agua destilada)
- Solución de FeCl_3 0.3 M preparado en agua destilada.
- Buffer de acetato (pH 3.6), se preparó con la mezcla de acetato de sodio y ácido acético en agua destilada, se ajustó el pH hasta llegar al valor deseado.

Posteriormente las soluciones fueron mezcladas en base a la siguientes proporciones; 83% de la solución buffer, 8.3% de la solución de FeCl_3 y 8.3% de la solución de TPTZ.

Para la determinación de las muestras, se hicieron reaccionar 250 μL de la extracción de la muestra con 1ml del reactivo de FRAP y se llevó a un volumen de 10 mL con agua destilada en tubos eppendorff, se dejaron reaccionar por 30 minutos en un baño maría a una temperatura de 30°C. Inmediatamente la absorbancia fue leída en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 593 nm.

6.9.0 DETERMINACIÓN DE COLOR EN MUESTRAS SECAS

La medición del color en las muestras secas se realizó empleando el colorímetro HunterLab de acuerdo con la metodología de Wang, *et al.*, (2011), con algunas adaptaciones. El color se expresó en $L^* a^* b^*$, donde L^* representa la claridad ($L^* = 0$ rendimientos negro y $L^* = 100$ denota blanco), a^* representa las coloraciones rojo y verde (rojo valores positivos o verde valores negativos), y el b^* indica coloraciones amarillas o azules (amarillo valores positivos o azul valores negativos). De inicio el colorímetro fue calibrado con la placa blanca y posteriormente con la placa negra. Las muestras deshidratadas fueron homogenizadas por molienda, y se midió el color en ellas triplicado. Los resultados se expresan de acuerdo a la expresión matemática (10).

(10)

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

7.0 RESULTADOS Y DISCUSIONES

7.1.0 OBTENCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Las papas rojas presentaron una gran variabilidad en cuanto a tamaño (ancho y largo) y peso. La coloración de la muestra fresca era una combinación de tonalidades morado y rosa mexicano en el exterior (piel) y amarillo y morado en el interior. En la Tabla 6, se muestran los valores de las dimensiones y peso de oca empleada como muestran en el presente estudio, como puede observarse los valores de la desviación son mayores al 10% de la media, representando poca homogeneidad en las muestras.

Tabla 6. Dimensiones y peso de papa roja

Características		Límite inferior	Límite superior
Peso (g)	24.58	10.34	38.81
Largo (cm)	66.33	43.60	89.06
Ancho (cm)	23.56	20.10	27.02

Los resultados están expresados como la media de las mediciones en 50 muestras

En la Figura 8, se ilustran las papas rojas empleadas en el presente estudio, donde puede apreciarse las diferencias de tamaño en las muestras. El propósito de medir las dimensiones de la muestra fue para obtener el dato de área promedio que se empleó en el modelo matemático de la segunda ley de Fick y que este resultado fuera representativo de la muestra, con la información de 100 rodajas de papa roja para poder determinar el área promedio de la muestra, el resultado del área promedio fue de $191.87 \pm 65.50 \text{ mm}^2$.

Figura 8. Diferentes tamaños de muestra de oca



7.2.0 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD TOTAL

La humedad total inicial en papa roja fue de $85.83\% \pm 0.01$ (Los resultados están expresados como la media de ensayos por triplicado \pm la desviación estándar). Este resultado nos indica que existe un alto porcentaje de agua en nuestra muestra. De ahí que sea un producto perecedero y con poca vida de anaquel. Teniendo un alto porcentaje de agua y de carbohidratos por lo que puede ser sujeto a ataque microbiano. Esto implica una vida de anaquel relativamente corta al igual que en muchas hortalizas.

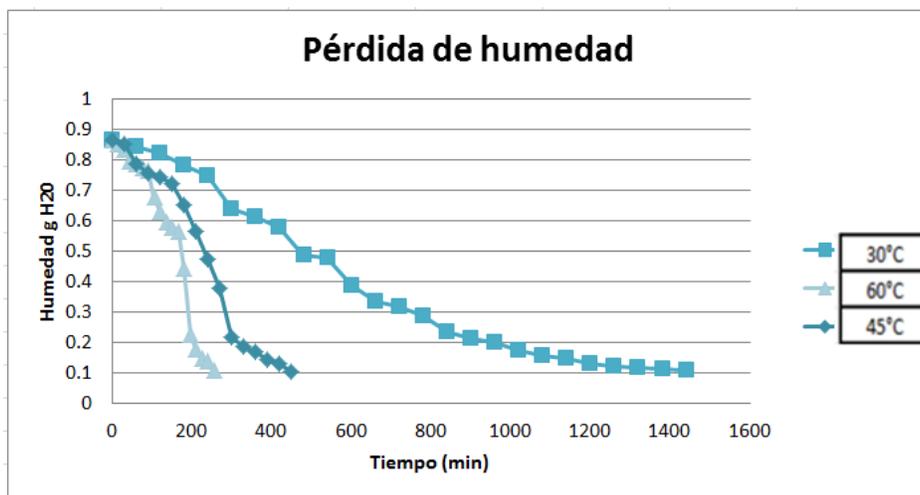
León-Marrou, *et al.*, (2011) reportaron para *Oxalis tuberosa mol.* 86.79%, y Reyes-García, *et al.*, (2009) 84.1% de humedad para oca. Nuestros resultados se encuentran entre estos valores, es importante conocer el contenido de humedad inicial en una muestra vegetal ya que se considera un parámetro de frescura y de que la muestra aún se encuentra en buenas condiciones.

7.2.1 CINÉTICAS DE SECADO

El porcentaje de humedad al equilibrio en las que se sometieron al proceso de deshidratación fue de 10.9%, 10.7% y 10.5% para el tratamiento a 30°C, 45°C y 60°C respectivamente. Se entiende como humedad al equilibrio cuando en un proceso de deshidratación bajo ciertas condiciones, es cuando el contenido de humedad se mantiene constante luego de cierto tiempo de secado. El porcentaje de humedad al equilibrio también puede ser impuesto, si así se desea, como en el estudio realizado por Giraldo-Zuñiga, et al. (2009) en el cual, deshidrataron pulpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) (Planta similar al cacao) con alto contenido acuoso (86.3%), en dicho experimento se impuso un porcentaje de humedad final o al equilibrio del 20%. Por otra parte, puede considerarse que las muestras de papa roja han sufrido un proceso de deshidratación, su porcentaje final es menor al 13% según lo establecido por Aguilar (2012).

En la Figura 9, se muestra las curvas de secado obtenidas para papa roja a 30°C, 45°C y 60°C, en función del tiempo. En esta gráfica puede apreciarse la pérdida de humedad en cada una de las temperaturas evaluadas además del efecto de la temperatura en la velocidad de secado, la cual se representa como la pendiente de cada curva. Como hace referencia la bibliografía; Geankoplis (1998), la velocidad de secado aumenta, al aumentar la temperatura en un proceso de deshidratación.

Figura 9. Pérdida de peso (g de agua) de papa roja en función del tiempo para cada temperatura de secado.

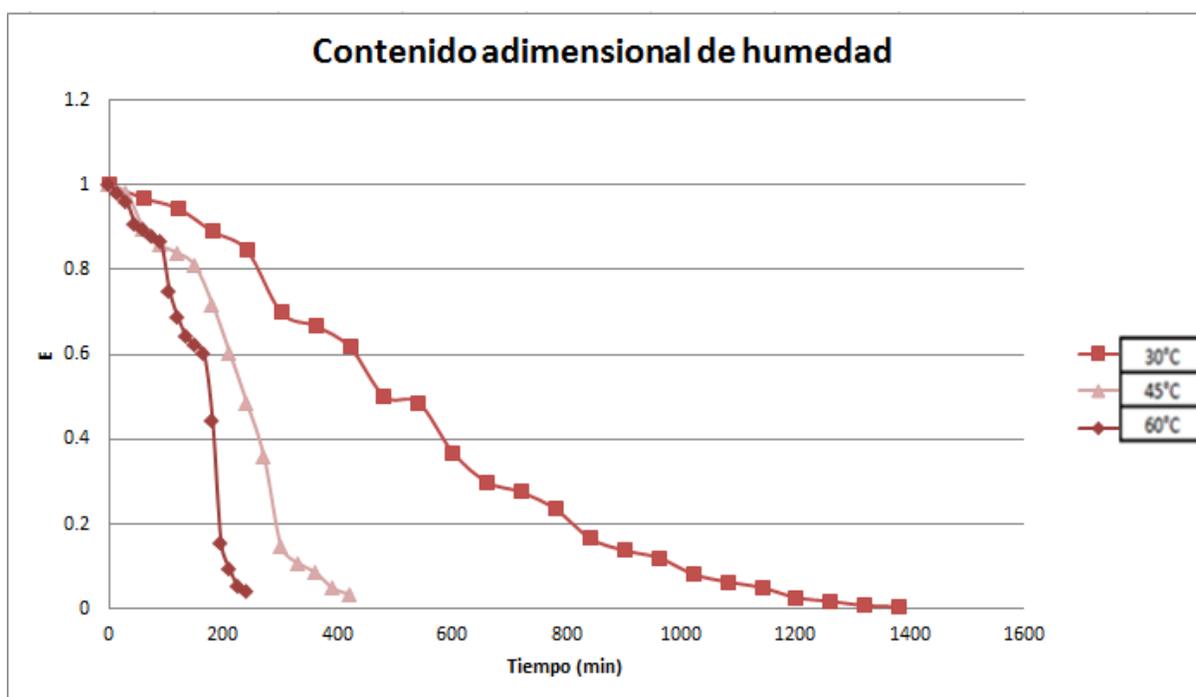


En el trabajo de Tovar (2007) realizó cinéticas de secado en bagazo de naranja a temperaturas más altas, aunque en uno de sus procesos de secado se empleó la temperatura de 60°C y llevó el producto hasta un remanente de humedad del 4.14%, lo que tomó 6 h con 42 min, lo cual difiere del tiempo de deshidratación en oca, sin embargo en el caso de la oca, perdió sólo 89.5% del contenido total de humedad, lo que nos lleva a decir que influye el tamaño y forma en la que se dispone la muestra. Podría considerarse que a pesar de la alta concentración de agua, la pérdida de humedad se llevó a una velocidad de secado elevada, considerando como factores positivos; la disminución de tamaño de la muestra, el sistema de recirculado de aire, que promueve la movilidad de agua libre en la estructura del alimento. También puede observarse la forma en que decrece la velocidad de secado conforme el producto pierde contenido de humedad, esto se debe a la disponibilidad del agua dependiente de la estructura del alimento, y del porcentaje final de humedad en el alimento, una porción corresponde al contenido de agua ligada.

7.2.2 CONTENIDO ADIMENSIONAL DE HUMEDAD (E) EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DE SECADO

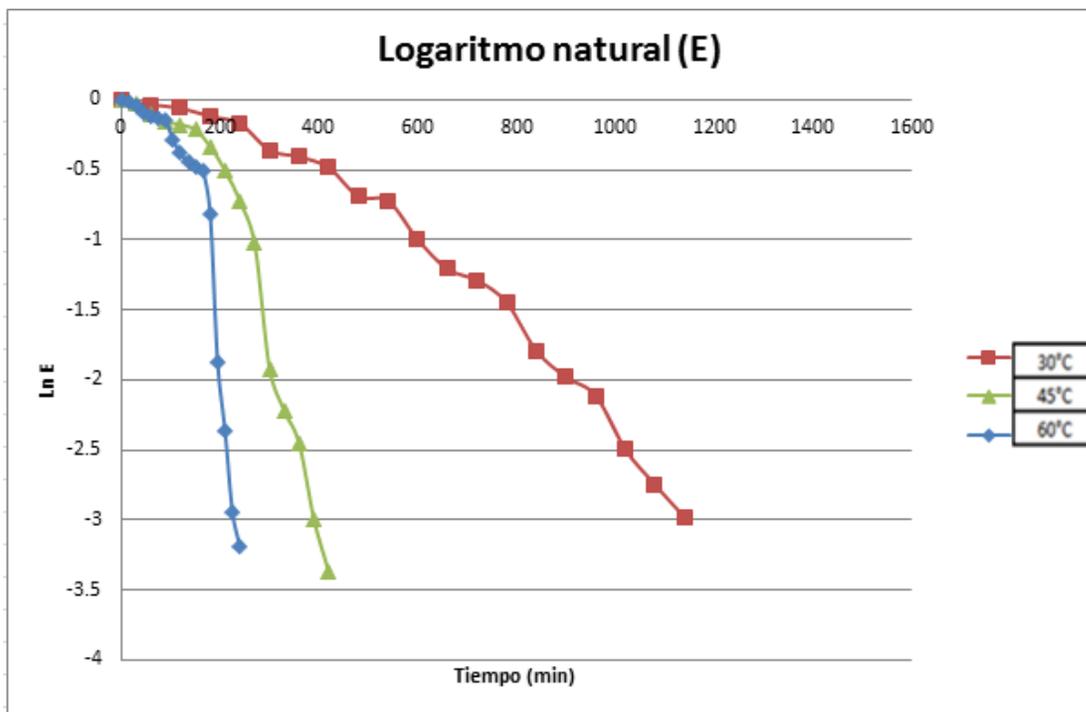
En la Figura 9, se muestra el contenido adimensional de humedad en las muestras de papa roja y su pérdida a cada temperatura de secado en función del tiempo, lo cual es la representación gráfica de las cinéticas de orden cero, el propósito de esta representación gráfica es comparar con las cinéticas de secado de la Figura 8, donde se expresa la pérdida de materia húmeda independientemente del peso de las muestras, en la Figura 9, se expresa de forma más estandarizada los resultados del monitoreo de deshidratación.

Figura 10. Contenido adimensional de humedad (E) de papa rojo calculado en función de la temperatura de secado.



Por otra parte, el cálculo los coeficientes de difusión efectiva del agua fueron calculados en cada proceso de a partir del logaritmo natural del contenido adimensional de agua en función de la temperatura y tiempo del proceso de secado, el cual es la representación de las cinéticas de orden 1, el cual se observa en la Figura 11.

Figura 11. Representación gráfica del logaritmo natural del contenido adimensional de humedad (E) del papa rojo calculado en función de la temperatura de secado.



7.2.3 VELOCIDAD DE SECADO DE LA PAPA ROJA

En las Figuras 12, 13 y 14, se representa el cambio de la velocidad para las temperaturas de secado a 30°C, 45°C y 60°C respectivamente, donde puede apreciarse que al inicio del tratamiento de deshidratación, cuando el contenido de humedad es elevado, la velocidad de secado es elevada en un inicio, debido a la disposición del agua en la muestra que fluye con mayor facilidad, lo que permite que sea evaporada más rápido, por lo que puede establecerse una relación directa entre el contenido de humedad y la velocidad de secado. Cuando se trata del contenido de

agua libre, en cambio la menor proporción de agua en el alimento (agua ligada) dificulta el paso del agua, por lo que la velocidad de secado decrece hasta mantenerse constante, lo que se aprecia al aproximarse al valor de cero. Por otra parte, como se expresó en las cinéticas de secado, existe una relación directa entre el aumento de temperatura y el aumento de la velocidad del proceso de deshidratación.

7.2.4 DIFUSIVIDAD EFECTIVA DEL AGUA Y ENERGÍA DE ACTIVACIÓN DE LA PAPA ROJA

El coeficiente de difusión de agua a 30°C, 45°C y 60°C fueron de; 6.41 E^{-9} , 1.98 E^{-8} y 2.91 E^{-8} (cm^2/min). Los valores obtenidos para el coeficiente de difusión en cada muestra se calcularon respecto el comportamiento lineal en el gráfico del logaritmo natural de la pérdida adimensional de humedad en función del tiempo (Figura 10), por lo tanto el valor expresado es representativo para todo el proceso. El valor del coeficiente de difusión de agua aumenta al aumentar la temperatura de deshidratación, lo que sugiere que a mayor temperatura, aumenta también la facilidad con la que el agua fluye por el alimento para facilitar la pérdida de peso húmedo. Este valor sirve para comparar el tratamiento de secado con el de otros estudios, y en la forma en la que puede mejorar un proceso de deshidratación para disminuir los tiempos de secado, lo que impacta en un ahorro energético y económico.

El valor de energía de activación indica la cantidad de energía mínima que requiere un sistema, en este caso la muestra de papa roja, para iniciar con el proceso de deshidratación (pérdida de humedad), los resultados al igual que en el coeficiente de difusión de agua son representativos para el proceso global en cada una de las temperaturas de secado, los resultados fueron; 0.22 KJ/mol, 0.08 KJ/mol y 0.1 KJ/mol para 30°C, 45°C y 60°C, respectivamente, al aumentar la temperatura del proceso de deshidratación la energía de activación disminuye, esto se ve reflejado en el comportamiento de la velocidad de secado, ya que cuando la energía de activación es mayor el proceso se vuelve más lento.

En un estudio realizado por Hassini, *et al.*, (2004) determinaron el coeficiente de difusión de agua en secado con aire caliente en papa, también con base al modelado de las cinéticas de secado de la segunda ley de Fick, variando las temperaturas de secado a 55°C, 70°C y 85°C, además de aumentar las variables del proceso de secado, ya que determino los valores del coeficiente de difusión de agua y energía de activación a diferentes medidas del grosor de las rodajas de papa, diferentes velocidades de aire en la estufa, concluyendo que tenía más impacto el tamaño de la muestra que la velocidad del aire, los valores que obtuvo para el coeficiente de difusividad efectiva de agua fueron; 1.32 E^{-9} , 1.62 E^{-9} y $2.26 \text{ E}^{-9} \text{ (m}^2/\text{s)}$ para el proceso de secado a 55°C, 70°C y 85°C, a una velocidad del aire de secado de 1 m/s, que es el valor más cercano a las condiciones de estudio (1.5 m/s) y con el mismo grosor de las rodajas de papa (10 mm). Puede apreciarse un comportamiento parecido a los resultados obtenidos, que conforme aumenta la temperatura de secado el coeficiente de difusión de agua también aumenta. Además determinó un promedio de la Energía de activación para todos los tratamientos de 15.18 (KJ/mol) probablemente el promedio de la energía de activación es mayor porque en sus condiciones de trabajo la velocidad del aire en la estufa fue menor que el empleado en el presente estudio.

Otros valores reportados para papa por Martínez, *et al.*, (1998) para coeficiente de difusividad efectiva son desde 28 E^{-7} hasta 53 E^{-6} , deshidratadas en un rango de temperatura desde 60°C hasta 100°C, en cuanto a la energía de activación con valores desde 30 hasta 108 (KJ/mol), cuando se deshidrata el producto entero, por lo que puede observarse la ventaja de preparar las muestras en rodajas delgadas.

Los valores de difusividad efectiva del agua encontrados en diferentes alimentos oscila entre 10 E^{-9} y $10 \text{ E}^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ y además la mayoría (92%) se encuentran entre 10 E^{-8} y $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$. La tendencia que se observa en la mayoría de los casos, en los alimentos con mayor contenido acuoso, aumenta la difusividad de agua (Tovar, 2007).

Figura 12. Velocidad de secado de papa roja calculada de la cinética de secado a 30°C.

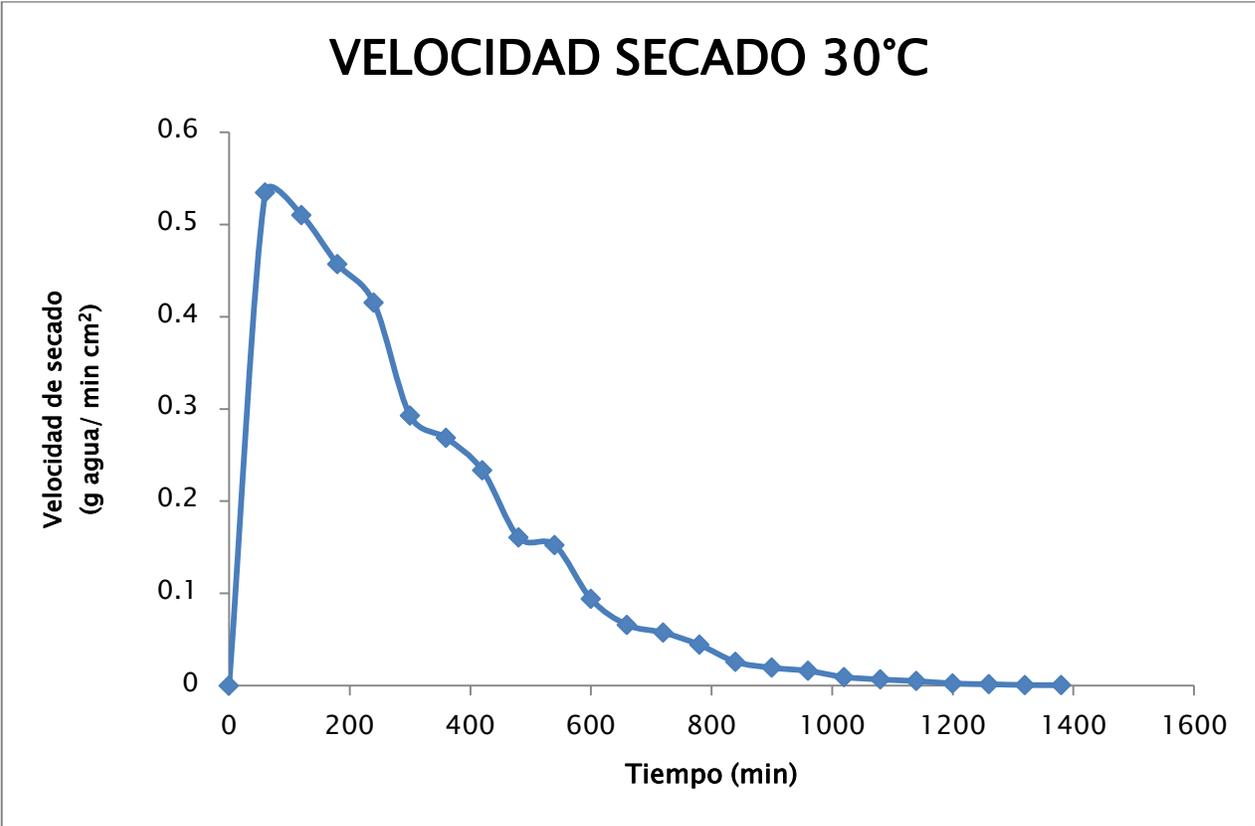


Figura 13. Velocidad de secado de papa roja calculada de la cinética de secado a 45°C.

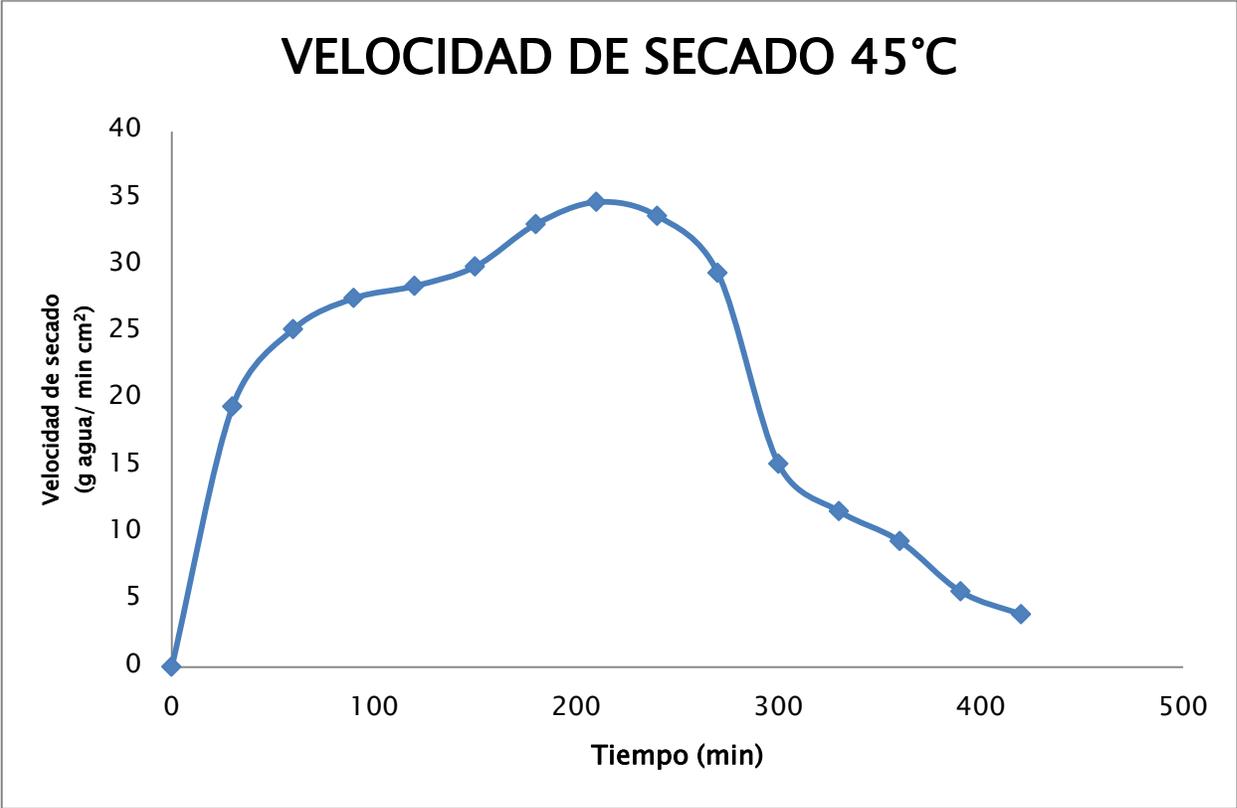
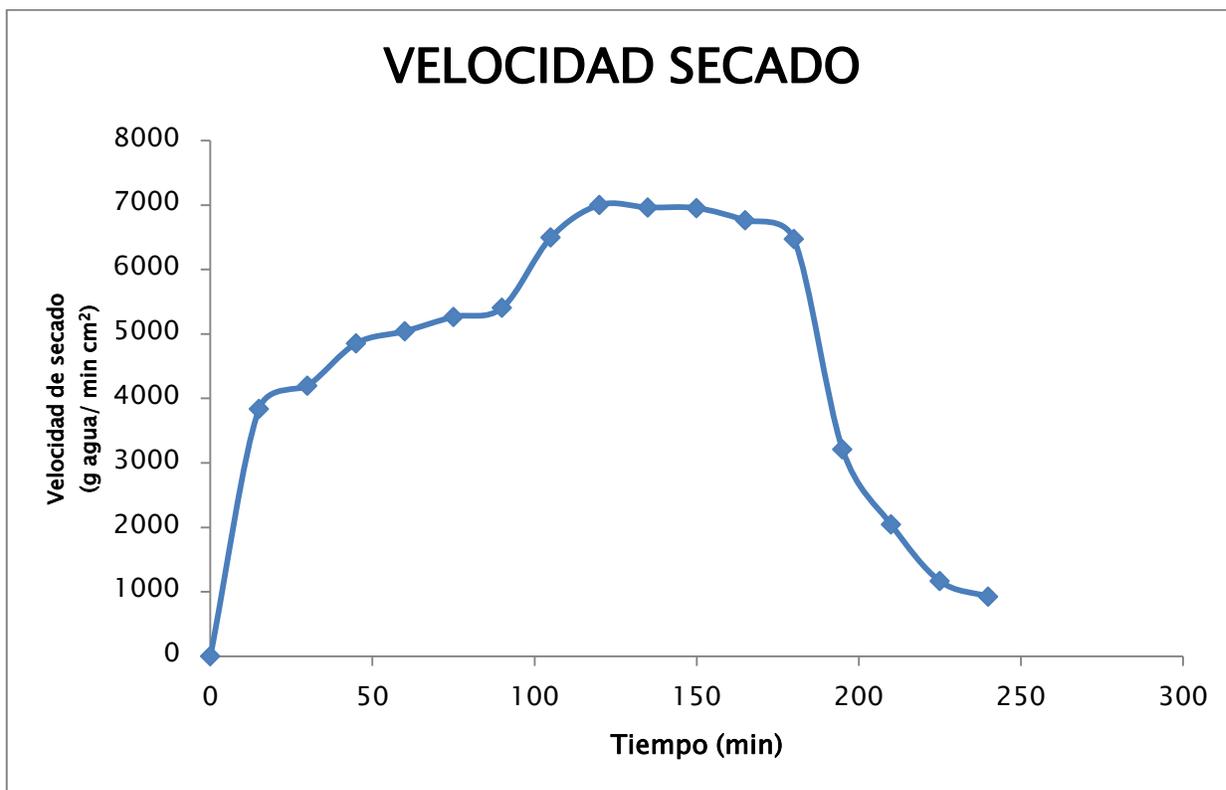


Figura 14. Velocidad de secado de papa roja calculada de la cinética de secado a 60°C.



7.3.0 DETERMINACIÓN DE ANTOCIANINAS

En la Tabla 7, se muestran las concentraciones de antocianinas obtenidas en la muestra fresca y deshidratadas a diferentes temperaturas (30°C, 45°C y 60°C) en papa roja u oca (*Oxalis tuberosa mol.*). Los resultados fueron expresados en base seca. Se observa que la temperatura de deshidratación no tuvo un efecto significativo ($P > 0.05$) en la concentración de antocianinas.

Kita, *et al.* (2013) analizaron la estabilidad de las antocianinas en papa roja y morada (*Solanum tuberosa*) en proceso de fritura a una temperatura de 170°C en aceite refinado, reportaron una marcada tendencia de disminución de la concentración de antocianinas desde 40 hasta 80% respecto al producto fresco, además caracterizaron el perfil de antocianinas por HPLC, encontraron que para el caso de papa roja predominaba el contenido de pelagordina, concluyeron que dependiendo de la antocianina predominante tenía una relación directa con la concentración final de antocianinas, en ese estudio demostraron mayor estabilidad la pelagordina frente a la malvidina y petunidina. Probablemente en Oca al ser un tubérculo de naturaleza similar a la papa roja (*Solanum tuberosa*), también predomine el contenido de pelagordina, por lo que no se vio alterado su contenido tras el proceso.

En comparación con otras variedades de oca reportadas en la bibliografía, la concentración de antocianinas en oca fresca corresponde con lo reportado por Chirinos, *et al.* (2009) ellos determinaron un rango de concentración de antocianinas monoméricas totales de 8.6 hasta 75.4 mg CE/ 100g P.S. (peso seco) en oca, en su trabajo, encontraron que las concentraciones más altas de antocianinas se presentaron en variedades que presentaban una coloración similar a la muestra empleada en el presente estudio (predominio de tonalidad morada). Aunque debe considerarse que la concentración de compuestos bioactivos depende de la variedad que se analice, además de una serie de factores como; el tipo de suelo, temperatura, humedad, exposición a daños, manejo post-cosecha y tipo de cultivo (Sepúlveda-Jiménez, Porta-Ducoing, & Rocha-Sosa, 2003) y (Cantillano, Ávila, Peralba, Pizzolato, & Toralles, 2012).

Tabla 7. Contenido de antocianinas en oca fresca y deshidratada

Muestra	Antocianinas monoméricas totales (mg CE/100g muestra) B.S.
Oca fresca	42.81 ±2.38 ^A
Oca deshidratada a 30°C	44.21 ±0.71 ^A
Oca deshidratada a 45°C	44.45±1.50 ^A
Oca deshidratada a 60°	44.83 ±1.51 ^A

Los resultados están expresados como la media de determinaciones por triplicado \pm la desviación estándar, las muestras con la misma letra no presentan diferencia significativa utilizando prueba de comparación de medias estadístico tukey ($p < 0.05$). (mg CE/100g = mg de Cianidina 3-glucosilada en 100g de muestra) (B.S. base seca)

El comportamiento de las antocianinas en diferentes procesos, no es igual entre alimentos, incluso aun teniendo composición y estado fisicoquímico similar. Tal como lo reportó Zapata-Bustamante, *et al.* (2013) evaluaron el efecto del proceso de tostado (a 180°C por 10 min) sobre el contenido de compuestos bioactivos en granos de cacao de diferentes variedades. En todos los casos fue notable la disminución, sin embargo el rango de pérdida mostró un rango de antocianinas desde 2% hasta 85.7%,

Por otra parte, Yue y Xu (2008) reportaron que al someter jugo de arándano a proceso de pasteurización, la degradación de antocianinas se presentó en temperaturas mayores a 100°C por un lapso de 30 min, esto debido a la pérdida del azúcar presente en la estructura base de las antocianinas y a su vez, estas se degradaban a antocianidinas. Ya que las temperaturas de deshidratación empleadas en el presente análisis no sobre pasaron los 100°C, por eso no fue posible apreciar una degradación aparente, en base la determinación realizada.

La pérdida de antocianinas, no sólo depende de la temperatura a la que se exponga el alimento, sino también la composición química tiene una relación directa frente a tratamientos físicos, que pueden afectar el contenido de compuestos bioactivos de forma positiva o negativa. Según lo descrito por Markakis, *et al.* (1957) el contenido de azúcares como fructosa y glucosa tiene un efecto negativo sobre el contenido de antocianinas, debido a la degradación del azúcar a furfural, que pueden presentarse durante la reacción de Maillard. La exposición a altas temperaturas provocan la

pérdida del azúcar glicosilante en la posición 3 de la molécula base de la antociana (Timberlake, 1980).

Aparentemente, la composición química de la oca junto con las condiciones de secado empleadas en este estudio, tuvieron un efecto positivo para la conservación de antocianinas.

7.4.0 DETERMINACIÓN DE FENOLES TOTALES

En la Tabla 8, se muestran los resultados de contenido de fenoles totales en papa roja fresca y deshidratada.

Tabla 8. Contenido de Fenoles totales en oca (*Oxalis tuberosa mol.*)

Muestra	Fenoles totales (mg EAG/100g muestra) B.S.	Porcentaje de disminución
Oca fresca	470.10 ± 13.96^A	-
Oca deshidratada a 30°C	390.5 ± 4.85^B	16.9%
Oca deshidratada a 45°C	366.5 ± 23.0^B	22.0%
Oca deshidratada a 60°C	299.2 ± 6.08^C	36.4%

Los resultados están expresados como la media de determinaciones por triplicado ± la desviación estándar, las muestras con la misma letra no presentan diferencia significativa utilizando prueba de comparación de medias estadístico Tukey ($p < 0.05$). (mg GAE=mg EQUIVALENTES de ácido gálico) (B.S. base seca)

A diferencia del contenido de antocianinas, la concentración de fenoles es superior en oca, el contenido de fenoles se vio afectado significativamente ($P > 0.05$) al aumentar la temperatura de secado, como se muestra en la Tabla 7, a 60°C se degradó el mayor porcentaje de fenoles totales hasta un 36.4%. Estadísticamente no hay diferencia significativa en la concentración de fenoles al deshidratar la papa roja en un rango de temperatura de 30 a 45°C.

A diferencia de otros estudios, donde se analizó el efecto de procesos térmicos en la estabilidad fenólica, no se ha reportado un comportamiento homogéneo, ya que aun trabajando las mismas condiciones de tratamiento en muestras similares, el contenido de fenoles podía verse afectado de forma positiva o negativa. El motivo

por el cual puede potenciarse el contenido fenólico tras un proceso térmico puede deberse al efecto de las reacciones entre azúcares reductores y aminoácidos (Reacción de Maillard o pardeamiento no enzimático), varios autores coinciden y demuestran en que los productos intermedios y pigmentos (melanoidinas) contribuyen a la actividad antioxidante, sabor y color de los alimentos, además de ser agentes reductores que pueden ser detectados por el métodos de Folin-Ciocalteu (Zapata-Bustamante, *et al.*, 2015)

Kita, *et al.* (2015) reportaron análisis en papas rojas y moradas que fueron sometidas al proceso de fritura, en aceite refinado a una temperatura de 180°C por 3 min, llevando las muestras a un porcentaje de humedad final del 2%. El efecto del proceso de freído no mostro tener un comportamiento homogéneo en fenoles, ya que fue negativo sólo en la mitad de las variedades analizadas que perdieron hasta 20.5% del contenido inicial. Sin embargo para el resto de las variedades se notó un incremento en el contenido de fenoles. Esto puede deberse que a pesar de que la temperatura del proceso es alta, el tiempo de exposición es muy corto, y parece tener un efecto positivo en el contenido fenólico.

En el análisis realizado por Tian, *et al.* (2016) también observaron una disminución en el contenido fenólico asociado a tratamientos térmicos, ellos evaluaron el efecto de los diferentes métodos de cocción en papa morada sobre el contenido de fenoles. Los tratamientos empleados fueron; hervidas (100°C, 20 min), al vapor (durante 15 min), horneadas (210°C, 30 min), cocción por microondas (1000W, 6 min), freídas (191°C, 2 min) en sistema de freído (180°C, 18 min) y sofritas (160°C, 3 min). En todos los caso hubo pérdida de fenoles, principalmente en las papas sofritas hasta 72.44% respecto a la concentración inicial, 40.51% en papas horneadas, 32.52% en el sistema de freído y 14.08% en el proceso tradicional de fritura. Los productos donde se conservó la mayor cantidad de fenoles fue en papas hervidas y papas al vapor donde sólo decreció la concentración 7.09% y 11.93% respectivamente posiblemente por ser menor la temperatura y el tiempo de exposición. En la cocción por microondas no se vio afectada la concentración de compuestos fenólicos

Otro estudio donde se analizó el comportamiento de fenoles en procesos de cocción térmico fue realizado por Tang, *et al.* (2015), la muestra de análisis fue papa dulce

originaria de China en variedades de color blanco, amarillo, naranja y morado. Los tipos de cocción empleados en este estudio fueron; papas hervidas (100°C, 30 min), papas al vapor (30min) y papas rostizadas (en horno eléctrico a 230°C). Observaron que el contenido de fenoles totales presentó un comportamiento irregular entre una variedad y otra, sin embargo en la mayoría de las variedades se vio menos afectada la concentración de fenoles. En papas al vapor sólo se perdió del 3.8%-15.9%, para las papas rostizadas se perdió de 19% a 38.9% y para las papas hervidas desde 21.4% hasta 71.1%, siendo el tratamiento que menos conservó la concentración de fenoles, aunque los autores también consideraron importante determinar la concentración de fenoles presente en el agua de las papas hervidas y encontraron una concentración inclusive casi el doble respecto al producto en fresco. Esto puede deberse al carácter hidrófilo de los fenoles y a que el agua a punto de ebullición haya servido como extractor, además de hacer más disponibles a los fenoles para el ensayo espectrofotométrico.

Cabe mencionar que en los estudios a los que se hizo referencia, emplearon la misma técnica de determinación de fenoles empleada en el presente estudio, como se comentó anteriormente, en ocasiones el contenido de fenoles puede verse afectado positivamente si se considera que en reacciones de Maillard, los pigmentos y compuestos intermediarios que da esta reacción, pueden dar positivo en la determinación espectrofotométrica, sin embargo, a las temperaturas de trabajo no se esperaría que se llevará a cabo dichas reacciones, ya que es más probable que ocurran a temperaturas mayores de 70°C (Badui,1999). Incluso en las muestras deshidratadas no se apreció coloración marrón, característica de la reacción de azúcares reductores en presencia de aminoácidos.

La concentración de fenoles totales en papa roja fresa corresponden a lo reportado en la bibliografía, tomando en cuenta lo publicado por Chirinos, *et al.* (2009) donde reportaron concentraciones desde 291.4 hasta 1,155.7 mg GAE/ 100g B.S., la variedad que presento mayor contenido de fenoles fue aquella con predominio de coloración morada, en ese aspecto si podría diferir el contenido de fenoles totales en la oca analizada, pero deberá considerarse la diversidad entre variedades de una misma especie.

Esto concuerda con el trabajo realizado por Kita, *et al.* (2015) donde analizaron el contenido de antocianinas y fenoles en diferentes variedades de papa roja y morada cultivadas en República Checa. Ellos reportaron una concentración de fenoles totales similar a lo encontrado para oca, en un rango de 250-468mgGAE/ 100g muestra B.S. para papa morada y de 260.79-296.55 mgGAE/ 100g muestra B.S. para papa roja.

No hay un comportamiento definido en alimentos sometidos a tratamientos térmicos para su contenido de fenoles, además de la complejidad de la matriz donde se encuentran, debe considerarse el tipo de transferencia de calor, la temperatura, el tiempo al que se expone el alimento y el porcentaje de humedad que pierde durante el proceso, a comparación de los estudios previamente citados, en este trabajo se emplearon temperaturas bajas, y en todos los casos se presentó pérdida de fenoles, probablemente por ser largos tiempos de exposición y por la pérdida de humedad, ya que, los fenoles solubles en agua libre pudieron perderse durante la deshidratación. Por lo tanto, se considera relevante hacer un análisis del efecto térmico en diferentes productos y a diferentes condiciones al no haber un patrón definido de comportamiento.

7.5.0 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

En la Tabla 9 se muestran los resultados de actividad antioxidante por los tres ensayos realizados. Los resultados muestran que conforme aumenta la temperatura de deshidratación, la actividad antioxidante decreció respecto al producto crudo. El ensayo de radical ABTS, muestra mayor afinidad por los compuestos hidrófilos que al igual que los fenoles, su contenido se vio afectado respecto al aumento de temperatura de deshidratación.

En relación al ensayo ABTS, disminuyó significativamente ($P>0.05$) en cada uno de los tratamientos de secado (19.5% a 30°C, 85.2% a 45°C y 91.4% a 60°C) perdiendo casi por completo actividad antioxidante a 60°C. Probablemente, al igual que el caso de los fenoles, no se relacione directamente sólo a la temperatura de deshidratación

sino también a la pérdida de agua y a los largos tiempos de exposición al calor, lo afecte principalmente la actividad de compuestos bioactivos.

A pesar de disminuir significativamente la actividad en los resultados del ensayo DPPH respecto al producto en fresco, no mostró diferencia significativa entre tratamientos ($P < 0.05$), la disminución de la concentración después de la deshidratación fue de aproximadamente 58.6%. Los resultados del ensayo FRAP, parecen tener un comportamiento similar a DPPH, ya que entre tratamientos tampoco mostraron tener diferencia significativa ($P > 0.05$), aunque la capacidad reductora se vio menos afectada, ya que solo disminuyó 37.1% aproximadamente.

Usualmente se utiliza más de una técnica para la determinación de actividad antioxidante para tener un panorama más amplio de cómo actúa y a qué se debe dicha funcionalidad en alimentos. Los ensayos por ABTS y DPPH, están orientados a determinar la capacidad de los antioxidantes para reducir o estabilizar los radicales libres. Mientras tanto el ensayo FRAP es diferente pues no hay radicales libres involucrados en la reacción, sirve para monitorear el efecto reductor de Fe^{3+} a Fe^{2+} (Floegel, *et al.*, 2011).

La relación entre ABTS y contenido de fenoles es fuerte, en base al coeficiente de correlación de Pearson, incluso mayor comparado con los otros ensayos (ABTS $r = 0.89$ $p < 0.001$, DPPH $r = 0.85$ $p < 0.001$ y FRAP $r = 0.85$ $p < 0.001$). Por otra parte al no haber alteración en el contenido de antocianinas, aparentemente no hay relación con actividad antioxidante, por lo tanto no se le atribuiría directamente a dicho compuesto funcionalidad en oca.

Tabla 9. Resultados de los ensayos de actividad antioxidante

Muestra	ABTS ⁺⁺ Trolox/g B.S.	(μ mol muestra)	DPPH Trolox/g B.S.	(μ mol muestra)	FRAP (μ mol Fe ²⁺ /g muestra) B.S.
Oca fresca	3.85 \pm 0.076 ^A		103.57 \pm 8.35 ^A		1590 \pm 36.4 ^A
Oca deshidratada a 30°C	3.10 \pm 0.006 ^B		44.05 \pm 0.675 ^B		1010 \pm 24.2 ^B
Oca deshidratada a 45°C	0.57 \pm 0.005 ^C		42.78 \pm 0.213 ^B		1000 \pm 23.3 ^B
Oca deshidratada a 60°C	0.33 \pm 0.005 ^D		41.46 \pm 0.446 ^B		990 \pm 19.0 ^B

Los resultados están expresados como la media de determinaciones por triplicado \pm la desviación estándar, las muestras con la misma letra no presentan diferencia significativa utilizando prueba de comparación de medias estadístico Tukey. (B.S. base seca).

León-Marrou, *et al.* (2011) Obtuvieron resultados variables significativamente ($P > 0.05$) entre cada una de las variedades de oca, empleando sólo el ensayo ABTS, obtuvieron concentraciones de trolox desde 7.9 hasta 63.6 μ mol trolox/g muestra B.S. Esto puede estar relacionado a la variabilidad de concentración de compuestos fenólicos, que como se discutió previamente en otros estudios, las concentraciones en compuestos bioactivos y actividad antioxidante pueden variar significativamente en diferentes variedades de una misma especie al igual que su funcionalidad (Zapata-Bustamante, Tamayo-Tenorio, & Rojano, 2015) y (Ceballos-Ortiz & Jiménez-Munguía, 2012). Las diferencias en el contenido fenólico en cultivos de una misma especie de papa roja podría variar debido a la influencia de la fecha de cosecha, condiciones ambientales y lugar de cultivo (Reyes, *et al.*, 2005).

En comparación con lo reportado por Kita, *et al.*, (2013) para papa roja y morada (*solanum tuberosa*) si corresponde con lo encontrado en el presente análisis pues reporta una actividad antioxidante de 3.62-10.65 μ mol Trolox/g muestra B.S. por el ensayo ABTS.

Tian, *et al.* (2016) atribuyeron principalmente la actividad antioxidante en DPPH al contenido de fenoles en papa morada ($r=0.89$ $p<0.001$) respecto al contenido de antocianinas ($r=0.36$ $p<0.001$). Sobre el efecto de los tratamientos térmicos, determinó que disminuyó la actividad antioxidante en papas al vapor 21.57%, horneadas, 22.51% y sistema de freído 61.40%, pero no en todos los tratamientos hubo disminución de actividad antioxidante, para el caso del freído convencional, la actividad antioxidante aumentó 30.8%. Al igual que en fenoles, las reacciones en procesos térmicos como reacción de maillard, degradación de streker e hidrólisis de esterres y glucósidos, pueden aportar la generación de nuevos compuestos antioxidantes (Kita, *et al.*, 2013). Sin embargo para la mayoría de los casos el rendimiento de compuestos fitoquímicos al igual que la actividad antioxidante fue afectado de forma negativa significativamente ($p>0.05$).

Comportamientos similares fueron reportados por Perla, *et al.* (2012) quienes determinaron que los tratamientos de cocción en agua hervida, microondas y horno, disminuyen la actividad antioxidante 42.2%, 50.46% y 63.77% respectivamente. Al igual que Lemos, *et al.* (2015) concluyeron que entre procesos de cocción la actividad antioxidante disminuye significativamente ($p>0.05$) uno de los métodos menos recomendables para conservar los compuestos bioactivos era en procesos que involucraban el uso de horno. El secado por estufa, tiene un sistema de transferencia de calor combinada entre convección y conducción, ya que el calor no sólo entra en contacto directo por placas si no que el recirculado de aire también promueve la transferencia de calor, por lo que podría tener un comportamiento similar a los procesos de cocción por hornos.

Kita, *et al.* (2013) evaluaron como se veía afectada la calidad funcional de los compuestos antioxidantes entre papas rojas y moradas después de ser freídas, siendo sus variables sólo las variedades de papas que fueron sometidas al proceso, independientemente de la variedad, todos los productos fueron sometidos a las mismas condiciones y concluyeron que la actividad antioxidante se veía afectada y disminuía en un rango de 10.1% a 39.6% determinado por el ensayo ABTS, 8.9% a 35.7% por DPPH y de 7.8% a 61% en el ensayo FRAP. Comparado con el efecto de un proceso de deshidratación, aparentemente el proceso de freído podría conservar

mejor los antioxidantes presentes en tubérculos, esto podría deberse a los cortos tiempos de exposición a altas temperaturas y su vez a la formación de compuestos intermediarios de reacción de Maillard, que como se comentó anteriormente, actúan como antioxidantes al ser identificados métodos espectrofotométricos, pues no se ha comprobado que tengan un efecto biológico, además en un proceso de freído se incorpora grasa al alimento, lo que podría demeritar la calidad nutricional del alimento.

Las propiedades físicas son las más afectadas en los procesos de deshidratación con aire caliente, debido a los prolongados periodos de exposición de la muestra y al uso de altas temperaturas. Además el color también podría sufrir cambios indeseables, lo que afectaría negativamente la calidad del producto, pues el color es una de las propiedades más importantes en las frutas y verduras, ya que es el primer atributo de calidad evaluado por los consumidores, además de ser un parámetro utilizado para determinar la vida útil de las frutas y hortalizas deshidratadas (Iciek y Krysiak, 2009).

7.6.0 MEDICIÓN DE COLOR

Uno de los atributos que puede ser modificado durante cualquier procesamiento en alimentos, es el color. En la Tabla 10, se muestran los resultados de color en función de ΔE para poder apreciar si hay o no diferencia significativa entre las muestras de papa roja fresca contra las muestras de papa roja deshidratada, los resultados muestran que no hay diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la muestra fresca y la muestra deshidratada a 30° pero si entre la muestra deshidratada a 45°C y 60°C, probablemente esta diferencia sea el reflejo de la degradación de los pigmentos, retomando los resultados del contenido de fenoles y antocianinas, el contenido de antocianinas aunque no se vio afectado por el aumento de temperatura significativamente ($p < 0.05$) los valores a 45°C y 60°C son mayores, al igual que ΔE , por lo que podría sugerir a una concentración de antocianinas en las muestras deshidratadas.

Estudios revelan que a menudo se suele relacionar la concentración de color en muestras vegetales con la concentración de fitoquímicos. En un estudio realizado por Salinas-Moreno, *et al.*, (2012) demostraron que el color de extractos de los cálices de jamaica con color más intenso influye en la concentración de antocianinas y ácido ascórbico. Kong, *et al.*, (2003) afirman que el color es la consecuencia de la expresión de las antocianinas y ésta afectada por condiciones ambientales, como lo temperatura. Por otra parte, también del Valle-Leguizamón, *et al.*, (2005) describieron la relación entre el color de la uva (*Vitis vinífera* L.) concluyendo que en las muestras de uva que habían estado más expuestas a cambios de temperatura o daños superficiales repercutía en su coloración y por lo tanto en su contenido de antocianinas.

Para el caso de los fenoles, también han surgido estudios que desean correlacionar el color en alimentos con su concentración, con el fin de poder hacer más fácil su análisis en pruebas de calidad. En un estudio realizado por Luna, *et al.*, (2010) analizaron la diferencia entre variedades de uva color tinto y uvas de color blanco, concluyendo que el contenido de fenoles era mayor y por lo tanto también la actividad antioxidante en las variedades de color tinto, también Cabrera-Soto, *et al.*, (2009) afirmaron que existe una relación entre la intensidad de color de maíz con mayor contenido de fenoles.

Tabla 10. Resultados del color en base al sistema CIE L*A*B* expresados como ΔE en Oca

Muestra	ΔE
Oca fresca	14.7±0.73 ^a
Oca deshidratada a 30°C	15.7 ± 1.57 ^a
Oca deshidratada a 45°C	19.2 ± 0.76 ^b
Oca deshidratada a 60°C	19.64 ± 1.42 ^b

Los resultados están expresados como la media de determinaciones por triplicado \pm la desviación estándar, las muestras con la misma letra no presentan diferencia significativa utilizando prueba de comparación de medias estadístico Tukey ($p < 0.05$)

8.0 CONCLUSIONES

El tratamiento de deshidratación en estufa con recirculado de aire caliente es más efectivo conforme aumenta la temperatura, tomando en cuenta el tiempo necesario para conseguir el contenido acuoso deseado para la deshidratación del producto, ya que a 60°C se requiere sólo el 17.7% del tiempo necesario para ser deshidratado a la temperatura más baja realizada en este proyecto (30°C), lo cual fue comprobado por otros marcadores como; velocidad de secado, energía de activación y coeficiente de difusión de agua, siendo una ventaja en cuestión de ahorro de energía.

En papa roja u oca predomina el contenido de fenoles totales frente al contenido de antocianinas, sin embargo con base al análisis de correlación de Pearson, la concentración de fenoles tiene mayor influencia en la actividad antioxidante en el producto (ABTS $p=0.89$ $p<0.001$, DPPH $p=0.85$ $p<0.001$ y FRAP $p=0.85$ $p<0.001$).

El contenido de antocianinas no cambio significativamente al ser expuesto el producto en un rango de temperatura de 30 a 60°C.

El secado realizado en el presente proyecto de investigación demostró afectar negativamente la conservación de actividad antioxidante determinada por los ensayos ABTS, DPPH y FRAP, el decrecimiento de actividad antioxidante fue denotado principalmente por el ensayo ABTS, el cual es un ensayo que cuantifica principalmente los compuestos antioxidantes con afinidad acuosa, como lo son los compuestos fenólicos.

El secado realizado a 30°C conservó mejor el contenido de fenoles y por lo tanto, actividad antioxidante, por lo que puede describirse que el comportamiento del efecto de la temperatura en papa roja en la conservación de sus compuestos bioactivos es negativo al aumentar la temperatura en un proceso de deshidratación en estufa.

9. SITIOS DE CONSULTA

- Anónimo (2015)
<http://www.portalantioxidantes.com/antioxidantes-en-alimentos/>
Página consultada el día 15 de Octubre del 2015
- Anónimo (2015)
http://www.peruecologico.com.pe/flo_oca_1.htm
Página consultada el día 20 de Octubre del 2015
- Anónimo (2016)
<http://www.fao.org/traditional-crops/oca/es/>
Página consultada el día 15 de enero del 2016

10. BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Aal, E., & Hucl, P. (1999). A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chemistry*, 76:350–354.
- Acevedo, B., & Avanza, J. (2004). Actividad atioxidante de jugos de lima. Efecto de la temperatura. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas.*, 1–3.
- Aguilar, M. (2012). *Métodos de conservación de alimentos*. Edo. de México: Tercer Mileno.
- Aktas, T., Kianmehr, M., & Hassan-Beygi, S. (2008). Drying and rehydration characteristics of sour cherry (*Prunus Cerasus L.*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 34: 351–356.
- Alam, M. N., Bristi, M., & Rafiquzzaman, M. (2012). Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharmaceutical Journal.*, 21: 143–152.
- Anderson, O. M., & Jordheim, M. (2006). *The anthocyanins. In: Flavonoids. Chemistry, Biochemistry and Applications. (2nd edition)*. USA: Taylor & Francis Group.
- Arias-Zabala, M., Angarita-Velásquez, M., Aguirre-Cardona, A., Restrepo-Flórez, J., & Montoya-Vallejo, C. (2009). Estrategias para incrementar la producción de

- metabolitos secundarios en cultivos de células vegetales. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín.*, 1: 4881–4895.
- Arora, S., Bharti, S., & Sehgal, V. (2006). Convective drying kinetics of red chillies. *Drying Technology*, 189–193.
- Askari, G., Z., E.-D., & Tahmasbi, M. (2009). Effect of various drying methods on texture and color of tomato halves. *Journal of Texture Studies*, 371–389.
- Ávalos-García, A., & Pérez-Urria, E. (2009). Metabolismo secundario de plantas. *Reduca (Biología). Serie Fisiología Vegetal.*, 3: 119–145.
- Badui, S. (1999). *Química de los Alimentos*. Distrito Federal, México: Pearson. Pp. 28–33.
- Benzie, I. F., & Strain, J. (1996). The ferric reducing ability of plasma as a measure of antioxidant power, the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239:70–76.
- Brand-Williams, W., & Cuvelier, M. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology.*, 28: 25–30.
- Burgos, G., Amoros, W., Muñoa, L., Sosa, P., Cayhualla, E., Sanchez, C., y otros. (2013). Total phenolic, total anthocyanin and phenolic acid concentrations and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes as affected by boiling. *Journal of Food Composition and Analysis.*, 30: 6–12.
- Cabrera-Soto, M., Salinas-Moreno, Y., Velázquez-Cardelas, G., & Espinosa-Trujillo, E. (2009). Contenido de fenoles solubles e insolubles en las estructuras del grano de maíz y su relación con propiedades físicas. *Agrociencia.*, 8: 1404–1412.
- Cantillano, R., Ávila, J., Peralba, M., Pizzolato, T., & Toralles, R. (2012). Actividad antioxidante, compuestos fenólicos y ácido ascórbico de frutillas en dos sistemas de producción. *Horticultura Brasileira* 30, 620–626.
- Castañeda-Ovando, A., Zuñiga, A., Contreras, E., Castillo, A., & Jaimez, J. (2011). XIII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. *Aumento de la estabilidad del color de extractos de zarzamora mediante reacciones de condensación.*, (págs. 1–9). Zacatecas, Zac.

- Casteña-Ovando, A. (2008). Estudio fisicoquímico y caracterización de antocianinas en solución acuosa, aplicaciones analíticas. *Trabajo de investigación de tesis doctoral.*, 48–52.
- Castro-Muñoz, R., Yáñez-Fernández, J., & Fila, V. (2016). Phenolic compounds recovered from agro-food by products using membrane technologies: An overview. *Food Chemistry.*, 213: 753–762.
- Ceballos-Ortiz, E., & Jiménez-Munguía, M. (2012). Cambios en las propiedades de frutas y verduras durante la deshidratación con aire caliente y su susceptibilidad al deterioro microbiano. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 98–110.
- Chirinos, R., Betalleluz, I., Huamán, A., Arbizu, C., Pedreschi, R., & Campos, D. (2009). HPLC-DAD characterisation of phenolic compounds from Andean oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) tubers and their contribution to the antioxidant capacity. *Food Chemestre*, 1243–1251.
- Clifford, M. (2000). Anthocyanins – nature, occurrence and dietary burden. *Food Agriculture.*, 80; 1063–1072.
- Costa, A., & Ferreira, S. (2007). Sistema de secado solar para frutos tropicales. *Informática Tecnológica*, 49–58.
- Decker, E. A. (1997). Phenolics: prooxidants or antioxidants?. *Nutritional Reviews.*, 55: 396–398.
- Diamante, L., Durand, M., Savage, G., & Vanhanen, L. (2010). Effect of temperature on the drying characteristics, colour and ascorbic acid content of green and gold kiwifruits. *International Food Research Journal*, 441–451.
- Eklund, P., Langvik, O., Warma, J., Salmi, T., Wilfor, S., & Sjöholm, R. (2005). Chemical studies on antioxidant mechanisms and free radical scavenging properties of lignans. *Organic and Biomolecular Chemistry.*, 21; 3336–3347.
- Emshwiller, E., Theim, T., Grau, A., Nina, V., & Terrazas, F. (2009). Origins of domestication and polyploidy in oca (*Oxalis tuberosa*; Oxalidaceae). 3. AFLP data of oca and four wild, tuber-bearing taxa. *American Journal of Botany*, 10: 1839–1848.

- Fernández, F., & Rodríguez, S. (2008). Application of ultrasound and ultrasound-assisted osmotic dehydration in drying of fruits. *Drying Technology*, 26: 1509–1516.
- Fito, M., Andres, G., Banat, B., & Alborts, A. (2000). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia. Pp. 77–87.
- Floegel, A., Kim, D., Chung, S., Koo, S., & Chun, O. (2011). Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 1043–1048.
- Floegel, A., Kim, D., Chung, S., Song, W., Fernández, M., Bruno, R., y otros. (2010). Development and validation of an algorithm to establish a total antioxidant capacity database of the US diet. *International Journal of Food Science and Nutrition.*, 8: 600–623.
- Flores-Álvarez, M., Vergara-Balderas, F., & Guerrero-Beltrán, J. (2011). Efecto del tiempo de almacenamiento y tipo de procesamiento en los antioxidantes de nopal. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos.*, 84–96.
- García-Hernández, G. (2005). Efecto del procesamiento sobre la actividad antioxidante del *Cajanus cajan*. . *Trabajo de grado para obtener el título de lic. en química de la Ilustre Universidad Simón Bolívar.* , 45–70.
- Geankoplis, C. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. México, D.F.: 3ra Edición, Compañía Editorial Continental. Pp. 79–100.
- Giraldo-Zuñiga, A. D., Arévalo-Pinero, A., Ferreira-Silva, A., Ferreira-Silva, P., Valdes-Serra, J., & Meneses-Pavlak, M. (2010). Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) en rodajas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 179–182.
- Haddabi, B., Lawati, H., & Suliman, F. (2016). A comprehensive evaluation of three microfluidic chemiluminescence methods for the methods for the determination of the total phenolic contents in fruit juices. *Food Chemistry*, 214: 670–677.
- Hassini, L., Azzouz, S., & Belghith, A. (2004). Estimation of the moisture diffusion coefficient of potato during hot-air drying. *Proceedings of the 14th International*

Drying Symposium (IDS 2004) São Paulo, Brazil, 22–25 August 2004., 1488–1495.

- Hernández–García, G. (2005). Efecto del procesamiento sobre la actividad antioxidante del *Cajanus cajan*. *Trabajo de grado presentado ante la Ilustre Universidad Simón Bolívar como requisito parcial para optar al título de Licenciado en Química.*, (págs. 28–42). Sartenejas, Venezuela. .
- HUMEDAD, D. D. (s.f.). (Método rápido de la termobalanza) NORMAS MEXICANA NMX–F–428–1982. *Fecha de aprobación y publicación: Octubre 7, 1982.*
- Iciek, J., & Krysiak, W. (2009). Effect of air parameters on the quality of dried potato cubes. *Drying Technology*, 1316–1324.
- Jacobsen, S., Mujica, A., & Ortiz, R. (2003). La importancia de los cultivos andinos. *Fermentum. Revista Venezolana de Sociología y Antropología.*, 14–24.
- Karmas, E., & Harris, R. (1998). *Nutritional evaluation of food processing*. New York, USA: The AVI Publishing.
- Kita, A., Bakowska–Barczak, A., Hamouz, K., Kalukowska, K., & Lisinsk. (2013). The effect of frying on anthocyanin stability and antioxidant activity aokd crips froms red– and purple–flesh potatoes (*Solanum tuberosum* L. *Journal of Food Composition and Analysis*, 169–175.
- Kita, A., Bakowska–Barczak, A., Hamouz, K., Kulakowska, K., & Lisinska, G. (2013). The effect of frying on anthocyanin stability and antioxidant activity of crisps from red– and purple–fleshed potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 169–175.
- Kita, A., Bakowska–Barczak, A., Lisinska, G., Hamouz, K., & Kulakowska, K. (2015). Antioxidant activity and quality of red and purple flesh potato chips. *LWT–Food Science and Technology*, 525–531.
- Knoule, F. (1995). *El secado*. Bilbao: URMO.
- Kong, J., Chiam, N., Goh, K., Chia, T., & Brouillard, C. (2003). Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry*, 64: 923–933.
- Lachman, J., & Hamouz, K. (2005). Red and purple coloured potatoes as a significant antioxidant source in human nutrition– a reviw. *Plant Soil Environ*, 11: 477–482.

- Lee, J., Durst, R., & Wrolstad, E. (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. *Journal of AOAC International.*, 88; 1269–1278.
- Lemos, M., Aliyu, M., & Hungerford, G. (2015). Influence of cooking on the levels of bioactive compounds in purple majesty potato observed via chemical and spectroscopic means. *Food Chemistry*, 133, 1107–1116.
- León–Marrouí, M., Villacorta–González, M., & Pagador–Flores, S. (2011). Composición química de “oca” (*Oxalis tuberosa*), „arracacha” (*Arracaccia xanthorrhiza*) y „tarwi” (*Lupinus mutabilis*). *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos.*, 239–252.
- Li, L., Wang, Z., Hu, X., Wu, J., Liao, X., Chen, F., y otros. (2008). Drying effects of two air-drying shelters in a pilot test on sultana grapes. *Journal of Food Process Engineering.*, 33: 162–178.
- Lorenzo, J., & Sichert, P. (2016). Phenolic compounds of green tea: Health benefits and technological application in food. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine.*, 6: 709–719.
- Luna, J., Garau, M., Negre, A., March, J., & Martorell, A. (2010). Composición fenólica y actividad antioxidante de variedades minoritarias de vid de las Islas Baleares. *Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.*, 1–9.
- Maldonado–Saavedra, O., Nahúm–Jiménez, E., Guapillo–Vargas, M., Ceballos–Reyes, G., & Méndez–Bolaina, E. (2010). Radicales libres y su papel en las enfermedades crónico–degenerativas. *Revista Médica de la Universidad de Veracruz*, 32–39.
- Markakis, P., Livingston, G., & Fellers, R. (1957). Quantitative aspects of strawberry pigment degradation. *Food Research* 22, 117–130.
- Martínez, N., Andrés, B., Chiralt, B., & Fito, M. (1998). *Termodinámica y cinética de sistemas alimento–entorno*. Valencia, España.: Universidad Politécnicas de Valencia.
- Martínez–Roldán, C., & Carbajal–Azcona, A. (2010). Componentes bioactivos de los alimentos. *Manual Práctico de Nutrición y Salud*, 31–36.

- Meisami-asl, E., Rafiee, S., Keyhani, A., & Tabatabaeefar, A. (2010). Determination of suitable thin layer drying curve model for apple slices (variety-Golab). *Plants Omics Journal*, 103-108.
- Mejía-Muñoz, J., González-Castillo, S., Mora-Aguilar, R., & Rodríguez-Pérez, J. (2006). Propagación in vitro de papa ratona (*Oxalis tuberosa* mol.). *Revista Chapingo Serie Horticultura.*, 12: 231-237.
- Montaldo, A. (1996). *Bibliografía venezolana de raíces y tubérculos*. Caracas, Venezuela: Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, Universidad Central de Venezuela.
- Ozcelik, B., Lee, J., & Min, D. (2003). Effects of light, oxygen and pH on the absorbance of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl. *Journal of Food Science.*, 68; 487-490.
- Pelayo-Zaldívar, C., Ebeler, S., & Kader, A. (2005). Cultivar and harvest date effects on flavor and other quality attributes of California strawberries. *Journal of Food Quality*, 28: 78-97.
- Perla, V., Brunton, N., O'Donnell, C., & Tiwari, B. (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science & Technology* 21, 3-11.
- Pineda-Alonso, D., Salucci, M., Lazáno, R., Maiani, G., & Ferro-Luzzi, A. (1999). Capacidad antioxidante y potencial de sinergismo entre los principales constituyentes antioxidantes de algunos alimentos. *Revista Cubana de Alimentación.*, 2: 104-111.
- Porras-Loaiza, A., & López-Malo, A. (2009). Importancia de los grupos fenólicos en los alimentos. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos.*, 3; 121-134.
- Prior, R. (2015). Oxygen radical absorbance capacity (ORAC): New horizons in relating dietary antioxidants/bioactives and health benefits. *Journal of Functional Foods*, 18: 797-810.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1998). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization essay. *Free Radical & Medicine.*, 26: 1231-1237.

- Reyes, L., Miller, J., & Cisneros-Zevallos, L. (2005). Antioxidant capacity anthocyanins and total phenolics in purple and red fleshed potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes. *American Journal of Potato Research*, 82; 271–277.
- Reyes-García, M., Gómez-Sánchez Prieto, I., Espinoza-Barrientos, C., Bravo-Rebatta, F., & Ganoza-Morón, L. (2009). *Tablas peruanas de composición de alimentos. (8va. ed.)*. Lima: Ministerios de Salud– Instituto Nacional de Salud.
- Rodríguez-Amaya, D. (2010). Quantitative analysis, in vitro assessment of bioavailability and antioxidant activity of food carotenoids–Review. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23: 726–740.
- Rodríguez-Saona, L., Giusti, M., & Wrolstad, R. (1998). Anthocyanin, Carotenoid Content, and Antioxidant Values in Native South American Potato Cultivars. *Food Science*, 3; 458–465.
- Ruíz-López, I., Huerta-Mora, I., Vivar-Vera, M., Martínez-Sánchez, C., & Herman-Lara, E. (2010). Effect of osmotic dehydration on air-drying characteristics of chayote. *Drying Technology*, 28: 1201–1212.
- Ryan, L., & Prescott, S. (2010). Stability of the antioxidant capacity of twenty-five commercially available fruit juices subjected to an in vitro digestion. *International Journal of Food Science & Technology*, 45: 1191–1197.
- S.A. (2015). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Recuperado el 15 de enero de 2016, de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/traditional-crops/oca/es/>
- Salinas-Moreno, Y., Zuñiga-Hernández, A., Jiménez-De la Torre, L. B., Serrano-Altamirano, V., & Sánchez-Feria, C. (2012). Color en cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) y su relación con sus características fisicoquímicas de sus extractos acuosos. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18: 395–407.
- Scartezzini, P., Antognoni, F., Ragg, i. M., Poli, F., & Sabbioni, C. (2006). Vitamin C content and antioxidant activity of the fruit and of the Ayurvedic preparation of *Emblca officinalis* Gaertn. *Journal of Ethnopharmacology*, 104:113–118.

- Sepúlveda-Jiménez, G., Porta-Ducoing, H., & Rocha-Sosa, M. (2003). La participación de los metabolitos secundarios en la defensa de las plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 355–363.
- Shahidi, F., & Naczk, M. (1995). Food Phenolics Sources, Chemistry, Effects, Applications. *Tochnomic Publishing Co. EE.UU.*, 106.
- Sharma, O., & Bhat, T. (2009). DPPH antioxidant assay revisited. *Food Chemistry*, 113; 1202–1205.
- Sharma, S., Steve, K., Mulvaney, S., & Rirzvi, S. (2003). *Ingeniería de los alimentos, Operaciones Unitarias y Prácticas de laboratorio*. Nueva York, EUA: Limusa.
- Tang, Y., Cai, W., & Xu, B. (2015). Profiles of phenolics, carotenoids and antioxidative capacities of thermal processed whit, yellow, orange and purple sweet potatoes grown in Guilin, China. *ScienceDirect*, 123–132.
- Terrazzan, P., Aguila, J., Heiffig, L., & Kluje, R. (2006). Physicochemical characterization of refrigerated strawberries conventional and organic crop systems. *Revista Ibero-Americana de Tecnología Postcosecha*, 8: 33–37.
- Thaipong, K., Boonprankob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Hawkins-Byrne, D. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP and ORAC essays for estimating antioxidant activity from guava fruits extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19; 669–675.
- Tian, J., Chen, J., Lv, F., Chen, S., Chen, J., Liu, D., y otros. (2016). Domestic cooking methods affect the phytochemical composition and antioxidant activity of purple potatoes. *Food Chemistry*, 1264–1270.
- Timberlake, C. (1980). Anthocyanins—occurrence, extraction and chemistry . *Food Chemistry* 5, 69–80.
- Tovar, X. (2007). Modelado de la cinética de secado del bagazo de naranja valencia (Citrus sinensis) usando la segunda ley de Fick. *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo* .
- Valdés, R., & Balbín, M. (2000). *Curso de fisiología y bioquímica vegetal*. La Habana, Cuba: UNAH.

- Valle–Leguizamón, G., González–León, A., & Báez–Sañudo, R. (2005). Antocianinas en uva (*Vitis vinifera* L.) y su relación con el color. *Revista Fitotec, México.*, 28: 359–368.
- Vivanco, J., Cosio, E., Loyola–Vargas, V., & Flores, H. (2005). Mecanismos químicos de defensa en las plantas. *Investigación y Ciencia*, 69–75.
- Vollmer, G., Josst, G., Schenker, S., & Vreden, V. (1999). *Elementos de bromatología descriptiva*. Zaragoza, España.: Acribia, S. A. Pp. 140–141.
- Wang, X., Yu, Y., & Yang, H. (2011). An effective image retrieval scheme using color, texture and shape features. *Computer Standards & Interfaces.*, 59–68.
- Wong, D. (1989). *Química de los alimentos, mecanismos y teoría*. Zaragoza, España. : Acribia, S.A. .
- Wootton–Beard, P., Moran, A., & Ryan, L. (2011). Stability of the total antioxidant capacity and total polyphenol content of 23 commercially available vegetable juices before and after in vitro digestion measured by FRAP, DPPH, ABTS and Folin–Ciocalteu methods. *Food Research International.*, 44: 217–224.
- Wrolstad, R., & Giusti, M. M. (2001). *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. USA: John Wiley and Sons, Inc.
- Yang, J., Chen, J., Zhao, Y., & Mao, L. (2010). Effects of Drying Processes on the Antioxidant Properties in Sweet Potatoes. *ScienceDirect* 9, 1522–1529.
- Yenque–Dedios, J., Santos De la Cruz, E., Salas–Bacalla, J., Feliciano–Muñoz, O., & Lavado–Soto, A. (2007). Caracterización y determinación de ecotipos de oca (*oxalis tuberosa*), para el procesamiento de harinas en la Quebrada de Ancash, distrito y provincia de Yungay, Región Ancash. *Industrial Data*, 7–10.
- Yue, X., & Xu, Z. (2008). Changes of anthocyanins, anthocyanidins, antioxidant activity in bilberry extract during dry heating. *Journal of Food Science* 73, 494–499.
- Zapata–Bustamante, S., Tamayo–Tenorio, A., & Rojano, B. (2015). Efecto del tostado sobre los metabolitos secundarios y la actividad antioxidante de clones de cacao colombiano. *Revista Nacional Agraria de Medellin*, 7479–7507.
- Zheng, W., & Wang, S. (2001). Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs. *Agricultural and Food Chemistry.*, 49: 5165–5170.

