

EVALUACIÓN QUÍMICA DE LA FIBRA EN SEMILLA, PULPA Y CÁSCARA DE TRES VARIETADES DE AGUACATE

CHEMICAL EVALUATION OF FIBER NIB, PULP AND THREE SHELL AVOCADO VARIETIES

AVALIAÇÃO QUÍMICA EM SEMENTES, PÓLPA E CASCA DE TRÊS VARIETADES DE ABACATE

ADELA MARÍA CEBALLOS P.¹, SANDRA MONTOYA B.²

RESUMEN

El sector agropecuario colombiano requiere integrarse al sector agroindustrial para aumentarle valor a sus productos y residuos. Utilizar residuos agrícolas y agroindustriales como materias primas para obtener metabolitos secundarios es tema de interés en investigación y busca dar respuestas al uso de esos residuos, mediante desarrollo de tecnologías aplicables al entorno colombiano. Se valoraron cáscara, semilla y pulpa de aguacate variedades Booth8, Trinidad y Papelillo en estados de madurez fisiológica (MF) y consumo (MC). Se hizo caracterización bromatológica, contenido de fibra como carbohidratos solubles (CHOS), lignina (LG), celulosa y hemicelulosa (CEL y HEMICEL) y fibra bruta (FB) según (Tappi Methods 1993, 1998), AOAC, 2001. Los resultados fueron analizados mediante ANOVA ($P < 0,05$) utilizando SAS V9.1. Los CHOS en los dos estados de madurez y para las tres variedades variaron entre 12-38% cáscara, 20-35% pulpa y 17-35% semilla; CEL y HEMICEL 8-50% cáscara, 7-26% pulpa, 1-5% semilla, los cuales pueden ser útiles como complementos de procesos biotecnológicos. La pulpa de las tres variedades tiene alto valor nutricional por sus contenidos de proteína, fibra y minerales. La composición de la cáscara y semilla podrían ser importantes para

Recibido para evaluación: 27/10/2011. **Aprobado para publicación:** 24/01/2013.

1 Magíster en Ingeniería- Ingeniería Química. Docente Titular Departamento de Ingeniería. Universidad de Caldas. adela.ceballos@ucaldas.edu.co

2 Doctora en Ciencias Agrarias. Docente Departamento de Ingeniería, Instituto de Biotecnología Agropecuaria. Universidad de Caldas.

Correspondencia: adela.ceballos@ucaldas.edu.co

suplementos de dieta animal o como recuperador de suelos para la producción agrícola.

ABSTRACT

Colombian agricultural sector requires integrated agro-industrial sector to add value to their products and waste generated. Agricultural and agro-industrial use waste as raw materials for secondary metabolites is a subject of interest in research and seeks to respond to the use or destination of such waste through the development of technologies applicable to the Colombian environment. We evaluated peel, seed and pulp of avocado varieties Booth8, Trinidad and Papelillo in states of physiological maturity (MF) and consumption (MC). Characterization made bromatological fiber as soluble carbohydrates (CHOS), lignin (LG), cellulose and hemicellulose (CEL and HEMICEL) and crude fiber (CF) by (Tappi Methods, 1993, 1998), AOAC, 2001. The results were analyzed by ANOVA ($P < 0,05$) using SAS V9.1. CHOS in the two stages of maturity and the three varieties ranged between from 12-38% peel, 20-35% pulp and 17-35% seed; CEL-HEMICEL 8-50% peel, 7-26% pulp, 1- 5% seed, which can be a useful adjunct to biotechnological processes. The pulp of the three varieties has high nutritional value for their contents of protein, fiber and minerals. The composition of the shell and seed could be important for animal dietary supplements or recovery of soils for agricultural production.

RESUMO

Setor agrícola colombiana exige integração do setor agro-industrial para agregar valor aos seus produtos e resíduos. Utilizando resíduos agrícolas e agroindustriais como matérias-primas para obter metabólitos secundários é um assunto de interesse em pesquisa e procura responder ao uso ou destino desses resíduos através do desenvolvimento de tecnologias aplicáveis ao ambiente colombiano. Foram avaliadas sementes, casca e polpa das variedades de abacate Booth8, Trinidad e Papelillo em estados de maturação fisiológica (MF) e consume (MC). Caracterização foi feita de fibra bromatológica como carboidratos solúveis (CHOS), lignin (LG), cellulose e hemicelulose (HEMICEL CEL) e fibra bruta (FB) por (Métodos Tappi 1993, 1998), AOAC, 2001. Os resultados foram analisados por ANOVA ($P < 0,05$), utilizando SAS V9.1. CHOS nos dois estados de maturidade e para as três variedades variou 12-38% casca, 20-35% polpa, 17-35% semente; CEL e HEMICEL 8-50% casca, 7-26% polpa, 1-5% sementes, que pode ser um complemento útil para processos biotecnológicos. A polpa dos três variedades têm alto valor nutritivo para o seu conteúdo de proteínas, fibras e minerais. A composição da casca e das sementes pode ser importante para animais suplementos dietéticos ou recuperação de solos para a produção agrícola.

PALABRAS CLAVE:

Carbohidratos Solubles, Lignina, Celulosa y Hemicelulosa, Fibra bruta, *Persea americana*

KEYWORDS:

Soluble Carbohydrates, Lignin, Cellulose and Hemicellulose, Crude Fiber, *Persea americana*.

PALAVRAS-CHAVE:

Carboidratos Solúveis, Lignina, Celulose e Hemicelulose, Celulose Bruta, *Persea americana*

INTRODUCCIÓN

Una de las tendencias actuales de investigación se ha enfocado en el conocimiento de nuevas fuentes de productos naturales que tienen propiedades nutraceuticas y funcionales y juegan un papel muy importante, actuando como agentes protectores de la salud [1]. Muchas de esas fuentes son frutas y hortalizas y su consumo se asocia con la disminución del riesgo de ciertas enfermedades crónicas, tales como enfermedades coronarias y algunos tipos de cáncer (Kris-Etherton *et al.*, 2002), la artritis, la disminución de la disfunción cerebral y las cataratas [2]. De ahí que las políticas alimentarias en países desarrollados fomentan el uso de dietas que incluyan la ingesta diaria de al menos cinco porciones de frutas y hortalizas [3]. Esto se atribuye a que estos alimentos proporcionan una mezcla óptima de antioxidantes naturales, fibras y otros compuestos bioactivos [4]. El consumo suficiente de fibra dietaria (FD) puede reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, el cáncer de colon y la obesidad. En consecuencia, los productos ricos en fibra han ganado popularidad como alimentos benéficos para la salud y esto ha llevado a que muchas investigaciones busquen el conocimiento de diferentes aspectos de las FD, su aplicación, los beneficios fisiológicos que producen al hombre, nuevas fuentes de obtención o su papel en alimentos funcionales. Existe un interés creciente en la recuperación de los subproductos generados durante el procesamiento de productos de origen vegetal para ser utilizados como fuente natural de FD, convirtiéndose en una oportunidad para agregar valor a la producción primaria y a los subproductos y aportar a la solución de problemas ambientales. Las paredes celulares de las frutas, hortalizas y cereales constituyen la mayor fuente de fibra dietaria (FD) [5] y se clasifican como fibra dietaria soluble (FDS) y fibra dietaria insoluble (FDI) [6]. La fibra no es un compuesto químico simple, sino una combinación de sustancias químicas que consisten en una variedad de polisacáridos no amiláceos, que incluyen celulosa (CEL), hemicelulosa (HC), pectinas, β -glucanos, gomas y lignina [7, 6] y cuya composición es diferente dependiendo del origen. El comportamiento de la FD durante el tránsito intestinal y su asimilación depende de varios factores como el método de obtención de la FD, su origen, su composición química, las características físico-químicas y la transformación que sufre en los alimentos [8].

Mundialmente se ha incrementado el consumo de aguacate, especialmente en países como Estados

Unidos, Francia, Alemania y España, lo que ha traído como consecuencia un gran aumento en las superficies sembradas en los países que lo producen como son: México, Chile, España, Sudáfrica, Nueva Zelanda, Australia, Perú, Israel y Estados Unidos entre otros [9]. En Colombia el fomento del cultivo de aguacate también se ha incrementado pasando de 17.084 hectáreas sembradas en el 2005 a tener una proyección para el 2025 de 33.525 hectáreas sembradas (Plan Frutícola Nacional, 2006).

El aguacate (*Persea americana*), es una baya con mesocarpio y endocarpio carnosos que contiene una sola semilla (15 al 16% del peso del fruto). Las grasas son el principal componente después del agua, su valor calórico es elevado con respecto a otras frutas, se caracteriza por el contenido de ácidos grasos insaturados siendo mayoritariamente monoinsaturada (72% ácido oleico) las cuales reducen la tasa de colesterol total en la sangre. Es rico en vitamina E, ácido ascórbico, vitamina B6, β -caroteno, potasio y magnesio [10]. Es un fruto de gran valor para la obtención de productos alimenticios, farmacéuticos, grasas, colorantes, fibra, proteínas, minerales, por su alto contenido de vitaminas A y B y ciertas vitaminas liposolubles poco frecuentes en otros frutos. La composición, la formación de metabolitos secundarios y las cualidades nutricionales de las frutas son muy variables y se ven influenciadas por factores como el clima, el suelo, la temperatura, la humedad, la cantidad de lluvia durante el desarrollo del fruto, diferencias genotípicas entre variedades [11, 12]. La maduración de los frutos conlleva cambios en su estructura, modificación de la textura, ablandamiento de los tejidos, cambios en su composición y esto se debe esencialmente a la despolimerización de los polisacáridos de la pared celular por una variedad de enzimas hidrolíticas las cuales aumentan su actividad durante la maduración, especialmente en la etapa del climaterio, de lo que se obtiene la despolimerización y la disolución de pectinas (aumento de la actividad de la poligalacturonasa (PG) y celulasas (Cx) [13, 6] y otros polisacáridos hemicelulósicos [14, 15, 6] entre otras enzimas que contribuyen a la modificación de la red de hidrocarburos durante el proceso de maduración [6]. La composición nutricional del aguacate depende de la variedad y la época del año en que se produzca [16]; es una fruta con niveles apreciables de FD; contiene varios polisacáridos estructurales, incluyendo celulosa, hemicelulosas y lignina insoluble (lignina) y soluble (hemicelulosa y pectina), [17]. Los procesos de fermentación son bastante utilizados para la degradación de materiales lignocelulósicos. Hay un

gran número de microorganismos, que incluyen bacterias y hongos, los cuales son capaces de romper las unidades de celulosa hasta monosacáridos bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas. [18, 19], siendo los hongos aeróbicos filamentosos micro y macromicetos los más eficientes en la degradación de estos materiales lignocelulósicos [20]; debido a que estos organismos emplean exoenzimas para la degradación de los polímeros de celulosa, hemicelulosa y lignina.

El objeto de este trabajo fue valorar los componentes de la fibra, carbohidratos solubles, lignina, celulosa y hemicelulosa, fibra bruta y realizar la caracterización bromatológica de tres variedades de aguacate Booth-8, Trinidad y Papelillo, en dos estados de madurez y entre las partes del fruto (pulpa, semilla y cáscara) y establecer las diferencias entre ellas y encontrar posibilidades de aprovechamiento de este fruto y sus subproductos con fines diferentes al consumo en fresco.

MÉTODO

Muestras de aguacate

La experimentación se realizó en los laboratorios de la Universidad de Caldas en la ciudad de Manizales, a una temperatura promedio de 18°C. Las tres variedades de aguacate Boot-8, Trinidad y Papelillo fueron cultivadas en la región de La Plata de Palestina Caldas-Colombia, ubicada a 1010 m.s.n.mn y con una temperatura media de 23,5°C. Las muestras analizadas en estado de madurez fisiológica (MF) con 24 horas de cosechadas y madurez de consumo (MC), madurados a condiciones ambientales. Experimentalmente se determinaron el contenido de fibra como carbohidratos solubles (CHOS), lignina (LG), celulosa y hemicelulosa (CEL y HEMICEL) y fibra bruta (FB) en las tres partes del fruto, semilla, pulpa y cáscara, en los estados de madurez MF y MC, en tres variedades de aguacate Booth-8, Trinidad y Papelillo. Cada análisis se realizó por duplicado y todos los experimentos se hicieron por triplicado.

Técnicas analíticas

Análisis bromatológicos. Bajo normas AOAC [21]. La humedad de las muestras fue determinada por método gravimétrico en estufa a 105°C hasta peso constante. El nitrógeno orgánico total fue determinado por el método de Kjeldahl [22] empleando un destilador Büchi referencia B-324. La grasa cruda se determinó

por el método Soxhlet con éter de petróleo en un extractor de grasa marca VELD Científica. El fósforo fue determinado por método espectrofotométrico a 400 nm, según la Norma Técnica Colombiana NTC 4981 de 2001 [23]. Los contenidos de calcio, sodio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, potasio y zinc fueron determinados utilizando el método de espectrometría de absorción atómica según la Norma Técnica Colombiana NTC 5151 de 2003 [24].

Fibra. Para la cuantificación de los componentes de la fibra celulosa-hemicelulosa y lignina y los carbohidratos solubles, las muestras se secaron a 100°C hasta peso constante, se maceraron en mortero y fueron sometidas a hidrólisis con agua caliente durante tres horas [25], posteriormente se filtró y el sólido retenido se secó a 100°C por 24 horas; la fracción de carbohidratos solubles se determinó por diferencia de peso. El sólido seco de la hidrólisis con agua caliente se sometió a hidrólisis ácida con ácido sulfúrico al 72% permaneciendo la lignina como resto insoluble [26] y solubilizándose la celulosa y hemicelulosas, las cuales se determinan por diferencia de peso.

Análisis Estadístico

Para la evaluación estadística se utilizó un diseño completamente al azar con un arreglo combinatorio. Se hizo el análisis de varianza ANOVA para cada una de las variables ($P < 0.05$). Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el sistema de SAS para Windows V9.1. Para realizar el ANOVA a cada grupo de datos experimentales, se fijaron como variables categóricas la variedad de aguacate (Boot8, Trinidad y Papelillo), muestra (semilla, cáscara y pulpa) y el estado de madurez MF y MC. Para las cuatro variables dependientes se evaluó el efecto de variedad, muestra y estado. Para los efectos significativos se obtuvieron medias de mínimos cuadrados más o menos el error estándar, las comparaciones múltiples se ajustaron usando el método de Tukey.

RESULTADOS

Caracterización bromatológica

La maduración de los frutos climatéricos corresponde a una serie de reacciones bioquímicas que producen la mayor cantidad de aromas. Asimismo, se generan las reacciones de oxidación correspondientes a la respiración, en las cuales se presenta un consumo de carbo-

no y una liberación de agua, provocando un ablandamiento de los tejidos. El ambiente de almacenamiento de los aguacates durante el proceso de maduración para estos experimentos se mantuvo a una humedad relativa entre 85-90%, lo que evitó pérdidas de agua.

El cuadro 1 muestra los resultados de los análisis bromatológicos que se realizaron a la pulpa, la cáscara y la semilla de las tres variedades de aguacate en los dos estados de madurez. Las concentraciones de calcio, magnesio y potasio en la pulpa de las tres variedades disminuyeron con el aumento de la madurez, con excepción del magnesio en la pulpa de Booth8 y del potasio en la pulpa de papelillo que se incrementaron al pasar de MF a MC, lo que corresponde a la tesis planteada por Cutting *et al.*, [27] que indica que la concentración de minerales de frutas, especialmente Ca, Mg y K, disminuye a medida que la fruta aumenta en su madurez. Los elementos menores como Fe, Zn, Mn y Cu no mostraron una tendencia con la maduración de los frutos. Las concentraciones de minerales en los frutos se afectan por factores intrínsecos, como las reacciones metabólicas que ocurren a nivel celular y la genética, y por factores extrínsecos como las prácticas agronómicas de los cultivos; lo que se evidencia en las diferencias de concentraciones entre las variedades de estudio.

Los niveles de proteína de las frutas generalmente son bajos, siendo el aguacate uno de los frutos con mayor contenido [28]. Aunque las pulpas de las variedades de estudio presentaron los niveles más altos de proteína, es importante resaltar que las semillas y las cáscaras también mostraron valores muy altos, lo que representa una condición importante para su uso potencial como fuente de proteína para alimentación animal o suplementación agrícola. Sin embargo, para la implementación de las semillas de aguacate como parte de la alimentación animal se requiere verificar los niveles de toxicidad [29] que pueden contener estas semillas a fin de evitar trastornos alimenticios o intoxicaciones en los animales que consuman dichos alimentos.

Uno de los factores más importantes que varían en el curso de la maduración del aguacate es el contenido de aceite, utilizándose como indicador para determinar el estado de madurez de la fruta y su calidad en general. El contenido de grasa aumenta durante el crecimiento del fruto y durante el proceso de maduración. Su aumento va acompañado de modificaciones de tipo molecular en los lípidos presentes en el aceite, siendo los triglicéridos los que se incrementan en mayor proporción y los monoglicéridos los que más disminuyen

[28]. Esta tesis se verificó durante el experimento al encontrarse que en la pulpa de las tres variedades de aguacate, el contenido de grasa subió en las tres variedades durante el proceso de maduración, presentando valores muy similares entre ellas. Los contenidos de grasa en base húmeda obtenidos en pulpa de Booth8, Trinidad y Papelillo fueron 11,68%, 10,09% y 11,78% respectivamente, los cuales son comparables con los resultados obtenidos por Chaparro (2004): Booth8 (8,91%) y Trinidad (12,01%).

Los contenidos de ceniza no presentaron mayores variaciones durante la maduración de cada variedad de aguacate estudiados, sin mostrar grandes diferencias ni entre las partes del fruto, ni entre los estados de madurez. Los minerales en los frutos son sintetizados a través de la planta durante la fase de desarrollo, por lo que el balance de minerales en los frutos debe permanecer constante durante el proceso de maduración posterior a la cosecha. Sin embargo, el balance general de minerales entre los dos estados de madurez del aguacate probablemente se afectó por factores externos tales como, los tiempos de cosecha, las condiciones climáticas, las prácticas culturales, entre otros.

Los mayores cambios durante la maduración en el contenido total de fibra, se presentaron en la pulpa de la variedad Trinidad del 30% a 20% y en la cáscara de la variedad Papelillo donde se incrementó del 17% a 32%. En referencia a cambios fisiológicos de las frutas lo que debe esperarse que suceda es que la composición química de los frutos varíe con su maduración. En particular, las pulpas de los frutos sintetizan durante la maduración azúcares simples a partir de polisacáridos, ácidos grasos, etc. mejorando la textura de las pulpas; mientras que en las cáscaras se produce el efecto contrario, ya que se disminuye la cantidad de agua, incrementando la cantidad de fibra insoluble en ellas. Los resultados obtenidos corresponden a esta tendencia, con excepción de la pulpa de la variedad Booth8 que se incrementó del 12,34% a 14,54%.

Evaluación del contenido de carbohidratos

La finalidad de realizar la determinación del contenido de carbohidratos fue evaluar las alternativas de industrialización de las tres partes del fruto de aguacate. En la Figura 1 se muestra la variación de los contenidos de carbohidratos solubles (CHOS), fibra bruta (FB), lignina (LG) y celulosa y hemicelulosa (CEL y HEMI-CEL) en cáscara de las tres variedades de aguacate y en los dos estados de madurez. El mayor contenido se

Cuadro 1. Análisis Bromatológico en las tres partes del fruto de tres variedades de aguacate en dos estados de madurez

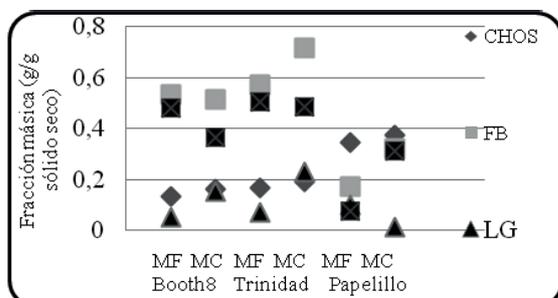
Análisis Bromatológico																		
Componente	Booth8						Trinidad						Papelillo					
	Cáscara		Pulpa		Semilla		Cáscara		Pulpa		Semilla		Cáscara		Pulpa		Semilla	
	MF	MC	MF	MC	MF	MC	MF	MC	MF	MC	MF	MC	MF	MC	MF	MC	MF	MC
Humedad total %	70,79	64,30	75,83	79,77	75,08	65,39	73,36	66,31	79,67	81,24	65,25	66,09	86,68	82,06	79,24	80,16	73,88	70,05
Materia Seca %	29,21	35,70	24,17	20,23	24,92	34,61	26,64	33,69	20,33	18,76	34,75	33,91	13,32	17,94	20,76	19,84	26,12	29,95
Nitrógeno Total %	0,93	0,60	1,15	0,97	0,67	0,72	0,93	0,51	1,16	0,97	0,78	0,99	1,48	0,74	0,91	0,83	1,02	0,91
Proteína Bruta %	5,81	3,75	7,19	6,06	4,18	4,50	5,81	3,19	7,25	6,06	4,88	6,18	9,25	4,63	5,69	5,19	6,63	5,68
Grasa Total %	4,24	3,88	50,18	57,78	4,33	3,01	10,14	2,26	49,81	53,80	3,28	1,91	8,67	2,29	40,03	59,39	3,28	3,31
Fibra Bruta%	53,40	51,49	21,87	18,93	2,96	2,67	57,13	71,68	30,28	20,08	8,03	3,96	17,21	32,34	12,34	14,54	3,45	4,99
Cenizas Totales %	3,69	4,41	6,40	7,97	3,62	3,19	3,86	2,60	4,50	6,31	2,32	3,09	9,93	9,16	4,93	6,15	3,24	3,03
Fósforo %	0,06	0,13	0,04	0,20	0,09	0,02	0,06	0,09	0,06	0,05	0,08	0,01	0,08	0,14	0,05	0,10	0,03	0,02
Calcio %	0,03	0,02	0,00	0,00	0,45	0,67	0,01	0,00	0,01	0,00	0,20	0,19	0,04	0,03	0,00	0,00	0,16	0,26
Magnesio %	0,03	0,04	0,02	0,04	0,04	0,05	0,03	0,02	0,03	0,02	0,04	0,04	0,05	0,09	0,05	0,02	0,05	0,06
Potasio %	0,46	0,63	0,65	0,43	1,03	0,85	0,59	0,46	0,93	0,54	0,91	0,77	1,16	1,10	0,75	0,80	0,57	0,59
Sodio %	0,00	0,02	0,01	0,00	0,03	0,02	0,01	0,02	0,00	0,03	0,02	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,01	0,01
Hierro p.p.m.	67,80	48,80	36,75	20,95	48,76	78,67	65,30	20,86	33,83	56,91	69,82	32,51	50,30	66,15	10,58	10,35	31,39	38,25
Manganeso p.p.m.	3,13	6,65	0,85	0,48	4,67	4,58	0,33	10,00	2,90	1,00	2,17	2,06	0,05	6,73	2,90	1,25	2,21	2,36
Zinc p.p.m.	13,68	25,58	8,60	12,93	19,35	13,10	12,38	17,28	10,40	15,13	15,21	11,78	20,28	39,98	6,48	13,83	11,75	13,05
Cobre p.p.m.	2,78	5,55	0,45	0,48	8,43	4,73	4,88	47,80	0,58	8,38	6,96	8,01	6,78	8,68	1,20	1,83	5,26	7,92

Laboratorio de Bromatología, Universidad de Caldas, 2010

*Resultados en base seca.

MF: madurez fisiológica; MC: madurez de consumo

Figura 1. Variación de carbohidratos solubles (CHOS) e insolubles (FB) y Lignina (LG) en cáscara de tres variedades de aguacate en estados de madurez MF y MC



presenta en FB en todas las variedades, lo cual es consistente, debido a que esta corresponde a la sumatoria de los contenidos de LG, CEL y HEMICEL. Individualmente, el contenido de CEL y HEMICEL en la cáscara en el estado de MF de la variedad Trinidad es la más representativa, con un valor de 0,5 g/g sólido seco, cantidad importante a tener en cuenta, si se aprecia que la cáscara de esta variedad representa aproximadamente el 28% del peso total de la fruta. Los componentes de la fibra insoluble, especialmente la celulosa que está compuesta de múltiple unidades de D-glucosa, unidas por enlaces glicosídicos β -(1,4), le confieren una disposición bastante rígida y muy estable. Los materiales que contienen celulosa, tienen un importante valor comercial, ya que éstos pueden ser utilizados como materias primas en procesos de fermentaciones para la producción de diversos productos de uso industrial, como azúcares fermentables para la posterior producción de etanol. Además, la celulosa es utilizada como la principal fuente de energía de muchos organismos para la producción de metabolitos primarios y secundarios de uso industrial, como es la producción de ácidos orgánicos, estatinas, colorantes, aditivos alimenticios, fármacos, entre otros [30]. La cáscara de aguacate se convierte en una alternativa para ser utilizada como materia prima de sustratos de procesos de fermentación para la obtención de metabolitos de diferentes tipos de organismos con utilidad industrial como los mencionados anteriormente.

Los carbohidratos son con frecuencia el grupo de sólidos solubles más importantes de la fruta, representando entre el 2% y el 10% del contenido total. En las frutas maduras se encuentran en forma de azúcares simples de bajo peso molecular, mientras que, en los frutos inmaduros se encuentran en forma de polímeros complejos de alto peso molecular [31]. En la Figura 2

se observa la variación en el contenido de carbohidratos de la pulpa de las tres variedades de aguacate en los dos estados de madurez. El grupo de sustancias más representativo es el de los CHOS en general para todas las variedades de aguacate y en los dos estados de madurez. Sin embargo, la pulpa de Papelillo en MC fue la que presentó mayor contenido de CHOS con 0,35 g/g sólido seco, respecto a la pulpa de la variedad Booth8 en MC con cerca de 0,2 g/g sólido seco de CHOS. La presencia de CHOS en la pulpa de aguacate es esperada, ya estos compuestos hacen parte de las pulpas de las frutas en general, aportando textura y suavidad a las mismas y haciéndolas palatables y digeribles. Asimismo, la LG, la CEL y HEMICEL son los componentes que se presentan en menor proporción en todos las variedades y en los dos estados de madurez, hecho igualmente esperado, ya que la pulpa de aguacate es la parte del fruto de consumo directo y la LG y la CEL y HEMICEL son los componentes de la fibra bruta, la cual corresponde a la fibra insoluble, no palatable y no digerible [28]. De las tres variedades de estudio, la variedad Trinidad en estado MF fue la que presentó mayor cantidad de FB, mientras que, las otras dos variedades y la misma variedad Trinidad en el estado MC presentaron un contenido de FB relativamente estable, pero siempre más bajo que la cantidad de CHOS en pulpa. El contenido de carbohidratos en los frutos está relacionado en forma directa con la intensidad de luz y la temperatura de los cultivos, ya que estas dos condiciones afectan la producción de enzimas que intervienen en la síntesis de los carbohidratos solubles e insolubles de los frutos [32, 33].

En las semillas de las tres variedades de aguacate, se obtuvo mayor contenido de CHOS en todos los casos como se puede observar en la Figura 3. El intervalo de CHOS para todas las semillas de las variedades

Figura 2. Variación de carbohidratos solubles (CHOS) e insolubles (FB) y Lignina (LG) en pulpa de tres variedades de aguacate en estados de madurez MF y MC

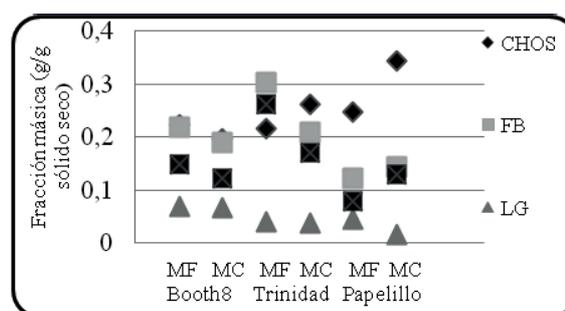
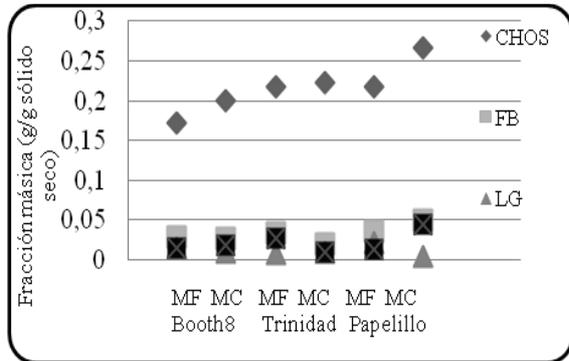


Figura 3. Variación de carbohidratos solubles (CHOS) e insolubles (FB) y Lignina (LG) en semilla de tres variedades de aguacate en estados de madurez MF y MC



evaluadas fue de 0,17 a 0,23 g/g sólido seco, con excepción de la semilla de la variedad Papelillo en MC, de la cual se obtuvo 0,27 g/g sólido seco de CHOS. En referencia a los demás componentes hidrocarbonados medidos, se encontró que el mayor contenido de FB lo mostró la semilla de Papelillo en el estado de MF, con 0,11 g/g sólido seco aproximadamente. Para las demás variedades y estados de madurez el comportamiento de la FB, LG y CEL y HEMICEL fue muy estable, entre 0,0025 y 0,05 g/g sólido seco. La semilla de aguacate resulta ser una importante fuente de CHOS, máxime, si se tiene en cuenta que ésta representa en promedio el 35% del peso total del fruto, y en la mayoría de los casos es considerada un desecho. Es necesario realizar una caracterización de los CHOS presentes en la semilla de aguacate a fin de determinar cuáles son los de mayor importancia económica para explotación industrial.

Los componentes de la fibra medidos a las tres variedades de aguacate mostraron valores de CHOS en los dos estados de madurez (MF y MC respectivamente) entre 12 y 38% para cáscara, 20 y 35% en pulpa y 17 y 35% para semilla; CEL y HEMICEL de 8 a 50%, 7 a 26% y 1 a 5% en cáscara, pulpa y semilla respectivamente, los cuales pueden llegar a ser útiles como complementos de las materias primas de procesos biotecnológicos; sin embargo, no alcanzan los niveles de otras fuentes importantes de carbohidratos solubles, como el plátano (variaciones entre estados de madurez MF y MC): 53-77% en cáscara y 84% en pulpa de CHOS y 22 a 25% en cáscara y 3,5 a 2,5% en pulpa de CEL y HEMICEL [34]. La cáscara del aguacate podría ser evaluada como fuente de carbohidratos insolubles.

Del análisis estadístico se encontró que, el contenido de CHOS para la variedad Papelillo fue significativamente mayor que para las variedades Trinidad y Boot8 como se observa en la Figura 4, los cuales no fueron diferentes entre sí. Asimismo, la cáscara del aguacate contiene más lignina que la semilla ($p=0,02$), y la pulpa tiene un valor intermedio y no hubo diferencias entre las variedades.

Respecto a la fibra bruta se encontró diferencia significativa entre las tres partes de fruto, siendo la cáscara la que representa la mayor cantidad (ver Figura 5).

Este contenido mayoritario de FB en la cáscara potencializa las probabilidades de uso de este residuo de la industria frutícola (aguacate) para diferentes tipos de explotación industrial como se mencionó arriba en esta misma sección. En referencia a la proporción de CEL y HEMICEL, se observó diferencia significativa entre la cáscara y la pulpa, mientras que no se apreció

Figura 4. Promedio de carbohidratos solubles en las tres variedades de aguacate de estudio

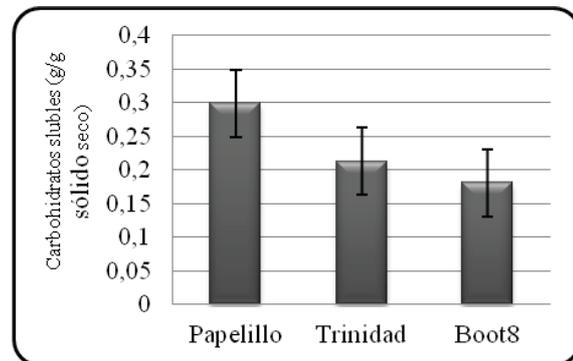
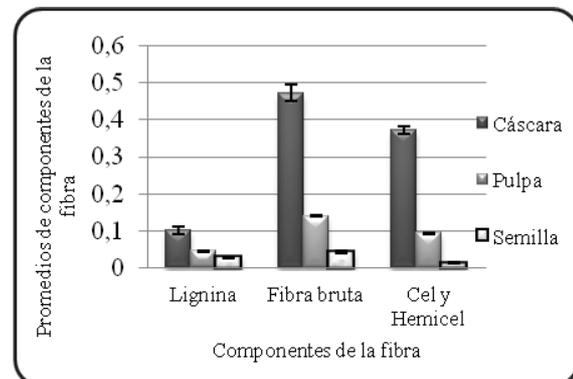


Figura 5. Promedio de componentes de la fibra en las tres partes del fruto de las variedades de aguacate de estudio



diferencia entre el contenido de estos carbohidratos con la semilla, independiente de las variedades.

CONCLUSIONES

De la evaluación del contenido de carbohidratos a las tres variedades de aguacate en estudio se concluye en general que, las tres partes del fruto presentan un alto potencial de explotación de CHOS, ya que si bien el contenido de CHOS es alto en pulpa y semilla, en la cáscara representa cerca de 0,4 g/g sólido seco de CHOS lo que convierte a este residuo agroindustrial en una materia prima potencial, inicialmente a escala de laboratorio, para la explotación industrial de carbohidratos solubles e insolubles.

Los valores de CEL y HEMICEL en cáscara, pulpa y semilla pueden llegar a ser útiles como complementos de las materias primas de procesos biotecnológicos; sin embargo, no alcanzan los niveles de otras fuentes importantes de carbohidratos solubles, como el plátano. La cáscara del aguacate podría ser evaluada como fuente de carbohidratos insolubles, máxime, si se tiene en cuenta la importancia de la celulosa como fuente de obtención de glucosa, la cual tiene múltiples aplicaciones industriales.

La composición bromatológica de las tres variedades de aguacate Booth8, Trinidad y Papelillo, demuestra que la pulpa tiene un alto valor nutricional, por sus contenidos de proteína, fibra y minerales. Asimismo, la composición de la cáscara y la semilla muestran que podrían ser importantes para su utilización en la suplementación de dieta animal o como recuperador de suelos para la producción agrícola. Empero, se requieren de trabajos de investigación que evalúen la presencia de sustancias tóxicas en los subproductos del aguacate y las eficiencias para su aplicación industrial.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Caldas, Vicerrectoría de Investigaciones y Postgrados por financiar la investigación. Al señor Armando Jaramillo quien suministró el material de estudio.

REFERENCIAS

- [1] ARVANITOYANNIS, I.S. and HOUWELINGEN-KOUKALIAROGLOU, M.V. Functional Foods: A survey of health claims, pros and cons, and current legislation. *Food Science Nutrition Research*, 45, 2005, p. 385-404.
- [2] MING-WEI, S.K. A comparative study of antioxidant and physicochemical properties of blackberry and kiwifruit [MSc. Thesis Master of Science of Horticulture]. Alabama (United States): Auburn University, Faculty of Auburn University, 2006, 34 p.
- [3] NETZEL, M., STRASS, G., KAUL, C., BITSCH, I., DEITRICH, H. and BITSCH, R. In vivo antioxidative capacity of a composite berry juice. *Food Research International*, 35, 2002, p. 213-216.
- [4] KAUR, C. and KAPOOR, H.C. Antioxidants in fruits and vegetables-the millennium's health. *International Journal Food Science and Technology*, 36, 2001, p. 703-725.
- [5] JIMÉNEZ, A., RODRÍGUEZ, R., FERNÁNDEZ-CARO, I., GUILLÉN, R., FERNÁNDEZ-BOLAÑOS, J. and HEREDIA, A. Dietary fibre content of table olives processed under different European styles: study of physicochemical characteristics. *Journal Science Food Agriculture*, 80, 2000, p. 1903-1908.
- [6] DONG, T., XIA, R., WANG, M., XIAO, Z. and LIU, P. Changes in dietary fibre, polygalacturonase, cellulase of navel orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck ('Cara Cara') fruits under different storage conditions. *Scientia Horticulturae*, 116, 2008, p. 414-420.
- [7] LAMGHARI, R., SÁNCHEZ, C., BOUSTANI, E., MAUCOUR, N.M., SAUVAIRE, Y., MEJEAN, L. and VILLAUME, C. Comparison of effects of prickly pear (*Opuntia ficus indica* sp.) fruits, arabic gum and citrus pectin on viscosity and in vitro digestibility of casein. *Journal Science Food Agriculture*, 80, 2000, p. 359-364.
- [8] CHAU, C.F. and HUANG, Y.L. Comparison of the chemical composition and physicochemical properties of different fibers prepared from the peel of *Citrus sinensis* L. Cv. Liucheng. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 2003, p. 2615-2618.
- [9] ASOCIACIÓN AGRÍCOLA DE PRODUCTORES DE AGUACATE DE URAPÁN MICHOACÁN. El aguacate en el mercado internacional [online]. Available: <http://www.aproam.com/inter.htm>. [citado 18 de noviembre de 2011].
- [10] OZDEMIR, F. and TOPUZ, A. Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. *Food Chemistry*, 86, 2004, p. 79-83.

- [11] HOWARD, L.R., CLARK, J.R. and BROWNMI-LLER, C. Antioxidant capacity and phenolic content in blueberries as affected by genotype and growing season. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 2003, p. 1238-1247.
- [12] THOMAS, R.H., WOODS, F.M., DOZIER, W.A., EBEL, R.C., NESBITT, M., WILKINS, B. and HIME-LRICK, D.G. Cultivar variation in physicochemical and antioxidant activity of Alabama-grown blackberries. *Small Fruits Rev.*, 4, 2005, p. 57-71.
- [13] WHITE, P.J. Recent advances in fruit development and ripening: an overview. *Journal of Experimental Botany*, 53, 2002, p. 1995-2000.
- [14] MARÍN-RODRIGUEZ, M.C. and ORCHARD, J. Pectate lyases, cell wall degradation and fruit softening. *Journal of Experimental Botany*, 53, 2002, p. 2115-2119.
- [15] YASHODA, H.M., PRABHA, T.N. and THARANA-THAN, R.N. Mango ripening: Role of carbohydrases in tissue softening. *Food Chemistry*, 102, 2007, p. 691-698.
- [16] KADAM, S.S. and SALUNKHE, D.K. *Handbook of fruit science and technology: production, composition, storage, and processing*. 1° ed. New York (USA): M. Dekker©, 1985, 344 p.
- [17] NAVEH, E., WERMAN, M.J., SABO, E. and NEE-MAN, I. Defatted avocado pulp reduces body weight and total hepatic fat but increases plasma cholesterol in male rats fed diets with cholesterol. *Journal of Nutrition*, 132, 2002, p. 2015-2018.
- [18] LESCHINE, S.B. Cellulose degradation in anaerobic environments. *Annual Review Microbiology*, 49, 1995, p. 399-410.
- [19] JOSHI, V.K. and PANDEY, A. *Biotechnology: Food Fermentation: Microbiology, Biochemistry and Technology*. Vol I. New Delhi: Educational Publishers & Distributors, 1999, 521 p.
- [20] CARLILE, M., WATKINSON, S. and GOODAY, G. *The fungi*. 2 ed. London (UK): Academic Press, 2001, 588 p.
- [21] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. (A.O.A.C). *Official Methods of Analysis*. 17th ed, 2000, 2000 p.
- [22] KJELDAHL, J. Neue Methode Zur Bestimmung der Stickstoffs in Organischen Körpern. *Zeitschrift für Analytische Chemie*, 22, 1883, p. 366-382.
- [23] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Determinación del contenido de fósforo por método espectrofotométrico. Alimentos para animales. NTC-4981, Bogotá (Colombia): 2001, p. 12.
- [24] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC): Determinación de los contenidos de Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, K, Na y Zn. Alimentos para animales. NTC-5151, Bogotá (Colombia): 2003, p. 13.
- [25] TAPPI METHODS. Water solubility of wood and pulp. Tappi Press. 3, 1993 T207-om 93.
- [26] TAPPI METHODS. Acid-insoluble lignin in wood and pulp. Tappi Press. 5, 1998, T222-om 98.
- [27] CUTTING, J.G.M., WOLSTENHOLME, B.N. and HARDY, J. Increasing relative maturity alters the base mineral composition and phenolic concentration in avocado (*Persea americana* Mill) fruit. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 15, 1992, p. 64-67.
- [28] SILVA, C. Composición y evolución de los componentes químicos de la palta (*Persea americana Mill*) durante su maduración. *Revista de la Sociedad Chilena de Tecnología de Alimentos*, 19 (5-6), 1994, p. 1-14.
- [29] BRESSANI, R., RODAS, B. and RUIZ, A.S. La composición química, capacidad antioxidativa y valor nutritivo de la semilla de variedades de aguacate. Tegucigalpa (Guatemala): Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología-FONACYT, Universidad del Valle de Guatemala-UVG, 2009, 53 p.
- [30] ÂNGELO, A.S. Enzimas hidrolíticas. En: *Fungos: Uma Introdução à biologia, bioquímica e biotecnología*. Universidade de Caxias do Sul, 2004, p. 263-285.
- [31] KADER, A.J. *Biología y Tecnología Poscosecha: Una revisión general*. Universidad de California, publicación 3311, 1992, p. 311-325.
- [32] GLEY, M. and GRANT, W.J.R. Effect of low temperatures during flowering on floral cycle and pollen tube growth in nine avocado cultivars. *Scientia Horticulturae*, 18, 1983, p. 207-213.
- [33] WHILEY, A.W., SEARLE, C., SCHAFFER, B. and WOLSTENHOLME, B.N. Cool orchard temperatures or growing trees in containers can inhibit leaf gas exchange of avocado and mango. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124, 1999, p. 46-51.
- [34] LY, J. Bananas y plátanos para alimentar cerdos: aspectos de la composición química de las frutas y de su palatabilidad. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 11 (3), 2004, p. 5-25.