

Caracterización química y cuantificación de fructooligosacáridos, compuestos fenólicos y actividad antirradical de tubérculos y raíces andinos cultivados en el noroeste de Argentina

María Eugenia Jiménez, Norma Sammán

Instituto Superior de Investigaciones Biológicas (INSIBIO), CONICET-UNT, e Instituto de Química Biológica “Dr. Bernabé Bloj”, Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia, San Miguel de Tucumán, Argentina.

RESUMEN. Existe un creciente interés por consumir alimentos que además de aportar los componentes básicos para una buena nutrición provean otros compuestos benéficos para la salud. El objetivo del trabajo fue determinar la composición química de alimentos autóctonos de la región andina y cuantificar algunos componentes funcionales. Se determinó composición centesimal, contenido de vitamina C y compuestos fenólicos totales, actividad antirradical (DPPH) en cáscara y pulpa, fibra dietaria soluble e insoluble, fructooligosacáridos (FOS), almidón total y resistente (en tubérculos y raíces crudos, hervidos y hervidos y almacenados) de 6 variedades de Ocas (*Oxalis tuberosa*), 4 clones de Mandiocas (*Manihot esculenta Crantz*) y Yacón (*Smallanthus sonchifolius*). Los resultados mostraron mayor cantidad de compuestos bioactivos y actividad antirradical en la cáscara de ocas. En todos los casos el contenido de fibra insoluble fue mayor que la soluble. Las mandiocas tuvieron mayor contenido de almidón total que las raíces y tubérculos andinos. El proceso de ebullición disminuyó el contenido de almidón resistente en ocas y mandiocas pero cuando éstas se almacenaron por 48h a 5°C, el contenido de almidón resistente aumentó nuevamente. El contenido de FOS en ocas fue similar para todas las variedades (Aproximadamente 7%). El principal componente de los carbohidratos del yacón fueron los FOS (8,89%). Se puede concluir que las raíces y tubérculos estudiados, además de aportar nutrientes, contienen compuestos funcionales que les confieren un valor adicional como alimentos útiles para la prevención de algunas enfermedades no trasmisibles.

Palabras clave: Ocas, mandiocas, yacón, composición química, actividad antirradical, fructooligosacáridos.

SUMMARY. Chemical characterization and quantification of fructooligosaccharides, phenolic compounds and antiradical activity of Andean roots and tubers grown in Northwest of Argentina. There is great interest in consuming foods that can provide the nutrients for a good nutrition and other health beneficial compounds. The aim of this work was to determine the chemical composition of native foods of the Andean region and to quantify some functional components. Proximal composition, vitamin C, total phenolic compounds, antiradical activity (DPPH) in peel and pulp, dietary fiber soluble and insoluble, fructooligosaccharides (FOS), total and resistant starch (in tubers and raw roots, boiled and boiled and stored) of 6 varieties of Oca (*Oxalis tuberosa*), 4 clones of manioc (*Manihot esculenta Crantz*) and yacon (*Smallanthus sonchifolius*) were determined. The results showed greater amount of bioactive compounds and antiradical activity in the skin of these products. The highest content was found in the oca peel. In all cases, the content of insoluble fiber was greater than the soluble. The manioc had higher total starch than Andean roots and tubers. The boiling process decreased the resistant starch content of ocas and manioc, but when these are stored for 48 h at 5 °C, the resistant starch content increased. The FOS content of the ocas was similar for all varieties (7%). The main component of yacon carbohydrates were FOS (8,89%). The manioc did not contain FOS. It can be concluded that the roots and tubers studied, in addition to provide nutrients, contain functional compounds that confer additional helpful value for preventing non communicable diseases.

Key words: Ocas, manioc, yacon, chemical composition, antiradical activity, fructooligosaccharides.

INTRODUCCIÓN

En el continente americano se han originado y domesticado especies de plantas actualmente cultivadas como la papa, el maíz, la mandioca, el camote y el frijol que han contribuido a la alimentación del mundo; también se han originado otras especies que son poco

conocidas aún pero con potencial para ser explotadas más intensamente. Entre estas especies nativas se encuentran tubérculos como la papalisa (*Ullucus tuberosus*), oca (*Oxalis tuberosa*) e isaño (*Tropaeolum tuberosum*); raíces andinas: como la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), yacón (*Smallanthus sonchifolius*), achira (*Canna edulis*), maca (*Lepidium meyenii*)

y ajípa (*Pachyrhizus ahipa*); granos: quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*C. pallidicaule*) y amaranto (*Amaranthus caudatus*); y leguminosas como el tarwi (*Lupinus mutabilis*) y el maní (*Arachis hypogaea*). Estas especies son cultivadas en pequeñas áreas bajo sistemas de producción tradicionales y en condiciones difíciles, pero son imprescindibles para asegurar la diversificación alimentaria y son el sustento de poblaciones que viven en mayor riesgo. Las razones para promover su producción, conservación y uso se basan en fundamentos nutricionales, ecológicos y socio-económicos (1).

El conocimiento de los principales componentes químicos y sus características físicas, nutricionales y funcionales de las raíces y tubérculos andinos contribuirán a fomentar su consumo y permitirán orientar sus posibles aplicaciones.

Para determinar la calidad nutritiva de un alimento o dieta es necesario conocer su composición química y compararla con las estimaciones de las necesidades diarias de un nutriente en particular. Estas estimaciones de la calidad son útiles y constituyen la base de las evaluaciones rutinarias (2).

Es importante conocer el aporte nutricional de los cultivos andinos y de esta manera fomentar aquellos que puedan representar una solución a determinada carencia en una región o zona agroecológica específica.

Los tubérculos y raíces andinos contienen numerosos compuestos con actividad biológica tales como los flavonoides, fenoles, estanoles, prebióticos, probióticos y fitohormonas. El consumo regular de estos compuestos contribuye a disminuir las enfermedades cardiovasculares y del tracto digestivo, a fortalecer el sistema inmunológico y reproductor, neutralizar la acción de los radicales libres que pueden dañar las células y favorecer la desintoxicación de compuestos no deseados. El estudio de estos cultivos podrá aclarar científicamente muchas de sus bondades las cuales son reconocidas en forma empírica por la población de las distintas regiones andinas de América (3).

Los alimentos funcionales, son aquellos que contienen compuestos bioactivos que pueden proporcionar un beneficio adicional para la salud o efectos fisiológicos deseables, sin provocar efectos nocivos, además de asegurar la nutrición básica. Los cultivos andinos tendrían múltiples cualidades como alimentos funcionales. (3).

El objetivo del trabajo fue determinar la composi-

ción química de alimentos autóctonos de la región andina y cuantificar algunos componentes funcionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con seis variedades de Ocas (*Oxalis tuberosa*): Overa, Amarilla, Blanca, Colorada, Rosada y Morada provistas por la Cooperativa Agropecuaria y Artesanal Unión Quebrada y Valles (C.A.U. Que. Va.), Maimara, Jujuy, Argentina. Cuatro clones de Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz): Pomberí, Palma, Colorado Amadeo y Campeona provistos por Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Resistencia, Chaco, Argentina y Yacón (*Smallanthus sonchifolius*), adquirido en Cooperativa de Productores de Yacón de Chorrillos, Bárcena, Jujuy, Argentina.

La producción de todas las variedades se transportó a la cooperativa por los productores locales. Allí fueron clasificados y conservados en cámaras frías. Tres muestras de cada variedad de distintas épocas durante la cosecha, fueron seleccionadas y conservadas en el laboratorio a 4°C hasta su procesamiento y análisis. Todas las determinaciones analíticas fueron realizadas por triplicado.

Análisis químico

Se determinó: Humedad, proteínas (porcentaje de nitrógeno x 6,25), cenizas, fibra dietaria soluble e insoluble, materia grasa, siguiendo la técnica de Soxhlet, utilizando técnicas oficiales AOAC (4).

Vitamina C

Se determinó de acuerdo al método propuesto por Correa de Souza, et al. (5), utilizando un equipo de HPLC Gilson con una columna C18 y un detector UV (254 nm), la fase móvil fue una solución acuosa de H₂SO₄ (pH = 2,5), con un flujo isocrático de 0,7 mL/min. Se utilizó como estándar ácido ascórbico (SIGMA®).

Para la extracción de la vitamina C de la matriz alimentaria, la muestra fue triturada y homogeneizada con una solución de ácido meta- fosfórico (0,3 M) y ácido acético (1,4 M). Los extractos se filtraron y se usaron para su cuantificación.

Compuestos Fenólicos

Se pesaron 5 g de cada muestra (triturada y homogeneizada) y se mezclaron con 25 mL de metanol; se incubaron a 45°C durante 30 min con continua agita-

ción y luego se filtraron. El residuo fue reextraído con 25 mL de metanol. Los extractos se combinaron y concentraron en un rotaevaporador a 40°C y llevaron a 10 mL. Fueron refrigerados hasta su utilización. Los compuestos fenólicos se determinaron por el método de Folin-Ciocalteu (6). Se realizó una curva estándar con ácido gálico (SIGMA®). Los resultados se expresaron en mg de equivalentes de ácido gálico (AG)/100 g de alimento fresco. Las determinaciones se realizaron en pulpa o cáscara cruda.

Actividad Antirradical

Se determinó por el método descrito por Brand-Williams, et al. (7), utilizando el radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH). Se agregaron diferentes alícuotas del extracto metanólico (obtenido como se describe arriba) a 3 mL de solución metanólica de DPPH• (Abs515nm=1). Se midió la absorbancia, en espectrofotómetro (Beckman DU 7500), a 515 nm cada 30 seg durante 30 min. El grado de decoloración de la solución indica la eficiencia de la sustancia agregada como atrapadora de radicales libre. Se ajustaron los datos a una exponencial de 2° orden y se determinó por extrapolación, el valor de la absorbancia para el estado estacionario, es decir a tiempo infinito, utilizando el software Origin 7.0 (OriginLab Corporation, Northampton, MA, USA). La actividad antirradical se calculó como porcentaje de decoloración de la solución de DPPH•, según Burda y Oleszek (8). Se midió el porcentaje de actividad antirradical para diferentes concentraciones del antioxidante (extracto metanólico) y se determinó el valor de IC50, que corresponde a la cantidad de alimento que produce el consumo del 50 % del radical (Abs515nm=0,5) y se expresa en mg de alimento. Se realizó una curva de calibración con ácido ascórbico para expresar los resultados como capacidad antioxidante equivalente a vitamina C (VCEAC Vitamin C equivalent antioxidant capacity), (9).

Almidón Total (AT) y Resistente (AR)

Se determinaron utilizando las técnicas descritas por Tovar, et al. (10) y Goñi, et al. (11) respectivamente. Para el AT, la muestra se disuelve en KOH 4N y para AR se realiza una digestión previa con una solución de pepsina. Para ambas técnicas sigue una hidrólisis con α -amilasa (100°C, 30 min para AT y 37°C, 16 h para AR), luego una digestión con amiloglicosidasa, previa disolución del almidón con KOH 4N para

el AR. El contenido de glucosa se determinó utilizando un kit enzimático glucosa oxidasa/peroxidasa (GOD/POD). Los g de glucosa obtenida se multiplicaron por 0,9 para transformar glucosa a almidón. AR se determinó en papas crudas, recién hervidas (20 min de ebullición) y almacenadas a 5 °C durante 48 h.

Fructooligosacáridos (FOS)

Se extrajeron los FOS de la matriz alimentaria con agua bidestilada a 80°C y agitación constante y se cuantificaron según el método de Zuleta, et al. (12), utilizando cromatografía líquida de alta resolución (HPLC); el equipo consta de un sistema de bomba Gilson 322 pump, un detector de índice de refracción (Precision Instrument modelo Iota 2), columna Nucleogel® Sugar 810 ca y calefactor de columnas Zeltec modelo ZC 90. Se utilizó como fase móvil agua desionizada, con un flujo de 0,65 mL/min. La temperatura de la columna fue de 85°C. Se utilizó inulina, fructosa y glucosa SIGMA® como estándares.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestra la composición centesimal de los alimentos estudiados. Sus componentes mayoritarios son el agua y los carbohidratos, conteniendo bajas cantidades de proteínas, lípidos y cenizas. En el yacón los carbohidratos representan el mayor porcentaje de la materia seca.

En la Tabla 2 se presentan los valores de FDT, insoluble y soluble de los alimentos estudiados. En todos el contenido de fibra insoluble es mayor que el de fibra soluble.

Compuestos bioactivos y actividad antirradical

En la Tabla 3 se pueden observar los contenidos de vitamina C, compuestos fenólicos y actividad antirradical (AAR), expresada como IC 50 y VCEAC, para la cáscara y la pulpa de las 6 variedades de ocas. En la variedad Amarilla el contenido de vitamina C es mayor en la pulpa (35,4±1,3 mg/100g alimento fresco); las variedades Rosada y Colorada presentan valores mayores en cáscara (47,3±0,2 y 44,8±1,2 mg/100g alimento fresco respectivamente); las variedades Morada y Blanca tienen cantidades similares en pulpa y cáscara. En pulpa los valores de compuestos fenólicos se encuentran entre 51,9±3,1 y 149,2 ±7,4 mg AG/100g de alimento fresco para las variedades Blanca y Colorada respectivamente. En todos los clo-

Tabla 1: Composición centesimal de raíces y tubérculos

Alimento	Energía	Humedad*	Proteínas*	Lípidos*	Cenizas*	Fibra Dietaria Total	H C ** disponibles	
	Kcal/100g							
g/100 g de pulpa bh								
Oca	Amarilla	92	74,71 ± 0,61 ^b	1,15 ± 0,00 ^c	0,13 ± 0,05 ^{bc}	0,88 ± 0,02 ^c	1,53	21,6
	Overa	94	74,22 ± 0,62 ^b	1,59 ± 0,01 ^c	0,15 ± 0,03 ^{bc}	0,75 ± 0,03 ^a	1,69	21,6
	Rosada	97	73,05 ± 0,38 ^a	1,37 ± 0,09 ^d	0,10 ± 0,01 ^b	1,16 ± 0,01 ^c	0,87	22,58
	Morada	92	76,15 ± 0,66 ^c	0,79 ± 0,08 ^b	0,15 ± 0,03 ^{bc}	0,99 ± 0,00 ^d	1,92	21,92
	Blanca	84	76,81 ± 0,86 ^{cd}	1,51 ± 0,11 ^{de}	0,19 ± 0,03 ^c	0,84 ± 0,05 ^{bc}	1,58	19,07
	Colorada	83	75,82 ± 1,79 ^d	2,10 ± 0,00 ^f	0,14 ± 0,05 ^{bc}	0,78 ± 0,02 ^{ab}	2,6	18,51
Mandioca	Campeona	148	61,60 ± 1,09 ^a	1,32 ± 0,46 ^b	0,23 ± 0,09 ^b	0,72 ± 0,03 ^b	1,03	35,1
	Pomberí	142	62,34 ± 0,88 ^a	1,15 ± 0,07 ^b	0,21 ± 0,04 ^b	0,56 ± 0,03 ^a	1,82	33,91
	Colorada amadeo	109	70,53 ± 2,02 ^b	1,07 ± 0,13 ^b	0,13 ± 0,03 ^b	0,79 ± 0,00 ^b	1,67	25,8
	Palma	121	67,40 ± 0,99 ^b	1,05 ± 0,04 ^b	0,13 ± 0,02 ^b	0,96 ± 0,10 ^c	1,53	28,93
	Yacón	50	86,09 ± 4,85 ^c	0,48 ± 0,02 ^a	0,04 ± 0,03 ^a	0,37 ± 0,01 ^a	1,03	11,99

*Los resultados se presentan como promedio ± desviación estandar n= 3.

** Calculado por diferencia.

Letras diferentes en una misma columna muestran diferencias significativas (p<0,05)

bh: base húmeda

Tabla 2: Contenido de fibra soluble e insoluble en la pulpa de ocas, mandiocas y yacón.

Alimento	Fibra Dietaria Total**	Fibra Dietaria Insoluble*	Fibra Dietaria Soluble*	% cobertura del VDR	
	g/100 g de pulpa bh				
Oca	Amarilla	1,53	1,02 ± 0,22 ^{ab}	0,51 ± 0,16 ^{bc}	5
	Overa	1,69	1,35 ± 0,06 ^b	0,34 ± 0,08 ^{ab}	6
	Rosada	0,87	0,69 ± 0,23 ^a	0,18 ± 0,07 ^a	3
	Morada	1,92	1,18 ± 0,02 ^b	0,74 ± 0,11 ^c	6
	Blanca	1,58	1,08 ± 0,05 ^b	0,50 ± 0,15 ^{bc}	5
	Colorada	2,6	2,12 ± 0,10 ^c	0,48 ± 0,00 ^b	9
Mandioca	Campeona	1,03	1,03 ± 0,08 ^a	0,00 ± 0,00 ^a	3
	Pomberí	1,82	1,05 ± 0,23 ^a	0,77 ± 0,36 ^b	6
	Colorado Amadeo	1,67	1,53 ± 0,10 ^a	0,14 ± 0,04 ^a	6
	Palma	1,53	1,43 ± 0,61 ^a	0,10 ± 0,05 ^a	5
	Yacón	1,03	0,68 ± 0,06 ^a	0,35 ± 0,00 ^{ab}	3

* promedio ± desviación estandar n= 3.

** Calculado por la suma de la fibra soluble y la fibra insoluble. Letras diferentes en una misma columna muestran diferencias significativas (p<0,05)

VDR= Valor diario recomendado bh: base húmeda

nes de mandioca, el contenido de compuestos fenólicos y la AAR son por lo menos diez veces mayor en la cáscara que en la pulpa. Las variedades Campeona y Colorada A, presentan mayor contenido de vitamina C en pulpa, mientras que Palma y Pomberí tienen mayor cantidad en cáscara. El yacón presenta valores de vitamina C, compuestos fenólicos y AAR mayores en pulpa que en cáscara.

Caracterización de los carbohidratos

En la Tabla 4 se presenta el contenido de almidón total y resistente. Los resultados muestran que el proceso de ebullición produce una disminución en el contenido de AR, pero cuando éstas se almacenan por 48 h a 5 °C, el contenido de almidón resistente aumenta, en algunos casos hasta valores superiores al de los alimentos crudos. El yacón no almacena sus carbohidra-

Tabla 3: Compuestos bioactivos y actividad antirradical en pulpa y cáscara

Alimento	Vitamina C (mg / 100 g muestra) bh *		Comp. Fenólicos (mg AG / 100g muestra) bh *		IC 50* (mg de muestra) bh		Actividad antirradical VCEAC* (mg AA/100g muestra) bh	
	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara
Amarilla	35,4 ± 1,3 ^{bc}	22,9 ± 0,8 ^a	89,9 ± 2,8 ^{bc}	159,3 ± 2,6 ^b	49,4 ± 1,5 ^d	11,8 ± 0,4 ^b	25,4 ± 0,6 ^a	106,2 ± 3,5 ^{bc}
Overa	33,9 ± 1,5 ^b	22,2 ± 2,8 ^a	94,2 ± 3,3 ^c	171,1 ± 4,9 ^b	38,6 ± 2,6 ^c	12,4 ± 0,3 ^b	32,5 ± 2,2 ^b	101,0 ± 2,5 ^{bc}
Rosada	37,4 ± 1,0 ^{cd}	47,3 ± 0,2 ^c	81,4 ± 1,9 ^b	88,8 ± 1,9 ^a	28,1 ± 1,0 ^b	18,9 ± 1,7 ^c	44,6 ± 1,6 ^c	66,4 ± 5,6 ^b
Morada	35,6 ± 0,7 ^{bcd}	36,2 ± 0,3 ^b	87,5 ± 3,2 ^{bc}	462,3 ± 9,6 ^d	28,5 ± 2,3 ^{bc}	6,0 ± 0,6 ^a	44,0 ± 3,5 ^c	209,3 ± 18,4 ^d
Blanca	38,8 ± 0,8 ^d	38,4 ± 0,4 ^b	51,9 ± 3,1 ^a	82,3 ± 8,2 ^a	48,2 ± 2,6 ^d	29,2 ± 2,4 ^d	26,1 ± 1,0 ^a	43,0 ± 3,4 ^{ab}
Colorada	30,4 ± 1,6 ^a	44,8 ± 1,2 ^c	149,2 ± 7,4 ^d	200,6 ± 7,3 ^c	15,4 ± 0,2 ^a	10,1 ± 2,3 ^{ab}	81,1 ± 1,2 ^d	128,8 ± 34,3 ^b
Campeona	22,7 ± 0,2 ^b	15,5 ± 1,5 ^a	25,3 ± 1,1 ^{ab}	172,1 ± 4,5 ^b	82,6 ± 2,0 ^b	5,7 ± 0,2 ^a	15,1 ± 0,4 ^a	218,2 ± 8,1 ^c
Colorada Amadeo	29,7 ± 1,1 ^c	18,7 ± 1,9 ^{ab}	21,1 ± 0,9 ^a	243,2 ± 16,7 ^c	89,3 ± 1,6 ^b	4,4 ± 0,3 ^a	14,0 ± 0,2 ^a	282,9 ± 19,8 ^c
Palma	25,9 ± 1,5 ^b	34,0 ± 2,3 ^c	34,5 ± 2,2 ^c	228,8 ± 20,3 ^c	47,0 ± 4,3 ^a	4,8 ± 0,7 ^a	26,7 ± 2,5 ^b	261,8 ± 35,2 ^c
Pomberí	16,9 ± 1,6 ^a	23,1 ± 0,7 ^b	28,0 ± 2,3 ^b	144,5 ± 10,1 ^b	81,6 ± 11,5 ^b	8,3 ± 1,6 ^b	15,5 ± 2,3 ^a	155,0 ± 28,8 ^b
Yacón	16,6 ± 0,8 ^a	13,3 ± 1,3 ^a	54,4 ± 3,6 ^a	22,7 ± 1,6 ^a	117,7 ± 2,8 ^c	499,0 ± 19,4 ^e	10,6 ± 0,3 ^a	2,5 ± 0,1 ^a

* Los resultados se presentan como promedio ± desviación estandar, n=3. Letras diferentes en una misma columna muestran diferencias significativas (p<0,05).
bh: base húmeda

tos de reserva en forma de almidón.

En la Tabla 5 se muestra el contenido de FOS de las 6 variedades de ocas estudiadas y del yacón. El análisis de los clones de mandiocas mostró que ninguno contiene FOS. Todas las variedades de ocas presentan valores similares; el yacón tiene un contenido de FOS más elevado que las ocas.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que las ocas presentan menor contenido de humedad y mayor valor de carbohidratos a los encontrados por O'Hair y Maynard (13) mientras que los valores para proteínas, cenizas y lípidos son similares. En la mandioca se encontró contenidos de humedad y nutrientes similares a los informados para mandiocas producidas en Brasil (14). En cuanto al yacón los valores de carbohidratos determinados en nuestras muestras son similares a los encontrados por Seminario, et. al (15).

Los valores de fibra dietaria total (FDT) de las ocas estudiadas son inferiores al encontrado por Espín, et al. (2) excepto la variedad Colorada que presenta un contenido de FDT superior. Sin embargo, los valores encontrados para todas las variedades son superiores a los reportados por O'Hair y Maynard (13). Los valores mostrados por Montagnac, et al. (16) para mandioca son similares a los encontrados para los clones estudiados (1,8 g/100g de porción comestible). Sin embargo el contenido de fibra informado en las Tablas de Composición de Alimentos de FAO/LATINFOODS (14) para mandiocas originaria de Brasil, es superior al que se presenta en este trabajo (1,9 -2,4 g/100g). El contenido de FDT de yacón, informado en bibliografía, es inferior al valor determinado en este trabajo (15). Los bajos valores de fibra soluble encontrados, implican que la fermentación intestinal y producción de ácidos grasos de cadena corta también serán poco significativas. La fibra insoluble contribuirá al aumento de la velocidad de tránsito intestinal.

Compuestos bioactivos y actividad antirradical

Los valores de vitamina C encontrados muestran que las ocas aportarían cantidades significativas de esta vitamina si se incluyeran en la dieta diaria. La vitamina C es termolábil por lo que una proporción variable de la misma puede perderse durante el proceso

Tabla 4: Contenido de almidón total y resistente de ocas y mandiocas, crudas y hervidas.

Alimento	Almidón Total (g/100g) bh *	Almidón Resistente (g/100g) bh *				% AR/AT
		Cruda	Hervida	Hervida y almacenada**		
Oca	Amarilla	16,20 ± 0,61a	0,70 ± 0,07 a	0,61 ± 0,05abc	0,86 ± 0,17 ab	5,3
	Overa	17,88 ± 0,45b	2,85 ± 0,18c	0,69 ± 0,09 bc	0,75 ± 0,04 a	4,19
	Rosada	15,09 ± 1,01 a	2,42 ± 0,05 c	0,50 ± 0,02 ab	0,81 ± 0,05 a	5,37
	Morada	15,02 ± 0,29 a	1,31 ± 0,34 b	0,81 ± 0,11 c	1,09 ± 0,09 b	7,26
	Blanca	14,98 ± 0,38 a	1,32 ± 0,15 b	0,44 ± 0,10 a	0,75 ± 0,05 c	5,01
	Colorada	14,80 ± 0,32 a	0,66 ± 0,20 a	0,44 ± 0,04 a	0,66 ± 0,05 a	4,46
Mandioca	Pomberí	33,25 ± 0,64d	0,59 ± 0,03ab	0,51 ± 0,13 c	1,71 ± 0,17 c	5,14
	Colorada Amadeo	30,40 ± 0,90c	0,81 ± 0,24 b	0,32 ± 0,04 ab	1,02 ± 0,21 b	3,35
	Campeona	24,89 ± 0,40a	0,90 ± 0,07 b	0,35 ± 0,02 bc	0,70 ± 0,08 ab	2,31
	Palma	27,54 ± 0,92b	0,31 ± 0,10 a	0,15 ± 0,01 a	0,41 ± 0,04 a	149
	Yacón	NC	NC	NC	NC	NC

* Los resultados se presentan como promedio ± desviación estándar n=3.

** Almacenadas durante 48 h a 4°C. Letras diferentes en una misma columna muestran diferencias significativas (p<0,05)

AR: Almidón resistente AT: Almidón total bh: base húmeda

NC: No contiene

Tabla 5: Contenido de fructooligosacáridos en ocas y yacón.

Alimento	Fructooligosacáridos* (g/100g) bh
Amarilla	7,36 ± 0,29ab
Overa	7,43 ± 0,47 ab
Rosada	7,27 ± 0,07 ab
Morada	7,32 ± 0,78 ab
Blanca	7,61 ± 1,50 ab
Colorada	6,76 ± 0,06 a
Yacón	8,89 ± 0,58 b

* promedio ± desviación estándar n=3.

Letras diferentes muestran diferencias significativas (p<0,05)

bh: base húmeda

Tabla 6: Alimentos con mayor contenido de fructanos

Nombre común	Ubicación	Fructano	g/100 g producto fresco
Achicoria	Raíz	Inulina	16-20
Topinambur	Tubérculo	Inulina	15-20
Yacón	Raíz	FOS	Sep-19
Ajo	Bulbo	Inulina	09-Nov
Cebolla	Bulbo	Inulina	02-Jun
Espárrago	Turión	Inulina	02-Mar
Trigo	Grano	Inulina	01-Jun
Plátano	Fruto	Inulina	0,3-0,7

Fuente: (15)

de cocción, motivo por el cual es necesario determinar el porcentaje de retención para conocer si las ocas cocidas aportan cantidades significativas; en estudios previos realizados por el grupo de trabajo con papas hervidas con cáscara se obtuvo porcentajes de retención para vitamina C entre 57 y 75%. Los valores de compuestos fenólicos encontrados en pulpa de las variedades Blanca y Colorada son similares a los reportados por Campos et al. (16) (71 a 132 mg AG/100g de alimento fresco) y Chirimos et al., (17) (40,8 a 161,8 mg AG/100g de alimento fresco) para diferentes variedades de ocas peruanas.

En todos los clones de mandioca, el contenido de compuestos fenólicos y la AAR son por lo menos diez veces mayor en la cáscara que en la pulpa. El valor de compuestos fenólicos encontrado en la pulpa de todos los clones de mandiocas es inferior al encontrado por Sreeramulu, et al. (18) en mandioca de la india (137,55±6,04 mg AG/100g).

El contenido de vitamina C encontrado en la pulpa de mandioca es similar al encontrado por Montagnac, et al. (19).

En el yacón el contenido de compuestos fenólicos determinado es inferior al valor encontrado por Muñoz

Jauregui, et al. (20) de 67,64 mg AG/100g mientras que la AAR determinada en este trabajo fue mayor (IC 50=187,21 mg).

Respecto a la vitamina C, una porción de yacón (100g) cubriría 22% de la IDR (Ingesta Diaria Recomendada) para mujeres y 18% para hombres si se considera la recomendación de la National Academy of Sciences (21), la cual es 75 y 90 mg/día para mujer y hombre adultos respectivamente; al ser una raíz que se consume cruda se la puede considerar como una buena fuente de este nutriente para los pobladores de regiones andinas que lo consumen.

Caracterización de los carbohidratos

El aumento de almidón resistente producido luego de refrigerar los alimentos podría atribuirse a la retrogradación principalmente de la amilosa, aunque se ha demostrado que la amilopectina también retrogradada y contribuye al contenido de AR. Mientras la retrogradación de la amilosa es un proceso que tiene lugar en pocas horas, la amilopectina requiere días o semanas (22, 23). A excepción del clon Palma, los otros clones de mandiocas estudiados tienen valores de AR superiores a los encontrados por Blanco, et al. (24) para mandiocas hervidas, en estudios realizados en Costa Rica. El porcentaje de almidón total que se transforma en almidón resistente luego de procesados e estos productos es bajo (< 7,5%), sin embargo puede resultar significativo cuando se calcula el valor energético de los alimentos.

Los fructooligosacáridos al no ser digeridos por las enzimas endógenas del tracto digestivo humano entran dentro de la definición de fibra dietaria soluble, como no precipitan en alcohol no se determinan con los métodos de fibra tradicionales, lo cual subestima el valor real de la fibra dietaria en los alimentos que los contienen induciendo a una sobreestimación del valor energético. Por este motivo los FOS se determinaron por separado mediante el método de HPLC. En la Tabla 6 se muestran datos de bibliografía (15) sobre el contenido de fructanos de distintos alimentos. Los valores de FOS encontrados en el yacón son inferiores al informado en la bibliografía. Tanto el yacón como las ocas tienen un contenido medio de fructanos similar o comparable con los reportados para los alimentos mostrados en la tabla 6. Considerando que el tamaño de porción para estos productos es alrededor de 100 g y que la dosis efectiva de FOS se encuentra entre 5 y

15 g/100g de alimento, dependiendo del efecto deseado, éstos representan una fuente importante de fructanos en la dieta.

CONCLUSIONES

Las ocas y el yacón son buena fuente de vitamina C. Se pueden considerar alimentos aportadores de este nutriente para la población de las regiones andinas donde el consumo de cítricos es bajo.

El contenido de polifenoles y la AAR en la mandioca es mayor en la cáscara. Ésta no forma parte de la porción comestible, pero sería buena fuente para extraer los compuestos bioactivos y utilizarlos como aditivo, incluso en alimentos elaborados con harina de mandioca. La principal responsable de la actividad antirradical en la pulpa sería la vitamina C ya que los valores de VCEAC son similares, mientras que en la cáscara se suman los polifenoles.

Las ocas y el yacón contienen cantidades importantes de fructooligosacáridos como carbohidrato de reserva; también son fuente de fibra dietaria principalmente insoluble, la cual es un componente alimentario de valor para mantener la salud intestinal.

En términos generales, de este trabajo se puede concluir que las raíces y tubérculos estudiados, además de aportar nutrientes, contienen otros compuestos funcionales como compuestos fenólicos, y fructooligosacáridos los que le confieren un valor adicional como alimentos útiles para la prevención de algunas enfermedades no transmisibles.

REFERENCIAS

1. Cadima, X. (2006). Tubérculos. En: Botánica Económica de los Andes Centrales. R. Moraes, B. Øllgaard, L. P. Kvist, F. Borchsenius and H. Balslev (eds). La Paz, Universidad Mayor de San Andrés: 347-369.
2. Espín, S., Villacrés E., Brito E. (2004). Caracterización Físico-Química, Nutricional y Funcional de Raíces y Tubérculos Andinos. En: Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. V. Barrera, C. Tapia and A. Monteros. Lima, Perú, Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Editorial: Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. Capítulo 4: 91 – 116.
3. Tapia, M. E. y Fries A. M. (2007). Origen de las plantas cultivadas en los Andes Guía de Campo de los Cul-

- tivos Andinos. Lima, FAO/ANPE: 1-8.
4. AOAC (1995). Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists 16th edition, Arlington, AOAC International.
 5. Correa de Souza, M., Toledo Benassi M., Fraxino de Almeida Meneghel R. y dos Santos Ferreira da Silva R. S. (2004). Stability of unpasteurized and refrigerated orange juice. *Braz. arch. biol. technol.* 47: 391-397.
 6. Singleton, V. L., Orthofer, R., y Lamuela-Raventos, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol*, 299: 152-178.
 7. Brand-Williams, W., Cuvelier M. E. y Berset C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Sci Technol* 28: 25-30.
 8. Burda, S. y Oleszek W. (2001). Antioxidant and anti-radical activities of flavonoids. *Food Chem.* 49: 2774-2779.
 9. Kim, D. O., Lee K. W., Lee H. J., Lee C. Y. (2002). Vitamin C Equivalent Antioxidant Capacity of Phenolic Phytochemicals. *J Agric Food Chem* 50: 3713-3717.
 10. Tovar, J., Björck I. y Asp N. G. (1990). Starch content and amylolysis rate in precooked legume flours. *J Agric Food Chem* 38: 1818-1823
 11. Goñi, I., García-Díaz L., Mañas E. y Saura-Calixto F. (1996). Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chem* 56: 445-449.
 12. Zuleta A. y Sambucetti M. E (2001). Inulin Determination for Food Labeling. *J Agric Food Chem* 4: 4570-45.
 13. O'Hair S.K. y Maynard D.N. (2003). Vegetables of Tropical Climates. Root Crops of Uplands, en *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)*, edited by Benjamin Caballero, Academic Press, Oxford, 5962-5965
 14. FAO/LATINFOODS. (2002). Tabla de Composición de Alimentos de América Latina. 2011, from <http://www.rlc.fao.org/es/bases/alimento/>
 15. Manrique I., Seminario, J., Valderrama M. (2003). El yacón: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio. Editorial: Centro Internacional de la Papa (CIP) Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. Lima.
 16. Campos, D., G. Noratto, Chirinos R., Arbizu C., Roca W. y Cisneros-Zevallos L. (2006). Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: Native potato (*Solanum sp.*), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz and Pavón), oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and ullucu (*Ullucus tuberosum*). *J Sci Food Agr* 86: 1481-1488.
 17. Chirinos, R., Betalleluz-Pallardel I., Huamán A., Arbizu C., Pedreschi R. y Campos D. (2009). HPLC-DAD characterisation of phenolic compounds from Andean oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) tubers and their contribution to the antioxidant capacity. *Food Chem* 113: 1243-1251.
 18. Sreeramulu, D. y Raghunath, M. (2010). Antioxidant activity and phenolic content of roots, tubers and vegetables commonly consumed in India. *Food Res Int* 43:1017-1020.
 19. Montagnac, J., Davis, C. y Tanumihardjo, S. (2009). Nutritional Value of Cassava for Use as a Staple Food and Recent Advances for Improvement. *Compr Rev Food Sci F* 8: 181-194.
 20. Muñoz Jáuregui, A., Ramos-Escudero D., Alvarado-Ortiz Ureta C. y Castañeda Castañeda B. (2007). Evaluación de la Capacidad Antioxidante y Contenido de Compuestos Fenólicos en Recursos Vegetales Promisorios. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 73: 142-149.
 21. National Academy of Sciences (2000). Dietary References Intakes (DRI) for Vitamin C, Vitamin E, Selenium and Carotenoids. Food and Nutrition Boards & Institute of Medicine, National Academy of Sciences Washington D.C.
 22. Eerlingen, R. C., H. Jacobs y J. A. Delcour (1994). Enzyme-resistant starch. V. Effect of retrogradation of waxy maize starch on enzyme susceptibility. *Cereal Chem* 71: 351-355.
 23. Thompson, D. B. (2000). Strategies for the manufacture of resistant starch. *Trends Food Sci Tech* 11: 245-253.
 24. Blanco-Metzler, A., J. Tovar y Fernandez-Piedra M. (2004). Caracterización nutricional de los carbohidratos y composición centesimal de raíces y tubérculos tropicales cocidos, cultivados en Costa Rica. *Arch Latinoam Nutr* 54: 322-327.

Recibido: 28-01-2014

Aceptado: 17-05-2014