



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Evaluación de las Propiedades Bioactivas de Mora (*Rubus glaucus*) y Agraz (*Vaccinium meridionale Swartz*), en Fresco y Durante Procesos de Transformación

Luisa Juana Bernal Roa

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos

Medellín, Colombia

2012

Evaluación de las Propiedades Bioactivas de Mora (*Rubus glaucus*) y Agraz (*Vaccinium meridionale Swartz*), en Fresco y Durante Procesos de Transformación

LUISA JUANA BERNAL ROA

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Directora:

Ph.D. Amanda Consuelo Díaz

Línea de Investigación:

Bioactivos en matrices vegetales

Grupo de Investigación:

Aseguramiento de la calidad de alimentos y desarrollo de nuevos productos

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos

Medellín, Colombia

2012

Evaluación de las Propiedades Bioactivas de Mora (*Rubus glaucus*) y Agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz), en Fresco y Durante Procesos de Transformación

Agradecimientos

A mis papás por su incondicional apoyo.

A la profesora Amanda Consuelo Díaz, directora de la tesis, por su acompañamiento durante el desarrollo del trabajo.

A la profesora Martha Cecilia Quicazán, por abrirme las puertas y permitirme trabajar al lado de las personas tan valiosas que conforman el ICTA.

A las profesoras Susanna Buratti y Gabriella Giovanella, DISTAM- Università degli Studi di Milano, por ese impulso inicial que fue el trabajar bajo su orientación.

Al Programa Jóvenes Investigadores e Innovadores Virginia Vallejo 2009, del Departamento de Ciencia, Tecnología e Innovación-Colciencias.

Al equipo de trabajo del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos- ICTA.

A mis amigos y a las personas que llegaron a apoyar el camino: Pilar, Carlos Z., Carlos F., Juliana, Mónica, Christian, Ivonne, Jefferson, Claudia, Carolina, Nathalia, Dayan, Felipe, Laura...

Resumen

Se planteó como objetivo del trabajo evaluar el comportamiento de las características bioactivas de la mora (*Rubus glaucus*) y agraz (*Vaccinium meridionale Swartz*) durante procesos de maduración y transformación. La muestra de mora se obtuvo de un cultivo y el agraz de plantas silvestres. Se estudiaron tres estados de maduración encontrando que se presenta acumulación de antocianinas a medida que madura cada fruto, además en la mora las propiedades antioxidantes permanecen constantes mientras que en el agraz hay aumentos significativos. Se evaluó el perfil aromático de cada estado y se encontró que es posible diferenciar el estado de cosecha de los otros dos. Se evaluó los efectos del despulpado y concentrado sobre las propiedades antioxidantes de estos frutos en el estado de cosecha, los efectos del comportamiento dependen de la muestra y de las condiciones del proceso.

Palabras clave: Capacidad Antioxidante, Procesamiento Frutas, Fenoles Totales, TEAC, FRAP, Nariz electrónica

Abstract

The set objective of this project was to evaluate the behaviour of the bioactive characteristics of the blackberry and the blueberry during the ripening and transformation processes. The blackberry sample was obtained from a crop, and the blueberry from wild plants; three stages of ripening were studied where the anthocyanin accumulated as the fruit ripened. Furthermore in the blackberry antioxidant properties remained constant while there were significant increases in the blueberry. The flavor profile of each state was also evaluated and it was concluded that it is possible to differentiate the state of the crop among two others. The effects of pulping were assessed with a focus on the antioxidant properties of these fruit during the harvest stage. The behavioural effects depend on the sample and the conditions of the process.

Keywords: Antioxidant Capacity, Fruit Process, Total Polyphenols, TEAC, FRAP, Electronic Nose

Contenido

Pág.

Contenido

1. Objetivos.....	5
1.1 Objetivos estpecíficos.....	5
2. Influencia del procesamiento en el contenido de sustancias bioactivas presentes en alimentos vegetales.....	7
3. Materiales y Métodos.....	9
3.1 Muestras.....	9
3.2 Determinación del Perfil Aromático.....	9
3.3 Propiedades Antioxidantes.....	11
4. Resultados.....	13
4.1 Evaluación de las propiedades antioxidantes y el perfil aromático durante la maduración de mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth) y agraz (<i>Vaccinium meridionale</i> Swartz)	13
4.2 Evaluación del efecto del despulpado y la concentración en las propiedades antioxidantes de mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth) y agraz (<i>Vaccinium meridionale</i> Swartz)	14
5. Otros Resultados.....	15
5.1 Evaluación de la capacidad antioxidante durante el proceso de obtención de pulpas vegetales.....	15
5.2 Análisis de la capacidad antioxidante en frutos rojos durante el proceso de obtención de pulpa.....	16
5.3 Evaluación del perfil aromático y propiedades antioxidantes durante la maduración de mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth).....	17
5.4 Influencia de los tratamientos térmicos sobre la capacidad antioxidante de espinaca (<i>Spinacea oleracea</i>).....	18
5.5 Evaluación de las condiciones de proceso y capacidad antioxidante en la elaboración de productos hortofrutícolas.....	19
6. Conclusiones y recomendaciones.....	21
6.1 Conclusiones.....	21
6.2 Recomendaciones.....	22

Introducción

Los antioxidantes en general son sustancias que retrasan o previenen las reacciones de oxidación porque están en la capacidad de estabilizar radicales libres debido a la deslocalización de los anillos aromáticos que en general los conforman [1]. En éste grupo de sustancias se encuentran los polifenoles (flavonoides, antocianinas, flavonoles, flavonas e isoflavononas), la vitamina C, la vitamina E, entre otros [2]. En recientes estudios se ha evaluado su importancia en la prevención de enfermedades del corazón, cáncer y enfermedades degenerativas como el Alzheimer y Parkinson [3-4].

Las principales fuentes naturales de antioxidantes son las frutas y los vegetales, por ésta razón estos productos han sido investigados con la idea de determinar su poder antioxidante y las sustancias que juegan un papel importante en ésta propiedad.

La mora es una buena fuente de vitaminas, minerales y fitoquímicos, es una fruta que se cultiva sin inconvenientes en Colombia y tiene proyecciones de exportación [5]. El balance azúcar/ácido, la textura, el perfil aromático y el color, derivado del contenido de antocianinas, se perciben como atributos de calidad [6]. La cosecha de mora en el país es constante y está determinada por las lluvias, en promedio en los meses de marzo, abril y mayo se observan picos de producción, el departamento con mayor representación en la producción nacional es Cundinamarca [7].

El agraz, mortiño o *bilderry* es una fruta silvestre de la familia de los arándanos reconocida por su contenido de fibra y de sustancias fitoquímicas [8]. En Colombia aún no se cuenta con datos de cultivos formalmente establecidos, pero se sabe, gracias a un estudio de análisis de riesgo de plagas, en Antioquia, que

las zonas en las que se favorece el crecimiento de este fruto son las comprendidas entre los 2.200 y 3.400 msnm [9]. Se han identificado a los departamentos de Antioquia y Boyacá como los mayores productores [10].

La industria de alimentos y bebidas en el país representa más del 20% de la industria nacional, el sector se está adaptando a las necesidades de los consumidores y está innovando hacia productos que tengan un mayor valor nutricional y contenido de bioactivos [11]. Una de las alternativas para la comercialización de frutas y la disminución de pérdidas postcosecha es su procesamiento, la elaboración de pulpas y concentrados ha tomado un papel importante ya que es un producto que facilita la fabricación de bebidas, jaleas, mermeladas, entre otros. Por éste motivo y dado que el consumidor actual está interesado en alimentos que le aporten beneficios adicionales a los de la nutrición (alimentos funcionales) se hace importante evaluar el comportamiento de las propiedades antioxidantes durante la maduración de frutas como mora y agraz, atractivas desde el punto de vista comercial, y los efectos que tienen diferentes operaciones de transformación sobre estas características.

Para lograr este objetivo el trabajo se dividió tres etapas: búsqueda de información, análisis del comportamiento de las propiedades antioxidantes y perfil aromático durante la maduración de mora y agraz y evaluación de las propiedades antioxidantes durante el procesamiento.

En la primera fase se realizó una etapa de capacitación en el *Dipartimento Scienze e Tecnologie Alimentari e Microbiologiche- DISTAM* de la *Università degli Studi di Milano, Italia*, en los métodos de análisis fisicoquímico: Fenoles Totales empleando el reactivo Folin-Ciocalteu, Antocianinas Totales según pH diferencial, Capacidad Antioxidante mediante reacción con los radicales DPPH y FRAP.

Los métodos fueron validados en el Laboratorio de Control de Calidad de Alimentos del Instituto de Ciencia y Tecnología- ICTA de la Universidad Nacional de Colombia, adicionalmente se buscaron las condiciones óptimas de trabajo para la cuantificación de la capacidad antioxidante por el método TEAC, determinación del perfil aromático de bayas utilizando nariz electrónica y el contenido de vitamina C por HPLC. Durante el desarrollo de estas actividades se realizó un trabajo como Joven Investigador-COLCIENCIAS denominado: “**Evaluación de las condiciones de proceso y capacidad**

antioxidante en la elaboración de productos hortofrutícolas” en el que se aplicaron las metodologías analíticas en diferentes frutas: lulo, feijoa, maracuyá, mango, mora, agraz y fresa, y hortalizas: espinaca, zanahoria y remolacha; este trabajo permitió estandarizar y documentar los procedimientos. Durante la fase inicial del trabajo de Tesis de Maestría se realizó una búsqueda bibliográfica sobre la **“Influencia del procesamiento en el contenido de sustancias bioactivas presentes en alimentos vegetales”** cuyos resultados fueron enviados a evaluación a la Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.

La segunda etapa del trabajo consistió en la recolección de las muestras de mora y agraz en diferentes estados de maduración para ser evaluadas según parámetros fisicoquímicos, características antioxidantes, contenidos de bioactivos como fenoles totales, vitamina C y antocianinas totales, los resultados se muestran en el artículo: **“Evaluación de las propiedades antioxidantes y el perfil aromático durante la maduración de mora (*Rubus glaucus* Benth) y agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz)”** artículo que está siendo evaluado en la revista Facultad Nacional de Agronomía.

Por último en la evaluación del efecto de las operaciones de despulpado, concentración y liofilización sobre los contenidos de vitamina C, antocianinas totales, fenoles totales y poder antioxidante. Los resultados fueron dispuestos en formato de artículo científico denominado: **“Effect of pulping and concentration on antioxidant properties of the Andes berry (*Rubus glaucus* Benth) and bilberry (*Vaccinium meridionale* Swartz)”** para ser evaluado por la revista VITAE de la Universidad de Antioquia.

1. Objetivos

Evaluar el comportamiento de las características bioactivas de la mora (*Rubus glaucus*) y el agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) durante procesos de maduración y transformación.

1.1 Objetivos específicos

Evaluar las características bioactivas durante el proceso de maduración de mora (*Rubus glaucus*) y agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) y establecer una correlación con el perfil aromático, utilizando nariz electrónica.

Cuantificar la actividad antioxidante, el contenido de fenoles totales, antocianinas totales y vitamina C de mora y agraz y evaluar los cambios en frente a diferentes operaciones de transformación en procesos de despulpado, concentración y deshidratación.

Analizar el comportamiento de las propiedades bioactivas durante diferentes procesos para evaluar el efecto de las operaciones y las diferencias entre productos.

2. Influencia del procesamiento en el contenido de sustancias bioactivas presentes en alimentos vegetales

INFLUENCIA DEL PROCESAMIENTO EN EL CONTENIDO DE SUSTANCIAS BIOACTIVAS PRESENTES EN ALIMENTOS VEGETALES

THE INFLUENCE OF THE PROCESSING ON BIOACTIVE COMPOUNDS IN VEGETABLES

INFLUÊNCIA DO PROCESSAMENTO NO CONTEÚDO DE SUBSTÂNCIAS BIOATIVAS PRESENTES EM ALIMENTOS VEGETAIS

LUISA JUANA BERNAL R.¹, AMANDA CONSUELO DÍAZ-MORENO.²

RESUMEN

La importancia que tienen los compuestos bioactivos en las tendencias actuales de consumo marca una etapa en la investigación y desarrollo de alimentos, el consumidor desea conocer los efectos que tiene el procesamiento en estos compuestos para establecer los cambios en las características nutricionales y, por lo tanto, el efecto en su salud. Los compuestos bioactivos presentes especialmente en alimentos vegetales, son un amplio grupo de sustancias entre las que se destacan polifenoles, carotenoides y tocoferoles, y la vitamina C; el contenido inicial de estas sustancias está influenciado por la genética, condiciones ambientales y el manejo postcosecha, este trabajo tiene como objetivo describir la influencia de operaciones como escaldado, cocción, pasterización, refrigeración, deshidratación, entre otros, en diferentes alimentos sobre sus compuestos bioactivos más importantes.

ABSTRACT

The importance of bioactive compounds in current consumption trends marks a stage in food research and development. Consumers want to know how the different stages in food production affect bioactive compounds in order to establish changes in nutritional properties and, therefore, the effect on their health. The bioactive compounds present in vegetal foods are a large group of substances such as polyphenols, carotenoids and tocopherols, and vitamin C. The initial content of bioactive compounds is influenced by genetics, environmental conditions and postharvest handling. The objective of this work was to describe the influence of operations such as blanching, cooking, pasteurizing, cooling, dehydration, among others, in different foods over their most important bioactive compounds.

¹Ingeniera Química. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. ljbernalr@unal.edu.co (Autor de Correspondencia).

² PhD. Calidad, Seguridad y Tecnología de los Alimentos. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos - ICTA Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. amcdiazmo@unal.edu.co

RESUMO

A importância dos compostos bioativos sobre as atuais tendências de consumo, marca uma etapa na pesquisa e no desenvolvimento de alimentos, os consumidores desejam conhecer os efeitos do tratamento destes compostos sobre as mudanças nos nutrientes e, portanto, o efeito sobre a saúde. Os compostos bioativos em alimentos, especialmente vegetais, são um grande grupo de substâncias que contêm entre polifenóis, carotenóides, tocoferóis e vitamina C, o conteúdo inicial destas substâncias é influenciada pela genética, condições ambientais e de manuseio pós-colheita, este trabalho tem como objetivo descrever a influência das operações, tais como branqueamento, cozimento, pasteurização, resfriamento, desidratação e outros em diferentes alimentos sobre os mais importantes compostos bioativos.

PALABRAS CLAVE: Propiedades antioxidantes, Transformación de alimentos.

KEYWORDS: Antioxidant properties, Food processing.

PALAVRAS-CHAVE: Propriedades antioxidantes, Processamento de alimentos.

INTRODUCCIÓN

Dentro de la alimentación humana los vegetales juegan un papel de gran importancia debido a que son fuente de micronutrientes como minerales, vitaminas y fibra; de macronutrientes como proteínas (1%), lípidos (1%), carbohidratos (0-80% del peso seco) y principalmente agua (entre 80 y el 90% del peso total) [1]. Adicional a este grupo de nutrientes se encuentran compuestos, con actividad biológica conocidos como sustancias bioactivas o fitoquímicos, que confieren ciertas propiedades sensoriales como aroma, color y sabor [2], se distinguen 4 familias de sustancias: compuestos fenólicos, terpenos, nitrogenados y azufrados, [3]. Recientes estudios han demostrado que estas sustancias contribuyen al funcionamiento del cuerpo humano [4] aunque su biodisponibilidad depende de la estructura química, del metabolismo y de las interacciones con las diferentes sustancias presentes en el alimento y que acompañan la digestión [5]. La composición de un alimento nunca es

constante, está sujeta a múltiples factores ambientales y genéticos que en la mayoría de los casos no pueden ser controlados; el manejo postcosecha es un factor determinante en la calidad nutricional por lo que resulta importante analizar el comportamiento de estos compuestos bioactivos frente a los procesos que tienen como objetivo la transformación y conservación del alimento.

INFLUENCIA DEL PROCESAMIENTO

Las frutas y las hortalizas son productos que se consumen frescos y procesados, durante la transformación su composición nutricional puede verse alterada, así mismo las propiedades antioxidantes, el contenido de compuestos bioactivos, su actividad y biodisponibilidad [6]. Es difícil predecir los cambios que una sustancia sufre bajo las diferentes condiciones de proceso (por ejemplo: tratamientos térmicos, secado, etc.), y generalizar su comportamiento ya que depende en gran medida de la matriz, la intensidad del

tratamiento, la concentración de oxígeno, el tiempo y la presencia de luz [7].

Vitamina C: es un nutriente y actúa como agente reductor en los alimentos [8], esta vitamina es inestable en los procesos donde hay contacto con altas concentraciones de oxígeno, altas temperaturas o presencia de enzimas que la degradan. Su inestabilidad es confirmada por diferentes estudios realizados en una gran variedad de matrices, Somsu *et al.* [9] reportan pérdidas en vegetales tailandeses entre el 14 y el 95%. Y Chuah *et al.* en pimientos, fuente reconocida de vitamina, evaluaron el efecto de tres diferentes operaciones: microondas, salteado y cocción, tanto en la vitamina C como en el contenido de carotenoides, quercetina y luteína [10]. Las mayores pérdidas de vitamina C se presentan en la cocción y son directamente proporcionales al tiempo de exposición (se evaluaron 5 y 30min de cocción), en las otras dos operaciones (tiempo de exposición 5min) la reducción en el contenido de ácido ascórbico no fue estadísticamente significativa. Nuevas tecnologías de conservación, como las altas presiones, reducen de manera significativa las pérdidas [11].

Antocianinas: son los flavonoides más importantes, están encargados de actuar como pigmentos y dar coloraciones rojas-azules a las plantas, atraer insectos y protegerlas de diferentes patologías y depredadores [12-13]. Las mayores pérdidas se presentan por la oxidación de las moléculas pero su comportamiento está ligado a la naturaleza del alimento y las condiciones de proceso al que se someta. El tratamiento con ozono de jugo de mora [14], fresa [15] y uva [16] disminuye el contenido significativamente de antocianinas y vitamina C, esto causa un cambio en el color del producto y de la capacidad antioxidante. En el caso de la uva, la antocianina que presenta mayor estabilidad es la cya-3-glu en comparación con del-3-glu y mal-3-glu. El tratamiento

con UV-C en arándanos [17] modifica el contenido de sustancias fitoquímicas: incrementa los compuestos fenólicos y las antocianinas, lo que significa un aumento de la capacidad antioxidante del producto. Un método estudiado en uva Isabella para incrementar la vida media de los pigmentos es la adición de ácido tánico (1:1 p/v) [18], además se estableció que la luz, temperatura, pH y la presencia de nitrógeno también son factores que pueden afectar a las antocianinas.

Quercetina: es un flavonoide que se presenta como aglicona o unido a un azúcar, normalmente glucosa. Lombard *et al.* [19] y Gorinstein *et al.* [20] estudiaron los efectos de diferentes métodos de cocción de vegetales de bulbo como cebolla y ajo, en este flavonoide y encontraron, como en el resto de compuestos bioactivos, que la degradación depende del tiempo e intensidad del tratamiento. El contenido de quercetina disminuye cuando se expone el alimento a escaldado, horneado o salteo, una estimación de las pérdidas están entre el 18%, 1,3% y 12,6% respectivamente. Los procesos que implican contacto con agua o aceite disminuyen significativamente el contenido de compuestos bioactivos, ya sea por la solubilidad de las sustancias en el medio o la homogeneidad de las altas temperaturas que la operación requiere.

Estos estudios ratifican que las matrices juegan un papel importante en la estabilidad de los compuestos antioxidantes y que la generalización de los comportamientos no puede ser posible por la gran cantidad de variables que influyen en las respuestas a los procesos.

Carotenoides y Tocoferoles: estas sustancias son reconocidas como antioxidantes porque se encargan de llevar las reacciones iniciadas por los radicales libres a la etapa de terminación, las fuentes por excelencia son los cereales, frutas y vegetales como la zanahoria, el tomate y la naranja, entre otros. Durante el procesamiento de alimentos la estabilidad

de estas sustancias se relaciona directamente con la presencia de oxígeno en el medio, las variaciones de pH y la presencia de luz, en general se puede decir que son sustancias más estables que la vitamina C, por su carácter liposoluble [21].

En la elaboración de una pulpa de mango, Vásquez-Caicedo *et al.* analizaron el comportamiento del β -caroteno frente a temperaturas de pasterización entre 85 - 93 °C por diferentes tiempos de exposición (0 - 16 min) [21], se encontró que bajo estas condiciones se favorece la isomerización trans-cis del β -caroteno y que se afecta el color de la pulpa, incluso la biodisponibilidad de la provitamina A, sin embargo reportan, que bajo las condiciones de estudio, el 93% de β -caroteno puede ser retenido. Otro caso en el que se favorece la isomerización como consecuencia del tratamiento térmico es en la deshidratación de zanahorias a temperaturas entre 60 y 80°C, aunque este cambio no varía la capacidad antioxidante del producto medida por el método de TEAC [22].

En un estudio sobre la luteína y zeaxantina en dos variedades de maíz sometido a congelación y enlatado se encontró, para el producto fresco un contenido de luteína en la variedad *White Shoepeg* es de 5,5 $\mu\text{g}/100\text{g}$ y de zeaxantina 28,55 $\mu\text{g}/100\text{g}$, para la variedad *Golden Whole Kernel* 330 μg de luteína/100g y 209 μg de zeaxantina/100g [23]; valores que no varían en los productos enlatados y que se incrementan, como carotenoides totales, en el producto congelado. Estos datos permiten concluir que la genética del alimento es clave en la determinación de su composición y que se puede relacionar con características físicas como la evidente diferencia de color que se presenta entre las variedades. En el jugo de naranja de Valencia, cultivada en Brasil, el contenido de luteína y zeaxantina, frente a los carotenoides totales, corresponde al 23 y 20% respectivamente, estos valores

disminuyen una vez el jugo es pasterizado y concentrado aunque el análisis global de carotenoides luego de los procesos muestra que las variaciones no son estadísticamente significativas [24].

La vitamina E pertenece al grupo de los tocoferoles, es reconocida por ser uno de los antioxidantes naturales más efectivos, las fuentes más importantes de esta vitamina son los vegetales, cereales, frutos secos; Corsini, M. *et al.* [25] evaluaron el contenido de tocoferoles en aceite de palma, aceite de algodón y aceite de girasol luego de un proceso de fritura a 180°C, los resultados muestran que en los tres casos se presentan pérdidas y que estas se relacionan con el grado de saturación de los aceites.

La actividad antioxidante de carotenoides y tocoferoles se debe al alto grado de insaturación y las sustituciones con grupos hidroxilo presentes a lo largo de la cadena; cualquier cambio en la molécula afecta sus propiedades y su capacidad de capturar los radicales libres.

Licopeno: en comparación con el β -caroteno, el licopeno presenta estabilidad frente a tratamientos térmicos y es mayor su resistencia a la isomerización [26]. Ha sido ampliamente estudiado en tomate, fruto con alto índice de consumo que contiene una cantidad apreciable de licopeno donde actúa como antioxidante y pigmento, estudios puntuales muestran que el jugo pasterizado durante el almacenamiento no presenta variaciones significativas, esto está ligado al tipo de empaque en el que se conserva el producto, en general se sabe que el proceso de pasterización no degrada la sustancia y si tiene un efecto positivo en su biodisponibilidad [27]. Otro proceso estudiado es el secado por aspersion, Goula y Adamopolus [28] analizaron los efectos de las diferentes variables del proceso en la conservación del antioxidante, el rango de pérdidas que obtuvieron está entre el 8,07 y 20,93% y

establecieron que las condiciones en las que se presenta una mayor degradación son a temperatura y flujo del aire mayores, además de concluir que es importante el control del tamaño de partícula y el grado de agregación del producto.

Otra matriz estudiada, con el objetivo de comprar los resultados con los que se presenta el tomate, fue la zanahoria. Mayer-Miebach *et al.* [29] analizaron las consecuencias de homogenizar en presencia o ausencia de aceite de girasol y secar el vegetal a temperaturas entre 25 y 140°C; para el secado aplicaron dos métodos: microondas y convección, se encontró que, al igual que en el tomate, en los procesos de secado, el licopeno permanece estable y su estabilidad depende de la temperatura, pero en la homogenización se favorece la isomerización del compuesto y la posterior degradación cuando las temperaturas de secado son mayores a 70°C.

El análisis del comportamiento de diferentes grupos de fitoquímicos según pérdidas pueden ser minimizadas con el control de la concentración de oxígeno en el medio [31].

Procesos como la *fermentación y cocción* junto con algunas reacciones químicas inherentes al proceso, pueden ser culpables de la degradación de los compuestos fenólicos; durante la fermentación del cacao, por ejemplo, se disminuyen los sabores amargos y astringentes, características organolépticas relacionadas directamente con el contenido de polifenoles en el grano [5]. Las reacciones de Maillard, consecuencia del calentamiento de un producto vegetal, favorecen la formación de sustancias antioxidantes [32].

Las nuevas tecnologías aplicadas en la industria de alimentos tienen como objetivo principal la conservación de nutrientes, sin embargo pueden afectar el contenido de bioactivos, por ejemplo, el ultrasonido destruye las paredes celulares y expone

operaciones de transformación se resume en el Cuadro No 1.

Operaciones de transformación

El escaldado, contrario a lo que se piensa, conserva muchas de las sustancias bioactivas [30] debido a la inactivación de enzimas; mientras que el almacenamiento por largos periodos de un producto fresco favorece la degradación (esto obedece a factores como: actividad acuosa a_w , pH, tiempo, temperatura, concentración de oxígeno, etc.) como consecuencia, bajo estas condiciones, se disminuye la capacidad antioxidante a una velocidad determinada por las propiedades del alimento.

La pasterización, proceso en el cual se logran temperaturas entre los 60-65°C por tiempos no muy prolongados, trae consigo una destrucción de compuestos fenólicos, carotenoides y vitamina C, aunque las

las sustancias a un medio rico en oxígeno, favorece la formación de radicales que disminuyen la capacidad antioxidante total del alimento; sin embargo los resultados siempre dependerán de la matriz y las condiciones de trabajo [33].

CONCLUSIÓN

Las operaciones de transformación más comunes en la industria de alimentos: escaldado, pasterización, cocción y refrigeración, entre otros, tienen efectos sobre los compuestos bioactivos como vitamina C, polifenoles y terpenos; el estudio del comportamiento de estas sustancias en productos procesados permite conocer la calidad nutricional y funcional de los alimentos tema crítico por la tendencia actual de consumo.

Cuadro 1. Comportamiento de compuestos bioactivos según operaciones de transformación

OPERACIÓN	COMPUESTOS FENÓLICOS (CF)
<p>Tratamiento térmico T>T ambiente (escaldado, cocción, pasterización, esterilización)</p>	<p>Las antocianinas (A) se degradan en innumerables sustancias menos coloridas con tonalidades naranjas o marrones [34], algunos autores reportan que estos flavonoides son estables bajo procesos como escaldado, aunque su comportamiento va a depender del producto que se analice [35]. Las A, en productos enlatados, pueden interactuar con las paredes metálicas (si no están recubiertas) y se favorece la decoloración. La estructura química determina la resistencia a la degradación, las moléculas aciladas son más estables que el análogo no acilado [34] así mismo factores como pH, temperatura, presencia de luz, oxígeno, iones metálicos enzimas y azúcares afecta la estabilidad en cualquier producto durante su respectivo proceso [36].</p> <p>La estabilidad de las A durante los procesos de calentamiento se relaciona con la intensidad y tiempo del tratamiento, se dice que la cinética de degradación de las A se comporta de manera logarítmica con un crecimiento proporcional al aumento de temperatura. Durante el proceso de cocción para la elaboración de una mermelada de frambuesa las pérdidas de A están en el rango entre el 10 y el 80% dependiendo del tiempo de calentamiento (10-15min) [36]. La degradación de A en el jugo de grosella negra debido al tratamiento térmico entre los 4-140°C sigue una cinética de primer orden [37].</p> <p>El escaldado con vapor de arándanos aumenta considerablemente la capacidad antioxidante debido a la inactivación de enzimas y a que se favorece la solubilidad de A [38]. En el caso de una pulpa de arándanos donde la fruta se escaldada a 95°C durante 3min y luego se pasteriza se presenta una disminución del 43% en el contenido de A [36].</p> <p>Un estudio realizado en diferentes frutas cultivadas en el Brasil en fresco y procesadas muestra que en jugos concentrados o mermeladas el contenido de flavonoides (kempferol, quercetina o miricetina) disminuye significativamente; pero este valor aumenta cuando la pulpa es congelada (previamente pasterizada). Esto quiere decir que los tratamientos de cocción son mucho más perjudiciales que una simple pasterización [39].</p> <p>En productos como cebollas, brócoli, tomates y espárragos el contenido de flavonoides disminuye por procesos de escaldado [12].</p> <p>El escaldado y la cocción, por ser ambientes acuosos y de altas temperaturas favorecen la pérdida de los CF, estas condiciones afectan en gran proporción a matrices como la col risada, el brócoli, la col de Bruselas, el coliflor, la calabaza, las arvejas y el puerro [40-41]. Aunque en productos como el brócoli y los frijoles verdes el contenido de CF se mantiene luego de la cocción [40].</p>
<p>Temperaturas de refrigeración o congelación</p>	<p>Este proceso es el que presenta una mayor conservación de los pigmentos, la estabilidad va a depender de condiciones como temperatura, pH, contenido inicial de A, ácidos orgánicos y azúcares. Cuando la congelación es rápida y el almacenamiento se realiza a bajas temperaturas se mantiene la integridad de los pigmentos.</p> <p>En los arándanos (cranberries) se presenta una pérdida del 20% del contenido de antocianinas cuando es almacenado a 7°C, pero si la temperatura es de 0°C no hay un cambio en el contenido de pigmentos [34].</p> <p>En un jugo de tomate conservado a 4°C durante 91 días no se ve un cambio significativo en el contenido de CF [5].</p>
<p>Disminución contenido de agua (e.g., deshidratación, evaporación, liofilización)</p>	<p>El proceso de secado al sol de peras disminuye el contenido de flavonoides en un 64% [5]</p> <p>En un estudio con chiles rojos donde se comparó la actividad antioxidante del producto inicial y luego de la deshidratación por el sol, horno y horno microondas, se llegó a la conclusión de que no hay pérdidas en las propiedades antioxidantes y que el factor que más influye es el tiempo de exposición [42].</p>
<p>Pelado y cortado</p>	<p>En las cebollas se ha encontrado que las pérdidas están entre el 21-54% del contenido inicial de flavonoides [12].</p>
<p>Radiación UV</p>	<p>El mango y fresas tratados por un tiempo prolongado con iluminación UV muestran un aumento en sus niveles de fenoles totales. En el mango el cambio se atribuye al aumento del contenido de flavonoides [5]. Un comportamiento similar se observa en arándanos, el contenido de ácido clorogénico, quercetina y resveratrol se incrementa, pero es un efecto que se debilita con el tiempo [17].</p>
<p>Impulsos eléctricos</p>	<p>Dado que algunos CF confieren color a los productos, el impacto de la aplicación de impulsos eléctricos sobre estos podría evaluarse por el análisis en el cambio de la pigmentación. En estudios realizados en bayas (cranberry y fresas) y en jugo de naranja donde se aplicaban impulsos eléctricos para la conservación del producto, no se encontraron cambios significativos en el contenido de antocianinas (en las bayas) ni CF en el jugo de naranja [43].</p>
<p>Altas presiones</p>	<p>El contenido de antocianinas y de fenoles totales en las pulpas de mora y fresa tratadas con</p>

	altas presiones el contenido no se ve significativamente alterado [11].
OPERACIÓN	TERPENOS
Tratamiento térmico T>T ambiente (escaldado, cocción, pasterización, esterilización)	<p>La vitamina A pierde su actividad por oxidación. Los carotenoides se convierten en epóxidos por el calentamiento pero en general son estables a los tratamientos térmicos [5].</p> <p>El β-caroteno presenta isomerización y en algunos casos la biodisponibilidad se incrementa por el daño de las paredes celulares [34].</p> <p>Algunos autores han encontrado que el proceso de pasterización mejora el contenido de carotenoides (licopeno, β-caroteno y fitoflueno).</p> <p>En zanahorias a menor temperatura y tiempos cortos de cocción favorecen la retención del α y β- caroteno. El proceso de escaldado (15 min a 50, 70, 90 °C) no muestra pérdidas significativas de licopeno [5].</p> <p>En el pimentón y en los jalapeños el contenido de provitamina A se ve disminuido en un 25% después del escaldado [44].</p> <p>En el tomate los estudios demuestran que el licopeno es estable frente a los procesos que implican altas temperaturas y aún durante el almacenamiento; si el proceso deteriora las paredes celulares no se presenta estabilidad de la sustancia porque el efecto protector que estas ejercen desaparece; Aunque la biodisponibilidad si se ve favorecida [45].</p> <p>En vegetales como la col risada, el brócoli, la col de Bruselas y el coliflor el escaldado y la cocción disminuye el contenido de carotenoides [41].</p>
Temperaturas de refrigeración o congelación	<p>En un estudio realizado en naranja mínimamente procesada se encontró que el contenido de carotenoides, durante el almacenamiento a 4°C, presentaba un ligero aumento. De los carotenoides presentes en la naranja la luteína, β-criptoxantina y zeaxantina son los de mayor incidencia, el único aumento significativo fue el del β-caroteno [46].</p> <p>Pigmentos extraídos de la zanahoria, la patata y la cáscara de naranja fueron almacenados a 4°C, 25°C y 40°C y las menores pérdidas luego de 45 días de almacenamiento se presentaron en las muestras refrigeradas [47].</p> <p>En la espinaca el proceso de escaldado seguido del almacenamiento a una temperatura de congelación por 24h y luego un proceso de hervido no afecta el nivel de carotenoides del producto [48].</p>
Disminución contenido de agua (e.g., deshidratación, evaporación, liofilización)	<p>Si un producto debe someterse a evaporación es de esperarse que se presente una destrucción parcial de compuestos como los tocoferoles y carotenoides [44].</p> <p>Condiciones como la presencia de oxígeno, altas temperaturas y una baja actividad acuosa podrían causar la degradación del licopeno. Aunque los estudios demuestran que este compuesto en procesos de secado con aire (condición de alto estrés oxidativo) presenta una alta estabilidad pero se recomienda almacenar el producto bajo una atmósfera de gas inerte que evite el contacto con oxígeno y favorezca la estabilidad del compuesto [26,45].</p> <p>En hojas de espinaca deshidratadas con aire caliente a 65°C previamente tratadas con una solución de sal y bicarbonato presenta una pérdida del 12% de β-caroteno, pero no presenta cambios significativos en el contenido de luteína, violaxantina o zeaxantina.</p> <p>En mango la deshidratación induce a la isomerización de N-trans-β-caroteno a 13-cis-β-caroteno. En el pimentón estudios demostraron que al contenido de carotenoides rojos aumentaba en un 40% [5].</p> <p>En una variedad de cebolla roja de bulbo se estudió el efecto de la liofilización sobre la quercetina y antocianinas, se encontró que éste proceso aumentó el contenido en un 32% del flavonol y en un 25% en las antocianinas [49].</p>
Pelado y cortado	<p>Se presenta pérdida de carotenos debido a la oxidación, favorecida por el contacto con el aire [5].</p> <p>El β-caroteno del mango tajado y almacenado presenta una estabilidad durante 10 meses, luego de ese tiempo las pérdidas están alrededor del 50% [5].</p>
Radiación UV	En el mango el β -caroteno se ve afectado de la misma forma que el ácido ascórbico [5].
Impulsos eléctricos	<p>Los impulso eléctricos, en un jugo de sandía, aumentaron el contenido de licopeno, la proporción depende de las condiciones del tratamiento (este mismo comportamiento fue visto en el jugo de tomate) este aumento se refleja en el aumento de la capacidad antioxidante del producto [50].</p> <p>Durante la aplicación de impulsos eléctricos en un jugo de naranja y zanahoria el contenido de carotenoides aumento con el incremento del tiempo de tratamiento, pero no se vieron cambios significativos en un jugo de naranja ni en el contenido de licopeno de un jugo de tomate [43].</p>
OPERACIÓN	VITAMINA C
Tratamiento térmico T>T ambiente	Se presenta pérdida de ésta vitamina debido a procesos oxidativos o degradativos favorecidos por las condiciones de procesamiento como las altas temperaturas y la presencia de oxígeno [44-45].

(escaldado, cocción, pasterización, esterilización)	En el pimentón y en los jalapeños el contenido de vitamina C se ve disminuido en un 75% después del escaldado [44]. En el tomate se sabe que las altas temperaturas que se utilizan para la elaboración del jugo y la exposición al oxígeno durante el calentamiento son los factores determinantes en la pérdida de la vitamina C, la retención se favorece (95%) cuando se realiza un precalentamiento a 57°C durante 15s [45]. En vegetales como la col risada, el brócoli, la col de Bruselas y el coliflor bajo procesos de escaldado y cocción pierden su contenido de vitamina C [41].
Temperaturas de refrigeración o congelación	En naranja mínimamente procesada y almacenada a 4°C luego de 12 días disminuye su contenido de vitamina C aproximadamente 23% [46]. En col silvestre, clementinas y papas, almacenadas inicialmente bajo condiciones comerciales y luego de molidas congeladas a -60°C se encontró que el contenido de vitamina C durante un periodo de 49 semanas disminuyó para la col y las papas pero permaneció constante para la clementina; la variación ya era significativa a las 12 semanas [51].
Disminución contenido de agua (e.g., deshidratación, evaporación, liofilización)	Durante el proceso de pelado químico del tomate se presenta una pérdida del 16% del contenido de vitamina C, este valor luego es reducido un 35% debido a la deshidratación osmótica [52].
Radiación UV	En mango fresco y cortado el contenido de ácido ascórbico disminuye significativamente luego del tratamiento prolongado con UV. Se presenta oxidación de la molécula [5].
Impulsos eléctricos	Un jugo de sandía tratado con impulsos eléctricos a diferentes condiciones (tiempo, voltaje, etc.) muestra, en general, una disminución en el contenido de vitamina C que se relaciona con las condiciones a las que se somete [50].
Altas presiones	En pulpas de mora y fresa tratadas con altas presiones el contenido de vitamina C no se ve significativamente afectado [11].

REFERENCIAS

- VICENTE, A., MANGANARIS, G. A., SOZZI, G., and CRISTOSO, C. En: Postharvest handling: a systems approach. Nutritional quality of fruits and vegetables. 2 ed. Burlintong (E.E.U.U.): Academic Press, 2009, p. 57-106.
- BALASUNDRAM, N., SUNDRAM, K., and SAMMAN, S. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. Food Chemistry, 99 (1), 2006, p. 191-203.
- MARTÍNEZ-NAVARRETE, N., CAMACHO VIDAL, M. D. M., y MARTÍNEZ LAHUERTA, J. J. Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. Actividad Dietética, 12 (2), 2008, p. 64-68.
- LI, T. S. C. Vegetables and fruits: nutritional and therapeutic values. 1 ed. Boca Raton (E.E.U.U.): CRC Press is an

imprint of Taylor & Francis Group, 2008, 297 p.

- ALVAREZ-PARRILLA, E., ANDRES-LACUEVA, C., BOLAÑOS-VILLAR, A. V., et al. Fruit and vegetable phytochemicals, chemistry, nutritional value and stability. 1 ed. Singapore (India): Wiley Blackwell, 2010, 384 p.
- WOOTTON-BEARD, P. C., and RYAN, L. Improving public health?: The role of antioxidant-rich fruit and vegetable beverages. Food Research International, 44 (10), 2011, p. 3135-3148.
- WEN, T. N., PRASAD, K. N., YANG, B., and ISMAIL, A. Bioactive substance contents and antioxidant capacity of raw and blanched vegetables. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 11 (3), 2010, p. 464-469.
- LEONG, S. Y., and OEY, I. Effects of processing on anthocyanins, carotenoids and vitamin C in summer fruits and vegetables. Food Chemistry, 133 (4), 2012, p. 1577-1587.
- SOMSUB, W., KONGKACHUICHAI, R., SUNGPUAG, P., and CHAROENSIRI, R. Effects of three conventional cooking

methods on vitamin C, tannin, myo-inositol phosphates contents in selected Thai vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21 (2), 2008, p. 187-197.

10. CHUAH, A. M., LEE, Y.-C., YAMAGUCHI, T., TAKAMURA, H., YIN, L.-J., and MATOBA, T. Effect of cooking on the antioxidant properties of coloured peppers. *Food Chemistry*, 111 (1), 2008, p. 20-28.

11. PATRAS, A., BRUNTON, N. P., DA PIEVE, S., and BUTLER, F. Impact of high pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and colour of strawberry and blackberry purées. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10 (3), 2009, p. 308-313.

12. BROWN, J. E., CHEYNIER, V., CLIFFORD, M., et al. *Flavonoids: chemistry, biochemistry, and applications*, Boca Raton (E.E.U.U.): CRC Press Taylor & Francis Group, 2006, 1212 p.

13. CHEMLER, J. A., DAVIES, K. M., FREITAS, V. D., DEROLES, S., et al. *Anthocyanins biosynthesis, functions, and applications*. 1 ed. New York (E.E.U.U.): Springer New York, 2009, 345 p.

14. TIWARI, B. K., O'DONNELL, C. P., MUTHUKUMARAPPAN, K., and CULLEN, P. J. Anthocyanin and colour degradation in ozone treated blackberry juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10 (1), 2009, p. 70-75.

15. TIWARI, B. K., O'DONNELL, C. P., PATRAS, A., BRUNTON, N., and CULLEN, P. J. Effect of ozone processing on anthocyanins and ascorbic acid degradation of strawberry juice. *Food Chemistry*, 113 (4), 2009, p. 1119-1126.

16. TIWARI, B. K., O'DONNELL, C. P., PATRAS, A., BRUNTON, N., and CULLEN, P. J. Anthocyanins and color degradation in ozonated grape juice. *Food and Chemical Toxicology*, 47 (11), 2009, p. 2824-2829.

17. WANG, C. Y., CHEN, C.-T., and WANG, S. Y. Changes of flavonoid content and antioxidant capacity in blueberries after illumination with UV-C. *Food Chemistry*, 117 (3), 2009, p. 426-43.

18. BORDIGNON-LUIZ, M. T., GAUCHE, C., GRIS, E. F., and FALCÃO, L. D. Colour stability of anthocyanins from Isabel grapes (*Vitis labrusca* L.) in model systems. *LWT - Food Science and Technology*, 40 (4), 2007, p. 594-599.

19. LOMBARD, K., PEFFLEY, E., GEOFFRIAU, E., THOMPSON, L., and HERRING, A. Quercetin in onion (*Allium cepa* L.) after heat-treatment simulating home preparation. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18 (6), 2005, p. 571-581.

20. GORINSTEIN, S., JASTRZEBSKI, Z., LEONTOWICZ, H., LEONTOWICZ, M., NAMIESNIK, J., NAJMAN, K., PARK, Y.-S., HEO, B.-G., CHO, J.-Y., and BAE, J.-H. Comparative control of the bioactivity of some frequently consumed vegetables subjected to different processing conditions. *Food Control*, 20 (4), 2009, p. 407-413.

21. VÁSQUEZ-CAICEDO, A. L., SCHILLING, S., CARLE, R., and NEIDHART, S. Effects of thermal processing and fruit matrix on [beta]-carotene stability and enzyme inactivation during transformation of mangoes into purée and nectar. *Food Chemistry*, 102 (4), 2007, p. 1172-1186.

22. HIRANVARACHAT, B., SUVARNAKUTA, P., and DEVAHASTIN, S. Isomerisation kinetics and antioxidant activities of [beta]-carotene in carrots undergoing different drying techniques and conditions. *Food Chemistry*, 107 (4), 2008, p. 1538-1546.

23. SCOTT, C. E., and ELDRIDGE, A. L. Comparison of carotenoid content in fresh, frozen and canned corn. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18 (6), 2005, p. 551-559.

24. GAMA, J. J. T., and DE SYLOS, C. M. Effect of thermal pasteurization and concentration on carotenoid composition of Brazilian Valencia orange juice. *Food Chemistry*, 100 (4), 2007, p. 1686-1690.

25. CORSINI, M. S., SILVA, M. G., and JORGE, N. Loss in tocopherols and oxidative stability during the frying of frozen

cassava chips. *Grasas y Aceites*, 60 (1), 2009, p. 77-81.

26. WILDMAN, R. E. C. *Handbook of nutraceuticals and functional foods*. 2 ed. Boca Raton (E.E.U.U.): CRC Press, Taylor & Francis Group, 2007, 562 p.

27. SÁNCHEZ-MORENO, C., PLAZA, L., DE ANCOS, B., and CANO, M. P. Nutritional characterisation of commercial traditional pasteurised tomato juices: carotenoids, vitamin C and radical-scavenging capacity. *Food Chemistry*, 98 (4), 2006, p. 749-756.

28. GOULA, A. M., and ADAMOPOULOS, K. G. Stability of lycopene during spray drying of tomato pulp. *LWT - Food Science and Technology*, 38 (5), 2005, p. 479-487.

29. MAYER-MIEBACH, E., BEHSNILIAN, D., REGIER, M., and SCHUCHMANN, H. P. Thermal processing of carrots: Lycopene stability and isomerisation with regard to antioxidant potential. *Food Research International*, 38 (8-9), 2005, p. 1103-1108.

30. MAZZEO, T., N'DRI, D., CHIAVARO, E., VISCONTI, A., FOGLIANO, V., and PELLEGRINI, N. Effect of two cooking procedures on phytochemical compounds, total antioxidant capacity and colour of selected frozen vegetables. *Food Chemistry*, 128 (3), 2011, p. 627-633.

31. RAWSON, A., PATRAS, A., TIWARI, B. K., NOCI, F., KOUTCHMA, T., and BRUNTON, N. Effect of thermal and non thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review of recent advances. *Food Research International*, 44 (7), 2011, p. 1875-1887.

32. MURCIA, A. M., JIMÉNEZ, A. M., and MARTÍNEZ-TOMÉ, M. Vegetables antioxidant losses during industrial processing and refrigerated storage. *Food Research International*, 42 (8), 2009, p. 1046-1052.

33. SORIA, A. C., and VILLAMIEL, M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review.

Trends in Food Science & Technology, 21 (7), 2010, p. 323-331.

34. STRIK, B. C., TALCOTT, S. T., HOWARD, L. R., et al. *Berry fruit: value-added products for health promotion*. 1 ed. Boca Raton (E.E.U.U.): CRC Press, Taylor & Francis Group, 2007, 444 p.

35. AZEVEDO, J., FERNANDES, I., FARIA, A., OLIVEIRA, J., FERNANDES, A., FREITAS, V. D., and MATEUS, N. Antioxidant properties of anthocyanidins, anthocyanidin-3-glucosides and respective portisins. *Food Chemistry*, 119 (2), 2010, p. 518-523.

36. PATRAS, A., BRUNTON, N. P., O'DONNELL, C., and TIWARI, B. K. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science & Technology*, 21 (1), 2010, p. 3-11.

37. HARBOURNE, N., JACQUIER, J. C., MORGAN, D. J., and LYNG, J. G. Determination of the degradation kinetics of anthocyanins in a model juice system using isothermal and non-isothermal methods. *Food Chemistry*, 111 (1), 2008, p. 204-208.

38. GANCEL, A.-L., FENEUIL, A., ACOSTA, O., PÉREZ, A. M., and VAILLANT, F. Impact of industrial processing and storage on major polyphenols and the antioxidant capacity of tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichus*). *Food Research International*, 44 (7), 2011, p. 2243-2251.

39. HOFFMANN-RIBANI, R., HUBER, L. S., and RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Flavonols in fresh and processed Brazilian fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22 (4), 2009, p. 263-268.

40. TURKMEN, N., SARI, F., and VELIOGLU, Y. S. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry*, 93 (4), 2005, p. 713-718.

41. SIKORA, E., CIESLIK, E., LESZCZYNSKA, T., FILIPIAK-FLOKIEWICZ, A., and PISULEWSKI, P. M. The antioxidant activity of selected cruciferous vegetables subjected to aquathermal processing. *Food Chemistry*, 107 (1), 2008, p. 55-59.

42. ARSLAN, D., and ÖZCAN, M. M. Dehydration of red bell-pepper (*Capsicum annuum* L.): Change in drying behavior, colour and antioxidant content. *Food and Bioproducts Processing*, 89 (4), 2011, p. 504-513.
43. SOLIVA-FORTUNY, R., BALASA, A., KNORR, D., and MARTÍN-BELLOSO, O. Effects of pulsed electric fields on bioactive compounds in foods: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 20 (11-12), 2009, p. 544-556.
44. JOHNSON, I., WILLIAMSON, G., VIRGILI, F., SCACCINI, C., RIMBACH, G., PACKER, L., OFFORD, E., SOUTHON, S., FAULKS, R., LUND, E., BOYLE, C., WANG, H., PROVAN, G., HELLIWELL, K., MOZIER, K., BARLOW, T., JEFFERY, B., PAUL, S., BUDDINGTON, R., KIMURA, Y., LINDSAY, D., NAGATA, Y., MAKI, K., BRANCA, F., LORENZETTI, S., BRAMLEY, P., SALONEN, J., SCHMIDT, S., MURSA, J., NURMI, T., VANHARANTA, M., ANDERSEN, M. L., KRAGH-LAURIDSEN, R., SKIBSTED, L. H., POKORNÝ, J., and CHERUVANKY, R. *Phytochemical functional foods*. 1 ed. Cambridge, (England): Woodhead Publishing, 2003, 398 p.
45. JONGEN, W., SOUTHON, S., FAULKS, R., HEINONEN, I. M., MEYER, A. S., LEONI, C., AKED, J., GARY, C., TCHAMITCHIAN, M., CUBEDDU, R., PIFFERI, A., TORRICELLI, P. T. A., EARLY, R., LAMMERTYN, J., VERLINDEN, B. E., NICOLAÏ, B., RAMASWAMY, H. S., CHEN, C. R., CARLIN, F., OREA, J. M., UREÑA, A. G., GARRATT, L. C., POWER, J. B., DAVEY, M. R., LAURILA, E., AHVENAINEN, R., DAY, B. P. F., PARK, H. J., INDRAWATI, LUDIKHUYZE, L., LOEY, A. V., HENDRICKX, M., and SAUREL, R. *Fruit and vegetable processing, improving quality*. Cambridge (England): Woodhead Publishing Ltd and CRC Press, 2002, 408 p.
46. PLAZA, L., CRESPO, I., DE PASCUAL-TERESA, S., DE ANCOS, B., SÁNCHEZ-MORENO, C., MUÑOZ, M., and CANO, M. P. Impact of minimal processing on orange bioactive compounds during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 124 (2), 2011, p. 646-651.
47. ÇINAR, I. Carotenoid pigment loss of freeze-dried plant samples under different storage conditions. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 37 (3), 2004, p. 363-367.
48. BUNEA, A., ANDJELKOVIC, M., SOCACIU, C., BOBIS, O., NEACSU, M., VERHÉ, R., and CAMP, J. V. Total and individual carotenoids and phenolic acids content in fresh, refrigerated and processed spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Food Chemistry*, 108 (2), 2008, p. 649-656.
49. PÉREZ-GREGORIO, M. R., REGUEIRO, J., GONZÁLEZ-BARREIRO, C., RIAL-OTERO, R., and SIMAL-GÁNDARA, J. Changes in antioxidant flavonoids during freeze-drying of red onions and subsequent storage. *Food Control*, 22 (7), 2011, p. 1108-1113.
50. OMS-OLIU, G., ODRIOZOLA-SERRANO, I., SOLIVA-FORTUNY, R., and MARTÍN-BELLOSO, O. Effects of high-intensity pulsed electric field processing conditions on lycopene, vitamin C and antioxidant capacity of watermelon juice. *Food Chemistry*, 115 (4), 2009, p. 1312-1319.
51. PHILLIPS, K. M., TARRAGÓ-TRANI, M. T., GEBHARDT, S. E., EXLER, J., PATTERSON, K. Y., HAYTOWITZ, D. B., PEHRSSON, P. R., and HOLDEN, J. M. Stability of vitamin C in frozen raw fruit and vegetable homogenates. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23 (3), 2010, p. 253-259.
52. MARFIL, P. H. M., SANTOS, E. M., and TELIS, V. R. N. Ascorbic acid degradation kinetics in tomatoes at different drying conditions. *LWT - Food Science and Technology*, 41 (9), 2008, p. 1642-1647.

3. Materiales y Métodos

3.1 Muestras

La mora adquirida de un cultivo ubicado la vereda El Triunfo, municipio de Icononzo departamento del Tolima, Colombia en agosto de 2011 para las pruebas de maduración y en noviembre de 2011 para el análisis de los efectos del procesamiento.

El agraz se recolectó de arbustos silvestres en la vereda Arrayanes del Municipio de Tinjacá, departamento de Boyacá, Colombia en el mes de diciembre de 2011.

Se seleccionaron tres estados de madurez, asociados al indicador subjetivo de color, que se denominaron:

Verde: donde el fruto ha desarrollado su tamaño y en su superficie lidera el color verde con pequeñas zonas amarillas y rosadas.

Intermedio: donde lidera el color rosado con pequeñas drupas amarillas en la superficie de la mora y en el agraz la superficie roja.

Cosecha: éste último corresponde al estado en que el agricultor recoge el producto para comercializarlo, la mora ha desarrollado el color rojo intenso y el agraz morado.

Los análisis se realizaron con un lote de producción que dividido fue procesado por duplicado.

3.2 Determinación del Perfil Aromático

La nariz electrónica es un equipo que simula las funciones de la nariz humana y da como resultado un perfil aromático o huella digital de la muestra [12]. Está formada por cuatro

elementos: un sistema de flujo de aire encargado de transportar los compuestos volátiles de la muestra, un grupo de sensores sensibles a familias de sustancias químicas encargados transformar las interacciones en señales eléctricas, un sistema de control que permite medir y almacenar la señal y un sistema de reconocimiento que permite identificar y clasificar los aromas [13]. Los sensores son una pieza fundamental del equipo, ya que son los que interactúan, química y físicamente con los compuestos volátiles, es importante que tengan una alta sensibilidad, similar a la de la nariz humana, hacia los compuestos químicos, una baja sensibilidad a la humedad y temperatura, que sean capaces de reproducir los resultados, de estabilizarse en las lecturas en un periodo corto [13]. A nivel industrial la aplicación de ésta técnica de análisis está tomando fuerza, ya que es un método no destructivo, arroja resultados en tiempo real y, respecto a un panel sensorial humano, es más económico [14].

La aplicación de la nariz electrónica en el campo de los alimentos ha sido variada e importante, se ha estudiado la diferenciación de alimentos [15-17], la definición de huellas aromáticas [18], los procesos de maduración [19-20], los procesos fermentativos, entre otros. Para el análisis de resultados se utilizan herramientas estadísticas multivariadas, que permiten realizar el análisis sobre todos los datos sin discriminación por el número de variables, teniendo así una perspectiva global del comportamiento de la muestra. Para este tipo de análisis los datos son arreglados en una estructura de dos vías (matriz) donde cada fila corresponde a una muestra y cada columna a una variable, cuando estas matrices son analizadas por medio del análisis multivariado, todas las variables son consideradas y consecuentemente la información extraída representa una visión global del sistema.

Se utilizó una nariz electrónica Airsense Analytics GmbH PEN3 (Alemania), con 10 sensores de óxido metálico semiconductor (MOS). En el Tabla 1 se especifica la sensibilidad a grupos de sustancias químicas.

Tabla 3-1. Compuestos químicos a los que responde el arreglo de sensores de la Nariz Electrónica Airstense.

SENSOR	COMPUESTOS QUÍMICOS DETECTADOS
W1C	Compuestos aromáticos
W5S	Amplio rango de compuestos
W3C	Compuestos aromáticos. Amoniaco
W6S	Principalmente hidrógeno
W5C	Compuestos aromáticos, Alcanos.
W1S	Amplio rango, metano
W1W	Compuestos azufrados. Terpenos
W2S	Detecta alcoholes. Amplio rango
W2W	Compuestos aromáticos. Compuestos orgánicos
W3S	Metano

3.3 Propiedades Antioxidantes

Las metodologías empleadas se describen detalladamente en los procedimientos estándares operativos adjuntos como anexos de éste documento.

4. Resultados

4.1 Evaluación de las propiedades antioxidantes y el perfil aromático durante la maduración de mora (*Rubus glaucus Benth*) y agraz (*Vaccinium meridionale Swartz*)

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES ANTIOXIDANTES Y EL PERFIL
AROMÁTICO DURANTE LA MADURACIÓN DE MORA (*Rubus glaucus* Benth) Y**

AGRAZ (*Vaccinium meridionale* Swartz)

**EVALUATION OF ANTIOXIDANT PROPERTIES AND THE AROMATIC PROFILE
DURING MATURATION OF BLACKBERRY (*Rubus glaucus* Benth) AND BILBERRY**

(*Vaccinium meridionale* Swartz)

Luisa Juana Bernal Roa¹, Laura Angélica Melo Toro², Amanda Consuelo Díaz Moreno³

RESUMEN

Los frutos como la mora (*Rubus glaucus* Benth) y el agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) son fuentes naturales de sustancias antioxidantes reconocidas por su papel preventivo en el desarrollo de enfermedades degenerativas. En este estudio se evaluó el perfil aromático por medio de nariz electrónica, las propiedades antioxidantes, el contenido de vitamina C, fenoles y antocianinas totales durante tres estados de maduración de mora y agraz. El diseño estadístico que se siguió fue completamente aleatorio y los resultados muestran que las frutas en el último estado de madurez evaluado se diferencian por su perfil aromático, un contenido mayor de antocianinas (en el agraz 1,59 mg cyn-3-glu g⁻¹ y en mora 0,26 mg cyn-3-glu g⁻¹) y fenoles totales (en agraz 5,57 mg ácido caféico g⁻¹ y 2,68 mg ácido caféico g⁻¹ en mora). El comportamiento de las propiedades evaluadas es independiente en cada una de las frutas.

PALABRAS CLAVES: actividad antioxidante, nariz electrónica, Folin-Ciocalteu, FRAP, TEAC.

¹ Ingeniera Química, Estudiante Maestría Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. ljbernalr@unal.edu.co

² Estudiante Ingeniería Química. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos- ICTA, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. lamelot@unal.edu.co

³ Profesor Asistente, Ph.D. MSc. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos- ICTA. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. amcdiazmo@unal.edu.co

ABSTRACT

Blackberry (*Rubus glaucus* Benth) and bilberry (*Vaccinium meridionale* Swartz) are natural sources of antioxidants, they are known for their preventive role in the degenerative diseases. This study evaluated the aromatic profile through electronic nose, the antioxidant properties, vitamin C, phenolics and anthocyanins during three stages of blackberry and bilberry ripening. The statistical design followed was completely random and the results shows differences in aromatic profile, a higher content of anthocyanins (1,59 mg of cyn-3-glu g⁻¹ in bilberry and 0.26 mg of cyn-3-glu g⁻¹ in blackberry) and total phenols (5,57 mg of caffeic acid g⁻¹ bilberry and 2.68 mg caffeic acid g⁻¹ blackberry). The behavior of the properties evaluated is independent in each fruit.

KEY WORDS: antioxidant activity, electronic nose, Folin-Ciocalteu, FRAP, TEAC.

INTRODUCCIÓN

La mora (*Rubus glaucus* Benth) es una fruta compuesta por drupas que se caracteriza por su color rojo– azulado y su aroma, es fuente de vitaminas, minerales y fitoquímicos. En Colombia la especie más cultivada es la mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth), su cosecha es constante durante el año influenciada por la época de lluvias. Para el cultivo se prefieren las alturas comprendidas entre los 1.800 y 2.000 msnm, no está claro el carácter climatérico de este fruto y adicional es un producto de difícil manejo ya que es altamente perecedero y sensible a daños mecánicos (Perkins-Veazie et al., 2000).

El agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz), también conocido como mortiño o *bilderry*, es un arbusto pequeño que presenta dos cosechas en el año, su fruto es carnoso, de sabor ácido con numerosas semillas, se caracteriza por su color morado oscuro que alcanza una vez madura, las zonas en las que se encuentra comprende los 2.200 y 3.400 msnm, en los departamentos de Boyacá y Antioquia se centra la producción nacional (Ligarreto, 2011). Pertenece al mismo

género de los arándanos, frutos climatéricos que deben ser cosechados en el estado de madurez sensorial donde se asegura las características de aroma y sabor deseables para el consumidor (Mitcham et al., 1998).

Estos frutos rojos son fuente natural de antioxidantes, el grupo predominante son los ácidos fenólicos (caféico, cumárico, clorogénico y ferúlico) y los flavonoides: quercitina, elagitaninos y las antocianinas responsables de su color (Pietta et al., 2003; Castrejón et al., 2008) las sustancias cumplen la función de retrasar las reacciones de oxidación, principales reacciones de deterioro, gracias a la deslocalización de los anillos aromáticos que las conforman (Balasundram et al., 2006), además en recientes estudios se ha demostrado la importancia en la prevención de enfermedades degenerativas como el Alzheimer y Parkinson (Wang y Stoner, 2008). Es un hecho que el contenido de compuestos fenólicos en bayas es afectado por diferencias genéticas, condiciones pre y postcosecha, y además el grado de madurez.

Nariz electrónica

En las frutas el control de la maduración es clave a la hora de establecer el punto de cosecha, condiciones de almacenamiento y la evolución de sus características sensoriales. Durante este proceso los cambios bioquímicos que sufre el fruto dan paso a la generación de volátiles, cambios de color, textura y sabor. Un método no destructivo que proporciona resultados en tiempo real es la nariz electrónica, instrumento que emula el proceso olfativo humano, constituido por un sistema sensible a los volátiles y otro encargado de convertirlo en señales eléctricas. Las aplicaciones en el área hortofrutícola han sido diversas: duraznos (Benedetti et al., 2008), peras (Brezmes et al., 2000), manzanas (Pathange et al., 2006) han sido analizados y distinguidos en las diferentes etapas de maduración, operaciones postcosecha (Torri et al., 2010) y fermentaciones (Bhattacharyya et al., 2007). En frutas como las bayas es reducida la información que se

encuentra (Peris y Escuder-Gilabert, 2009) sin embargo fue empleada por Li et al., (2010) en arándanos para la detección de enfermedades.

Para satisfacer la tendencia de consumo de productos naturales que ofrezcan beneficios adicionales a los de la nutrición, es importante establecer, de manera objetiva, el comportamiento y composición de los diferentes alimentos; debido al creciente interés en Colombia en frutas como la mora y el agraz, y con el objetivo de profundizar en el conocimiento de éstas como fuentes alimenticias de carácter funcional, este trabajo evalúa el comportamiento del perfil aromático y las propiedades antioxidantes durante tres estados de maduración.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras

La mora fue adquirida en un cultivo ubicado en la vereda El Triunfo, Icononzo- Tolima. El agraz fue recolectado de arbustos silvestres en la vereda Arrayanes, Tinjacá - Boyacá. Se seleccionaron tres estados de madurez asociados al indicador subjetivo de color que se denominaron Verde (V), donde el fruto ha desarrollado su tamaño y en su superficie lidera el color verde con pequeñas zonas amarillas y rosadas; Intermedio (I), donde lidera el color rosado con pequeñas drupas amarillas en la superficie de la mora y en el agraz la superficie roja y Cosecha (C), éste último corresponde al estado en que el agricultor recoge el producto para comercializarlo, la mora ha desarrollado el color rojo intenso y el agraz morado.

Para cada análisis fisicoquímico se tomo una parte representativa de la muestra con la que se procedió a realizar el correspondiente procedimiento.

Análisis físico y químico

Para los análisis de caracterización de frutas se emplearon métodos oficiales:

Humedad: 10g de muestra se secaron a 105°C (Estufa ThermoHeraus Instruments Function Line, Alemania) durante 4 horas. A.O.A.C. Método Oficial 934.06; A.O.A.C. Método Oficial 934.01. Esta medición se realizó por triplicado.

Sólidos Solubles: Se determinó el contenido de °Brix con un refractómetro según Norma Técnica Colombiana NTC 4624. La determinación se realizó por triplicado.

pH y Acidez: titulación potenciométrica (SCHOTT Handy labpH11) según método Norma Técnica Colombiana NTC 440 y A.O.A.C. Método Oficial 942.15.

Determinación perfil aromático

Se utilizó una nariz electrónica Airsense Analytics GmbH PEN3 (Alemania), con 10 sensores de óxido metálico semiconductor-MOS (Tabla 1).

Se pesaron 25g de muestra que se dejaron estabilizar en una cámara hermética a temperatura ambiente (aproximadamente 15°C) durante 5 min, el tiempo de lectura fue de 150s con un flujo de cámara de 70ml min⁻¹ y un flujo de inyección de 60ml min⁻¹.

Las lecturas de las muestras se realizaron aleatoriamente dejando un tiempo de 450s de limpieza de sensores entre análisis para evitar efectos indeseables en las respuestas causadas por arrastre (Zuluaga et al., 2011).

Tabla 1. Compuestos químicos a los que responde el arreglo de sensores de la Nariz

Electrónica Airtsense.

SENSOR	COMPUESTOS QUÍMICOS DETECTADOS
W1C	Compuestos aromáticos
W5S	Amplio rango de compuestos
W3C	Compuestos aromáticos. Amoniaco
W6S	Principalmente hidrógeno
W5C	Compuestos aromáticos, Alcanos.
W1S	Amplio rango, metano
W1W	Compuestos azufrados. Terpenos
W2S	Detecta alcoholes. Amplio rango
W2W	Compuestos aromáticos. Compuestos orgánicos
W3S	Metano

Vitamina C

La extracción se realizó con agua destilada, antes de la inyección se purificó la solución con un cartucho de limpieza C₁₈. Para la detección y cuantificación se empleó cromatografía HPLC (Jasco Bomba PU980, Detector UV/VIS975), una columna de intercambio iónico Phenomenex Rezex ROA-Organic Acid H+ 8% a un flujo de 0.5ml/min con fase móvil H₂SO₄ 4mM a temperatura ambiente. La longitud de onda empleada fue 254nm. Los datos se reportan como μmol de vitamina C g⁻¹ fruta fresca (Shui y Leong, 2002; Castañeda et al., 2009). Se pesaron 20g de fruta y se homogenizaron (ultraturrax IKA T18 Basic, Alemania), se agregó 20ml de solución de extracción, se agitó en vortex y luego en plancha de agitación magnética. La mezcla se centrifugó durante 10 minutos (Tecnovetro 4235, Italia), este procedimiento se repitió dos veces con el sólido y los extractos se llevaron a un volumen de 100ml con solución de extracción. Cada muestra se realizó por triplicado y fue almacenada a -18°C hasta el análisis.

Contenido total de antocianinas

El método empleado fue el pH diferencial A.O.A.C. Método Oficial 2005.02 los resultados se reportan como mg de cianidina-3-glucósido (cyn-3-glu) g⁻¹ fruta fresca.

Contenido de fenoles totales

Para la determinación del contenido de fenoles totales se utilizó el reactivo Folin-Ciocalteu (Panreac, España), método empleado por Vasco et al. (2008) y Oliveira et al. (2011). La longitud de onda a la que se realizó la lectura fue 765nm y la cuantificación se hizo con referencia a una curva de calibración de ácido caféico, Sigma Aldrich, ($R^2=0,995$) los datos se reportan como mg de ácido caféico g⁻¹ fruta fresca.

Capacidad antioxidante

En TEAC la decoloración del radical fue leída a 734nm luego de 6min de reacción. Cada extracto fue leído por triplicado y los resultados se reportan como μmol de trolox g⁻¹ fruta fresca con

respecto a una curva de calibración de Trolox 97%, Sigma Aldrich, ($R^2=0,989$). (Murcia *et al.*, 2009)

Para FRAP 330 μ l de extracto fueron mezclados con 10ml de una solución elaborada a partir de buffer de acetato pH 3,6 (300nM), TPTZ diluido en HCl (40 mM) y FeCl₃ (20 mM) en relación 10:1:1 respectivamente. La reacción se llevó a cabo por una hora y la lectura se realizó a 593nm. Cada extracto fue leído por duplicado y los resultados se reportan según curva de calibración de trolox ($R^2=0,996$) en mmol trolox g⁻¹ fruta fresca (Gorinstein *et al.*, 2009; Müller *et al.*, 2010).

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante Análisis de Varianza ANOVA de una vía, en conjunción con una prueba de comparaciones múltiples de Tukey-Kramer, empleando un alfa de 0,05. Por otra parte, como técnica multivariada se realizó análisis de componentes principales- PCA para la exploración de los datos obtenidos con la nariz electrónica. Los diferentes análisis estadísticos fueron llevados a cabo en el software MATLAB v. 7.9 (Mathworks, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La mora de castilla es un fruto no climatérico su madurez está determinada por cambios en el color, tamaño, porcentaje de acidez y contenido de sólidos solubles según NTC 4106. Para esta fruta se diferencian siete estados de maduración, las muestras evaluadas según comparación de °Brix con los valores estándar se encuentran en una etapa cero que corresponde al estado verde; tres, estado intermedio y cinco, estado de cosecha. Se puede observar (Tabla 2) que a medida que el fruto madura, aumenta la humedad y disminuye el porcentaje de acidez. Los cambios de pH no se hacen notorios en estos estados.

Tabla 2. Comportamiento fisicoquímico de la mora durante la maduración

Mora	%Humedad		pH		% Ácido málico		°Brix	
V	81,96±1,69	a*	2,88±2,83e-2	a	2,53±4,19e-1	ab	5,49±8,13e-2	a
I	87,30±3,40e-1	ab	2,76±9,90e-2	a	3,09±5,53e-2	a	6,60±1,07e-2	b
C	88,34±1,89	b	2,92±1,48e-1	a	1,86±6,04e-2	b	7,36±1,17e-2	c

Media ± DE; DE = Desviación estándar. Promedios con letras diferentes en una misma columna

presentan diferencias significativas. *Nivel de significancia $p < 0,05$

En el agraz, además de los cambios evidentes de color, parámetros como el pH y la concentración de sólidos solubles también fueron indicadores de la maduración del fruto (Tabla 3). El estudio del agraz está tomando fuerza dado su carácter silvestre, Rodríguez et al. (2007). reportan para el estado de cosecha un valor de acidez aproximado de 1,44%, el comportamiento de esta fruta es similar al del arándano ya que pertenecen al mismo género (Castrejón et al., 2008).

Perfil Aromático

La liberación de compuestos aromáticos, junto con la pérdida del color verde y del sabor ácido, es uno de los cambios presentes durante la maduración de cualquier fruta.

El análisis de componentes principales para la mora (Figura 1 y 2) muestra que el estado de madurez verde e intermedio se distingue del estado de cosecha por la respuesta de un grupo de sensores sensibles a la presencia de grupos funcionales aromáticos de baja polaridad, W1C, W5S, W3C y W5C (Tabla 1). En el estado cinco de maduración se puede considerar la presencia de terpenos, alcoholes, metanol y compuestos aromáticos dado el grupo de sensores que muestran respuesta: W6S, W1S, W2S, W3S, W1W y W2W. Los resultados siguen lo encontrado en un estudio realizado con los volátiles de la mora en estado de consumo donde se reporta la presencia de ácido benzoico, 2-heptanol, terpen-4-ol, etil y metil benzoato (Meret et al., 2011) además en el género *Rubus* sp. durante la maduración se favorece la producción de alcoholes, aldehídos, esterres y cetonas (Perkins-Vezzie et al., 2000). El agraz (Figura 3 y 4) expone el mismo comportamiento de la mora, la fruta en estado de cosecha puede ser diferenciada de los otros dos estados por los sensores que responden a sus volátiles con grupos funcionales aromáticos, alcoholes y terpenos; estudios en el género *Vaccinium* sp. reportan la presencia de 1-hexanol, 2-hexen-1-ol, 2-hexenal, 2-butil-1-octanol, hexadecanol, entre otros (Diban, 2008).

Tabla 3 Comportamiento fisicoquímico del agraz durante la maduración.

Agraz	%Humedad		pH		% Acidez(ácido cítrico)		°Brix	
V [†]	84,13±3.27e-1	a*	2,99±0,0	a	1,84±2,71e-4	a	7,2±7,07e-2	a
I [§]	83,73±6.35e-1	a	2,96±7,07e-3	b	1,85±1,33e-2	a	9,6±7,07e-2	b
C [¶]	83,34±6.53e-1	a	3,05±7,07e-3	c	1,72±1,10e-1	a	9,9±1,41e-1	b

Media ± DE; DE = Desviación estándar. Promedios con letras diferentes en una misma columna

presentan diferencias significativas. [†]V: verde, [§]I: intermedio, [¶]C: cosecha. *Nivel de significancia p<0,05

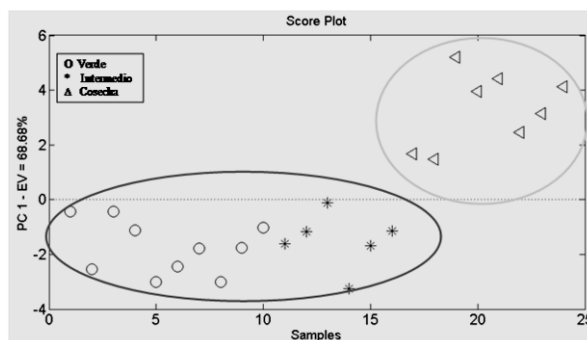


Figura 1 Gráfico de puntaje (Score Plot) de las muestras de mora, el PCA calculado explica el 68.68% de la varianza.

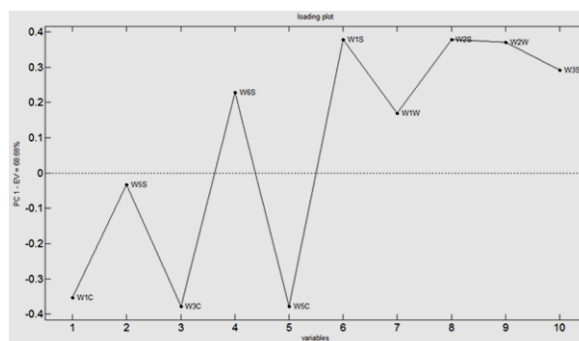


Figura 2 Gráfico de pesos (Loading Plot) de las muestras de mora, cada variable es un sensor de la nariz electrónica.

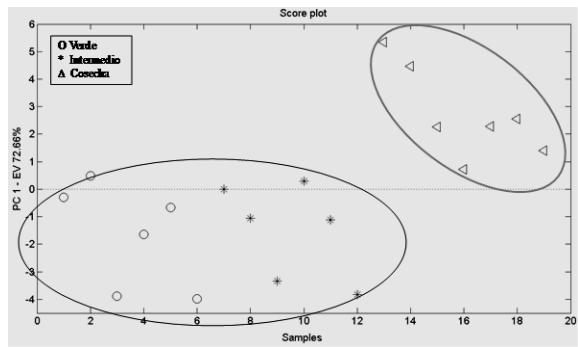


Figura 3 Gráfico de puntaje (Score Plot) de las muestras de agraz, el PCA calculado explica el 72,66% de la varianza.

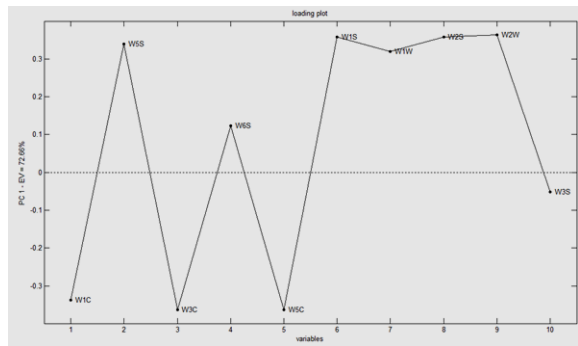


Figura 4 Gráfico de pesos (Loading Plot) de las muestras de agraz, cada variable es un sensor de la nariz electrónica.

En los gráficos de puntaje, que explican en cada caso más del 50% de la varianza de los grupos, junto con los gráficos de pesos se muestra que hay diferencia entre perfiles aromáticos de mora y agraz por el grupo de sensores que responde durante la maduración.

Contenido de Vitamina C

La vitamina C tiene actividad biológica como antioxidante debido al doble enlace y las sustituciones de dos grupos hidroxilo que tiene dentro de su estructura química, se sintetiza en las plantas como respuesta a condiciones de estrés y adicional su concentración está determinada por factores genéticos. (Asard et al., 2004)

Las muestras evaluadas contienen entre 13,46 y 22,48 μg de vitamina C g^{-1} de mora y 23,09 y 25,06 μg de vitamina C g^{-1} de agraz (Tabla 4); en ninguno de los casos se presentan diferencias significativas, sin embargo el valor p de la mora por estar tan próximo al valor alfa ($p=0,057$) sugiere que en uno de los estados de madurez el contenido es diferente, según las medias el valor corresponde al primer estado de maduración donde se presenta alta variabilidad; contrario a lo esperado, que el contenido de vitamina C aumenta para la muestra de mora evaluada del estado cero al estado tres, esto podría explicarse por el comportamiento no climatérico y la variabilidad en las prácticas agrícolas y condiciones ambientales.

Tabla 4 Propiedades antioxidante de mora y agraz durante la maduración.

	Vitamina C	Antocianinas	Fenoles Totales	TEAC μmol	FRAP mmol
	$\mu\text{g g}^{-1}$	Totales mg g^{-1}	mg g^{-1}	Trolox g^{-1}	Trolox g^{-1}
Mora					
V [†]	13,46±2,07a*	1,89e-2±9,03e-3a	3,33±7,30e-2a	33,29±5,56a	42,37±1,42a
I [§]	21,99±7,61e-1a	5,67e-2±2,69e-2a	2,92±2,79e-1b	32,43±7,24a	37,11±5,55b
C [¶]	22,48±3,60a	2,57e-1±4,35e-2b	2,68±2,48e-1b	30,22±9,42a	17,30±0,71c
Agraz					
V [†]	24,97±7,99e-1a	3,49e-2±7,72e-3a	4,69±7,57e-2a	30,71±2,96a	39,70±5,00a
I [§]	25,06±3,20a	3,21e-1±2,27e-2b	4,74±1,01e-1a	34,81±1,24b	39,52±1,28a
C [¶]	23,09±2,53e-1a	1,59±9,34e-2c	5,57±2,67e-1b	44,40±3,33c	54,45±3,56b

Media \pm DE; DE = Desviación estándar. Promedios con letras diferentes en una misma columna presentan diferencias significativas. V: verde, [§]I: intermedio, [¶]C: cosecha. *Nivel de significancia

p<0,05

Se ha reportado en el género *Vaccinium sp.* acumulación durante la maduración de vitamina C y compuestos fenólicos (Cocetta et al., 2012), comportamiento que corresponde a lo encontrado en el agraz. Rodríguez et al. (2007). reportan un contenido de vitamina C más alto, alrededor de 80 μg de vitamina C g^{-1} fruta fresca, en el agraz en estado de cosecha. En la tabla de composición de la USDA, (2010) se aprecian valores para la mora (*blackberry*) y el arándano (*blueberry*) de 209,72 y 97,24 μg de vitamina C g^{-1} fruta fresca respectivamente, mayores en comparación con los encontrados para las frutas en cosecha evaluadas. Es importante considerar las condiciones ecofisiológicas de los frutos que determinan la composición y afectan algunos patrones de comportamiento.

Contenido de Antocianinas

La mora y el agraz son por excelencia fuente de antocianinas, los flavonoides más importantes encargados de atraer insectos en las plantas y protegerlas de diferentes patologías y depredadores (Brown et al., 2006; Chemler et al., 2009) en general su estructura está ligada a un azúcar e incluso pueden estar copolimerizadas esto afecta su disponibilidad y cuantificación (A.O.A.C., 2005). Diferentes fuentes que han identificado las antocianinas presentes en la mora y los arándanos y reportan como antocianina predominante la cyn-3-glu (Dai et al., 2009; Garzón et al., 2010)

Durante la maduración el contenido de antocianinas aumenta y para la síntesis la célula emplea ácido siquímico y ácido malónico (Chemler et al., 2009) en el caso de la mora no se presenta diferencias significativas entre el estado verde e intermedio y se observa un aumento de casi 14 veces en el estado de cosecha, respecto al valor inicial. Chen, Q. et al., (2012) reportan contenidos muy bajos de antocianinas en las primeras etapas de maduración, 0,106 mg cyn-3-glu g^{-1} fruta fresca y el valor máximo, 1,46 mg cyn-3-glu g^{-1} fruta fresca, lo encuentran en el punto más alto de maduración estudiado. El agraz muestra en los tres estados un contenido

significativamente diferente y respecto al estado verde, el estado de cosecha presenta 45 veces más antocianinas.

Los contenidos de antocianinas encontrados en mora y agraz permiten comparar el estado de cosecha de la mora con el estado intermedio del agraz y concluir que entre las frutas maduras el agraz es una fuente importante de estas sustancias bioactivas.

Contenido de Fenoles Totales

La concentración de compuestos fenólicos incluso de nutrientes, vitaminas, minerales, entre otros, responde a múltiples factores ambientales y genéticos, la composición de un alimento nunca es constante y por esto no es extraño encontrar diferencias entre frutas e incluso en un mismo cultivo, por ejemplo, se ha encontrado que las hojas y frutos que están en contacto directo con la radiación solar presentan un mayor contenido de compuestos fenólicos, vitamina C y carotenoides, que los que se encuentran bajo la sombra (Brown et al., 2006; Vicente et al., 2009). El contenido de fenoles totales en el caso del agraz, en cualquier estado de maduración, es mayor que el de la mora, además, mientras en el agraz aumentan los polifenoles en la mora disminuyen. La diversidad de compuestos presentes en cada fruta sumado a que el método de Folin-Ciocalteu puede responder a sustancias no necesariamente polifenólicas como aminas aromáticas e incluso el ácido ascórbico (Magalhães et al., 2008), también puede influenciar el resultado final.

Capacidad Antioxidante

El poder antioxidante de una fruta puede ser medido por diferentes métodos *in vitro*, que permiten hacerse una idea de la capacidad que tiene la muestra para secuestrar radicales libres (Niki, 2010). Los métodos no competitivos que emplean $ABTS^{\bullet+}$ y el complejo $[Fe(II)(TPTZ)_2]^{+2}$, introducen un radical en la muestra y cuantifican en qué cantidad fue inhibido por acción de las sustancias allí presentes. Según datos de la Tabla 4 bajo los dos métodos analíticos empleados el agraz presenta el mismo comportamiento, el estado de cosecha tiene una

capacidad antioxidante mayor que el estado verde. La mora no evidencia cambios significativos de la capacidad antioxidante evaluada por TEAC, mientras que por FRAP el estado de cosecha presenta una capacidad menor valor que en el estado verde. En general el agraz en el estado de cosecha tiene mejores propiedades antioxidantes que la mora.

CONCLUSIONES

El contenido de sólidos solubles, el perfil aromático y el contenido de antocianinas permiten diferenciar los estados de madurez de mora y agraz. Las propiedades antioxidantes durante la maduración de cada fruta son independientes, mientras que en la mora se presenta una disminución en el agraz se evidencia un incremento y en general mejores características que hacen de este fruto un alimento atractivo.

AGRADECIMIENTOS

Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos- ICTA de la Universidad Nacional de Colombia ya la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria- CORPOICA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asard, H., J. M. May y N. Smirnoff. 2004. Vitamin C, function and biochemistry in animals and plants, Londres, Reino Unido. Garland Science/BIOS Scientific Publishers. 374p.

Association of Analytical Communities A.O.A.C. 2005. A.O.A.C. Official method 2005.02 Total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines.

Balasundram, N., K. Sundram y S. Samman. 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. Food Chemistry 99(1): 191-203.

Benedetti, S., S. Buratti, A. Spinardi, S. Mannino y I. Mignani. 2008. Electronic nose as a non-destructive tool to characterise peach cultivars and to monitor their ripening stage during shelf-life. *Postharvest Biology and Technology* 47(2): 181-188.

Bhattacharyya, N., S. Seth, B. Tudu, P. Tamuly, A. Jana, D. Ghosh, R. Bandyopadhyay, M. Bhuyan y S. Sabhapandit. 2007. Detection of optimum fermentation time for black tea manufacturing using electronic nose. *Sensors and Actuators B: Chemical* 122(2): 627-634.

Brezmes, J., E. Llobet, X. Vilanova, G. Saiz y X. Correig. 2000. Fruit ripeness monitoring using an electronic nose. *Sensors and Actuators B: Chemical* 69(3): 223-229.

Brown, J. E., V. Cheynier, M. Clifford, O. Dangles, K. M. Davies, C. Dufour, G. G. Duthie, D. Ferreira, T. Fossen, K. S. Gould, R. J. Grayer, K. Hostettmann, M. Jay, M. Jordheim, J. A. M. Kyle, C. Lister, J. P. J. Marais, A. Marston, K. E. Schwinn, D. Slade, K. M. Valant-Vetschera, N. C. Veitch, C. A. Williams, H. Wiseman y E. Wollenweber. 2006. *Flavonoids: chemistry, biochemistry, and applications*. Boca Raton, E.E.U.U. Taylor & Francis Group, 1212p.

Castañeda-Ovando, A., M. D. L. Pacheco-Hernández, M. E. Páez-Hernández, J. A. Rodríguez y C. A. Galán-Vidal. 2009. Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry* 113(4): 859-871.

Castrejón, A. D. R., I. Eichholz, S. Rohn, L. W. Kroh y S. Huyskens-Keil. 2008. Phenolic profile and antioxidant activity of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) during fruit maturation and ripening. *Food Chemistry* 109(3): 564-572.

Chemler, J A, K. M. Davies, V. de Freitas , S. Deroles, K. S. Gould, J. H. Hatier, M. A. G. Koffas, E. Leonard, S. Lev-Yadun, M. A. Lila, N. Mateus, T. Nakayama, S. Rasmussen, K. Saito, W. J. Steyn, M. Yamazaki y K. Yonekura-Sakakibara. 2009. Anthocyanins biosynthesis, functions, and applications. New York, E.E.U.U. Winefield. Springer. 345p.

Chen, Q., H. Yu, H. Tang y X. Wang. 2012. Identification and expression analysis of genes involved in anthocyanin and proanthocyanidin biosynthesis in the fruit of blackberry. *Scientia Horticulturae* 141(0): 61-68.

Cocetta, G., K. Karppinen, M. Suokas, A. Hohtola, H. Häggman, A. Spinardi, I. Mignani y L. Jaakola. 2012. Ascorbic acid metabolism during bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) fruit development. *Journal of Plant Physiology* 169(11): 1059-1065.

Dai, J., A. Gupte, L. Gates y R. J. Mumper. 2009. A comprehensive study of anthocyanin-containing extracts from selected blackberry cultivars: Extraction methods, stability, anticancer properties and mechanisms. *Food and Chemical Toxicology* 47(4): 837-847.

Diban G., N. 2008. Separación de aromas en etapas del procesado de zumos de frutas y bebidas. Tesis de doctorado en Ingeniería Química y Química Inorgánica: Facultad de Ingeniería. Universidad de Cantabria. 34p.

Garzón, G. A., C. E. Narváez, K. M. Riedl y S. J. Schwartz. 2010. Chemical composition, anthocyanins, non-anthocyanin phenolics and antioxidant activity of wild bilberry (*Vaccinium meridionale* Swartz) from Colombia. *Food Chemistry* 122(4): 980-986.

Gorinstein, S., Z. Jastrzebski, H. Leontowicz, M. Leontowicz, J. Namiesnik, K. Najman, Y. S. Park, B. G. Heo, J. Y. Cho y J. H. Bae. 2009. Comparative control of the bioactivity of some frequently consumed vegetables subjected to different processing conditions. *Food Control* 20(4): 407-413.

Li, C., G. W. Krewer, P. Ji, H. Scherm y S. J. Kays. 2010. Gas sensor array for blueberry fruit disease detection and classification. *Postharvest Biology and Technology* 55: 144-149.

Ligarreto, G. A. 2011. Agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz), algunas prácticas de cultivo y poscosecha. Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 23p.

Magalhães, L. M., M. A. Segundo, S. Reis y J. L. F. Lima. 2008. Methodological aspects about in vitro evaluation of antioxidant properties. *Analytica Chimica Acta* 613(1): 1-19.

Meret, M., P. Brat, C. Mertz, M. Lebrun y Z. Günata, 2011. Contribution to aroma potential of Andean blackberry (*Rubus glaucus* Benth). *Food Research International* 44(1): 54-60.

Mitcham, E., C. Crisosto y A. Kader. 1998. Bushberries: blackberry, blueberry, cranberry, raspberry: recommendations for maintaining postharvest quality. En: University of California, <http://postharvest.ucdavis.edu/PFfruits/Bushberries/>; consulta: mayo 2012.

Müller, L., S. Gnoyke, A. M. Popken y V. Böhm. 2010. Antioxidant capacity and related parameters of different fruit formulations. *LWT - Food Science and Technology* 43(6): 992-999.

Murcia, A. M., A. M. Jiménez y M. Martínez-Tomé. 2009. Vegetables antioxidant losses during industrial processing and refrigerated storage. *Food Research International*, 42(8): 1046-1052.

Niki, E. 2010. Assessment of Antioxidant Capacity in vitro and in vivo. *Free Radical Biology and Medicine* 49(4): 503-515.

Oliveira, I., P. Baptista, R. Malheiro, S. Casal, A. Bento y J. A. Pereira. 2011. Influence of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) fruit ripening stage on chemical composition and antioxidant activity. *Food Research International* 44(5): 1401-1407.

Pathange, L. P., P. Mallikarjunan, R. P. Marini, S. O'Keefe y D. Vaughan. 2006. Non-destructive evaluation of apple maturity using an electronic nose system. *Journal of Food Engineering* 77(4): 1018-1023.

Peris, M. y L. Escuder-Gilabert. 2009. A 21st century technique for food control: Electronic noses. *Analytica Chimica Acta* 638(1): 1-15.

Perkins-Veazie, P., J. R. Clark, D. J. Huber y E. A. Baldwin. 2000. Ripening physiology in 'Navaho' Thornless blackberries: color, respiration, ethylene production, softening, and compositional changes. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 125(3): 357-363.

Pietta, P., M. Minoggio y L. Bramati. 2003. Plant polyphenols: structure, occurrence and bioactivity. pp: 257-312. En: Atta-Ur, R. (ed.). *Studies in Natural Products Chemistry*. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. 491p.

Rodríguez, H. G. Á., J. A. C. Riveros, G. Fischer, G. A. L. Moreno y M. C. Q. Cuenca. 2007. Caracterización fisicoquímica y organoléptica del fruto de agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) Almacenado 1 a 2°C. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín* 60(2): 4179-4193.

Shui, G., y L. P. Leong. 2002. Separation and determination of organic acids and phenolic compounds in fruit juices and drinks by high-performance liquid chromatography, *Journal of Chromatography A* 977(1): 89-96.

Torri, L., N. Sinelli y S. Limbo. 2010. Shelf life evaluation of fresh-cut pineapple by using an electronic nose. *Postharvest Biology and Technology* 56(3): 239-245.

United States Department of Agriculture USDA. 2010. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 22 Nutrient Lists [Online]. Available: <http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=18877> [Accessed 21 septiembre 2010].

Vasco, C., J. Ruales y A. Kamal-Eldin. 2008. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chemistry* 111(4): 816-823.

Vicente, A., G. A. Manganaris, G. Sozzi y C. Cristoso. 2009. Nutritional quality of fruits and vegetables. pp:57-106. En: Florkowski W., Prussia S., Shewfelt R., Brueckner B. y Burlington, M.A. *Postharvest handling: a systems approach*. En: Academic Press (ed.). Segunda edición. E.E.U.U. 640p.

Wang, L.-S. y G. D. Stoner. 2008. Anthocyanins and their role in cancer prevention. *Cancer Letters* 269(2): 281-290.

Zuluaga, C. M., A. C. Diaz y M. C. Quicazán. 2011. Estandarización y validación del método de análisis del perfil aromático por nariz electrónica. *Ingeniería e Investigación* 31(2): 65-73.

4.2 Evaluación del efecto del despulpado y la concentración en las propiedades antioxidantes de mora (*Rubus glaucus* Benth) y agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz)

**EFFECT OF PULPING AND CONCENTRATION ON ANTIOXIDANT PROPERTIES
OF THE ANDES BERRY (*Rubus glaucus* Benth) AND BILBERRY (*Vaccinium
meridionale* Swartz)**

**EFFECTO DEL DESPULPADO Y LA CONCENTRACIÓN EN LAS PROPIEDADES
ANTIOXIDANTES DE MORA (*Rubus glaucus* Benth) Y AGRAZ (*Vaccinium meridionale
Swartz*)**

Luisa Juana Bernal Roa^{1*}, Amanda Consuelo Díaz Moreno²

¹Chemical Engineer. Masters Student, Food Science and Technology. Universidad Nacional de Colombia. Calle 59a No. 63-20, Medellín, Colombia.

²PhD. Food Quality, Safety and Technology. Assistant Professor, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia. Carrera 45 No. 26-85, Bogotá D.C., Colombia.

ABSTRACT

RATIONALE: Fruit processing is performed with the aim of prolonging product life, this causes chemical and physical changes that depend on the nature of the product and influences the soluble solids, vitamin C, and antioxidants contents, among others. The Andes berry (*Rubus glaucus* Benth) and bilberry (*Vaccinium meridionale* Swartz) are characterized by their source of

*Correspondence: ljbernalr@unal.edu.co

bioactives, especially anthocyanins, antioxidant phenolic compounds; these fruits are used in juices, jams, and smoothies, which generally use pulp or fruit concentrate as raw materials. The importance of bioactive compounds in consumer trends, due to their preventive role in the degenerative diseases, marks a stage in the research and development of food; consumers want to know the effects processing has on these compounds, changing the nutritional characteristics.

AIM: This study evaluated the effect of pulping and concentration operations on the antioxidant capacity and vitamin C, phenol and anthocyanins contents in Andean blackberry and bilberry.

METHODS: Antioxidant capacity was estimated with *in vitro* and non competitive methods, the TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) method measuring discoloration in the radical cation ABTS^{•+} and the FRAP (Ferric Reduction Antioxidant Power) method quantified the reduction of Fe³⁺ to Fe²⁺ in the complex Fe³⁺[TPTZ]. These two methods are To determine the total phenolic content, Folin-Ciocalteu reagent was used, and with the official method of pH differential, total monomeric anthocyanin content was established. Vitamin C was analyzed by high performance liquid chromatography HPLC. **RESULTS:** The results show that vitamin C does not differ significantly in the process. Furthermore, the values for anthocyanins, total phenols, and antioxidant capacity increased with pulping due to the solubility and availability of bioactive compounds but decreased during concentration. **CONCLUSION:** Pulping and concentration operations, common in fruits, affect antioxidant properties and the effect depends on the characteristics of the fruit and the process conditions to which it is subjected.

RESUMEN

ANTECEDENTES La transformación de frutas se realiza con el objetivo de prolongar la vida útil esto ocasiona cambios químicos y físicos que dependen de la naturaleza del producto e influyen en el contenido de sólidos solubles, vitamina C, sustancias antioxidantes, entre otros. La mora (*Rubus glaucus* Benth) y el agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) se caracterizan por ser fuente de bioactivos en especial antocianinas, compuestos fenólicos antioxidantes; estas frutas son utilizadas en jugos, mermeladas y batidos, donde generalmente se emplean pulpas o concentrados de frutas como materias primas. La importancia que tienen los compuestos bioactivos en las tendencias actuales de consumo, debido a su papel preventivo en enfermedades degenerativas, marca una etapa en la investigación y desarrollo de alimentos, el consumidor desea conocer los efectos que tiene el procesamiento en estos compuestos para establecer los cambios en las características nutricionales. **OBJETIVO** este trabajo evalúa el efecto de las operaciones de despulpado y concentración de mora y agraz sobre la capacidad antioxidante, contenido de vitamina C, fenoles y antocianinas totales. **MÉTODOS** se estimó la capacidad antioxidante por dos métodos *in vitro* no competitivos, TEAC (actividad antioxidante en equivalentes trolox) que mide la decoloración del catión radical ABTS^{•+} y el método FRAP (poder antioxidante reducción del hierro) que cuantifica la reducción del Fe³⁺ a Fe²⁺ en el complejo Fe³⁺[TPTZ]. Para la determinación del contenido de fenoles totales se empleó el reactivo Folin-Ciocalteu, y con el método oficial de pH diferencial se estableció el contenido de antocianinas totales monoméricas. La vitamina C fue analizada por medio de cromatografía líquida de alta eficiencia HPLC. **RESULTADOS** los resultados muestran que la vitamina C no presenta diferencias significativas durante el proceso. De otra parte los valores de antocianinas,

fenoles totales, y capacidad antioxidante aumentan en el despulpado por la solubilidad y disponibilidad de los compuestos bioactivos pero disminuyen durante la concentración.

CONCLUSIÓN el despulpado y la concentración, operaciones comunes en las frutas, afectan las propiedades antioxidantes y el efecto depende de las características de la fruta y las condiciones del proceso a las que se somete.

KEYWORDS: Anthocyanins, Folin-Ciocalteu, FRAP, TEAC, Food Handling

PALABRAS CLAVES: Antocianinas; Folin-Ciocalteu; FRAP; TEAC; Manipulación de alimentos

INTRODUCTION

Fruits and vegetables are used for both fresh consumption and processing; during processing, the nutritional composition may be altered, including the antioxidant properties, bioactive content, activity and bioavailability (1). It is difficult to predict the changes that these compounds may present under different process conditions and generalize the behavior, because it depends largely on the matrix, the treatment intensity, oxygen concentration, time and the presence of light, among other factors (2 -3). In this respect, it has been reported that vitamin C and phenolic compounds are susceptible to degradation during different processing operations (4). The Andes berry and bilberry are natural sources of phenolic acids (caffeic acid, coumaric, chlorogenic and ferulic) and flavonoids such as quercetin, ellagitannins and the most recognized, anthocyanins, producing the red and purple colorations (5-6); antioxidant substances that play an

important role against oxidation reactions. These fruits are marketed both as fresh and processed products: juices and jams (7), and are also used in the manufacture of intermediate products such as pulps and concentrates.

This study aimed to evaluate the effect of fruit pulping and concentrate operations on the antioxidant properties and vitamin C, phenol and anthocyanins contents.

MATERIALS AND METHODS

Samples

The Andes berry was acquired from a crop located at El Triunfo, in the municipality of Icononzo, in the Tolima department, Colombia. The bilberry was collected from wild bushes in Arrayanes, in the municipality of Tinjacá, Boyaca department, Colombia. The selected samples showed harvest maturity stages, after harvest, the fruit was selected and divided, one group for physicochemical analysis and the other stored at -18 °C until processing; before and after each operation a sample was taken for various physicochemical determinations.

Physicochemical analysis

- Humidity: 10 g sample was placed in an oven (Heraeus Function Line thermo oven, USA) at 105 °C for 4 hours. AOAC Official Method 934.06; AOAC Official Method 934.01.
- Soluble Solids: 10 g of macerated fruit was used to determine the soluble solids content, °Brix, by refractometer according to Colombian Technical Standard NTC 4624.

– pH and acidity: a potentiometer was used (Schott Handylab PH11, USA) for both pH determination and potentiometric titration according to Colombian Technical Standard NTC 440 and AOAC Official Method 942.15.

Processing operations

Fruit processing was performed on a laboratory scale. The pulping employed a food processor which homogenized the fruit and then the seeds were removed with the aid of a sieve. The concentration of the pulp was performed on a hot plate (IKA MAG C HS 7, Germany) at 75 °C (temperature control IKA ETS D5, Germany). Figure 1 shows the flow diagram of the unit operations performed on Andes berry and bilberry.

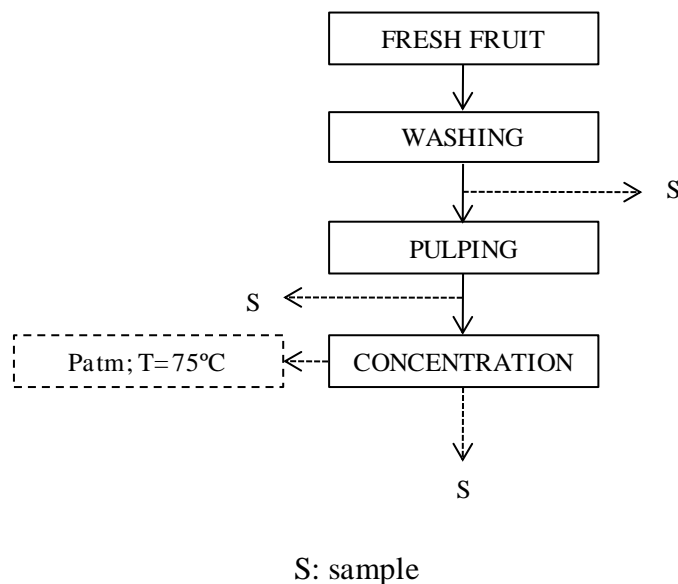


Figure 1. Flowchart of the fruit transformation process

Fruit pulping is carried out as an intermediate stage in the production processes of juices, sauces and jams; removing the inedible material, skins and seeds, and homogenizing and sieving the remaining product.

Fruit pulp concentration removes some of the water by evaporation to extend its useful life, increasing solids and decreasing water activity. Additionally, volume and weight is reduced which reduces transport and storage costs (8). When a fruit is subjected to concentration it is exposed to temperatures above 70 °C for extended periods of time, an operation that generates changes in sensory characteristics: color, aroma and flavor, and different authors have even reported significant losses of vitamin C (1-2, 9-10) and some flavonoids (2, 11).

Vitamin C

Distilled water was used as an extraction solvent for vitamin C, before injection, the solution was purified with a C₁₈ cleaning cartridge to remove sugars and anthocyanins. Detection and quantitation were performed with a HPLC (Jasco PU980 pump, Detector UV / VIS 975, USA) in an ion exchange column Phenomenex Rezex ROA- OrganicAcid H + 8% at a flow of 0.5 ml min⁻¹ with mobile phase H₂SO₄ 4mM at ambient temperature. The wavelength reading was 254nm (12). Each sample was extracted in duplicate and the data reported as mg of vitamin C g⁻¹ fresh fruit.

Extraction of antioxidants

The solvent used for the extraction of antioxidant compounds was 96% ethanol (Chemi, Italy), acidified with 1% glacial acetic acid (JT Baker, USA). 20g of whole fruit was homogenized with 20ml of the extraction solution in an Ultraturrax (IKA T18 Basic, Germany), the previously stirred mixture was centrifuged (centrifugal Tecnovetro 4235, Italy); this procedure was repeated twice more with the obtained solid and the extracts were brought to a volume of 100ml with the extraction solution. Three extracts were taken from each sample and stored at -18°C until analysis (13).

Determination of total anthocyanins

The methodology is described in the AOAC Official Method 2005.02 procedure of differential pH; each extract was read in duplicate and the results reported as mg of cyn-3-glu g^{-1} of dry sample.

Determination of total phenols

The Folin-Ciocalteu reagent (Panreac, Spain) was used at a wavelength of 765nm, quantification was performed with reference to a calibration curve of caffeic acid, Sigma Aldrich, USA, ($R^2 = 0.995$), each extract was read in duplicate and the results are reported as mg of caffeic acid g^{-1} dry sample (14-15).

Determination of antioxidant capacity

TEAC

Discoloration of the ABTS \bullet^+ radical at 734nm was determined after 6 min of reaction with respect to a Trolox calibration curve (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromo-2-carboxylic acid) 97%, Sigma Aldrich, USA, ($R^2 = 0.989$), each extract was read in triplicate and the results reported as μmol of trolox g^{-1} dry sample (4, 15).

FRAP

A volume of 330 μl of extract was mixed with 10ml of a solution prepared from acetate buffer pH 3.6 (300nm), TPTZ diluted in HCl (40 mM) and FeCl₃ (20 mM) in a 10:1:1 ratio respectively. The reaction time was one hour and the reading was taken at 593nm. Each extract was read in duplicate. The results are reported according to a Trolox calibration curve ($R^2 = 0.996$) in mmolTrolox g^{-1} dry sample (16-18).

Statistical Analysis

The data were analyzed according to an ANOVA one-way, in conjunction with a Tukey-Kramer multiple comparison test, using an alpha of 0.05. Different statistical analyses were carried out with MATLAB software V. 7.9 (Mathworks, U.S.A.).

RESULTS

Harvested fruits were pulped and then concentrated at 75 °C and atmospheric pressure until a soluble solids content greater than 50% of the initial fruit ° Brix was reached (19); the physicochemical results and antioxidant properties are summarized in Table 1 for Andes berry and Table 2 for bilberry.

Table 1. Physicochemical and antioxidant characteristics for the transformation process of Andes berry.

Andes Berry	Primary Material		Pulped		Concentrated	
Humidity%	87.60±1.12	a	93.18±0.01	b	89.05±0.09	a
°Brix	7.56±0.01	a	6±0.00	b	10.3±0.00	c
pH	2.88±0.00	a	2.85±0.00	a	2.8±0.01	a
Malic acid %	2.86±0.00	a	2.44±0.09	a	3.64±0.03	a
Vitamin C mg g ⁻¹ dry fruit	0.28±0.04	a	0.79±0.05	b	0.27±0.01	a
Total Anthocyanins mg g ⁻¹ dry fruit	2.75±0.28	a	3.98±0.15	b	3.18±0.21	c
Total Phenols mg caffeic acid g ⁻¹ dry fruit	18.49±0.36	a	20.56±0.32	b	16.01±0.19	c
TEAC μmol Trolox g ⁻¹ dry fruit	155.20±27.33	a	199.45±14.20	b	120.98±5.19	c
FRAP mmol Trolox g ⁻¹ dry fruit	200.06±23.16	a	228.96±8.77	b	163.34±8.14	c

Reported Value Mean ± SD, SD = standard deviation

Means with different letters in the same row differ significantly

The Andes berries and bilberries presented humidity and pH within the expected values, humidity between 85 and 95% and pH between 2.5 and 4.5.

Table 2. Physicochemical and antioxidant characteristics for processing operations of bilberry.

Bilberry	Primary Material		Pulped		Concentrated	
Humidity %	82.65±0.37	a	85.15±0.20	b	78.9±0.29	c
°Brix	11.1±0.14	a	10.5±0.14	b	16.3±0.14	c
pH	2.95±0.01	a	2.94±0.03	a	2.87±0.00	a
Acidity % (citric acid)	2.22±0.018	a	2.13±0.01	a	2.88±0.01	a
Vitamin C mg/g dry fruit	0.13±0.05	a	0.22±0.09	a	0.13±0.00	a
Total Anthocyanins mg g ⁻¹ dry fruit	4.97±0.38	a	4.46±0.04	b	3.64±0.04	c
Total Phenols mg caffeic acid g ⁻¹ dry fruit	23.78±0.94	a	21.47±0.48	b	17.70±1.62	c
TEAC μmol Trolox g ⁻¹ dry fruit	194.55±6.09	a	183.24±8.85	a	157.79±9.00	b
FRAP mmolTrolox g ⁻¹ dry fruit	196.20±1.45	a	182.61±8.18	a	161.18±13.71	b

Reported value mean ± SD, SD = standard deviation

Means with different letters in the same row differ significantly

DISCUSSION

The composition of a food can be used as an index of quality and can be affected by environmental and genetic factors (20-21). The Andes berries used for the pulping process had a maturity stage of five, according to NTC 4106, where the fruit has completed its development in line with °Brix and color (22).

Studies on maturation in berries differentiate four maturity stages: the first where the surface is green and the fruit has developed its size and shape; a stage where the berry has lost the initial coloring in exchange for a red skin which changes to purple in the next stage of harvesting and a final stage of ripeness. The sample used for comparison processing was in a stage of maturity that could be classified as stage three (5, 23).

Humidity of the Andes berry (93.18%) and bilberry pulp (85.15%), compared to that of their fresh fruit (87.60% and 82.65% respectively), presented higher values because part of the solid matter had been removed as is the objective of the pulping process. Acidity and pH are physicochemical parameters that were maintained without significant differences throughout the process.

The antioxidant capacity data found for fresh fruits (Andes berry 24.80 mg Trolox g⁻¹ fresh fruit and bilberry 35.70 mg Trolox g⁻¹ fresh fruit) had significant differences with respect to other tropical fruits like arazá, *Eugenia stipitata* (11.4 micromol Trolox g⁻¹ fresh fruit), borojó, *Borojoa sorbilis* (3.88 micromol Trolox g⁻¹ fresh fruit) and banana passion fruit, *Passiflora tarminiana* (114 micromol Trolox g⁻¹ fresh fruit) (24), these red fruits have better antioxidant characteristics; the bilberry has a higher content of anthocyanins and total phenols compared to the Andes berry and during the processing operations antioxidant capacity, by the TEAC method, in the bilberry presented a 19% loss while the Andes berry decreased 22%, total phenols were considerably affected, in both fruits, in the concentration stage; the loss exceeded 10%. In the Andes berry, the vitamin C content significantly increased in the pulping stage but decreased during concentration, to the extent that there was no significant difference with the initial value. The total anthocyanins, total phenols and in general the antioxidant capacity behavior were favored in the pulping stage and affected by the concentration step. In the bilberry, vitamin C content remained constant during processing; total anthocyanins, total phenol and antioxidant capacity decreased during different processing operations. The chemical nature of the bioactive is a key factor, but not exclusive, to determine stability during processing; pulping and concentration incorporate air, disrupt cellular structures that can release enzymes

(25), increase temperature and in general induce change in the metabolism of the fruits, which can change their antioxidant composition (26).

The stability of vitamin C is dependent on oxygen concentration, temperature and pH (10); the results differ from the majority of reports made where processes such as breaking, cooking or pasteurizing decrease the content in vegetables such as the tomato, cabbage and broccoli (10, 27). Variations of vitamin C found in Andes berry and bilberry are minimized by the thermal process, eg 1.31 mg g⁻¹ dry fruit in bilberry pulp and 1.29 mg g⁻¹ dry fruit in bilberry concentrate; this behavior corresponds to that found in other fruits such as plums, cherries and peaches (28), where pH values are comparable.

The operations of peeling, cutting, grinding and pulping favor the release of the polyphenol oxidase enzyme which catalyzes the polymerization reactions using flavonols and hydroxycinnamic acids as substrates; this can, according to overall composition, affect the antioxidant capacity (26). The results obtained, under conditions of the previously described process, in Andes berry show that this phenomenon does not significantly affect the antioxidant capacity, while in the bilberry, total phenol content decreased without significant alterations in the TEAC and FRAP values. In the prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica* Mill), similar behavior was reported to that of bilberry, while the total phenol content decreased after six days of storage, the antioxidant capacity was not altered in the evaluated period (29). Different studies show that phenolic substances such as ellagitannins present in these berries decrease after heating (7) which is consistent with that found for the antioxidant capacity in fruits evaluated during concentration of the pulp. Thermal treatments such as pasteurization, which maintains a temperature between 72 and 75 °C for a short time 15-20s, lead to the moderate

destruction of phenolic compounds and vitamin C, although losses can be minimized by controlling the oxygen concentration (2); under the conditions under which they were handled, the samples favored degradation by exposure to high temperatures for prolonged periods of time. The stability of anthocyanins generally depends on the pH value of the medium and the presence of ions and proteins (30). The difference between the behavior of anthocyanins in Andes berry and bilberry can be explained by the slightly basic pH in bilberry, anthocyanins are more stable at acidic values when the quinonoidal or flavylium cation structure predominates, when there is an increase in the temperature, sugar is lost which binds to the molecule and forms a colorless structure (13, 31). In a particular case of berry pulp subjected to 93 °C for 10 minutes and then pasteurized, a loss of 43% of anthocyanins was reported (30), which is consistent with the loss of 26% in the concentrated bilberry product.

CONCLUSIONS

The results suggest that the processing of fruit has an effect on the antioxidant properties of Andes berry and bilberry that depends on the stability of the bioactive substances of the vegetable origin matrix, its pH, the presence of the polyphenol oxidase enzyme and the process conditions; concentration has a greater detrimental effect on the antioxidant capacity of the fruit than pulping. In Andes berry, pulping improves vitamin C content and antioxidant properties by availability of compounds, while concentration decreases the antioxidant capacity. In bilberry, pulping and concentration reduced the antioxidant properties of the product.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the work team at the Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos- ICTA at the Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Institute of Food Science and Technology) and the Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria -CORPOICA (Colombian Agricultural Research Corporation).

REFERENCES

1. Nicoli MC, Anese M, Parpinel M. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Trends Food Sci Tech.* 1999 Mar;10(3): 94-100.
2. Johnson I, Williamson G, editors. *Phytochemical Functional Foods.* Cambridge, England. Woodhead Publishing.; 2003. 398 p.
3. Wen TN, Prasad KN, Yang B, Ismail A. Bioactive substance contents and antioxidant capacity of raw and blanched vegetables. *Innov Food Sci Emerg.* 2010 Feb;11(3): 464-469.
4. Murcia AM, Jiménez AM, Martínez-Tomé M. Vegetables antioxidant losses during industrial processing and refrigerated storage. *Food Res Int.* 2009 Apr; 42(8): 1046-1052.
5. Castrejón AD, Eichholz I, Rohn S, Kroh LW, Huyskens-Keil S. Phenolic profile and antioxidant activity of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) during fruit maturation and ripening. *Food Chem.* 2008 Jan;109(3): p. 564-572.
6. Pietta P, Minoggio M, Bramati L. Plant polyphenols: structure, occurrence and bioactivity en *Studies in Natural Products Chemistry.* Amsterdam, The Netherlands: Atta-ur R, editor. Elsevier; 2003. Vol 9, 257-312 p.

7. Gancel AL, Feneuil A, Acosta O, Pérez AM, Vaillant F. Impact of industrial processing and storage on major polyphenols and the antioxidant capacity of tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichus*). *Food Res Int.* 2011 Jun;44(7): 2243-2251.
8. Fellows P. *Food Processing Technology, Principles and Practice*. 2nd ed. Boca Raton, FL. Woodhead Publishing; 2000. 610 p.
9. Chuah AM, Ya-Chi L, Tomoko Y, Hitoshi T, Li-Jun Y, Teruyoshi M. Effect of cooking on the antioxidant properties of coloured peppers. *Food Chem.* 2008 Mar;111(1): 20-28.
10. Jongen W, Southon S, Faulks R, et al. *Fruit and Vegetable Processing, Improving Quality*. Cambridge, UK:Jongen W, editor;. Woodhead Publishing; 2002. 408 p.
11. Alvarez-Parrilla E, Andres-Lacueva C, Bolaños-Villar AV, et al. *Fruit and Vegetable Phytochemicals, Chemistry, Nutritional Value and Stability*. Singapore, India: de la Rosa L, Alvarez-Parrilla E, González-Aguilar G, editors. Wiley Blackwell; 2010. 384 p.
12. Shui G, Leong LP. Separation and determination of organic acids and phenolic compounds in fruit juices and drinks by high-performance liquid chromatography. *J Chromatogr.* 2002 Aug;977(1): 89-96.
13. Castañeda-Ovando A, Pacheco-Hernández ML, Páez-Hernández ME, Rodríguez JA, Galán-Vidal CA. Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chem.* 2009 Sep;113(4): 859-871.
14. Oliveira I, Baptista P, Malheiro R, Casal S, Bento A, Pereira JA. Influence of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) fruit ripening stage on chemical composition and antioxidant activity. *Food Res Int.* 2011 Feb;44(5): 1401-1407.
15. Vasco C, Ruales J, Kamal-Eldin A. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chem.* 2008 Apr;111(4): 816-823.

16. Gorinstein S, Jastrzebski Z, Leontowicz H, Leontowicz M, Namiesnik J, Najman K, Park Y, Heo B, Cho J, Bae J. Comparative control of the bioactivity of some frequently consumed vegetables subjected to different processing conditions. *Food Control*. 2009 Jul;20(4): 407-413.
17. Muller L, Gnoyke S, Popken AM, Bohm V. Antioxidant capacity and related parameters of different fruit formulations. *LWT - Food Sci Technol*. 2010 Feb;43(6): 992-999.
18. Koca I, Karadeniz B. Antioxidant properties of blackberry and blueberry fruits grown in the Black Sea Region of Turkey. *Sci Hortic-Amsterdam*. 2009 Mar;121(4): 447-450
19. Resolución Número 7992 de 1991, por la cual se reglamenta parcialmente el Titulo V de la Ley 09 de 1979 en lo relacionado con la elaboración, conservación y comercialización de jugos, concentrados, néctares, pulpas, pulpas azucaradas y refrescos de Frutas. Bogotá, Colombia. Ministerio de Salud. 1991. 21 p.
20. Dai J, Gupte A, Gates L, Mumper RJ. comprehensive study of anthocyanin-containing extracts from selected blackberry cultivars: Extraction methods, stability, anticancer properties and mechanisms. *Food Chem Toxicol*. 2009 Jan;47(4): p. 837-847.
21. Vicente A, Manganaris GA, Sozzi G, Cristoso C. Nutritional Quality of Fruits and Vegetables in Postharvest Handling: A Systems Approach. 2nd ed. Burlington, MA. Florkowski WJ, Prussia SE, Shewfelt RL, Brueckner B, editors. 2009. Chap 5, 50 p.
22. Frutas Frescas, Mora de Castilla, Especificaciones. Instituto Colombiano de Normas Técnicas-ICONTEC. 1997: Bogotá, Colombia. 15 p.
23. Cocetta G, Karppinen K, Suokas M, Hohtola A, Haggman H, Spinardi A, Mignani I, Jaakola L. Ascorbic acid metabolism during bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) fruit development. *J Plant Physiol*. 2012 Mar;169(11): 1069-1065.

24. Contreras-Calderón J, Calderón-Jaimes L, Guerra-Hernández E, García-Villanova B. Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. *Food Res Int.* 2011 Nov;44(7): 2047-2053.
25. Knockaert G, Lemmens L, Van Buggenhout S, Hendrickx M, Van Loey A. Changes in β -carotene bioaccessibility and concentration during processing of carrot puree. *Food Chem.* 2012 Jan;133(1): 60-67.
26. Tomás-Barberán FA, Ferrer F, Gil MI. Antioxidant phenolic metabolites from fruit and vegetables and changes during postharvest storage and processing in *Studies in Natural Products Chemistry*. Amsterdam, The Netherlands: Atta-ur R, editor. Elsevier; 2000. Vol 23, 739-795p.
27. Sikora E, Cieslik E, Leszczynska T, Filipiak-Florkiewicz A, Pisulewski PM. The antioxidant activity of selected cruciferous vegetables subjected to aquathermal processing. *Food Chem.* 2008 Jul;107(1): 55-59.
28. Leong SY, Oey I. Effects of processing on anthocyanins, carotenoids and vitamin C in summer fruits and vegetables. *Food Chem.* 2012 Feb;133(4): 1577-1587.
29. Piga A, Caro D, Pinna I, Agabbio M. Changes in ascorbic acid, polyphenol content and antioxidant activity in minimally processed cactus pear fruits. *LWT- Food Sci Technol.* 2003 Nov;36(2): 257-262.
30. Patras N, Brunton P, O'Donnell C, Tiwari BK. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends Food Sci Tech.* 2010 Jan;21(1): 3-11.
31. Garzón GA. [Anthocyanins as natural dyes and bioactive compounds: review]. *Acta Biol Colomb.* 2008 Aug;13(3): 27-36. Spanish

5. Otros Resultados

5.1 Evaluación de la capacidad antioxidante durante el proceso de obtención de pulpas vegetales

Encuentro Nacional de Investigación y Desarrollo- ENID 2011

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DURANTE EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE PULPA DE VEGETALES

Luisa Juana Bernal^{1*}, Amanda Consuelo Díaz Moreno¹

Universidad Nacional de Colombia

¹Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos - ICTA - Sede Bogotá



RESUMEN

Con el objetivo de establecer cómo afecta el proceso de obtención de pulpa las propiedades antioxidantes en lulo, mango, feijoa, maracuyá, espinaca y remolacha, se analizó el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante por los métodos *in vitro* TEAC y DPPH en diferentes etapas del proceso. Los datos encontrados tanto de fenoles totales como de actividad antioxidante por DPPH destacan a la feijoa en el grupo de frutas frescas evaluadas; el contenido de fenoles totales para las hortalizas, respecto a las frutas, es menor. En general, el proceso estándar bajo el que se analizó las muestras favorece el aumento de la capacidad antioxidante de los productos y establece diferencias entre métodos de análisis y en algunos casos entre etapas de transformación.

INTRODUCCIÓN

Una de las alternativas para la comercialización de frutas y la disminución de pérdidas poscosecha ha sido el procesamiento de las mismas, la elaboración de pulpas ha tomado un papel importante en la industria ya que es un producto intermedio que facilita la obtención de productos como jugos, concentrados, conservas, entre otros. Debido a que recientes estudios han demostrado que los compuestos antioxidantes juegan un papel en la prevención de enfermedades neuronales y cardiovasculares, cáncer, diabetes y Alzheimer [1]-[2] es importante evaluar en diferentes matrices vegetales, fuertes por excelencia de antioxidantes, los cambios que se presentan en estas propiedades durante el proceso de transformación. Las frutas analizadas fueron mango (*Mangifera indica* L.), maracuyá (*Passiflora edulis*), lulo (*Solanum quitoense*) y feijoa (*Acca sellowiana*) y las hortalizas espinaca (*Spinacia oleracea*) y remolacha (*Beta vulgaris*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de pulpa: en las figuras No. 1 y 2 se muestra el proceso industrial empleado.

Extractos: Se utilizaron muestras comerciales sometidas a un proceso industrial /piloto para la obtención de pulpa; la muestra fue homogenizada y mezclada (20g) con etanol (volumen final 100ml), obteniéndose el extracto mediante centrifugación y filtrado.

Fenoles totales y TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity): El contenido de fenoles totales se determinó utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu y como estándar ácido caféico ($R^2=0,997$), la capacidad antioxidante medida por TEAC se cuantificó con respecto a Trolox ($R^2=0,999$) y se reporta como mmol de trolox/g muestra. La metodología seguida, con algunas modificaciones, fue propuesta por Dai, et al. 2009. [3].

DPPH (1,1-Diphenyl-2-Picrylhydrazyl): Se preparó la solución de trabajo a partir de la mezcla del radical DPPH y metanol, se ajustó la absorbancia (313nm) entre 0,70-0,75. Los resultados son expresados como IC_{50} : cantidad de muestra necesaria para disminuir en un 50% el contenido de DPPH inicial (mg muestra/ml de DPPH).

Análisis estadístico: Los datos fueron analizados estadísticamente con un nivel de confianza del 95%, por medio de Análisis de Varianza ANOVA y luego con de la prueba de Tukey.

RESULTADOS

FRUTAS

Fenoles totales: en la figura No. 3 se comparan los contenidos de fenoles durante el proceso de obtención de pulpa

Figura No. 1 Diagrama de flujo de proceso: Obtención de la pulpa de fruta

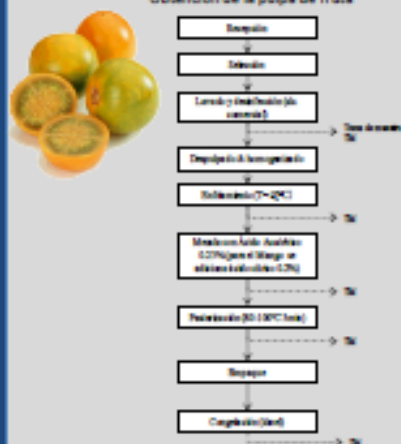


Figura No. 2 Diagrama de flujo de proceso: Obtención de pulpa de hortaliza

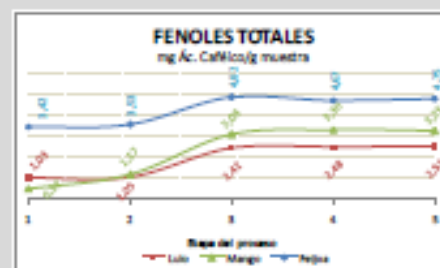
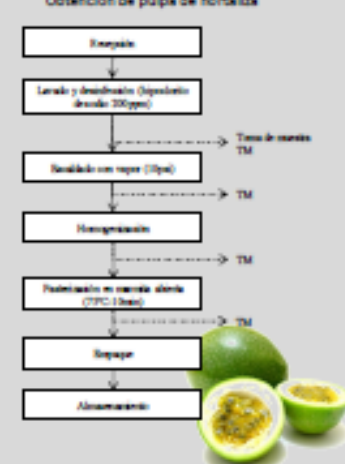


Figura 3 Diagrama de barras del contenido de fenoles totales en las frutas 1. Fruta fresca 2. Despepado 3. Mezcla 4. Pasterizado 5. Congelación

Maracuyá: la fruta fresca presenta un contenido de fenoles significativamente mayor respecto al de las demás etapas del proceso, la operación de despepado favorece la homogenización de la fruta y elimina las semillas que pueden ser aporte de compuestos fenólicos antioxidantes. No se presentan cambios significativos entre las etapas de despepado, pasterización y congelación.

TEAC y DPPH:

Mango: las etapas de mezcla, pasterizado y congelación no presentan diferencias significativas entre los valores encontrados; respecto a la fruta fresca, en la etapa de mezcla hay un aumento de la capacidad antioxidante que también se observa en el contenido de fenoles totales.

Feijoa y lulo: las magnitudes de capacidad antioxidante del fruto fresco y despepado son muy parecidas y se diferencian significativamente de los valores encontrados en las etapas de mezcla, pasterizado y congelación.

Maracuyá: las condiciones bajo las que se procesa no favorecen las propiedades antioxidantes de la fruta, entre las operaciones se presenta una disminución respecto al valor inicial encontrado en la fruta fresca.

HORTALIZAS

En las tablas 1 y 2 se observa el comportamiento durante el proceso de las propiedades antioxidantes de las hortalizas.

Tabla 1 Propiedades antioxidantes proceso de transformación espinaca

	Fresca	Escaldado	Homogenizado	Pasterizado
FOUN	0,435 a	0,471 a	0,471 a	0,840 b
TEAC	2,21e-3 a	2,17e-3 a	1,543e-3 b	2,55e-3 a

Tabla 2 Propiedades antioxidantes proceso de transformación remolacha

	Fresca	Escaldado	Homogenizado	Pasterizado
FOUN	0,407 a	0,509 b	0,624 c	1,281 d
TEAC	4,70e-3 a	6,94e-3 b	5,21e-3 a	9,81e-3 c

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas

CONCLUSIONES

Las propiedades antioxidantes se comportan según el proceso y matriz evaluadas. La pasterización no afecta las propiedades antioxidantes de las frutas y en las hortalizas las favorece debido a la concentración de solutos. La etapa de mezcla es crítica dentro del proceso ya que afecta los valores tanto del contenido de fenoles como de propiedades antioxidantes.

REFERENCIAS

- Castañeda-Ovando, A., et al, Chemical studies of anthocyanins: A review. Food Chemistry, 2006. 113(4): p. 859-871.
- Andersen, B.M. and K.R. Markham, Flavonoids: chemistry, biochemistry, and applications. 2006, Boca Raton, FL: CRC Press. It is an Imprint of Taylor & Francis Group.
- Dai, J., et al, A comprehensive study of anthocyanin-containing extracts from selected blackberry cultivars: Extraction methods, stability, anticancer properties and mechanisms. Food and Chemical Toxicology. 2009. 47(4): p. 837-847.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con el apoyo de COLCIENCIAS programa Jóvenes Investigadores e Innovadores 2009, Alimentos SAS S.A. y el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos-ICTA, laboratorio de análisis físico-químico, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá

* Luisa Juana Bernal, lbernal@una.edu.co, Dirección de correspondencia: Carrera 30 No. 45-03, Edificio 300 C, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá

5.2 Análisis de la capacidad antioxidante en frutos rojos durante el proceso de obtención de pulpa

II Conferencia Internacional en Manejo Poscosecha y Calidad de Productos Hortícolas de Interés en el Trópico. 2011

5.3 Evaluación del perfil aromático y propiedades antioxidantes durante la maduración de mora (*Rubus glaucus* Benth)

II Conferencia Internacional en Manejo Poscosecha y Calidad de Productos Hortícolas de Interés en el Trópico. 2011

5.4 Influencia de los tratamientos térmicos sobre la capacidad antioxidante de espinaca (*Spinacea oleracea*)

II Conferencia Internacional en Manejo Poscosecha y Calidad de Productos Hortícolas de Interés en el Trópico. 2011

5.5 Evaluación de las condiciones de proceso y capacidad antioxidante en la elaboración de productos hortofrutícolas

Jóvenes Investigadores e Innovadores, Virginia Vallejo 2009. COLCIENCIAS

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

Se evaluó el contenido de vitamina C, el contenido de antocianinas y fenoles totales y la capacidad antioxidante durante el proceso de maduración de mora (*Rubus glaucus* Benth) encontrando que el contenido de vitamina C presenta un aumento no significativo del estado verde al estado intermedio de maduración para luego permanecer constante. El incremento del contenido de antocianinas se hace evidente en el estado de cosecha. El contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante medida por el método FRAP disminuyen durante la maduración y la capacidad antioxidante por el método TEAC permanece constante. Todos estos comportamientos están asociados a la naturaleza de la fruta, a los cambios bioquímicos que sufre y las condiciones ambientales en las que se desarrolla el fruto.

Se evaluó el contenido de vitamina C, de antocianinas y fenoles totales y la capacidad antioxidante durante el proceso de maduración de un fruto silvestre de agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) y se encontró que el contenido de vitamina C permanece constante durante la maduración mientras que el contenido de antocianinas totales y fenoles totales junto con la capacidad antioxidante aumentan del estado verde al estado de cosecha, haciendo de este fruto una buena fuente de antioxidantes.

Durante la maduración de mora y agraz se evaluó el perfil aromático por medio de una nariz electrónica que permitió encontrar diferencias entre el estado de cosecha de cada una de las frutas.

El estado de maduración de cosecha de mora y agraz puede diferenciarse a partir del contenido de antocianinas, la capacidad antioxidante y el perfil aromático.

Las propiedades antioxidantes se ven afectadas por las operaciones de transformación a las que se somete la mora y el agraz, el comportamiento depende de la naturaleza de la muestra.

Las operaciones de despulpado y concentrado tienen efectos sobre las propiedades bioactivas de la mora, el despulpado favorece la disponibilidad de sustancias que luego en la concentración van a sufrir una degradación.

Las operaciones de despulpado y concentrado del agraz tienen efectos desfavorables sobre las propiedades bioactivas, sin embargo no deja de ser un fruto y una materia prima atractiva por sus altos contenidos de antioxidantes.

La liofilización de las frutas no arrojó resultados concluyentes, se recomienda realizar un control más riguroso del proceso que permita establecer los efectos de éste sobre las propiedades bioactivas.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar estudios sobre cultivos no silvestres de agraz que permitan establecer el comportamiento bajo condiciones controladas de producción.

Se recomienda realizar la evaluación de las propiedades bioactivas en frutas de origen diferente al evaluado.

A. Anexo: Procedimiento para la extracción de compuestos antioxidantes hidrosolubles con Ultraturrax

B. Anexo: Determinación de capacidad antioxidante total en frutas y hortalizas con el método FRAP

**C. Procedimiento para la
determinación de la capacidad
antioxidante por medio del método
TEAC (decoloración del catión
radical ABTS) en extractos vegetales**

**D. Procedimiento para la
determinación de fenoles totales por
el método de Folin-Ciocalteu en
extractos vegetales**

**E. Procedimiento para la
determinación de antocianinas por el
método del pH diferencial**

F. Procedimiento para la determinación del perfil aromático de bayas por medio de nariz electrónica

Bibliografía

1. Balasundram, N., K. Sundram, and S. Samman, Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 2006. 99(1): p. 191-203.
2. J Pokorný, I.o.C.T., N.Y. Czech Republic, Institute of Organic Chemistry,, and U.o.R. M Gordon, *Antioxidants in Food*, ed. I.o.C.T. J Pokorný, N.Y. Czech Republic, Institute of Organic Chemistry,, and U.o.R. M Gordon. 2001, Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.
3. Wang, L.-S. and G.D. Stoner, Anthocyanins and their role in cancer prevention. *Cancer Letters*, 2008. 269(2): p. 281-290.
4. Kris-Etherton, P.M., et al., Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. *The American Journal of Medicine*, 2002. 113(9, Supplement 2): p. 71-88.
5. Apuesta Exportadora Agropecuaria, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural 2006-2020, M.d.A.y.D. Rural, Editor. 2005. p. 19.
6. Talcott, S.T., Chapter 2: Chemical components of berry fruits, in *Berry Fruit: Value-Added Products for Health Promotion*, Y. Zhao, Editor. 2007, CRC Press Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL.
7. Eudes de Jesús Velásquez Chaverra, C.H.A.W., *Anuario Estadístico de Frutas y Hortalizas 2004-2008 y sus Calendarios de Siembras y Cosechas*, M.d.A.y.D. Rural, Editor. 2009: Bogotá. p. 290.
8. Zhao, Y., *Berry Fruit: Value-Added Products for Health Promotion*. 2007, Boca Raton, FL: CRC Press Taylor & Francis Group.
9. Boletín informativo CEF Número 9 Distyribución e Agraz o Mortiño (*Vaccinium* spp.) en Antioquia. [online] [cited 2010 27 mayo]; Available from: <http://www.ica.gov.co/CEF/boletines/boletin09.htm>

10. Ligarreto Moreno, G.A., Agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz), algunas prácticas de cultivo y poscosecha. 2011, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
11. Mitcher, D. Balance Sector Industrial 2011. 2011 [cited 2012 28 de mayo]; Available from:
http://www.dnp.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=v7DGHcl_gbw%3D&tabid=1436.
12. Benedetti, S., et al., Electronic nose as a non-destructive tool to characterise peach cultivars and to monitor their ripening stage during shelf-life. *Postharvest Biology and Technology*, 2008. 47(2): p. 181-188.
13. Zuluaga, C.M., Análisis Quimométrico para Diferenciar la Huella Digital de los Productos de las Abejas en Colombia, in Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos. 2010, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín: Medellín, Antioquia. p. 245.
14. Brezmes, J., et al., Fruit ripeness monitoring using an Electronic Nose. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2000. 69(3): p. 223-229.
15. García, M., et al., Electronic nose for ham discrimination. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2006. 114(1): p. 418-422.
16. García, M., et al., Artificial olfactory system for the classification of Iberian hams. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2003. 96(3): p. 621-629.
17. García-González, D.L., et al., Relationship between sensory attributes and volatile compounds qualifying dry-cured hams. *Meat Science*, 2008. 80(2): p. 315-325.
18. Panagou, E.Z., et al., Table olives volatile fingerprints: Potential of an electronic nose for quality discrimination. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2008. 134(2): p. 902-907.
19. Di Natale, C., et al., The evaluation of quality of post-harvest oranges and apples by means of an electronic nose. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2001. 78(1-3): p. 26-31.
20. Trihaas, J., L. Vognsen, and P.V. Nielsen, Electronic nose: New tool in modelling the ripening of Danish blue cheese. *International Dairy Journal*. 15(6-9): p. 679-691.
21. Magalhães, L.M., et al., Methodological aspects about in vitro evaluation of antioxidant properties. *Analytica Chimica Acta*, 2008. 613(1): p. 1-19.

22. Oliveira, I., et al., Influence of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) fruit ripening stage on chemical composition and antioxidant activity. *Food Research International*, 2011. 44(5): p. 1401-1407.
23. Vasco, C., J. Ruales, and A. Kamal-Eldin, Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chemistry*, 2008. 111(4): p. 816-823.