

Contenido de azúcares en raíces reservantes de 106 clones de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) de la colección de germoplasma

Pilar Aliaga R.¹, Cecilia Nieto A.²

Resumen

Se ha determinado el contenido de azúcares totales y azúcares reductores, en una muestra representativa de la colección de germoplasma mundial de camote libre de patógenos, que mantiene el Centro Internacional de la Papa (CIP). Se ha encontrado que el contenido de azúcares en las raíces de camote presenta una gran variabilidad, con un rango desde 8.26% hasta 31.65% (expresados en base seca), para azúcares totales y un rango desde 0.58 hasta 14.07% (expresados en base seca) para azúcares reductores.

Palabras clave:

Abstract

One hundred and six sweet potato clones from the world germplasm collection held at Internacional Potato Center, were analyzed for sugars. Sugar content in roots varied widely, ranged from 8.26% to 31.65% (dry simple) to total sugars and ranged from 0.58 to 14.07% (dry simple) to reducing sugars.

Key words:

1. Introducción

El camote es un alimento con gran potencial para combatir la malnutrición, la pobreza y disminuir las importaciones de alimentos, en países en desarrollo, sin embargo, es un producto pobremente explotado. Aproximadamente el 95% de la producción mundial de camote se concentra en países en desarrollo en los cuales se emplea para la alimentación humana, en forma directa (como alimento fresco o procesado), o indirecta si se utiliza en la alimentación animal. Características tales como corto período de crecimiento, adaptación a climas tropicales o templados, alto potencial de producción (Woolfe, 1992), así como poseer cantidades significativas de energía, proteína, vitamina C, calcio, minerales y pro-vitamina A (Espinola, 1991), hacen del camote un alimento con grandes posibilidades para la alimentación humana y animal.

El Centro Internacional de la Papa (CIP), mantiene en San Ramón la colección de germoplasma mundial de camote libre de patógenos (aproximadamente 1591 entradas). Se ha determinado que existe variación significativa en el contenido de materia seca, proteína, fibra (Fernández, 2000), contenido y propiedades del almidón (Brabet *et al.*, 1998), actividad del inhibidor de tripsina (Aliaga, 2007), en una muestra de clones que representan la colección de germoplasma mundial libre de patógenos del CIP, haciéndose necesaria la determinación de otras características como contenido azúcares totales y azúcares reductores en los mismo clones, con la finalidad de tomarlas en cuenta en la selección de nuevos cultivares.

Los carbohidratos de las raíces de camote están formados por almidón, azúcares, pectina, celulosa y probablemente hemicelulosa y pentosanos. Estos carbohidratos forman aproximadamente el 85% de la materia seca y el almidón representa aproximadamente

el 60 a 80% de la misma (Woolfe, 1992). Aunque la mayor proporción en la raíz está formada por el almidón, los azúcares libres presentes influyen en la calidad de la misma (Takahata *et al.*, 1996; Lewthwaite, 1997). Los principales azúcares libres que se encuentran en las raíces crudas son sucrosa (o sacarosa), glucosa y fructosa, mientras que la maltosa se produce solo durante la cocción de la raíz y como producto de la hidrólisis del almidón (Picha, 1986). Sin embargo, Mathurin *et al.* (1998), encuentran pequeñas cantidades de maltosa en raíces crudas de algunos cultivares y mencionan que la cocción de las raíces induce la aparición de grandes cantidades de la misma.

Estos azúcares proporcionan diferente grado de dulce. La fructosa es 5 veces más dulce que la maltosa, la sucrosa es tres veces más dulce que la maltosa, mientras que la glucosa es dos veces más dulce que la maltosa. Sin embargo cuando los azúcares se comparan al mismo nivel de dulce en puré de camote, la preferencia de mayor a menor, fue maltosa, sucrosa y fructosa (Koehler y Kays, 1991, mencionado por Lewthwaite *et al.*, 1997). Por lo tanto, en las raíces de camote, el tipo de azúcar tiene un efecto en el sabor, adicionalmente al dulzor.

Además de estas características organolépticas, la composición de azúcares puede afectar significativamente la apariencia de productos procesados. Por ejemplo la presencia de elevados niveles de azúcares reductores en productos fritos puede causar excesivo oscurecimiento (Kays, 1985, mencionado por Lewthwaite *et al.*, 1997).

En la planta, la sacarosa se obtiene como resultado del proceso de fotosíntesis y luego es transportada a los tejidos no fotosintéticos (tejidos de reserva) como la raíz. La sacarosa, es la forma en que se transportan esqueletos carbonados y energía a todas las partes de la planta. Su carácter no reductor evita la interacción con otras moléculas y permite una rápida circulación. Dependiendo de la actividad fisiológica y de las necesidades bioquímicas de los tejidos puede ser oxidada completamente y producir energía o también puede ser empleada para producir metabolitos

¹ Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Agraria La Molina.
E-mail: paliaga@lamolina.edu.pe

² Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Agraria La Molina.
E-mail: cnieto@lamolina.edu.pe

intermediarios necesarios para el crecimiento y desarrollo de tejidos. Así mismo la sacarosa puede utilizarse para la síntesis de almidón o de triacilgliceroles (Sturm, 1999, mencionado por Jiménez, 2004).

Por hidrólisis de la sacarosa en el citosol se pueden obtener la glucosa fructosa que pueden ser utilizadas para la respiración celular y para la síntesis de pared celular. En la hidrólisis de la sacarosa interviene la enzima invertasa. Ésta existe en varias isoformas con diferentes propiedades y localizaciones subcelulares. Se dividen en dos grandes grupos: Invertasas ácidas (localizadas en pared celular y vacuola) e invertasas neutras y alcalinas (localizadas en el citoplasma celular). La invertasa ácida actúa a un pH de 4.5-5 y la neutra a pH alrededor de 7 y la alcalina a pH 7.6. En el proceso de síntesis de la sacarosa interviene la enzima sacarosa sintasa y sacarosa fosfato sintasa, mientras que la primera contribuye a incrementar la capacidad de almacenamiento en órganos subterráneos suministrando los precursores para los polímeros de la pared celular, la sacarosa fosfato sintasa ayuda a mantener el equilibrio en la concentración de sacarosa en la raíz en crecimiento. La acción combinada de las tres enzimas es responsable de las cantidades que se encuentren de sacarosa en la raíz reservante (Sturm, 1999, mencionado por Jiménez 2004).

La invertasa ácida de la pared celular de las células de almacenamiento, hidroliza el disacárido, facilitando el transporte de glucosa y fructosa a través de la membrana plasmática. La sacarosa también penetra en la célula como sacarosa, pero en cantidades menos importantes, sin embargo las hexosas acumuladas en el citosol pueden ser reutilizadas por la sacarosa sintasa para resintetizar sacarosa. La invertasa ácida de la vacuola, participa en la movilización de sacarosa de la vacuola, provoca un aumento en los niveles de glucosa y fructuosa en las raíces en crecimiento. Esto disminuye el potencial hídrico de la vacuola, permitiendo la entrada de agua y la expansión celular (Gibeaut *et al.*, mencionado por Jiménez, 2004). Los azúcares libres de las raíces se encuentran principalmente en las vacuolas (Takahata *et al.*, 1996) y la actividad de invertasa ácida está altamente correlacionada con el contenido de azúcares reductores, lo cual indica que ésta es una enzima crítica en la regulación de los niveles de azúcares reductores en el camote (Huang *et al.*, 1999).

Por lo tanto, el sabor dulce de los camotes depende del contenido de azúcares libres, algunos azúcares reductores contribuyen pero especialmente la maltosa. La maltosa se produce al activarse por el calor la enzima β -amilasa, sin embargo Kalimura *et al.* (1988), mencionados por Mathurin *et al.* (1998), reportan la existencia de algunos clones de camote que carecen de β -amilasa, por lo cual concluyen que las características de dulzor en el camote están controladas genéticamente y pueden ser modificadas por mejoramiento.

Diferencias entre Cultivares en el Contenido de Azúcares Reductores y Totales

Diversos trabajos en la literatura reportan diferencias entre cultivares en el contenido de azúcares reductores (Cárdenas, 1991; Cárdenas y Huamán, 1993; Huang *et al.*, 1999, Takahata *et al.*, 1996; Paz, 2000; Zhang, 2001) y afirman que estos son determinados por la actividad de la enzima invertasa ácida. La invertasa ácida en raíces de camote juega un rol importante en las diferencias entre cultivares encontradas en el contenido de hexosas (Huang *et al.*, 1999; Takahata *et al.*, 1996). La invertasa ácida es una enzima que se encuentra en la vacuola y los azúcares libres también se encuentran en este organelo celular, por lo tanto se puede deducir que la invertasa ácida afecta la composición de azúcares libres en la raíz. Se ha encontrado una correlación altamente significativa para la actividad de invertasa ácida con el contenido de glucosa en la raíz, sin embargo al evaluar la actividad de la invertasa neutra, la correlación observada fue significativa, pero negativa. Precisamente la invertasa neutra se encuentra en el citosol y no afecta el contenido de azúcares libres, si no más bien está presumiblemente envuelta en el flujo metabólico de azúcares a almidón, durante el desarrollo de la raíz (Takahata *et al.*, 1996).

Existen diferencias entre cultivares, también en el contenido de azúcares totales (Anshebo *et al.*, 2003; Martin y Deshpande, 1985; Walter, 1992; La Bonte *et al.*, 2000; Paz, 2000; Zhang, 2001.; Muhanna y Rees, 20004). Sin embargo la sacarosa es el azúcar que se encuentra en mayor proporción en las raíces crudas, mientras que la glucosa y fructosa se encuentran en cantidades menores. Aún cuando se miden los azúcares en diferentes etapas de desarrollo de la planta, la sacarosa representa la mayor proporción (Martin y Deshpande, 1985; Walter, 1992; La Bonte *et al.*, 2000).

3. Materiales y métodos

3.1. Localización

Para determinar el contenido de azúcares, los clones de camote se sembraron en la Estación Experimental del CIP en San Ramón, ubicado a 11°06'S, 75° 18W y 800m.s.n.m. en el departamento de Junín, Perú. La temperatura mínima promedio fue de 18.9°C, la máxima promedio 32.5°C y la temperatura promedio 27.5°C; con una precipitación total de 436.60 mm. La determinación de materia seca de las raíces y la preparación de las muestras de harina se realizaron en el laboratorio de Fisiología de la Estación experimental del CIP en Lima y los análisis de azúcares totales y azúcares reductores en el Laboratorio de Instrumentación del Departamento de Química de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.2. Material Vegetal

Se utilizaron 106 clones de camote seleccionados (tabla 1) a partir de la colección de germoplasma libre de patógenos, que mantiene el Centro

Internacional de la Papa (CIP) en San Ramón. Los criterios para la selección fueron origen geográfico, color de la raíz y alto contenido de materia seca.

Se sembraron 2 surcos con 10 plantas por surco para cada clon. La separación entre plantas fue de 0.25m y entre surcos 0.90m, habiendo un surco no sembrado de separación entre clones. Durante el crecimiento se

realizaron prácticas agronómicas estándar. Después de 5.5 meses, se cosecharon 2 a 3 raíces por planta (15 a 20 por clon) e inmediatamente se almacenaron en bolsas de papel bajo sombra para prevenir secado en el campo. Luego se transportaron a Lima, donde se mantuvieron a 13°C, aproximadamente 15 días, hasta su procesamiento.

Tabla 1. Características de 106 clones utilizados para determinar el efecto de la variabilidad entre clones sobre contenido de azúcares.

Clon	Nombre Común	Origen	Región	Color	MS%	%Pt
400004	CEMSA 74-228	Cuba	América central	1	34.96	4.22
400010	N° 226	Mexico	Norte América	3	33.82	5.39
400011	SANTO AMARO	Brasil	Sud América	2	36.33	3.73
400012	VICOSA	Brasil	Sud América	2	35.91	3.63
400019	SIMON 1	Brasil	Sud América	1	37.17	4.79
420001	ANARANJADO INTENDE	Perú	Sud América	3	29.73	5.06
420012	ELYDA	Perú	Sud América	3	30.66	7.73
420013	RAROIA	Perú	Sud América	3	32.14	5.63
420014	JONATHAN	Perú	Sud América	3	34.77	4.6
420015	CARSAETONE	Perú	Sud América	3	30.92	6.21
420019	PEDRO	Perú	Sud América	3	35.82	3.56
420053	CAPADITO	Perú	Sud América	4	39.11	5.64
440002	REGAL	USA	Norte América	3	28.61	4.07
440004	W-119	USA	Norte América	3	31.82	3.29
440007	W-208	USA	Norte América	3	29.59	5.42
440008	W-213	USA	Norte América	3	29.34	4.96
440029	FENG SHOU BAI	China	ESEAP	1	33.35	5.87
440031	JEWEL	USA	Norte América	3	28.98	5.95
440038	IITA-TIS 2498	Burundi	Africa	1	37.18	4.45
440041	PAPOTA	Puerto Rico	América Central	1	39.34	5.31
440043	FRITA	Puerto Rico	América Central	2	35.54	5.2
440045	TOQUECITA	Puerto Rico	América Central	1	34.41	5.22
440046	VIOLA	Puerto Rico	América Central	1	38.88	4.18
440049	MOJAVE	Puerto Rico	América Central	1	39.26	3.02
440057	IITA-TIB 11	Nigeria	Africa	3	30.43	3.51
440059	IITA-TIS 1487	Nigeria	Africa	1	37.6	4.26
440060	IITA-TIB 4	Nigeria	Africa	3	34.83	6.11
440063	IITA-TIS 2544	Nigeria	Africa	1	32.58	3.2
440064	IITA-TIS 3017	Nigeria	Africa	1	32.69	2.64
440067	IITA-TIS 3290	Nigeria	Africa	2	35.89	3.97
440068	IITA-TIS 5081	Nigeria	Africa	3	34.84	4.02
440089	NC 288-6	USA	Norte América	3	29.72	6.11
440090	NC 317	USA	Norte América	3	29.57	6.3
440105	HI-DRY	USA	Norte América	1	45.39	3.27
440107	SWEET RED	USA	Norte América	3	28.6	4.5
440113	BENIAKA	Japón	ESEAP	2	31.45	3.3
440127	TSURUNASH-GENJI	Japón	ESEAP	1	42.17	5.3
440150	HUA BEI 52-45	China	ESEAP	3	36.36	4.17
440160	PHILIPPINE	Philipinas	ESEAP	2	36.95	3.81
440163	MUGANDE	Rwanda	Africa	1	37.38	4.16
440166	TANZANIA	Uganda	Africa	2	36.43	4.31
440169	KEMB 10	Kenya	Africa	2	38.28	5.21
440173	KYUSHU N° 100	Japón	ESEAP	2	41.56	4.31
440177	CN 1216-10	Taiwan	ESEAP	2	37.9	4.18
440179	CN 1345-8	Taiwan	ESEAP	1	36.96	5.67
440180	CN 1424-36	Taiwan	ESEAP	3	33.59	5.03
440182	CN 1448-59	Taiwan	ESEAP	3	38.22	2.9
440186	TAINAN N° 15	Taiwan	ESEAP	3	40.03	3.57
440189	TAINUNG N° 64	Taiwan	ESEAP	3	25.72	6.11
440193	I01275	Tailandia	ESEAP	1	37.24	2.66
440194	I01285	Tailandia	ESEAP	1	35.91	3.44
440196	I01291	Tailandia	ESEAP	2	36.17	2.83
440198	MAN LOBOR	Tailandia	ESEAP	3	33.09	3.75
440199	I01334	Tailandia	ESEAP	1	34.91	4.56
440201	NARUNMITANG	PNG	ESEAP	3	28.19	3.89
440203	HONG MI	PNG	ESEAP	1	37.92	2.48
440205	YELLOW SUN FLOWER	China	ESEAP	1	40.19	3.62
440206	BLANQUITA	Puerto Rico	América central	1	39.3	2.84
440215	TAINUNG N° 65	Taiwan	ESEAP	3	32.29	7.77
440219	I01321	Tailandia	ESEAP	1	34.55	5.58
440220	SNEAKY	Puerto Rico	América Central	1	37.11	4.55
440221	KOTO-PUKI	Japón	ESEAP	2	41.27	4.4

Contenido de azúcares en raíces reservantes de 106 clones de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) de la colección de germoplasma

440226	CN 1778-2	Taiwan	ESEAP	3	40.15	4.17
440227	CN 1831-57	Taiwan	ESEAP	3	36.48	4.41
440230	SATSUMAHIKARI	Taiwan	ESEAP	2	39.55	3.92
440233	CN 1683-18	Taiwan	ESEAP	2	35.95	4.02
440234	CN 1747-88	Taiwan	ESEAP	3	34.84	4.51
440237	CN 1508-93	Taiwan	ESEAP	1	34.08	3.14
440238	FONG SU N° 1	China	ESEAP	1	33.26	2.97
440243	L 312	PNG	ESEAP	2	34.01	3.72
440254	KAMALA SUNDARI	Bangladesh	SOA	3	19.88	5.79
440262	CHIN MI	Korea	ESEAP	3	29.33	5.13
440264	Won MI	Korea	ESEAP	1	30.59	4.7
440271	BERALU BATHALA	Sri Lanka	SOA	2	35.18	3.84
440272	MELEFAKAHAU	Tonga	ESEAP	1	32.26	3.05
440287	VSP 3	Philipinas	ESEAP	3	26.85	7.01
440288	VSP 4	Philipinas	ESEAP	3	25.98	7.11
440289	VSP 5	Philipinas	ESEAP	3	35.96	3.96
440290	WAIMANALO	Philipinas	ESEAP	1	34.89	3.48
440300	GONIME	PNG	ESEAP	1	39.11	5.48
440303	BOINAI N° 3	PNG	ESEAP	1	29.46	4.54
440304	WASAMEA	PNG	ESEAP	1	38.13	4.78
440306	TALAUKWE	PNG	ESEAP	1	42.17	3.48
440307	MBAKOKA	PNG	ESEAP	1	35.55	3.17
440311	TAINUNG 66	Taiwan	ESEAP	3	27.35	5.55
440312	TAINUG 67	Taiwan	ESEAP	3	41.41	3.25
440313	TAINUNG 68	Taiwan	ESEAP	2	40.59	2.53
440335	I01258	Tailandia	ESEAP	1	38.21	3.03
440336	I01262	Tailandia	ESEAP	1	34.77	2.97
440341	I01273	Tailandia	ESEAP	2	38.43	3.38
440346	MAN KAN DAEN	Tailandia	ESEAP	1	33.55	3.82
440354	BLACK LEAF	Tailandia	ESEAP	1	37.96	4.27
440357	PAK BUNG	Tailandia	ESEAP	3	36.66	5.72
440358	I01310	Tailandia	ESEAP	1	30.87	4.49
440366	MAN KAI	Tailandia	ESEAP	3	27.12	4.6
440368	I01305	Tailandia	ESEAP	1	26.05	4.25
440376	WOKSAKEN	PNG	ESEAP	1	39.16	3.79
440426	FONG SOW BAI	China	ESEAP	1	28.96	3.74
187001.2	ST87.03	Perú	CIP Headquarter	2	34.1	4.18
187015.1	COMENSAL	Perú	CIP Headquarter	3	33.35	4.34
187016.1	CAPLINA	Perú	CIP Headquarter	1	41.03	4.19
187016.3	TN89-315	Perú	CIP Headquarter	1	39.77	4.4
187018.1	YARADA	Perú	CIP Headquarter	1	37.41	4.36
188001.2	LM88.014	Perú	CIP Headquarter	1	34.4	4.22
188004.3	LM88.113	Perú	CIP Headquarter	2	39.42	3.93
188005.1	LM88.114	Perú	CIP Headquarter	3	41.43	5.02

ESEAP : Este y Sur Este de Asia y el Pacífico.

SOA : Sur y Oeste de Asia.

PNG : Papua Nueva Guinea.

En el color : 1: blanquecino 2: amarillo 3: anaranjado 4: morado

3.3. Preparación de las Muestras

Se removieron los extremos y lavaron 15 a 20 raíces de cada clon de camote y se cortaron longitudinalmente en dos piezas. La mitad utilizada para este proyecto se dividió en dos, un cuarto se utilizó para determinación de materia seca y el otro cuarto para obtener la harina.

Para la determinación de materia seca las raíces se cortaron en cubos pequeños y se homogenizaron. Tres muestras representativas de aproximadamente 200g se secaron en una estufa de aire forzado a 90°C por 48h, luego se enfriaron a temperatura ambiente en un desecador y se pesaron (Brabet, 1998). El contenido de materia seca se muestra en el cuadro 1.

Para obtener la harina, la cuarta parte de cada raíz se cortó en hojuelas de 1mm de espesor. Las hojuelas se homogenizaron y una muestra representativa de aproximadamente 400g fue congelada para luego ser liofilizada y molida a través de un tamiz de 40mesh.

La harina resultante se almacenó en bolsas de polietileno estériles selladas a -20° C.

3.4. Análisis de Laboratorio en las Muestras de Harina

En las harinas obtenidas se realizaron los análisis de materia seca, contenido de azúcares totales y contenido de azúcares reductores.

La determinación de materia seca se realizó según la metodología descrita por AOAC (2000). La determinación de azúcares totales se realizó utilizando la metodología descrita por Hodge y Hofreiter (1962). Así mismo la determinación de azúcares reductores se realizó utilizando el reactivo de Somogy-Nelson, técnica descrita por Talburt y Smith (1975).

3.5. Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico se estimó la media, la desviación estándar, el coeficiente de variabilidad y el rango de variación. Para la clasificación de las características se siguió el criterio estadístico de

selección en base a la media y la desviación estándar, dividiéndose en un número de clases determinado, siguiendo la regla de Sturges. Se calculó por lo tanto la distribución de frecuencia y se graficó el histograma correspondiente (Steel y Torrie, 1980). Adicionalmente se utilizó un diseño completamente al azar para medir el efecto del color de la raíz sobre el contenido de azúcares totales y azúcares reductores. Para este análisis no se consideró el color morado, por contar solamente con un clon de este color.

4. Resultados y discusión

Los resultados correspondientes a azúcares totales y azúcares reductores para los 106 clones se muestran en la tabla 2 y las frecuencias en las tablas 3 y 4.

Los resultados obtenidos para sacarosa se obtuvieron al restar azúcares totales menos azúcares reductores, pues al medir reductores se está determinando el contenido de glucosa y fructuosa, mientras que en la medida de totales tenemos además de glucosa y fructuosa la sacarosa que no es reductor.

El contenido de azúcares totales presenta una gran variabilidad con un promedio de 15.8% (base seca) y un rango desde 8.26% para el clon 440049 de nombre común Mojave, hasta 31.65% para el clon 440287, conocido como VSP 3. Para el contenido de azúcares reductores también se encontró gran variabilidad, observando un promedio de 4.91% (base seca) y un rango desde 0.58% para el clon 440341, hasta 14.07% para el clon 440366 de nombre común Man Kai.

Estos resultados, son similares a los reportados por Anshebo *et al.* (2003), Martin y Deshpande (1985), Walter (1992), Ravindran *et al.* (1995), La Bonte *et al.* (2000), Paz (2000), Zhang (2001), Muhanna y Rees (20004), quienes encuentran también una gran variabilidad entre cultivares en el contenido de azúcares totales y a los mencionados por Cárdenas (1991), Cárdenas y Huamán (1993), Huang *et al.* (1999), Takahata *et al.* (1996), Paz (2000), y Zhang (2001), que indican también una gran variabilidad entre cultivares en el contenido de azúcares reductores.

En las raíces crudas de los clones evaluados, la sacarosa representa en promedio el 68.92% del total de azúcares en todos los clones, lo cual esta de acuerdo con lo mencionado por La Bonte *et al.* (2000), quienes afirman que la sacarosa es el azúcar que se encuentra en mayor proporción durante todas las etapas de desarrollo, representando al menos el 68% del total de azúcares en todos los cultivares y en todo tiempo de almacenamiento. Por lo tanto el contenido de sacarosa es mayor al de glucosa y fructuosa que se encuentran representadas en conjunto en el valor reportado para azúcares reductores. Sin embargo se observa en cuatro cultivares que los valores de azúcares reductores son ligeramente mayores al contenido de sacarosa. Al respecto, La Bonte *et al.* (2000), mencionan que los cultivares de camote pueden presentar un contenido más alto de monosacáridos para compensar un menor contenido de sucrosa o una mayor cantidad de

sucrosa para compensar el menor contenido de monosacáridos.

Para el contenido de azúcares totales los clones anaranjados presentaron contenidos superiores ($P < 0.01$) con respecto a los clones de raíces blanquecinas y amarillas (tabla 5), mientras que entre estos últimos no se observaron diferencias significativas. Para azúcares reductores no se encontraron diferencias significativas entre clones agrupados por colores de raíz (tabla 6).

El contenido de azúcares totales en las raíces crudas está formado por azúcares reductores (glucosa y fructosa) y no reductores (sacarosa). Al encontrar diferencias significativas solo para el contenido de azúcares totales y aceptando que el contenido de los reductores es similar entre los clones agrupados por colores, deducimos que las diferencias en los clones evaluados en este trabajo, están dadas por el contenido de sacarosa. Es decir los clones anaranjados presentan mayor contenido de sacarosa en comparación con los clones blanquecinos y amarillos.

Estos resultados son similares a los encontrados por La Bonte *et al.* (2000), quienes indican que los clones anaranjados presentaron contenidos de sacarosa mayores en comparación con los clones blanquecinos durante toda la etapa del desarrollo de la raíz y hasta la cosecha. Así mismo menciona que los clones blanquecinos no mostraron cambios significativos durante toda la etapa de desarrollo y hasta la cosecha en el contenido de azúcares totales. Por lo tanto se puede considerar que existen mecanismos diferentes de regulación del contenido de azúcares totales, específicamente sacarosa, entre los clones anaranjados en comparación con los blanquecinos o amarillos. Al respecto, Picha (1986), señala que en los clones anaranjados, el metabolismo de la sacarosa o la actividad de determinadas enzimas pueden ser diferentes. Takahata *et al.* (1995), también afirma que los cambios en las actividades de α -amilasa y sacarosa sintasa, durante el almacenamiento, aparentemente fueron diferentes entre el clon anaranjado evaluado, en comparación con los otros. Ellos afirman que la sacarosa sintasa es una enzima que cumple un rol importante en las raíces de camote, en el metabolismo de sacarosa durante el almacenamiento. Sin embargo encuentran diferentes actividades entre clones anaranjados en comparación con los otros. Así, el cultivar anaranjado mostró un alto contenido, una cantidad creciente de sacarosa y una elevada actividad de la sacarosa sintasa durante el almacenamiento, mientras que otros cultivares (no anaranjados), mostraron contenidos constantes de sacarosa y relativamente baja actividad de sacarosa sintasa con una disminución en el último periodo de almacenamiento. Así mismo afirman que el metabolismo de sacarosa en raíces de camote, aun no está bien definido.

Debido a que las raíces crudas de los clones anaranjados poseen mayor contenido de azúcares totales y consecuentemente de sacarosa, se puede obtener a partir de ellas un producto cocido más dulce. Sin embargo, un alto contenido de azúcares en

la raíz cruda no necesariamente resulta en un mayor contenido de azúcares en la raíz cocida, pues esto dependerá de la hidrólisis del almidón y de la actividad de las enzimas α y β -amilasas que son

características que pueden diferir entre clones (La Bonte, *et al.*, 2000).

Tabla 2. Contenido de azúcares totales, azúcares reductores y sacarosa de 106 clones de camote (% base seca).

Clon	Az Totales (%)	Az.Reductores (%)	Sacarosa ¹ (%)
400004	13.11	4.89	8.22
400010	16.55	1.57	14.98
400011	11.18	2.93	8.25
400012	20.07	2.6	17.47
400019	12.18	1.81	10.37
420001	19.13	6.48	12.65
420012	14.72	3.09	11.63
420013	19.38	2.37	17.01
420014	16.45	2.23	14.22
420015	16.33	6.57	9.76
420019	13.05	2.71	10.34
420053	9.19	5.75	3.44
440002	21.98	3.61	18.37
440004	19.11	1.41	17.7
440007	21.82	4.49	17.33
440008	19.34	3.55	15.79
440029	13.58	4.97	8.61
440031	19.29	5.7	13.59
440038	12.47	4.99	7.48
440041	15.17	5.67	9.5
440043	13.98	6.78	7.2
440045	17.07	5.65	11.42
440046	13.63	2.08	11.55
440049	8.26	3.39	4.87
440057	16.14	6.97	9.17
440059	12.69	4.87	7.82
440060	12.22	3.84	8.38
440063	14.98	7.65	7.33
440064	14.92	5.45	9.47
440067	10.37	5.27	5.1
440068	11.53	6.79	4.74
440089	21.43	9.28	12.15
440090	18.33	3.27	15.06
440105	8.4	1.66	6.74
440107	25.01	1.82	23.19
440113	16.88	4.6	12.28
440127	11.53	4.36	7.17
440150	15.4	3.22	12.18
440160	12.16	6.51	5.65
440163	11.68	1.28	10.4
440166	12.92	2.1	10.82
440169	14.79	1.87	12.92
440173	13.7	1.41	12.29
440177	15.38	4.99	10.39
440179	14.13	4.61	9.52
440180	18.02	4.67	13.35
440182	14.14	2.55	11.59
440186	14.73	5.53	9.2
440189	25.27	12.4	12.87
440193	14.56	4.58	9.98
440194	16.54	6.13	10.41
440196	15.14	6.06	9.08
440198	20.42	9.81	10.61
440199	13.93	3.7	10.23
440201	21.54	7.84	13.7
440203	13.75	4.54	9.21
440205	14.36	5.31	9.05
440206	14.32	2.77	11.55
440215	21.35	4.17	17.18
440219	17.82	7.71	10.11
440220	16.36	4.58	11.78
440221	16.21	1.18	15.03

440226	10.54	1.27	9.27
440227	12.64	5.39	7.25
440230	10.87	5.47	5.4
440233	12.49	4.75	7.74
440234	9.55	1.58	7.97
440237	12.47	8.59	3.88
440238	17.53	8.56	8.97
440243	15.28	6.93	8.35
440254	20.46	10.76	9.7
440262	15.78	9.11	6.67
440264	18.61	9.36	9.25
440271	16.11	5.01	11.1
440272	21.42	9.81	11.61
440287	31.65	12.14	19.51
440288	26.34	11.53	14.81
440289	10.92	5.25	5.67
440290	15.66	7.66	8
440300	13.25	4.15	9.1
440303	17.47	8	9.47

440304	14.7	4.04	10.66
440306	14.44	1.62	12.82
440307	14.93	3.08	11.85
440311	20.84	3.4	17.44
440312	14.36	5.31	9.05
440313	16.46	3.8	12.66
440335	17.1	4.45	12.65
440336	13.92	5.42	8.5
440341	15.3	0.58	14.72
440346	18.43	8.59	9.84
440354	14.49	2.02	12.47
440357	15.42	1.56	13.86
440358	17.38	6.17	11.21
440366	24.54	14.07	10.47
440368	25.8	10.34	15.46
440376	12.76	3.1	9.66
440426	16.65	6.88	9.77
187001.2	11.06	0.93	10.13
187015.1	18.58	4.4	14.18
187016.1	12.38	1.14	11.24
187016.3	13.68	3.32	10.36
187018.1	9.32	1.36	7.96
188001.2	17.03	5.71	11.32
188004.3	14.89	1.92	12.97
188005.1	11.38	1.76	9.62

Promedio	15.8	4.91	10.89
Desv. Estánd.	4.11	2.84	3.49
Rango	8.26 - 31.65	0.58 - 14.07	3.44 - 19.51
Coef. Var.	26.04	57.77	32.05

¹El contenido de sacarosa determinado al restar azúcares totales menos azúcares reductores.

Tabla 3. Distribución de frecuencia del contenido de azúcares totales en 106 clones de camote (% base seca).

Azúcares totales (%)	Nº de Clones	Porcentaje de clones
[8.26 - 11.19 >	11	10%
[11.19 - 14.12 >	26	25%
[14.12 - 17.05 >	37	35%
[17.05 - 19.98 >	16	15%
[19.98 - 22.91 >	10	9%
[22.91 - 25.84 >	4	4%
[25.84 - 28.77 >	1	1%
[28.77 - 31.70 >	1	1%
Total	106	100%

Tabla 4. Distribución de frecuencia del contenido de azúcares reductores en 106 clones de camote (% base seca).

Azúcares reductores (%)	Nº de Clones	Porcentaje de clones
[0.58 - 2.27 >	23	22%
[2.27 - 3.96 >	19	18%
[3.96 - 5.65 >	29	27%
[5.65 - 7.34 >	16	15%
[7.34 - 9.03 >	8	7%
[9.03 - 10.72 >	6	6%
[10.72 - 12.41 >	4	4%
[12.41 - 14.10 >	1	1%
Total	106	100%

Figura 1. Histograma para el contenido de azúcares totales de 106 clones de camote (% base seca).

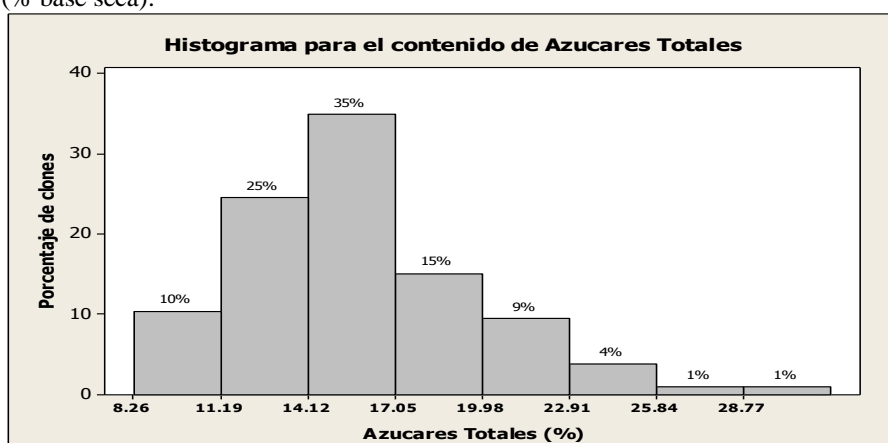


Figura 2. Histograma para el contenido de azúcares reductores en 106 clones de camote (% base seca).

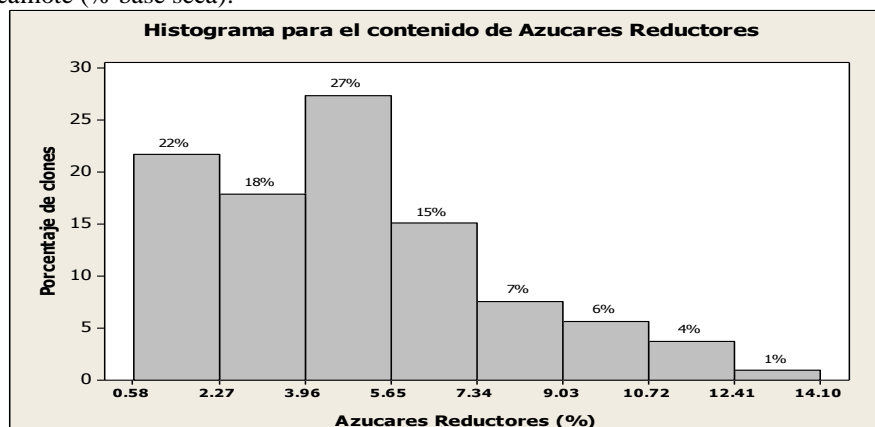


Tabla 5. Análisis de variancia para el efecto del color sobre el contenido de azúcares totales.

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculada	P_value
Colores	2	269.2	134.6	9.38	0.000
Error	102	1463.9	14.4		
Total	104	1733.1			

Tabla 6. Análisis de variancia para el efecto del color sobre el contenido de azúcares reductores.

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculada	P_value
Colores	2	33.19	16.59	2.08	0.130
Error	102	812.44	7.97		
Total	104	845.63			

4. Conclusiones

1. El contenido de azúcares totales presenta una gran variabilidad entre clones, con un promedio de 15.8% (base seca) y un rango de 8.26 a 31.65%, donde el clon 440049 presenta el menor contenido y el clon 440287 el mayor.
2. El contenido de azúcares reductores presenta gran variabilidad, observando un promedio de 4.91% (base seca) y un rango desde 0.58% para el clon 440341, hasta 14.07% para el clon 440366.
3. Los clones anaranjados presentan contenidos superiores ($P < 0.01$) de azúcares totales con respecto a los clones de raíces blanquecinas y amarillas. Entre los clones blanquecinos y amarillos no se observan diferencias significativas para el contenido de azúcares totales.
4. Se recomienda determinar el contenido de azúcares en las raíces cocidas de los clones empleados en este trabajo, con la finalidad de conocer, interpretar y utilizar estos datos para seleccionarlos para consumo animal y/o humano.

5. Referencias bibliográficas

- Anshebo, T., Veeraragavathatham, D., Kannan, M. 2003. Evaluation of sweet potato (*Ipomoea batatas* L. Lam.) clones for high tuber yield, high starch and low sugar to substitute potato in cuisine. *J. Root Crops* 29(1):41-46.
- A.O.A.C. 2000. Official Methods of Analyses. Association of Official Agricultural Chemist. Official method AOAC 925.10. Washington, D.C.
- Brabet, C., Reynoso, D., Dufour, D., Mestres, C., Arredondo, J., Scott, G. 1998. Starch content and properties of 106 sweet potato clones from the world germplasm collection held at CIP Peru. CIP Program Report 1997-1998, 279-286.
- Cardenas, H. G. 1991. Evaluación química nutricional de cultivares nativos de camote *Ipomoea batata* (L.) Lam para su utilización en la forma de rallado como sustituto de trigo en panificación. Tesis para optar el grado de Magíster Scientiae, especialidad de Nutrición. UNALM.
- Cardenas, H., Huaman, Z. 1993. Valor nutritivo del camote, *Ipomoea batatas*, en una muestra representativa de cultivares del Perú. *Boletín de Lima* (87):63-68.
- Ekanayake, I. J., Collins, W. 2004. Effect of irrigation on sweet potato root carbohydrates and nitrogenous compounds. *Food Agric. Env.* 2(1):243-248.
- Espinola, N. 1991. Avances de investigación y uso de papa y camote. En: Avances en Alimentación y nutrición Humana. Editor: Carlos A: Gomez. Programa de Alimentos Enriquecidos. UNALM.
- Fernandez, U. M. 2000. Evaluación del contenido de materia seca, proteína fibra y ceniza en clones de camote del germoplasma del CIP y efecto del medio ambiente sobre dichas características. Tesis para optar el título de Bióloga. UNALM.
- Fennema, O. R. 2000. Química de los Alimentos. Acribia, Zaragoza, España.
- Gomez, K. A., Gomez, A. A. 1984. Statistical Procedures for Agricultural Research. John Wiley & Sons, New York.
- Hodge, J. E., Hofreiter, B. T. 1962. Methods in Carbohydrate Chemistry. Editors: Roy Whistler and M: L: Wolfrom. Academic Press. New York and London.
- Huang, Y. H., Picha, D. H., Kili, A. W., Johnson, C. E. 1999. Changes in invertase activities and reducing sugar content in sweetpotato stored at different temperatures. *J. Agric. Chem* 47:4927-4931.
- Jimenez, E. T. 2004. Factores ambientales y fisiológicos que influyen en la riqueza y la calidad de la remolacha azucarera de siembra otoñal. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias Biológicas. Universidad de Sevilla, España.
- La Bonte, D. R., Picha, D. H., Johnson, H. A. 2000. Carbohydrate Related changes in sweetpotato storage roots during development. *J. Am. Soc. For Hort. Sci.* 125:200-204.
- Lewthwaite, S. L., Sutton, K. H., Triggs, C. M. 1997. Free sugar composition of sweet potato cultivars after storage. *New Zealand j. crop and Hort. Sci.* 25:33-41.
- Martin, F. W., Deshpande, S. N. 1985. Sugars and starches in a non-sweet sweetpotato compared to those of conventional cultivars. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 69(3):401.
- Mateos, G. G., La Torre, M. A., Lazaro, R. 2002. Processing soybeans. Department of Animal Production, UP Madrid. American soybean Association ASA.
- Mathurin, P., Vaillant, V., Venhou-Dumaine, A. 1998. Qualitative aspects of tubers from low sugar content sweet potatoes in the West Indies. *J. Root Crops*, 24(1):17-24.
- Muhanna, M., Rees, D. 2004. The role of root sugar content on the susceptibility of sweetpotato cultivars to soft root. *African Crop Sci. J.* 12(3):305-309.
- Paz, M. G. 2000. Efecto del momento de cosecha y almacenamiento en el contenido de azúcares en camote *Ipomoea Batatas* L. (lam) con la finalidad de seleccionar clones con bajo contenido de azúcares. Tesis para optar el grado de Magíster Scientiae, especialidad Mejoramiento genético de plantas. UNALM.
- Picha, D. H. 1986. Sugar content of baked sweet potatoes from different cultivars and lengths of storage. *J. Food Sci.* 51:845-848.
- Ravindran, V., Ravinran, G., Sivakanesan, R., Rajaguru, S. B. 1995. Biochemical and nutritional assesment of tubers from 16 cultivars of sweet potato (*Ipomoea batatas*

- L.). *J. Agric. Food Chem.* 43(10):2646-2651.
- Rekha, M. R., Sasi Kiran, K., Pradeep Kumar, S., Padmaja, G. 2000. Alpha-amylase and proteinase inhibitors in sweet potato and taro: changes during storage. *J. Root Crops* 26(1):43-47.
- Sasi Kiran, K., Rekha, M. R., Padmaja, G. 2002b. Proteinase and alpha-amylase inhibitors of sweet potato: changes during growth phase, sprouting, and wound induced alterations. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 43:291-298.
- Steel, R.G., Torrie, J. 1980. Principles and Procedures of Statistics. A Biometrical approach. McGraw-Hill Company. USA.
- Takahata, Y., Noda, T., Sato, T. 1994. Effect of β -amylase stability and starch gelatinization during heating on varietal differences in maltose content in sweetpotatoes. *J. Agric. Food Chem.* 42:2564-2569.
- Takahata, Y., Noda, T., Sato, T. 1996. Relationship between acid invertase activity and hexose content in sweet potato storage roots. *J. Agric. Food and Chem.* 44:2063-2066.
- Talburt, W.F., Smith, O. 1975. Potato Processing. Fourth edition. The Aut Publishing Company. Connecticut, USA. 705p.
- Tewe, O.O. 1993. Biochemistry and utilization of sweet potato (*Ipomoea batatas*) for animal feed: implications for food security in Africa. Product Development for root and Tuber crops. Vol.III, Africa. Editors: Gregory J. Scott, Princesa I. Ferguson, Jose E. Herrera. International Potato Center, Lima, Perú.
- Toledo, J. 2000. Avances tecnológicos para la conservación de germoplasma de papa, camote y raíces y tubérculos andinos. IV Congreso Peruano de Genética., Universidad Nacional Agraria la Molina, 9-12 de agosto, 69-72.
- Walter, Jr. W. M. 1992. Use of refractive index to monitor changes in sugar content of stored sweetpotatoes. *Hort Sci.* 27:333-335.
- Woolfe, J. 1992. Sweet Potato. An Untapped Food Resource. Cambridge University.
- Zhang, D., Collins, W. 1995. Inheritance of three major nutritional and anto-nutritional components in sweet potato. In: Vine to Roots Sweet Potato Breeding for Impact. International Workshop, Lima (Peru). 1-3 junio 1994. CIP, Lima.
- Zhang, D., Li, X-Q. 2004. Sweet potato as animal feed: The perspective of crop improvement for nutrition quality. In: Fuglie, K. O., Hermann, M. (eds.). Sweet potato post-harvest research and development in China: Proceedings. CIP Indonesia (Bogor). Pag. 26-39.
- Zhang, Z. 2001. Nutritional quality and starch physicochemical properties in sweet potatoes. PhD. Thesis. The University of Hong Kong.