

Capítulo IV

Caracterización Físico - Química, Nutricional y Funcional de Raíces y Tubérculos Andinos

Susana Espín, Elena Villacrés, Beatriz Brito

Introducción

Las posibilidades de fomentar el uso y consumo de las RTAs va a depender en gran medida del conocimiento que se disponga sobre sus principales componentes químicos y de las características físicas, nutricionales y funcionales que se atribuyen para orientar sus posibles usos y aplicaciones.

En este capítulo se presenta información actualizada sobre la composición química y valor nutricional de las RTAs en términos de cantidad y calidad tanto en raíces y tubérculos enteros como de la parte comestible. Se incluye el efecto de los procesos caseros de preparación de alimentos como es la cocción y el pelado sobre la composición química de la RTAs. Se muestra una interesante variabilidad en los contenidos de materia seca, proteína y carbohidratos solubles en accesiones representativas del Banco de Germoplasma del INIAP, importante por su valor de opción futura. Las RTAs son buenas fuentes de almidón, datos técnicos disponibles acerca de las características y propiedades de estos carbohidratos se reportan, a fin de fomentar su aprovechamiento industrial como posibles fuentes amiláceas que substituyan total o parcialmente a las fuentes tradicionales. La caracterización fitoquímica de las RTAs, identifica los principales metabolitos secundarios, presentes en estas especies, útiles en términos de sus propiedades medicinales, alimenticias y estructurales; y como potenciales fuentes de principios activos con aplicación en diferentes áreas de la industria. Finalmente, se reporta una investigación sobre la extracción y caracterización del mucílago del melloco.

La información de este estudio proviene principalmente de investigaciones realizadas tanto en campo de los agricultores de las áreas de influencia del PI, así como

investigaciones ejecutadas en los laboratorios del Departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP. También se basa en publicaciones anteriores y datos secundarios recopilados.

Composición química y valor nutricional de las RTAs

La calidad de los nutrientes de un alimento o dieta puede evaluarse determinando su composición química. Mediante comparación con las estimaciones de las necesidades del hombre de un nutriente en particular, se aprecia en cierta medida la calidad del alimento.

Las estimaciones químicas de la calidad son muy útiles y constituyen la base de las evaluaciones rutinarias, sin embargo no siempre pueden predecir adecuadamente la verdadera calidad biológica del alimento por lo que es importante considerar la respuesta biológica de una dieta o alimento en particular mediante pruebas con animales experimentales. Estas pruebas suelen ser prolongadas y complejas de realizar por lo que no se prestan al uso rutinario, de ahí que las estimaciones químicas son muy útiles en términos de definir el aporte nutricional de un alimento y para estimar las posibles deficiencias en la dieta.

Composición química de las RTAs en relación a la materia seca

Debido a que la cantidad de agua en los alimentos es altamente variable, es necesario expresar los valores en base a la materia seca, o presentar de manera simultánea el contenido de humedad; muchos datos publicados carecen de utilidad, porque se ha omitido este importante aspecto.

Cuadro 4.1. Rangos de variabilidad en la caracterización química de accesiones de oca, melloco, mashua, zanahoria blanca, miso, jícama y achira, del Banco de Germoplasma del INIAP *

Parámetro	Materia Seca %	Energía Kcal/g	Proteína %	Almidón ¹ %	Azúcar Total ² %	Azúcar Reductores ² %
OCA						
Rango	13,14 – 27,64	3,87 – 4,05	3,39 - 5,49	28,28 – 45,89	4,27 - 4,27	2,16 – 12,72
X	22,05	3,96	4,35	39,13	9,01	6,28
S	3,49	0,04	0,45	3,73	2,66	2,56
CV (%)	15,84	0,89	10,40	9,54	29,48	40,74
MELLOCO						
Rango	10,18 – 19,30	4,05 – 4,44	8,49 – 13,44	57,46 – 81,00	2,18 – 11,59	
X	15,10	4,28	10,10	67,76	7,86	
S	2,21	0,14	1,20	6,53	2,56	
CV (%)	14,64	3,18	11,92	9,64	32,55	
MASHUA						
Rango	7,20 - 19,70	4,19 – 4,64	7,22 – 13,99	20,01 – 79,46	6,77 - 55,23	6,41 - 45,29
X	12,51	4,41	9,74	48,31	28,42	23,65
S	2,63	0,09	1,54	10,47	10,65	9,85
CV (%)	21,04	2,20	15,78	21,67	37,47	41,63
ZANAHORIA BLANCA						
Rango	8,69 – 24,38	3,73 – 4,01	2,95 – 9,04	48,55 – 85,58	3,82 – 15,22	1,73 - 3,48
X	17,27	3,86	5,10	68,26	8,56	6,27
S	4,20	0,05	1,42	7,24	2,89	3,22
CV (%)	24,31	1,34	27,82	10,61	33,78	51,33
MISO						
Rango	20,84 – 40,10	4,13 – 4,25	4,87 – 13,09	55,24 – 83,63	0,17 – 2,52	0,03 – 0,66
X	31,83	4,19	7,16	70,01	1,48	0,42
S	5,47	0,04	2,43	8,31	0,81	0,19
CV (%)	17,21	0,91	33,83	11,87	54,96	44,98
JÍCAMA						
Rango	8,89 – 13,72	4,13 – 4,18	2,90 – 4,69	0,42 – 1,75	10,68 – 29,24	8,76 – 15,65
X	10,79	4,16	3,74	0,84	21,77	12,23
S	1,67	0,02	0,57	0,43	5,42	3,44
CV (%)	15,49	0,43	15,18	51,19	24,92	28,15
ACHIRA						
Rango	13,55 – 22,93	3,77 – 4,09	2,61 – 8,17	43,55 – 66,06	1,96 – 10,89	1,21 – 10,53
X	17,70	3,88	4,48	53,63	4,92	3,17
S	2,92	0,20	1,64	6,84	2,61	2,95
CV (%)	16,50	5,15	36,64	12,75	53,14	93,17

Fuente: Brito y Espín, 1999,

* Datos expresados en Base Seca, muestra entera

¹ Muestra libre de azúcares y pigmentos

² Valores obtenidos de azúcares como % Glucosa

En las raíces y tubérculos andinos, los contenidos de materia seca son extremadamente variables. Brito y Espín (1999), determinaron rangos expresados en porcentajes de 13,14 a 27,64 para oca; 10,18 a 19,30 para melloco; 7,20 a 19,70 para mashua; 8,69 a 24,38 para zanahoria blanca; 20,84 a 40,10 para miso; 8,89 a 13,72 para jícama y 13,55 a 22,93 para achira, al evaluar 31 accesiones de zanahoria blanca, 46 de oca, 68 de mashua, 11 de miso, 30 de melloco, 10 de jícama y 9 de achira, materiales representativos el Banco de Germoplasma del INIAP. Es importante señalar que otros factores aparte de la variabilidad genética como son las prácticas culturales, el clima y el tipo de suelo, pueden influir en esta característica.

Cada una de las especies tiene distribuidos otros componentes químicos importantes en la materia seca. Con la finalidad de identificar materiales promisorios para la agroindustria, se evaluó los contenidos de proteína, almidón y los azúcares, observando también una interesante variabilidad según se indica en el Cuadro 4.1.

Mediante esta caracterización, se han identificado las accesiones de RTAs presentes en el Banco de Germoplasma del INIAP, que contienen los más altos porcentajes de materia seca, proteína, almidón y azúcares. Esta información resulta importante por su valor de opción, es decir, por las futuras demandas

Cuadro 4.2. Composición química de materiales promisorios de siete especies de RTAs del Ecuador, pertenecientes al Banco de Germoplasma del INIAP *

Parámetro	Especie						
	Mashua	Miso	Jícama	Oca	Zan. blanca	Melloco	Achira
Humedad (%)	88,70	68,17	89,21	77,73	81,19	84,34	82,30
Cenizas (%)	4,81	5,65	3,73	3,39	5,18	5,93	10,54
Proteína (%)	9,17	7,16	3,73	4,60	5,43	10,01	4,43
Fibra (%)	5,86	5,80	5,52	2,16	3,91	2,63	8,10
Extracto Etéreo (%)	4,61	1,84	0,62	1,66	1,11	1,24	1,13
Carbohidrato Total (%)	75,40	79,54	85,55	88,19	84,33	80,12	75,80
Ca (%)	0,006	0,79	0,14	0,012	0,15	0,02	0,16
P (%)	0,32	0,06	0,08	0,14	0,17	0,263	0,46
Mg (%)	0,11	0,15	0,12	0,0065	0,07	0,107	0,69
Na (%)	0,044	0,12	0,06	0,018	0,09	0,03	0,14
K (%)	1,99	1,56	1,34	1,30	2,13	2,48	3,78
Cu (ppm)	9,00	6,00	8,00	2,25	8,30	10,71	16,00
Fe (ppm)	42,00	85,00	87,00	48,85	139,5	59,42	117,0
Mn (ppm)	7,00	7,00	18,00	5,35	9,50	9,19	19,00
Zn (ppm)	48,00	48,00	36,00	5,95	9,10	23,94	46,00
I (ppm)	-	0,070	0,013	3,65	0,21	-	-
Almidón (%)	46,92	70,10	0,83	42,17	63,72	70,50	53,63
Azúcar Total (%)	42,81	1,48	21,77 ^{1/}	9,68	6,91	6,63	4,92
Azúcares reductores (%)	35,83	0,42	12,78	7,62	4,81	-	3,17
Energía (Kcal/100g)	440,0	419,0	416,0	399,0	389,0	412,0	3,88
Vitamina C (mg/100 g mf)	77,37	12,51	-	34,53	13,94	26,03	-
Eq. Retinol/100g mf	73,56	-	34,32	-	27,28	-	-
Ácido Oxálico/100 g mf	-	-	-	82,93	-	-	-

Fuente: Espín *et al.*, 1999.

* Datos expresados en Base Seca, muestra entera

^{1/} Se refiere al contenido expresado como glucosa

Valores promedio de 30 determinaciones para cada análisis y por especie

mf = materia fresca

comerciales que pueden establecerse en base a variedades nativas, ya que en la actualidad la tendencia es la búsqueda de alimentos nativos con el fin de desarrollar nuevos productos llamados naturales.

Una descripción más amplia sobre la composición química de las RTAs se realizó en materiales promisorios identificados por los fitomejoradores, de tal manera de que esta información este disponible y sea válida para el mejoramiento genético. Fueron seleccionadas 10 accesiones promisorias de cada especie, correspondientes a materiales que presentan buenas características agronómicas de producción y resistencia a factores bióticos y abióticos. En el Cuadro 4.2 se presentan los promedios obtenidos para composición química de estos materiales.

Humedad y materia seca

De los valores reportados en el Cuadro 4.2, se puede observar que el miso presenta el menor contenido de humedad (68,17 %), por tanto un mayor contenido de materia seca; las demás especies presentan valores entre 10 y 20 % de materia seca, siendo importante señalar que el grado de madurez es uno de los factores que determinan el contenido de agua presente en las muestras estudiadas.

Análisis proximal

El análisis proximal, probablemente sea el método más usado para expresar la calidad nutritiva global de un alimento, mide la cantidad de nutrientes presentes, divididos en seis grupos: Contenido de humedad (agua), proteína bruta, fibra cruda, cenizas, extracto etéreo (EE) y los elementos libres de nitrógeno (ELN) que constituyen una medida indirecta del contenido total de carbohidratos. Se expresa en porcentaje y se aplican metodologías específicas para evaluar cada uno de los componentes.

Del análisis proximal (Figura 4.1), se puede observar que las RTAs son ricas en carbohidratos con un valor medio de 81 % en base seca. La oca presenta el tenor más alto (88,19 %). En el contenido de cenizas la achira muestra el valor más alto (10,54%), mientras que las demás especies tienen un contenido medio de 4,78% de este material inorgánico en su composición. El valor de la proteína difiere en cada especie, mientras la jícama (3,73%), la achira (4,43%) y la oca (4,60 %), presentan los valores mas bajos; la mashua (9,17 %) y el melloco (10,01 %) muestran los mejores aportes de proteína. Los valores de fibra más altos se encuentran en la achira (8,10 %), mientras que la oca (2,16 %), el melloco (2,63 %) y la zanahoria blanca (3,91 %), presentan los menores contenidos; las demás especies tienen un valor

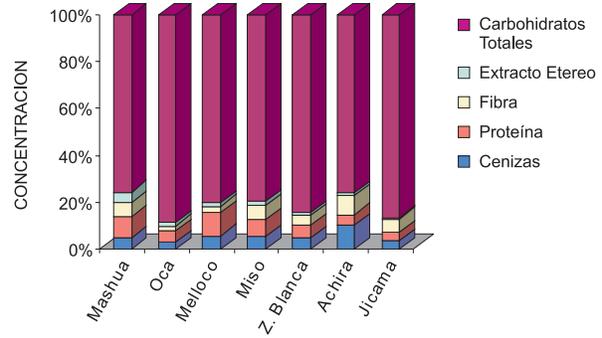


Figura 4.1. Distribución de los principales componentes químicos de las RTAs de acuerdo al análisis proximal.

medio de 5,72 %. En general las RTAs presentan bajos valores de extracto etéreo, con una media de 1,26 %, sin considerar a la mashua, especie que aporta 4,61 %, siendo el valor determinado más representativo.

Carbohidratos

Se identificó que los carbohidratos solubles, almidón y azúcares, presentan una distribución característica para cada especie; así, en mashua se observa una distribución casi equitativa entre el almidón (46,92 %) y los azúcares (42,81 %); para el miso, melloco, oca, zanahoria blanca y achira es el almidón el principal componente con un valor medio del 60 %, mientras que para la jícama son los azúcares su principal constituyente (99 %), con un valor de almidón inferior al 1 % (Figura 4.2).

Estudios complementarios realizados en el INIAP por Espín *et al.*, (2000), determinaron en jícamas ecuatorianas un contenido promedio de azúcares totales del 69 %, de los cuales el 35 % corresponde a la suma de Fructosa+Glucosa+Sacarosa (F+G+GF), mientras que los Oligofruktanos de bajo grado de polimerización (GF₂-GF_n) representaron el 34 % restante. Este valor va a depender del grado de madurez de la raíz, por lo que es

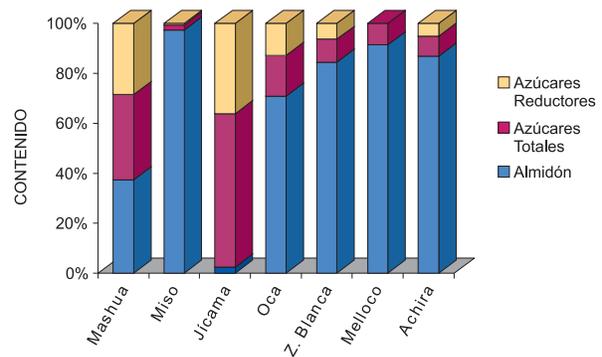


Figura 4.2. Distribución de los principales carbohidratos por especie de RTAs.

importante definir y conocer su tiempo óptimo de cosecha. La presencia de estos compuestos confiere a la jícama una característica especial por las propiedades funcionales y benéficas de estos componentes, considerados en la categoría de alimentos no digeribles.

Minerales

Respecto a la composición mineral de las especies estudiadas (Figura 4.3 y 4.4), se determinó que el potasio (K) es el elemento más relevante, con un contenido medio del 2 % en base seca. Se observa que la achira (3,78 %) y el melloco (2,48 %) presentan los mejores aportes. Sobresale la contribución mineral de la achira, cuyos valores tanto para los elementos macro como para los micro, superan a las de las otras RTAs, a excepción del contenido de calcio (Ca) determinado en el miso (0,79 %), y el de hierro (Fe) en la zanahoria blanca (139 ppm). Estos valores están relacionados con el valor más alto de cenizas identificado en la zanahoria blanca.

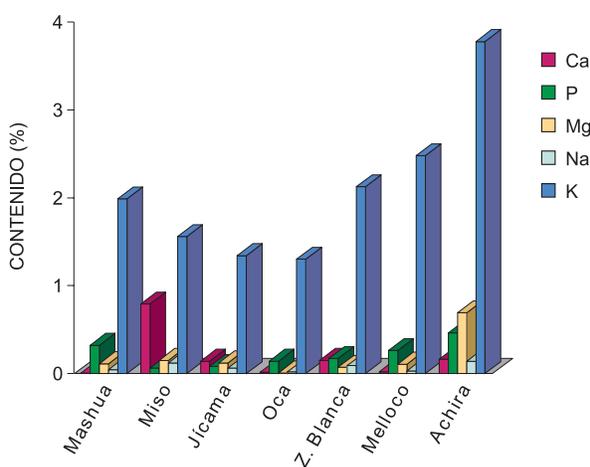


Figura 4.3. Contenido de macroelementos en siete especies de RTAs.

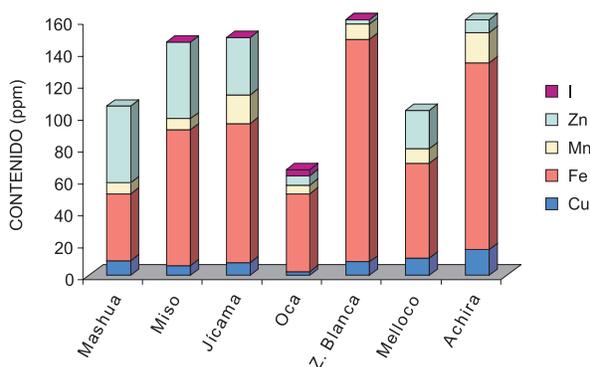


Figura 4.4. Contenido de microelementos en siete especies de RTAs.

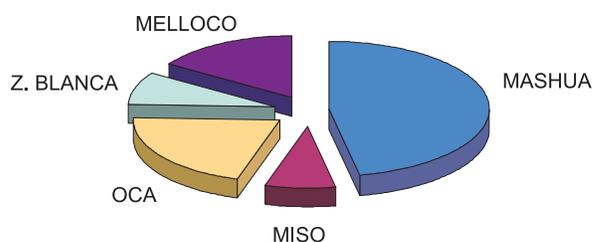


Figura 4.5. Distribución de vitamina C (mg/100 g materia fresca) por especie de RTAs.

Energía

En relación al aporte calórico, 100 gramos de materia seca de RTAs, rinde un valor medio de 409 Kcal.

Vitaminas

La mashua es la especie más rica en vitamina C (Figura 4.5), con un valor medio de 77,37 mg de ácido ascórbico por cada 100 g de materia fresca. Se ha identificado a la accesión ECU-1128 con un aporte de 96,62 mg de ácido ascórbico en 100 g de materia fresca, como la más sobresaliente.

El contenido de provitamina A, expresado como Equivalentes de Retinol (ER) identifica a la mashua como la especie más rica en carotenos con un contenido medio de 73,56 ER/100 g de muestra fresca. Se identificó a la accesión de mashua ECU-1089 de color de corteza amarillo anaranjado, con 162,87 (ER) como la más relevante. En las accesiones de zanahoria blanca de pulpa amarilla se encontró un valor medio de 27,78 (ER).

Valor nutricional de los componentes de las RTAs

En los sistemas agrícolas tradicionales de los Andes, las RTAs juegan un rol especial dentro de los sistemas de asociación y rotación con la papa; son de gran importancia económica y nutricional para la subsistencia de campesinos que habitan a grandes altitudes, donde el valor nutricional de estos cultivos constituyen un complemento muy apreciado en la dieta andina.

Una muestra de 100 gramos de RTAs, contiene aproximadamente 20 % de materia seca, un bajo contenido de lípidos (1,75 %) y un aporte importante de carbohidratos (81 %), cuyos componentes principales son el almidón y los azúcares, distribuidos de manera particular en cada especie como se observó en la Figura 4.2. Estos componentes presentan importantes características como es la alta digestibilidad de los almidones (94±2,4 %), principalmente de la oca,

zanahoria blanca, melloco, mashua y miso que supera al del almidón de la papa, pero es inferior a la digestibilidad del almidón del trigo. Los valores señalados se obtuvieron a través de la hidrólisis completa del almidón, mediante el uso de enzimas amilolíticas específicas; este método *in vitro* es una simulación de los procesos digestivos que ocurren en el organismo humano.

Por otro lado, los azúcares de la jícama, uno de sus principales componentes, contienen oligosacáridos de bajo grado de polimerización (GP₂₋₉), considerados en la categoría de alimentos no digeribles, constituyendo por lo tanto un ingrediente funcional atractivo aplicado a dietas de personas con regímenes especiales como los diabéticos.

El aporte calórico de las RTAs presenta el menor coeficiente de variación en relación a otros parámetros, determinando que 100 gramos de materia seca de RTAs, rinde un valor medio de 409 Kcal.

El valor proteico de las RTAs está en el orden del 6 %, con valores que alcanzan hasta el 10 % como es el caso del melloco. La digestibilidad de las proteínas de la oca y zanahoria blanca es alta, en el orden del 91,78 y 86,14 % respectivamente.

Los nutrientes protectores constituyen las vitaminas y las sales minerales. Las funciones de los minerales en el cuerpo son complejas debido a todas las interacciones con las reacciones químicas celulares, sin embargo se considera como principales el mantenimiento del equilibrio ácido-base, catálisis, componentes de compuestos esenciales, mantenimiento del equilibrio de fluidos corporales, transmisión de impulsos nerviosos.

La presencia de estos elementos inorgánicos en las RTAs, muestran que el potasio (K) es su mayor representante con una concentración media del 2 % en base seca. La mashua (0,044 %), oca (0,018 %), zanahoria blanca (0,09 %) y el melloco (0,03 %) presentan bajos contenidos de sodio (Na), lo cual puede ser aprovechado para dietas de personas con problemas de hipertensión que requieren alimentos ricos en potasio y con bajo contenido de sodio. La achira puede considerarse una buena fuente de minerales según se indica en el Cuadro 4.2.

Las funciones de las vitaminas son vitales para el crecimiento y mantenimiento del organismo y necesarias para varias actividades metabólicas del mismo. Dentro de las vitaminas solubles en agua, se identificó que la mashua es la especie más rica en vitamina C, con un valor medio de 77,37 mg de ácido ascórbico por cada 100 g de materia fresca, valor que cubre los requerimientos diarios recomendados de esta vitamina para un adulto.

Estimación de la calidad de la proteína de las RTAs

La calidad de la proteína depende de su contenido de aminoácidos esenciales. La FAO ha señalado que una proteína es biológicamente completa cuando contiene todos los aminoácidos esenciales en una cantidad igual o superior a lo establecido para cada aminoácido en una proteína de referencia o patrón. Tradicionalmente se utilizaba como patrón de aminoácidos, las proteínas de la leche o del huevo; actualmente, el patrón de aminoácidos recomendado para evaluar la calidad biológica de las proteínas para todas las edades excepto

Cuadro 4.3. Índice químico de aminoácidos de RTAs en base al patrón de aminoácidos FAO-OMS-UNU, 1985. (Muestra entera)

Aminoácidos	Patrón mg/g proteína	Achira	Oca	Miso	Mashua	Zanahoria blanca	Melloco	Jícama
Histidina	19	58,42	15,52	101,00	126,00	81,57	305,00	128,00
Isoleucina	28	84,64	73,21	112,00	103,00	44,64	92,80	76,07
Leucina	66	59,54	42,12	60,90	56,81	30,60	62,12	58,03
Lisina	58	44,65	58,79	52,93	34,82	31,89	115,00	41,55
Metionina+cistina	25	2,96	70,80	56,00	115,00	52,80	140,00	----
Fenilalanina+ tirosina	63	104,00	45,55	101,00	83,80	137,00	147,00	69,52
Treonina	34	81,47	74,70	116,00	72,05	52,94	70,58	64,70
Triptofano	11	----	----	----	----	----	127,00	----
Valina	35	84,28	72,00	87,71	112,00	74,57	105,00	82,85

Fuente: Espín *et al.*, 1999.

los menores de un año, se basa en los requerimientos de aminoácidos del preescolar (FAO/OMS/UNU, 1985).

Los cómputos aminoacídicos encontrados, descritos en el Cuadro 4.3, indican que en general las proteínas de las raíces y tubérculos andinos son biológicamente incompletas, es decir que contienen una cantidad de aminoácidos esenciales inferior al patrón de referencia.

Sin embargo, es importante señalar que generalmente la dieta de la población representa la ingesta de varios alimentos, lo que permite complementar las deficiencias que presentan cada uno de ellos, a fin de proveer todos los nutrientes que requieren las células del cuerpo para asegurar un mantenimiento y funcionamiento adecuados.

Efecto de los procesos de pelado y cocción sobre la composición química de las RTAs

La composición química y valor nutricional de las RTAs descritos en los párrafos anteriores, fueron considerados en materiales crudos y enteros, siendo importante conocer adicionalmente su aporte nutricional acorde a las prácticas culinarias utilizadas actualmente para preparar los alimentos, previo su consumo. De esta manera y con la base de un conocimiento más real sobre el aporte de nutrientes a la dieta, se propicia una combinación balanceada de los alimentos.

No todos los cambios pueden ser adversos o muy significativos. La pérdida de nutrientes va a depender de los procesos a los que están sometidos, algunos de ellos son esenciales como la cocción en el caso del melloco, la oca y la mashua, y otros como la zanahoria blanca, jícama, miso y la achira que se someten adicionalmente al proceso de pelado.

En ocasiones los procesos caseros de preparación de alimentos a nivel de los hogares pueden ser más significativos respecto a los efectos sobre el valor nutricional que los procesados a larga escala, que tecnológicamente buscan minimizar la pérdida del valor nutricional de las materias primas; algunos aspectos relacionados a lo indicado se incluyen en el acápite relacionado con los usos agroindustriales de las RTAs descritos en el Capítulo V.

Pelado

Aparte de remover las impurezas que pueden estar presentes en las RTAs mediante el lavado uno de los primeros pasos en su preparación sea casera o a gran escala es el pelado, esto es remover la capa externa (corteza), defectos y partes dañadas que pueden estar

presentes en los materiales. Burton (1974), citado por Woolfe (1987), señala que en tubérculos de papa, remover la corteza a una profundidad uniforme de 1,5 mm puede significar la pérdida de aproximadamente el 20 % en peso de tubérculos de 50 gramos y alrededor del 10% en tubérculos de 200 g; estos valores pueden servir como una referencia de lo que puede ocurrir en las RTAs.

De acuerdo a los hábitos alimentarios de la población, la zanahoria blanca, miso, jícama y achira se consumen sin corteza, razón por la cual se consideró importante determinar la composición química de la parte comestible de estas especies, tomando en cuenta dos aspectos importantes: la pérdida de nutrientes causada por el pelado, en relación a muestra entera que va a depender en gran medida de la distribución de los diferentes nutrientes en las RTAs, y el hecho de que la corteza forma una barrera protectora que previene la pérdida de nutrientes durante la cocción.

En el Cuadro 4.4 se observa una disminución del contenido de fibra del 40% para la jícama y 35 % para la achira, con relación a los valores determinados en muestra entera. En zanahoria blanca se registró una disminución de aproximadamente el 20 % en el contenido de cenizas y fibra, con una baja en la misma proporción en el aporte de potasio (K). El hierro es el mineral que más disminuye por efecto del pelado, así, se ha registrado una pérdida de 41 % para el miso, 57 % para la jícama y achira y 73 % para la zanahoria blanca. Mejoran los valores de carbohidratos totales, principalmente, para achira 6,59 % y se incrementa el rendimiento de energía en 4 y 12 Kcal/g MS para achira y zanahoria blanca, respectivamente. Un aspecto particular se observó con la jícama, donde los valores de cenizas se incrementaron en un 23 %, este valor guarda relación con los valores determinados de potasio (1,94 %) y fósforo (0,15%), superiores a lo determinado en muestra entera.

De igual manera que para muestras enteras, los cómputos aminoacídicos encontrados en la parte comestible del miso, zanahoria blanca, jícama y achira (Cuadro 4.5), indican que las proteínas son biológicamente incompletas, determinando hasta ocho aminoácidos limitantes en estas especies.

Cocción y almacenamiento

Se estudió el efecto de la cocción sobre las características físico químicas de 12 clones promisorios de mellocos frescos y almacenados 20 y 40 días en mallas plásticas y en cuarto frío (Cuadro 4.6), encontrando que el tiempo de cocción medio es de 25,49 minutos con un

Cuadro 4.4. Composición química y valor nutricional de la parte comestible de zanahoria blanca, miso, jicama y achira *

Parámetro	Especie			
	Zanahoria blanca	Miso	Jicama	Achira
Humedad (%)	74,10	61,94	89,43	81,69
Cenizas (%)	4,12	4,49	4,60	7,53
Proteína (%)	5,15	7,41	5,64	4,29
Fibra (%)	3,05	4,83	3,33	5,33
Extracto Etéreo (%)	1,44	1,76	1,11	2,04
Carbohidratos (%)	86,30	80,46	85,30	80,80
Ca (%)	0,12	0,61	0,08	0,095
P (%)	0,17	0,09	0,15	0,41
Mg (%)	0,038	0,09	0,04	0,42
Na (%)	0,013	0,03	0,023	0,08
K (%)	1,69	1,27	1,94	2,68
Cu (ppm)	4,00	6,00	11,00	14,00
Fe (ppm)	37,00	50,00	36,00	51,00
Mn (ppm)	9,00	7,00	9,00	14,00
Zn (ppm)	34,00	62,00	34,00	30,00
Almidón (%)	72,18	67,71	0,56	60,47
Azúcar Total (%)	3,72	2,68	38,65	3,95
Azúcares reductores (%)	1,28	0,55	11,88	2,68
Energía (Kcal/100g)	437	427	434	404

Fuente: Espín *et al.*, 1999.

* Valores expresados en base seca

Cuadro 4.5. Índice químico de aminoácidos en la parte comestible de RTAs en base al patrón de referencia FAO-OMS-UNU, 1985

Aminoácidos	Patrón mg/g proteína	Miso	Zanahoria blanca	Jicama	Achira
Histidina	19	90,00	80,52	88,42	57,89
Isoleucina	28	93,21	60,00	53,57	118,00
Leucina	66	51,81	42,12	41,51	56,66
Lisina	58	56,03	38,44	24,82	34,23
Metionina+cistina	25	3,40	----	3,72	3,32
Fenilalanina+ Tirosina	63	7,96	5,63	6,47	9,96
Treonina	34	94,11	52,94	47,35	75,00
Triptofano	11	----	----	----	----
Valina	35	77,71	67,14	62,57	79,71

Fuente: Espín *et al.*, 1999.

Cuadro 4.6. Tiempo de cocción de 12 clones promisorios de melloco

Clones	Tiempo de cocción (minutos)
ECU-759	31,65
ECU-791	35,67
ECU-811	30,00
ECU- 814	26,00
ECU-818	35,00
ECU-819	13,83
ECU-830	21,67
ECU-831	26,83
ECU-837	23,00
ECU-842	20,83
ECU-863	24,17
ECU-926	17,67

Fuente: Rivadeneira y Espín, 1995.

coeficiente de variación de 23,83 %. La cocción es el método más común de preparación del melloco previo su consumo, generalmente se utilizan tubérculos enteros debido a que su corteza es fina y no requiere ser retirada previamente.

Adicionalmente se observó que todos los clones de melloco estudiados disminuyen el tiempo de cocción conforme aumenta el período de almacenamiento como se observa en la Figura 4.6. Posiblemente este efecto se debe a la disminución de la firmeza de la pulpa y el ablandamiento de la corteza por efecto de la pérdida de agua durante el almacenamiento.

Respecto a la composición proximal del melloco se encontró que existe variación en el contenido de

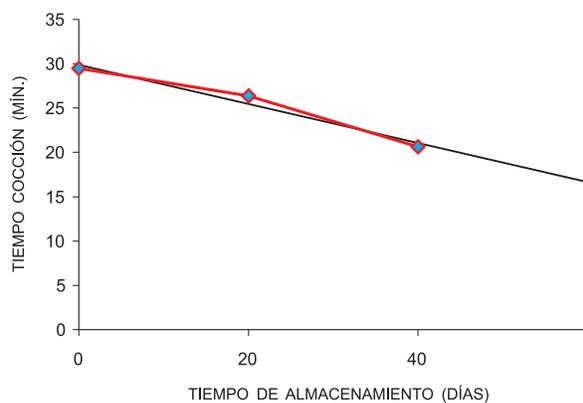


Figura 4.6. Variación del tiempo de cocción del melloco a tres períodos de almacenamiento.

humedad estadísticamente no significativo para el almacenamiento, pero sí para la cocción, observando un incremento del 3,7 % del contenido de materia seca por efecto de este proceso. El tiempo de almacenamiento no afectó el contenido de proteína, registrando una pérdida de 0,5 % de otros compuestos nitrogenados respecto a la cocción. Un efecto interesante se observó en el contenido de extracto etéreo que se ve afectado por los dos procesos, disminuye el contenido en relación al tiempo de almacenamiento, perdiendo hasta un 30 % del valor inicial por pérdida de grasa y pigmentos solubles durante la cocción.

Referente a los carbohidratos constituyentes mayoritarios del melloco, se observó que ni la cocción tampoco el almacenamiento, afectaron el contenido total. Sin embargo, al analizar de manera individual los componentes principales de los carbohidratos, como son los azúcares y almidones, se encontró que para los azúcares no se registran diferencias estadísticamente significativas, mientras que el almidón muestra una mayor variabilidad durante la cocción y almacenamiento, con tendencia a la disminución posiblemente por una necesidad de este nutriente en la formación de brotes. No se distingue una clara relación de la conversión de almidón a sucrosa y azúcares reductores.

El aporte energético del melloco expresado en Kcal / 100 g de materia seca registra una pérdida de 9 Kcal.

El contenido mineral del tubérculo se ve afectado particularmente por el proceso de cocción, donde el aporte de los microelementos: Hierro (Fe), Cobre (Cu) y Manganeseo (Mn), se ven disminuidos en aproximadamente un 14 %. Los macroelementos no cambian su composición de manera significativa.

Respecto a los compuestos nitrogenados, proteína y aminoácidos, se encontró una pérdida del 0,5 % por efecto del almacenamiento, mientras que la cocción no afectó significativamente su valor. Los aminoácidos estudiados presentaron diferencias significativas al 1 % mostrando una disminución del valor inicial registrado en tubérculos crudos, en rangos que van de 0,01 hasta 0,11 gramos de aminoácido por 100 gramos de materia seca, a excepción de la metionina y cistina que presentaron un incremento en su contenido de 0,01 g de aminoácido/100g de materia seca.

Los cambios encontrados no muestran ningún patrón consistente en relación con el almacenaje. Varios trabajos realizados en tubérculos de papa, muestran la dificultad de definir conclusiones firmes acerca de la naturaleza de los cambios en los constituyentes del

nitrógeno durante el almacenamiento y su posible significancia nutricional, lo cual coincide con lo encontrado en el melloco.

Extracción y caracterización del almidón de RTAs

Las RTAs son fuentes importantes de energía, debido a su contenido de almidón, éste es un polímero de glucosa y constituye una fuente energética natural privilegiada para la alimentación de los seres vivos y principalmente del hombre. El almidón es después de la celulosa, la principal sustancia glucídica sintetizada por los vegetales superiores a partir de la energía solar. Debido a que los gránulos de almidón ejercen una presión osmótica muy baja, las plantas pueden almacenar grandes cantidades de D-glucosa en una forma muy accesible, sin romper el balance de agua de sus tejidos. Los diferentes tipos de almidones se diferencian entre sí, por el tamaño de los gránulos, su apariencia microscópica, sus características físicas y su constitución química, pues existen almidones que están constituidos por una mayor cantidad de amilosa y otros de amilopectina; los primeros tienen importancia en el campo de las fibras y plásticos, y los segundos en el campo alimenticio (Inatsu *et al.*, 1983).

El almidón es materia prima para la fabricación de numerosos productos como dextrosa, alcohol, sorbitol, glucósidos metílico, etílico y ácido láctico, por lo mismo puede proporcionar a nuestra economía, una fuente de abastecimiento casi ilimitado en la elaboración de sustancias orgánicas, en la industria alimenticia, textil, en la industria del papel y en la de los polímeros (Gujksa *et al.*, 1994).

El almidón influye definitivamente en las propiedades organolépticas de muchos alimentos y esto está supeditado a las interacciones de este polímero con los otros componentes que se encuentran presentes. La facilidad del almidón para interactuar, no solo está determinada por la fuente botánica de la que procede, sino también de la relación de este compuesto con respecto a cada sustancia que lo rodee. Las modificaciones que sufre un almidón en su temperatura y velocidad de gelatinización cuando está presente en un alimento, son reflejo de la influencia de los diferentes constituyentes del medio en que se encuentra.

Las RTAs son actualmente cultivos de los pequeños agricultores, que se cultivan en pequeñas parcelas, sin un aprovechamiento óptimo como recurso alimentario. En el sector industrial tienen la imagen de productos para los pobres, su procesamiento es limitado, sin ningún uso industrial alternativo que contribuya a diversificar

su utilización, a pesar de la demanda potencial de las empresas alimenticias por harina y almidón.

El desconocimiento de las propiedades básicas del almidón y su ventaja comparativa para ciertos usos, ha limitado su expansión comercial, siendo necesario estudiar los contenidos, rendimientos y calidad de los almidones de estas especies vegetales, como posibles fuentes amiláceas que sustituyan parcial o totalmente a las materias primas tradicionales (maíz y trigo). El desarrollo agroindustrial y la comercialización de las RTAs, ofrecen perspectivas de gran valor en la economía nacional.

Proceso de extracción y rendimiento de almidón

Para la extracción del almidón a partir de raíces y tubérculos frescos, se sigue una serie de operaciones, con una secuencia establecida y semejante para todas las especies como se muestra en la Figura 4.8.

El rendimiento promedio de almidón para 10 accesiones promisorias de oca y melloco, 8 de mashua y miso, 6 de zanahoria blanca y 5 clones de papa, a nivel de laboratorio, se muestra en el Cuadro 4.7.

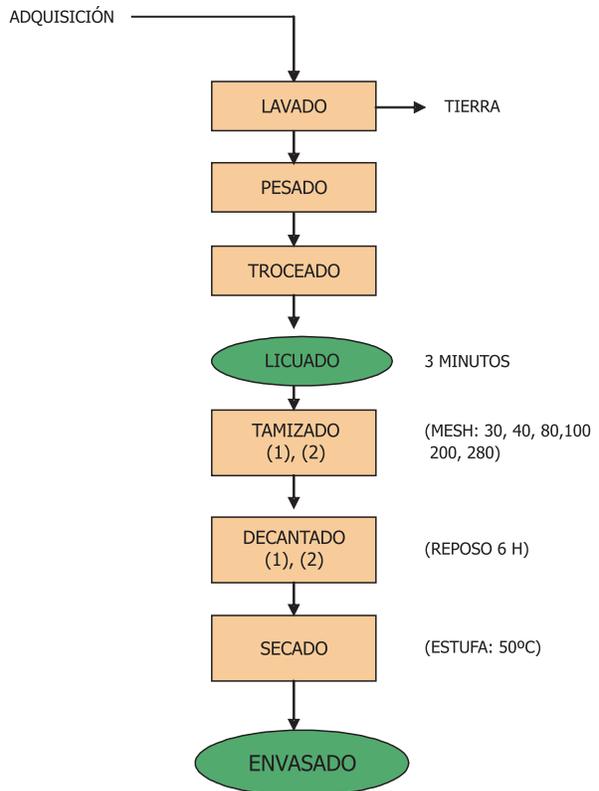


Figura 4.8. Diagrama del proceso para la obtención de almidón de RTAs.

Cuadro 4.7. Rendimiento de almidón, contenido de residuo y fibra de RTAs

Tubérculo/Raíz	Rendimiento ¹ (%)	Residuo ¹ (%)	Fibra cruda (%)*
Oca	14,00 ± 1,40 b	2,88 ± 0,36	0,007 ± 0,005
Melloco	7,17 ± 0,83 d	3,14 ± 0,81	0,008 ± 0,003
Mashua	4,61 ± 1,07 e	2,75 ± 0,70	0,010 ± 0,008
Miso	12,23 ± 2,00 c	21,70 ± 8,94	0,027 ± 0,014
Zanahoria blanca	16,22 ± 2,68 a	2,97 ± 1,05	0,006 ± 0,005
Papa	16,13 ± 1,67 a	2,13 ± 0,98	0,002 ± 0,001

Fuente: Villacrés y Espín, 1998.

¹/ En base a peso fresco de tubérculo/raíz

*Base seca

El rendimiento de almidón varía desde un valor de 4.61 % para la mashua a 16.22 % para la zanahoria blanca. Estas diferencias en la tasa de extracción, están determinadas por el contenido intrínseco de almidón en cada especie, el tamaño de tubérculo o raíz y el tamaño de los gránulos de almidón; esta última característica parece influir notablemente en el rendimiento, contribuyendo a ello los gránulos de mayor tamaño, como los de oca, que a pesar de poseer un menor contenido de almidón (42,17 % B.S), su rendimiento es mayor que para melloco, mashua y miso. La especie vegetal influye sobre la tasa de extracción de almidón, sin embargo no se encuentran diferencias significativas en el rendimiento de almidón de zanahoria blanca y papa.

El miso es una raíz abundante en almidón y mediante determinaciones por el método enzimático se obtiene un promedio de 70,01 % B.S, sin embargo no se obtiene una buena tasa de extracción, posiblemente por el menor tamaño de sus gránulos con relación al almidón de oca y la heterogeneidad en cuanto a la forma y tamaño de las raíces, ya que en las accesiones de gran tamaño y forma regular se alcanzan rendimientos de hasta un 16 %, mientras que en las accesiones de tamaño pequeño y con ojos profundos el rendimiento es sólo de un 8,51 %. Para esta especie, es necesario ensayar otros métodos de extracción a fin de mejorar el rendimiento.

La pureza del almidón extraído, se estima a partir de la determinación de fibra bruta, según el método de la A.O.A.C (1984). En el almidón de miso se encuentra el más alto contenido de fibra, como consecuencia de la mayor concentración de este componente en la raíz entera (5,8 % B.S) y de difícil eliminación durante el proceso de extracción de almidón.

Caracterización física

Apariencia microscópica y tamaño de los gránulos.

El almidón aparece al microscopio compuesto de diminutas estructuras individuales llamadas «gránulos», cuyo tamaño y forma son característicos de cada especie. Los almidones de oca y melloco poseen gránulos ovoidales, mientras que los de mashua, miso y zanahoria blanca son esféricos. Todos los gránulos muestran una hendidura denominada hilo que constituye el centro de nucleación alrededor del cual se desarrolla el gránulo (Figura 4.9). La estructura rígida de estas partículas, está formada por capas concéntricas de amilosa y amilopectina, que se encuentran radialmente distribuidas y que permanecen inalterables durante la molienda, el procesamiento y la obtención de los almidones comerciales utilizados en alimentos.

La forma de los almidones, se determina mediante observaciones en un microscopio Nikon HFX-DX, con magnificación 4x, 10x y 20x. El tamaño de gránulo se determina, a través de mediciones del diámetro del eje mayor y menor, de 50 gránulos, con un programa NIH. Una solución de yodo en yoduro de potasio al 0,1% es usada para la tinción de los gránulos.

El método se fundamenta en la propiedad de la amilosa para interactuar con el yodo, produciendo un fuerte color azul característico debido al complejo que se forma entre una molécula de este elemento con 7-8 moléculas de D-glucosa. El complejo amilosa-yodo se desarrolla aparentemente por la inclusión de una molécula de yodo en la hélice de amilosa, mecanismo por el cual también interaccionan los monoglicéridos con esta fracción del almidón.

Los gránulos del almidón de oca son de mayor tamaño que los de melloco, mashua y miso. En su forma y tamaño, son semejantes a los de papa (Cuadro 4.8).

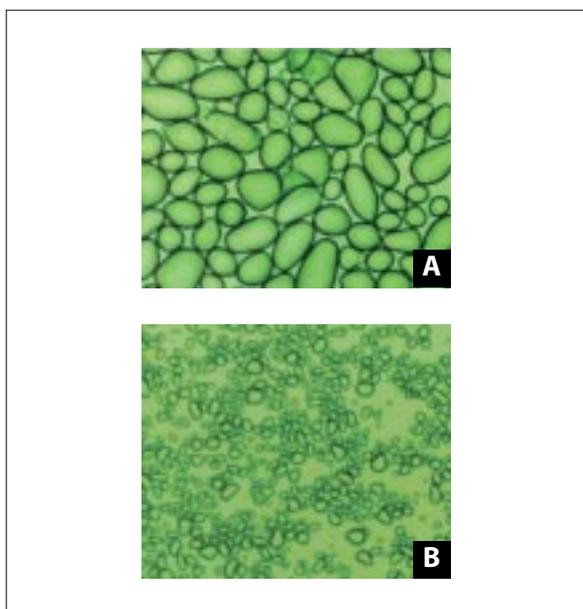


Figura 4.9. Foto-micrografía de los gránulos del almidón de oca (A) y melloco (B).

Algunas propiedades fundamentales de los almidones de estas especies, como su mayor índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua, están relacionadas con el mayor tamaño de sus gránulos. El valor de 30,94 micras para el eje longitudinal del almidón de oca, es semejante al valor encontrado por Santacruz en 1995.

Los ejes mayor y menor de los almidones de oca y papa son semejantes, mientras que en los almidones de melloco, mashua, miso y zanahoria blanca no se encuentran diferencias notables en el eje menor.

Propiedades de la pasta de almidón. Cuando una solución acuosa de almidón se calienta, sus gránulos se hinchan y producen una solución viscosa, más o menos

estable al calentamiento, y que al enfriarse puede o no producir geles de diferente grado de firmeza y estabilidad. El amilógrafo Brabender es un aparato que permite registrar los cambios de viscosidad de una suspensión de almidón, calentada lentamente con agitación, sometida a una temperatura elevada por un lapso de tiempo, y por último enfriada lentamente.

Las propiedades físicas de las muestras de almidón, son registradas en un viscoamilógrafo Brabender (OHG Duisburg, Alemania). Suspensiones de almidón al 5 %, son transferidas al recipiente del amilógrafo. Las suspensiones son calentadas de 25 a 89 °C a una tasa de 1,5 °C por minuto, se mantienen a 89 °C por 20 minutos y luego son enfriadas a una tasa de 1,5 °C por minuto, hasta 50 °C, manteniendo esta temperatura durante 20 minutos.

Las curvas características se ilustran en la Figura 4.10, de la cual se toman las cifras relativas que se presentan en el Cuadro 4.9.

Cada almidón tiene un diferente grado de cristalización y por lo tanto se hincha y gelatiniza en distintas condiciones de temperatura. La temperatura a la que se pierde la birrefringencia y se produce el máximo hinchamiento de los gránulos de almidón se llama temperatura de gelatinización. Los almidones de zanahoria blanca y oca presentan una temperatura de gelatinización de 58 °C y 60 °C respectivamente, estos valores son semejantes a los de achira y yuca, pero más bajos que los de mashua, melloco y miso, lo cual indica que los almidones de oca y zanahoria blanca necesitan menos cantidad de calor para alcanzar su gelatinización, condición en la cual los puentes de hidrógeno intermoleculares de las zonas amorfas se rompen y continúa la absorción de una mayor cantidad de agua. Igualmente, es notable la facilidad de cocción para el almidón de zanahoria blanca, si se compara con los de

Cuadro 4.8. Tamaño y forma de los gránulos de varios almidones^{1/}

Tubérculo/Raíz	Eje mayor (micras)	Eje menor (micras)	Forma
Oca	30,94 ± 2,40 a	19,13 ± 1,08 a	Ovoidal
Melloco	24,06 ± 1,86 b	16,45 ± 1,85 b	Ovoidal
Mashua	15,00 ± 1,96 c	13,07 ± 1,70 c	Esférica
Miso	13,88 ± 1,07 c	9,96 ± 1,00 d	Esférica
Zanahoria blanca	9,57 ± 1,69 d	5,86 ± 1,80 e	Esférica
Papa	30,90 ± 1,23 a	19,72 ± 1,70 a	Ovoidal

Fuente: Villacrés y Espín, 1998.

1/ Promedio de dos mediciones, en 50 gránulos.

Cuadro 4.9. Interpretación de las curvas de viscosidad Brabender para varios almidones

Almidón	Mg min	Vm U.B	Mm min	Vr U.B.	Ve U.B.	Tg °C	Facilidad cocción Mm-Mg	Inest. del gel Vm-Vr	Ind.gelif. Ve-Vr
Mashua	25.5	1060	56	1045	1290	62	30.5	15	245
Mel loco	26.0	1040	57	1030	1340	63	31.0	10	310
Miso	26.0	410	44	410	590	62	18.5	0	180
Oca	23.0	1300	39	620	770	60	16.5	680	150
Z. Blanca	20.5	1080	26	260	310	58	5.5	820	50
Achira ^{1/}	22.6	1200	39	800	850	60	17.0	260	50
Papa	3.3	1490	13	605	675	62	10	885	70
Yuca ^{2/}	6.6	410	10	280	295	60	4.4	130	15

Fuente: Villacrés y Espín, 1999.

Concentración B.S: 5 %

1/ Calentamiento: 1,5°C/minutos

2/ Lapso de calentamiento a 89 °C: 20 minutos.

Mg: Minutos en los que se alcanza la temperatura Tg.

Vm: Viscosidad máxima durante el calentamiento

Mm: Minutos en los que se alcanza la viscosidad máxima Vm

Vr: Viscosidad después de 20 min a 89 °C

Ve: Viscosidad al enfriar a 50 °C

Tg: Temperatura a la cual comienza un brusco ascenso en la viscosidad

oca, mashua, miso, mel loco y achira. Sin embargo, la facilidad de cocimiento del almidón de yuca, supera al almidón de las mencionadas especies.

Contrasta la estabilidad de los geles de miso, achira, mel loco y mashua con la inestabilidad de los de achira, yuca, oca, zanahoria blanca y papa, siendo este último el más inestable. Resalta también la tendencia a la gelificación, de los almidones de mel loco y mashua, la misma es menor para los almidones de miso, oca, zanahoria blanca, achira, papa y yuca. En esta prueba, adicionalmente se puede observar que los geles de los almidones de oca, zanahoria blanca, papa, mel loco y mashua son transparentes, mientras que el de miso es turbio, lo cual guarda relación con el tamaño de los gránulos de almidón. La Figura 4.10 muestra que el almidón de oca tiene alto poder de hinchamiento.

Cuando este almidón es cocido en agua, sus gránulos se hinchan enormemente, por ello en el amilograma se observa un pico alto, seguido por un rápido y mayor debilitamiento durante la cocción.

Los almidones de mel loco, mashua y zanahoria blanca tienen un poder de hinchamiento moderado, por lo cual el pico de la pasta es más bajo y el debilitamiento durante el enfriamiento es menor, puesto que sus gránulos no se hinchan excesivamente para alcanzar la fragilidad.

El almidón de miso tiene un poder de hinchamiento limitado, debido al menor contenido de amilosa y probablemente al mayor entrecruzamiento de sus enlaces.

Caracterización química de los almidones de RTAs

Evaluación de las fracciones amilosa y amilopectina. La estructura de las dos fracciones que contiene el almidón (amilosa y amilopectina) y la proporción variable en que se encuentran explican muchas de sus propiedades físicas y químicas. La amilosa, fracción lineal, tiene una configuración helicoidal que le permite acomodar yodo, en cambio la amilopectina, fracción ramificada, no tiene esta configuración y en consecuencia su adsorción de yodo es muy baja. En solución, la amilosa está bajo la forma de hélices. Las soluciones acuosas de amilosa no son estables, sobre todo cuando la temperatura desciende. Hay formación de geles cristalinos y precipitados. La recristalización

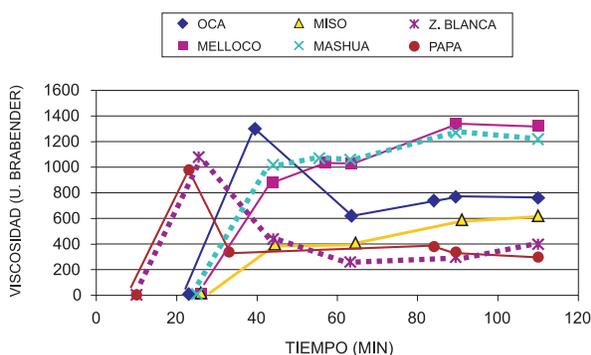


Figura 4.10. Viscosidad de varios almidones de RTAs.

Cuadro 4.10. Contenido de amilosa/amilopectina, en el almidón de RTAs

Almidón	Amilosa (%)	Amilopectina (%)
Oca	30 a	70
Meloco	26 b	74
Mashua	27 b	73
Miso	21 c	79
Zanahoria Blanca	20 c	80
Papa	28 a	72
Achira	27 ¹ b	73

Fuente: Villacrés y Espín, 1998

¹ Santacruz, 1995.

por agregación de moléculas lineales expulsa el agua absorbida por esas moléculas.

La amilo-pectina presenta un grado de cristalinidad muy inferior al de la amilosa. Durante la cocción la amilopectina absorbe mucha agua y es en gran parte, responsable de la hinchazón de los gránulos de almidón. Los gránulos ricos en amilopectina son más fáciles de disolver en el agua, que los que contienen mucha amilosa. Las moléculas de amilopectina no tienen tendencia a la recristalización y poseen un elevado poder de retención de agua. Las soluciones de amilopectina no retrogradan, sin embargo el envejecimiento del pan de trigo se atribuye a la recristalización de la amilopectina.

El contenido de amilosa de las muestras de almidón es determinado por el método colorimétrico de Samec y Mayer (1983), mencionado por Martinod y Pacheco (1974), en un espectrofotómetro UV-2201. El principio se basa en la dispersión de los gránulos de almidón con

etanol y posterior gelatinización con NaOH. A una alícuota acidificada se agrega solución de yodo para formar un complejo color azul, el cual es cuantificado espectrofotométricamente, a partir de una curva estándar.

El Cuadro 4.10, resume los resultados obtenidos para los almidones de oca, meloco, mashua y miso, en comparación con el contenido de amilosa/amilopectina del almidón de papa y achira.

El almidón de oca, presenta el valor más alto de amilosa (30 %) contenido que posiblemente influye en su comportamiento viscosográfico y en su digestibilidad. A juzgar por el contenido de este componente, se puede prever que los almidones de oca y papa, son de digestión lenta, mientras que el almidón de zanahoria blanca, con un menor contenido de amilosa, son de alta y fácil digestión. Algunas propiedades del almidón de oca, como su contenido de amilosa y su mayor poder de hinchamiento, pueden ser aprovechadas para varios procesos como la extrusión. Sin embargo, el estudio reológico podría orientar mejor su uso y explotación comercial.

Propiedades funcionales. Durante el tratamiento hidrotérmico, el almidón sufre una serie de modificaciones que afectan su estructura. El engrudo formado durante este tratamiento es una mezcla de gránulos hinchados y de macromoléculas dispersadas, lo que influye sobre la viscosidad de la suspensión de almidón. Este comportamiento específico para cada tipo de almidón, se denomina propiedad funcional. La mayor parte de las propiedades funcionales muestran su influencia sobre las características sensoriales de los alimentos, en particular la textura (Cuadro 4.11). Ellas también pueden jugar un papel importante en el

Cuadro 4.11. Propiedades funcionales de algunos almidones

Almidón	ISA	IAA	Poder de hinchamiento
Oca	0,45 ± 0,04 c	2,03 ± 0,06 a	2,11 ± 0,06 a
Meloco	0,92 ± 0,12 b	1,92 ± 0,04 b	1,90 ± 0,01 b
Mashua	0,62 ± 0,05 c	1,95 ± 0,04 ab	1,95 ± 0,02 ab
Miso	0,98 ± 0,12 a	1,82 ± 0,08 c	1,89 ± 0,06 b
Achira	0,49 ± 0,01 c	2,05 ± 0,07 a	2,40 ± 0,07 a
Zanahoria blanca	0,43 ± 0,05 c	2,47 ± 0,06 a	2,45 ± 0,09 a
Papa	0,51 ± 0,11 c	1,92 ± 0,06 b	2,02 ± 0,15 ab

Fuente Villacrés y Espín, 1998.

ISA: Índice de solubilidad en agua

IAA: Índice de absorción de agua

comportamiento de los alimentos o de los ingredientes alimenticios durante su transformación o su almacenamiento.

El índice de absorción de agua (IAA), el índice de solubilidad en agua (ISA) y el poder de hinchamiento, son determinados por gravimetría, a partir de 2,5 g de muestra y según los métodos descritos por Medcalf y Giles (1965), citado por Anderson *et al.*, (1969).

Se encuentran diferencias significativas en las propiedades funcionales de los almidones provenientes de las diferentes especies. En general los almidones de oca, melloco, mashua, achira, papa y zanahoria blanca presentan geles con un menor índice de solubilidad (ISA), mayor índice de absorción de agua (IAA) y poder de hinchamiento que el almidón de miso. La cantidad de agua absorbida por los almidones varía entre las diferentes especies, desde 72,8 a 98,8 g de agua por 100 g de almidón.

Los almidones de oca, papa, achira y zanahoria blanca exhiben un mejor poder de hinchamiento que los almidones de melloco, mashua y miso, lo cual concuerda con las medidas de viscosidad Brabender, obtenida para las mencionadas especies.

Estabilidad al almacenamiento en congelación.

Cuando una pasta de almidón se somete a sucesivos ciclos de congelación y descongelación, la estructura del sistema cambia. Ello es el resultado de la redistribución y dilución de la pasta de almidón, por el crecimiento y la disolución de los cristales de hielo. El agua retenida por la amilopeptina es expelida de las asociaciones inter e intramoleculares. Esto da como resultado una separación de fases: la una rica en almidón (pasta) y la otra deficiente en él (parte líquida) (Morales, 1969).

Para la determinación se prepara suspensiones de almidón al 2 %, las que se gelatinizan en un baño a ebullición durante 10 minutos, posteriormente las muestras se congelan a -37 °C y después de tres días se descongelan en un baño a 30 °C durante una hora, se centrifugan por 10 minutos y se pesa la cantidad de agua separada del gel. El porcentaje de sinéresis se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{Sinéresis} = (\text{Peso de agua} / \text{Peso de muestra}) \times 100$$

En la Figura 4.11, se observa que los geles de melloco, mashua y miso son inestables, ya que presentan un alto valor de sinéresis desde el primer ciclo (3 días). La cantidad de agua separada de los geles de oca y zanahoria blanca es menor que la de los otros

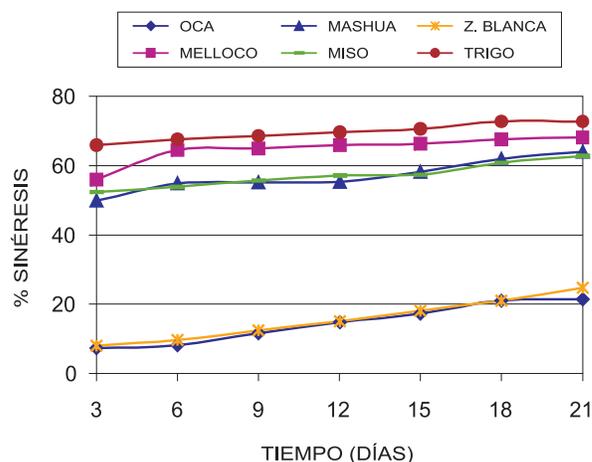


Figura 4.11. Sinéresis de varios almidones de RTAs.

almidones. Los geles de oca y zanahoria blanca alcanzan valores de sinéresis y se tornan débiles en el cuarto ciclo (12 días de almacenamiento en congelación).

En las pruebas preliminares de estabilidad, a temperatura ambiente, se observó que los almidones gelatinizados de melloco, mashua y miso, se debilitan y empiezan a perder viscosidad al cuarto día de almacenamiento, debido a que las cadenas lineales se orientan paralelamente e interaccionan con ellas por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos. En este período, el almidón gelatinizado de oca, mantiene algunas de sus características iniciales, posiblemente debido a su contenido de amilopeptina, cuya retrodegradación es impedida por las ramificaciones que dificultan la formación de puentes de hidrógenos entre moléculas paralelas.

Digestibilidad del almidón de varias RTAs

Los polisacáridos como el almidón deben ser descompuestos en unidades más pequeñas, para poder participar en transformaciones metabólicas. Se conoce una serie de enzimas capaces de catalizar la hidrólisis del almidón, así como otras capaces de catalizar su biosíntesis. En general, la acción de las hidrolasas sobre el gránulo de almidón íntegro es extremadamente lenta. Sin embargo, la amilólisis del grano entero es muy importante en la naturaleza, dado que representa los mecanismos existentes *in vivo* en los vegetales para la liberación del carbohidrato metabolizable a partir del polisacárido de almacenamiento.

Las hidrolasas que rompen la unión α -(1→4) del almidón reciben el nombre genérico de amilasas. Estas son de dos tipos: las α -amilasas y las β -amilasas. Las primeras se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza. Son las enzimas que permiten la digestión

de los almidones por la saliva y en el jugo pancreático de los animales. También existen en los vegetales y en los microorganismos. Su pH óptimo se encuentra en el intervalo de 5 a 6. Cuando la α -amilasa actúa sobre un sol de amilosa, se observa una rápida disminución de la viscosidad, con escaso incremento de la concentración de grupos reductores. La α -amilasa es entonces una endoamilasa que ataca a los polisacáridos en las uniones glucosídicas a lo largo de la cadena. Por tanto, los primeros productos de la hidrólisis de la amilosa por la α -amilasa son una mezcla de amilasas de cadena más corta. A medida que avanza la hidrólisis, la α -amilasa libera maltosa y algo de D-glucosa. La α -amilólisis de cadenas largas es un proceso al azar, aunque puede existir cierta preferencia en cuanto al lugar de ataque cuando el sustrato contiene cadenas más cortas. Cuando se somete la amilosa a la acción prolongada de la α -amilasa, la mayor parte de ella se transforma en glucosa y maltosa y sólo una pequeña proporción queda como una mezcla de polisacáridos de cadena corta que no sufren una posterior hidrólisis. Esta mezcla recibe el nombre de *dextrina límite α de la amilosa*. La incapacidad de la α -amilasa para hidrolizar este tipo de dextrina límite se explica por presencia de "barreras" a la α -amilólisis en la amilosa, tales como las ramificaciones, residuos de hexosas oxidadas o uniones que no sean α -(1 \rightarrow 4).

La α -amilasa hidroliza la amilopeptina a partir de las cadenas exteriores, pero también rompe las uniones α -(1 \rightarrow 4) entre los puntos de ramificación. La acción se detiene, sin embargo, unas pocas unidades antes de alcanzar un punto de ramificación. Resulta así que los productos de la α -amilólisis de la amilopeptina son glucosa, maltosa y oligosacáridos que contienen cinco o más monómeros.

Los porcentajes de almidón digerible y la biodisponibilidad del componente varían de una especie a otra, siendo necesaria su evaluación para optimizar su aprovechamiento.

Grado y velocidad de hidrólisis del almidón nativo

Para esta determinación, una muestra de 500 mg de almidón es suspendida en 50 ml de buffer-amilasa e incubada a 37 °C con α -amilasa pancreática (27 mg/ml). Se toman muestras a los 0,5, 15,30 y 60 minutos de incubación y se analizan azúcares reductores por el método del ácido dinitrosalicílico (DNS). El grado de hidrólisis se expresa como el porcentaje de almidón hidrolizado por la enzima con relación al almidón total.

En la Figura 4.12, se presenta la hidrólisis enzimática progresiva de los diferentes almidones nativos, con

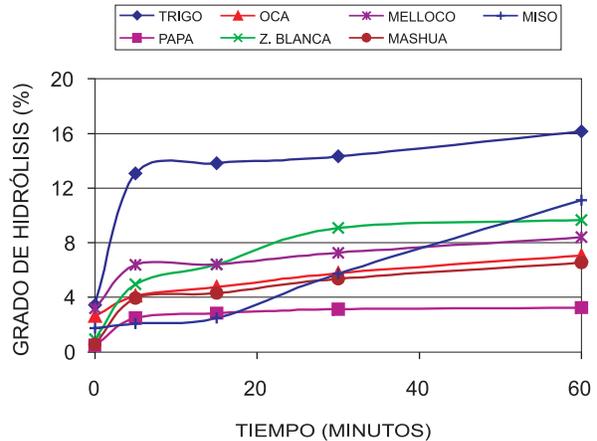


Figura 4.12. Hidrólisis del almidón nativo de RTAs.

α -amilasa a 37 °C. A través de su acción hidrolítica se alcanzan los siguientes grados de hidrólisis: 16,16; 16,16; 3,26; 7,05; 9,64; 8,40; 6,54 y 11,13 % para los almidones de trigo, papa, oca, zanahoria blanca, melloco, mashua y miso, respectivamente. A partir de la cantidad de azúcares liberados, se puede establecer que en un corto tiempo de hidrólisis, la amilasa probablemente alcanza a romper pocos enlaces glucosídicos α -(1 \rightarrow 4), lo cual se traduce en un bajo grado de hidrólisis, mientras que a los 60 minutos de reacción, el efecto de la enzima permite la ruptura de un mayor número de enlaces, alcanzando grados de hidrólisis de hasta 11,13% para el almidón de miso.

El gránulo de almidón nativo, de las diferentes especies vegetales, bajo las condiciones ensayadas, se muestra resistente al ataque de la α -amilasa. Este efecto es mayor para los almidones de tubérculos, especialmente papa, que para aquel de raíces como zanahoria blanca y miso. En general uno de los factores que condiciona la digestibilidad del almidón es la naturaleza misma del polisacárido. Lii (1988), indica que dependiendo del patrón de difracción de rayos X, los almidones pueden ser de tipo A, B y C. Los cereales son de patrón tipo A, por ello el almidón de trigo muestra una mayor susceptibilidad a la degradación enzimática aún en estado crudo, logrando un grado de hidrólisis de 16,16 % a los 60 minutos de reacción. Los almidones de tubérculos como el de papa, tienen un patrón de difracción tipo B y son resistentes al ataque enzimático, en este tipo de polisacáridos, por más tiempo que se permita que la enzima actúe, el incremento en los productos de digestión es mínimo, para el almidón de papa, apenas 3,26 % de hidrólisis a los 60 minutos de reacción con α -amilasa. Por este hecho, Maynard (1989), sugiere cocer los tubérculos, antes de su utilización, inclusive como alimentos de cerdos y aves.

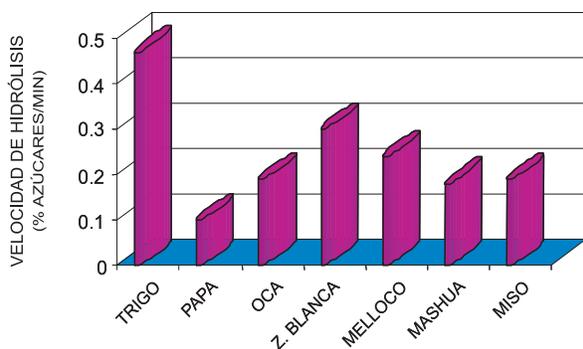


Figura 4.13. Velocidad inicial de hidrólisis del almidón nativo de RTAs.

La velocidad inicial de hidrólisis determinada a los 30 minutos de reacción con α -amilasa (Figura 4.13), es mayor para el almidón de trigo (0,47 %/min.) que para aquel de raíces y tubérculos. La estructura compacta de estos últimos y las complejas interacciones con diversos aniones y cationes, pueden influir en este comportamiento. A través de la α -amilasa maltogénica y la β -amilasa se escinden los enlaces glucosídicos α -1,4. La presencia de enlaces α -1,6, en los puntos de ramificación de los almidones de todas las fuentes, dificulta la producción de jarabes con alto contenido de glucosa y maltosa.

Los almidones de los tubérculos y raíces no son degradados eficientemente *in vitro* como los almidones de cereales, específicamente trigo. Sin embargo, aunque en esta condición se observa una susceptibilidad limitada a la digestión por enzimas amilolíticas, esta es solo una aproximación de lo que realmente ocurre *in vivo*, donde no parece haber mayor problema, según experimentos realizados por Fleming (1979), con leguminosas, y citados por Lii *et al.*, (1988).

Grado y velocidad de hidrólisis del almidón gelatinizado

El almidón es la mayor fuente de energía de nuestra dieta, pero además de ser un nutriente importante, puede ser hidrolizado para producir jarabes y sólidos que contienen glucosa, maltosa y oligosacáridos. El grado de hidrólisis puede ser controlado para obtener productos con determinadas propiedades físicas.

El cocimiento con calor húmedo, produce la ruptura de los gránulos de almidón y un cambio irreversible en la estructura cristalina de la molécula (gelatinización), de este modo se facilita el ataque enzimático. Una muestra de 250 mg es digerida con Termamyl a ebullición por 20 minutos y a una alícuota de la misma se añade buffer acetato de sodio y amilo-glucosidasa, se incubaba el

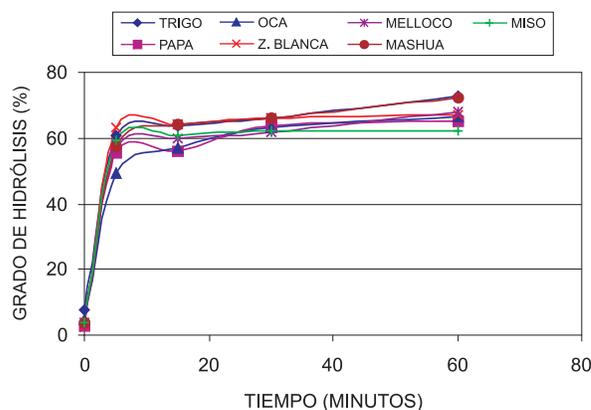


Figura 4.14. Hidrólisis del almidón gelatinizado de RTAs.

conjunto a 60 °C por 30 minutos. Después de este tiempo, 1 ml de la solución es incubado con GLOX a 37 °C por 60 minutos. Se determina la glucosa liberada.

La Figura 4.14, muestra que bajo condiciones de gelatinización el almidón es altamente susceptible al ataque hidrolítico, alcanzándose valores de hasta 72% a los 60 minutos de reacción en el caso de mashua, y 62 % de hidrólisis para el almidón de miso.

La hidrólisis enzimática del almidón gelatinizado transcurre a una mayor velocidad con respecto a los almidones nativos (Figura 4.15), esto explica la necesidad del cocido de los alimentos ricos en almidón, a fin de aumentar su digestibilidad hasta llegar a los valores señalados en el Cuadro 4.12, los mismos que se obtienen a través de un tratamiento que tiende a lograr la hidrólisis completa del almidón, mediante el uso de enzimas amilolíticas específicas como la Termamyl que en presencia de calor produce primero una hidrólisis parcial del material gelatinizado, posteriormente la amiloglucosidasa desramifica estas cadenas de almidón

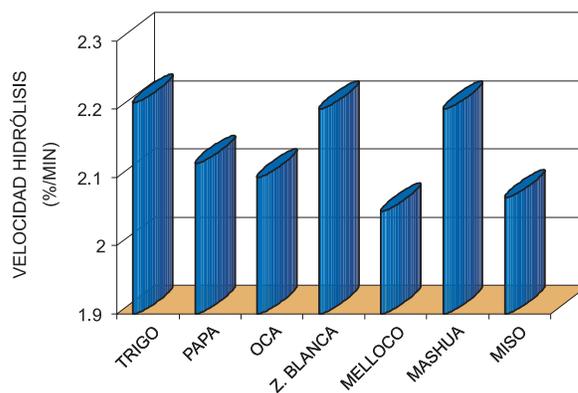


Figura 4.15. Velocidad de hidrólisis del almidón gelatinizado de RTAs.

Cuadro 4.12. Contenido de almidón digerible de varias RTAs*

Especie	Almidón digerible (%)
Trigo	97
Papa	82
Oca	88
Zanahoria blanca	86
Mellico	83
Mashua	85
Trigo	88

Fuente: Villacrés y Espín, 1998

* Promedio de dos determinaciones

y las transforma en glucosa, aunque puede existir cierta preferencia en cuanto al lugar de ataque, cuando el sustrato contiene cadenas más cortas.

Con la aplicación del método enzimático, se determina el contenido de almidón disponible de varias muestras. En el trigo se encuentra que el 97 % del almidón es digerible, es decir que una fracción de 3 %, se resiste al ataque enzimático y no puede ser absorbido a nivel del tracto gastrointestinal. Esta fracción resistente es mayor para el almidón de las raíces y tubérculos, obteniéndose valores de hasta 18 % en el caso de la papa.

El bajo contenido de almidón digerible, en especies como la papa y el mellico, con respecto al almidón de trigo, se puede aprovechar para lograr bajas respuestas glicémicas en los individuos. Mientras que los almidones de zanahoria blanca, oca y miso con un mayor coeficiente de digestibilidad son útiles para conseguir un mejor aprovechamiento del polisacárido en dietas de niños y ancianos.

Extracción y caracterización del mucílago del Mellico

Uno de los componentes del mellico que limita su consumo es la presencia del mucílago o "baba" en el interior del tubérculo. Este componente constituye un polisacárido, esto es un hidrato de carbono compuesto, asimilable y aprovechable por el ser humano y otras especies animales. La presencia del mucílago en el mellico le atribuye características benéficas para el tratamiento de problemas gástricos similar al efecto de otros vegetales mucilaginosos como la sábila o la linaza, presentando además interesantes características y opciones aplicables a la industria como se detalla a continuación. Los posibles efectos beneficiosos en el campo alimenticio y medicinal, impulsaron el estudio de este polisacárido con la finalidad de agregar un valor adicional a las características descritas para el mellico.

Los mucílagos son polisacáridos solubles en agua pero no todos contienen ácidos urónicos, se encuentran en un amplio número de plantas y también en algunos microorganismos. Los mucílagos vegetales no son productos patológicos, ni son el resultado de un estímulo natural o artificial. No se presentan en la superficie de la planta en forma de exudados, sino que son sustancias producidas en el curso normal del crecimiento. Pueden presentarse en casi cualquier parte de la planta, como la corteza, los tegumentos o los tejidos interiores de los tubérculos o semillas.

Extracción del mucílago

El flujograma para la extracción de este polisacárido se presenta en la Figura 4.16. El rebanado es una operación importante que contribuye a liberar el polisacárido contenido en los tejidos interiores del tubérculo, sin una extracción significativa del almidón, cuyos residuos fueron eliminados por centrifugación. El rendimiento promedio fue de 6 %, valor inferior al contenido de

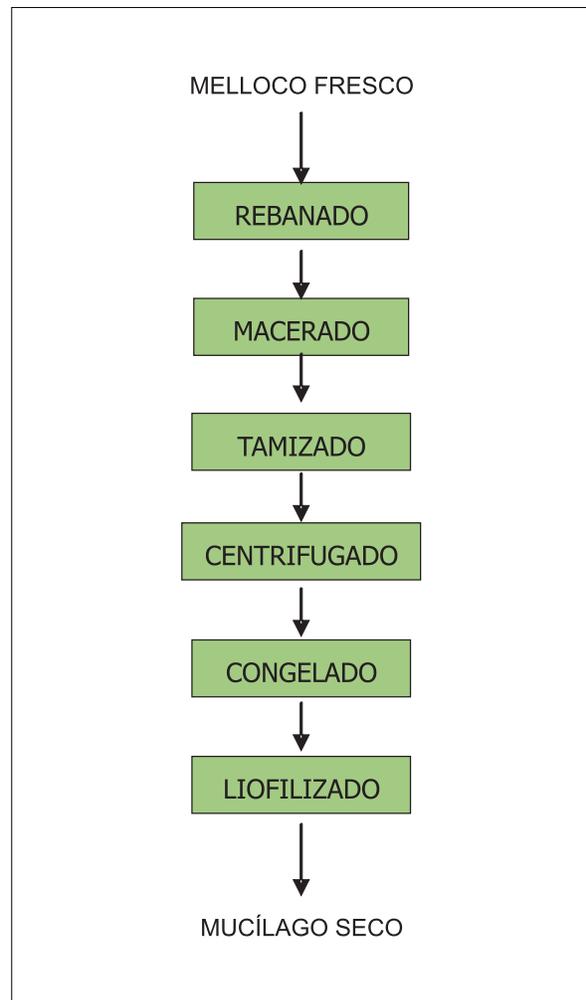


Figura 4.16. Flujograma para la extracción de mucílago del mellico.

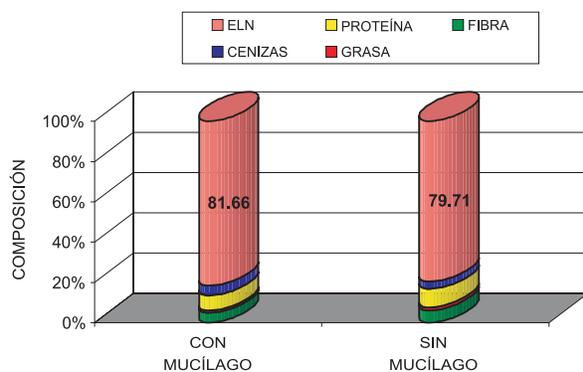


Figura 4.17. Composición proximal (% Base seca) del melloco con y sin mucílago.

mucílago en la semilla de membrillo (8-20 %) y reportado por Anderson *et al.*, (1969).

Composición proximal del melloco con y sin mucílago

Con el fin de determinar el efecto de la extracción de mucílago sobre el valor nutritivo de las rodajas, se realizó un análisis proximal antes y después del proceso. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 4.17.

La Figura 4.17 sugiere que el proceso de extracción del mucílago, no afecta significativamente al contenido de la proteína, la grasa y la fibra, los que aparecen en similar proporción en las rodajas sin mucílago por un efecto de concentración de componentes a expensas de la remoción de otros. La ceniza y el extracto libre de nitrógeno se presentaron en menor cantidad en las rodajas sin mucílago, posiblemente porque algunos de los componentes del polisacárido son extraídos en forma acuosa. Los resultados muestran que las rodajas de melloco luego del proceso de extracción del mucílago, constituyen un alimento nutritivo y apto para el consumo humano.

Contenido de azúcares reductores

Según el método del ácido pícrico, se obtuvo una concentración de azúcares reductores igual a 6,96 % para melloco con mucílago y 3,10% para el melloco sin mucílago, estableciéndose que los componentes mayoritarios del mucílago son los azúcares, ya que después del proceso de extracción, su contenido en el producto residual se reduce sustancialmente.

Contenido de macroelementos

En el mucílago aislado se determinó el contenido de calcio, magnesio, sodio, potasio y fósforo, por

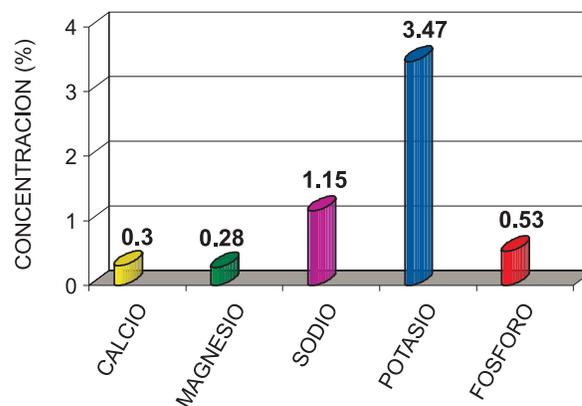


Figura 4.18. Contenido de macroelementos (%) en el mucílago del melloco.

espectrofotometría de absorción atómica, obteniéndose los resultados que se muestran en la Figura 4.18.

Para la purificación del polisacárido es de interés conocer el contenido de macroelementos, ya que en el proceso se altera la distribución iónica y la concentración de iones divalentes se incrementa. La retención de estos iones podría indicar un enlace por los grupos ácidos del polisacárido.

Reacciones de floculación de la solución mucilaginosas

Tres mililitros de una solución acuosa del mucílago fueron mezcladas por 10 minutos con 3 ml de solución precipitante, con el fin de observar la formación de flóculos. Se obtiene reacción positiva (formación de precipitado) con los siguientes reactivos:

- Solución de tanino al 2 %: Flóculos de color gris
- Licor de Fehling: Formación de un precipitado rojizo
- Acetato básico de plomo: Precipitado blanco

La reacción positiva con el tanino y el acetato básico de plomo, sugiere en el mucílago la presencia de estructuras semejantes a la goma de tragacanto. El mucílago no precipita en presencia de etanol al 89 %, pero si lo hace en alcohol isopropílico acidulado (90 ml de alcohol: 10 ml de HCl 12 M). Aparte, todos los monosacáridos con un grupo carbonilo potencialmente libre, son capaces de reducir la solución de Fehling y en consecuencia ésta se utiliza como reactivo cualitativo y cuantitativo para estos azúcares. Los productos de la oxidación selectiva del grupo carbinol reciben el nombre de ácidos urónicos, elementos de construcción de muchos derivados de polisacáridos. El ácido poligalacturónico es la unidad básica de construcción de las sustancias pécticas.

Grado de esterificación y presencia de ácido anhidrogalacturónico

Aplicando el método de Tuerena *et al.*, (1983), citado por Braverman (1986), a partir de una solución acuosa de mucílago (0,3 %) y usando como estándar de comparación ácido galacturónico puro, se determinó un grado de esterificación (GE) igual a 45,1 % y un contenido de ácido anhidrogalacturónico (GA) igual a 5,88 %. Para el estándar de comparación estos valores fueron: 63,54 % y 100 %, respectivamente. Estos resultados permiten suponer que el mucílago del melloco es de tipo ácido, con propiedades comparables a las sustancias pécticas.

El ácido poligalacturónico es el componente principal de la pectina. Esta varía en sus propiedades gelificantes debido a las diferentes longitudes de las cadenas de ácido poligalacturónico y al distinto grado de esterificación de su carboxilo con el metanol. Las pectinas naturales contienen entre 9,5 y 11,0 % de grupos metoxilo, y con un grado de esterificación igual al 8 % se obtienen ácidos pectínicos adecuados para la preparación de gelatinas.

Viscosidad dinámica

Una de las medidas más importantes para juzgar la calidad de una goma o mucílago es su viscosidad. Su alto peso molecular y su afinidad por el agua, constituyen la base para la propiedad más importante de las gomas y/o mucílagos, tal es la de formar soluciones muy viscosas o geles firmes aún a baja concentraciones.

Se determinó la viscosidad dinámica de una solución de mucílago al 5 %, a 20 °C en un viscosímetro Brookfield Engineering, MA 02072 con eje ULV Adapter. Estableciéndose un valor de 21,2 ctp. para la solución de mucílago, mientras que para una solución acuosa de goma arábica al 20 % se determinó una viscosidad de 5,5 ctp. El mucílago liofilizado absorbió agua y se dilató en soluciones frías sin necesidad de calentamiento para completar su hidratación. Estos resultados muestran la utilidad potencial que podría tener el polisacárido del melloco como agente gelificante en la preparación de jaleas, gelatinas, mermeladas y conservas. Esta propiedad puede aprovecharse además en los preparados de frutas naturales, para aumentar la estabilidad a la turbidez, la viscosidad de los productos a base de tomate y en la preparación de mezclas estables de leche y jugo de fruta. Por su fuerte carácter hidrofílico resultaría un excelente aditivo para salsas, mezclas para cremas heladas y productos de panadería.

Capacidad emulsificante y espumante

Otra propiedad importante de los mucílagos, además de su capacidad para formar geles es su poder emulsificante. La determinación de estas propiedades funcionales, se realizó por el método de Chau *et al.*, (1977).

Una solución de mucílago al 2 % absorbió 90 ml de aceite para dar una emulsión estable por ocho horas. Esta característica podría aprovecharse en la preparación de mayonesas, helados y también con aceite esenciales para la confección de saborizantes.

En cuanto a la capacidad espumante, a partir de 50 ml de una solución de mucílago al 2 %, se obtuvo después del batido, un volumen total de 70 ml, determinándose un volumen de espuma de 20 ml. Después de 24 horas el volumen residual de espuma fue de 15 ml, lo cual muestra la alta estabilidad de la espuma formada con una baja concentración de mucílago. En contraste, una solución de goma arábica al 10 % proporcionó un volumen de espuma de 27 ml, el cual disminuyó a 16 ml al cabo de cuatro horas de reposo.

Aspectos nutricionales, toxicológicos y otras aplicaciones

Los mucílagos al igual que las gomas son prácticamente indigeribles y por tanto son fisiológicamente inertes e inoocuos para el consumo humano. Estas propiedades determinan que los mencionados polisacáridos se empleen en medicina como laxante intestinal, cuya función es aumentar el volumen de las heces producidas y reducir los problemas de estreñimiento, además puede ser útil para el tratamiento de heridas y en transfusiones para aumentar el volumen sanguíneo. Sin embargo, los mucílagos solubles a pH básico pueden afectar la absorción de nutrientes a nivel intestinal más que a nivel de estómago. Igualmente se ha descubierto que ciertas carrageninas (espesantes) modificadas pueden causar graves lesiones en las paredes intestinales de los animales en experimentación (Braverman, 1986).

El mucílago también podría usarse en prescripciones para facilitar la suspensión de medicamentos insolubles y para impedir la precipitación de metales pesados de sus soluciones, por la formación de suspensiones coloidales.

Otras aplicaciones del mucílago son en el campo farmacéutico para la preparación de jaleas curativas y

para hacer preparados demulcentes y emulsiones. En cosmética es apropiado para usarlo como ingrediente de lociones para las manos, fijadores para el cabello y otros. Como remedio casero se lo aplica en forma de cataplasmas sobre las parte inflamadas.

Los resultados obtenidos, permiten afirmar que el mucílago es un coloide hidrófilo, fácilmente extractable con agua e insoluble en alcohol, con capacidad para formar geles, emulsiones y espumas, propiedades de interés en el campo alimenticio, farmacéutico y medicinal, lo que amerita un estudio profundo de su composición y estructura, comportamiento reológico, toxicidad, propiedades curativas y anti inflamatorias. El empleo práctico del polisacárido dependerá de estos descubrimientos.

Caracterización del potencial fitoquímico de las RTAs

En las dos últimas décadas la búsqueda de nuevos fármacos conocida como prospección química, involucra tanto botánicos, químicos, médicos y curanderos en las investigaciones colaborativas con la industria, gobierno y universidades, para documentar plantas e identificar nuevas fuentes de principios activos terapéuticos.

Entre las numerosas plantas alimenticias de origen andino hay varios grupos que han sido poco estudiados a pesar de su importancia local, especialmente entre las poblaciones autóctonas; su área de distribución se va reduciendo porque son substituidos por cultivos introducidos o porque las poblaciones autóctonas van desapareciendo. Dentro de esta categoría constan ciertos tubérculos y raíces de las zonas alto andinas, que a más del papel que juegan en la alimentación y en la economía, su principal importancia radica en el hecho de ser parte de la gran diversidad genética de los recursos naturales del Ecuador.

Neira (2000), señala que es importante volver a la naturaleza como fuente de curación, usar plantas medicinales porque la naturaleza en su sabiduría, creó las plantas para la alimentación y curación de los seres humanos, después el hombre extrajo de esas plantas químicos específicos con que se elabora los medicamentos.

Es posible que los grupos indígenas que viven o han vivido en ecosistemas con alta diversidad de especies de plantas, tengan mucho conocimiento sobre el uso de estas. Sin embargo, no se debe descartar que el conocimiento se limite únicamente a saber el número de especies y no necesariamente las especies "más útiles" en términos de sus propiedades medicinales, alimenticias y estructurales.

En la búsqueda de alternativas para encontrar posibles usos a las RTAs, considerando que los productos naturales de origen vegetal son recursos renovables de múltiples usos para el hombre, Altamirano y Espín (1995), identificaron mediante una caracterización fitoquímica cualitativa, los principales metabolitos secundarios presentes en estas especies, las mismas que pueden constituirse en fuentes potenciales de posibles y nuevos principios activos con aplicación en diferentes áreas como la agricultura, nutrición e industrias de alimentos y farmacéutica.

Se evaluó la presencia cualitativa de terpenoides, esteroides, compuestos fenólicos y alcaloides en 10 materiales promisorios de jícama, 9 de mashua, 8 de achira, 8 de miso, 10 de melloco, 10 de oca y 10 de zanahoria blanca.

Se aplicó la marcha fitoquímica propuesta por Olga Lock de Ugaz (1988) donde se realizan una serie de extracciones sucesivas utilizando solventes apropiados, aplicando en las diferentes fracciones pruebas específicas de coloración y otras reacciones para identificar la presencia de los diferentes grupos fotoquímicos, según se muestra en la Figura 4.19 y Cuadro 4.13.

Principales grupos fitoquímicos identificados en las RTAs

Terpenos y esteroides

Dentro de este grupo se identificó la presencia de saponinas, lactonas, triiterpenos, esteroides y compuestos cardenólidos.

Las saponinas que son glicósidos de los triterpenos y esteroides se encuentran en todas las especies de RTAs estudiadas; se ha detectado en mashua y miso presencia ligeramente mayor que en jícama y achira; sin embargo no constituyen fuentes ricas de saponinas triterpenoidales como sucede con la quinua, alfalfa, soya, entre otras. Se detectó presencia abundante de saponinas en las líneas promisorias blancas y amarillas de oca y zanahoria blanca, mientras que para melloco son las accesiones de color rojo las que muestran este resultado.

Las lactonas son escasa en todas las especies de RTAs estudiadas con excepción de la achira, en la cual se detectó presencia abundante de este grupo fitoquímico en las fracciones propuestas A y B con una reacción positiva muy clara; sin embargo, no se identificó glicósidos cardiotónicos, cuya estructura posee una γ -lactona. Estos resultados dieron la pauta para investigar

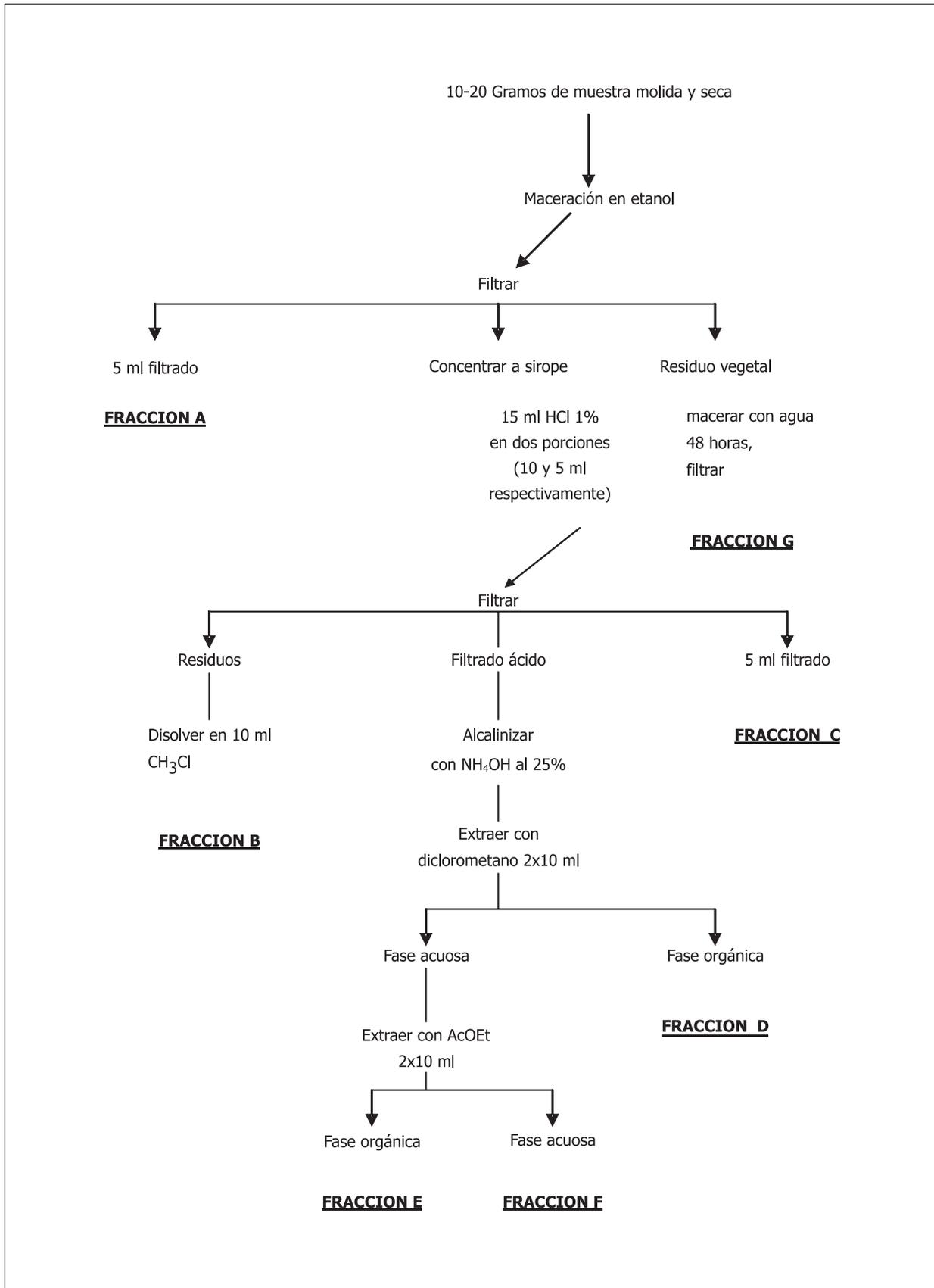


Figura 4.19. Esquema de la marcha fotoquímica aplicada para la identificación de los principales grupos fitoquímicos en RTAs.

Cuadro 4.13. Pruebas específicas aplicadas para identificar grupos fitoquímicos en RTAs

Grupos fitoquímicos	Prueba	Fracción	Reacción positiva
Saponinas	Espuma	A, G	Formación de espuma y su permanencia por dos minutos mínimo
Fenoles y Taninos	FeCl ₃	A, G	Coloración
	Gelatina-sal	A, G	Precipitado
Lactonas	Baljet	A, B	Coloración rojo naranja
Alcaloides	Wagner	C, D, E, F	Precipitado marrón
	Mayer		Precipitado blanco o crema
	Dragendorff		Precipitado rojo o naranja
Flavonoides	Shinoda	C, D, E, F, G	Formación de espuma o coloración en tonos rojos
Triterpenos y esteroides	Lieberman-Burchard	B	Coloración violeta, verde
Quinonas	Borntrager	B, C, D, E	Formación de un anillo en la interfase
Cardenólidos	Kedde	D, E	Coloración púrpura o violeta
Leucoantocianinas	Rosemheim	C, D, E, F, G	Coloración rojo-violeta

la presencia de sesquiterpelactonas, un grupo fitoquímico de gran importancia por la variada acción biológica, citotóxica, antitumoral, analgésica, inhibidores del crecimiento de bacterias que han demostrado encontrando resultados positivos, lo que indica presencia de este grupo en achira.

El mismo tamizaje fitoquímico se realizó en jícama ya que, según referencias bibliográficas, el género *Smilax* se caracteriza por la presencia de sesquiterpelactonas, los resultados encontrados fueron también positivos.

La presencia abundante de triterpenos y esteroides, detectados en las 9 líneas promisorias de mashua estudiadas, involucra la posible existencia de esteroides, esteroalcaloides, di y tri terpenos y saponinas. Un ensayo preliminar propuesto por Griffing y colaboradores citado por Domínguez (1986), aplicado a las muestras estudiadas, dio positiva la presencia de esteroides.

Cinco líneas promisorias de miso, mostraron presencia abundante de triterpenos y esteroides, mientras que en jícama y oca reacciones positivas fueron para las líneas promisorias con pulpa amarilla, posiblemente influye en esta respuesta la presencia de el b-caroteno precursor de la vitamina A, considerado entre los terpenos más importantes y que confiere una pigmentación amarilla brillante a los vegetales.

Compuestos fenólicos

Se identificó la presencia de fenoles y taninos, flavonoides, quinonas y leucoantocianinas.

Casi todos los compuestos fenólicos encontrados en la naturaleza poseen alguna actividad biológica o farmacológica. El rol que cumplen los compuestos fenólicos en la planta es amplio, son precursores de compuestos más complejos o intervienen en procesos de regulación y control del crecimiento de la planta a más de su importante papel ecológico, pues sirve de defensa del vegetal. En general, los compuestos fenólicos son desinfectantes, antisépticos urinarios y diuréticos, razón por la cual la medicina tradicional ha hecho uso de las RTAs para aliviar algunas enfermedades, así, los tubérculos cocidos y fermentados de la mashua son utilizados por sus propiedades diuréticas y solo cocidos en el tratamiento de las enfermedades del hígado y los riñones. Se utiliza emplastos de oca y melloco, para combatir enfermedades inflamatorias, mientras que la zanahoria blanca cocida y amasada ejerce efectos diuréticos y estimulantes.

Este importante grupo fitoquímico ha sido detectado en la mayoría de las líneas promisorias de jícama, mashua y melloco, particularmente los de color rojo, en las cuales su presencia es abundante, mientras que en achira y miso su presencia fue escasa o nula.

Mediante reacciones específicas de coloración, se detectó la presencia en mashua y miso de flavonas, de acción farmacológica más potente que las flavanonas en la prevención de cataratas en diabéticos. Dentro de los flavonoides menores se detectó las leucoantocianinas, constituyentes de la mayor parte de los pigmentos rojos, azules y púrpuras; están presentes en los tubérculos de mashua cuya coloración

de corteza es amarillo con violeta y amarillo con rojo, mientras que en miso, jícama y achira su presencia es nula.

Dentro del grupo correspondiente a los compuestos fenólicos, la presencia de flavonoides es abundante en oca, melloco y zanahoria blanca. Estos compuestos poseen actividad sobre el metabolismo de las paredes de los vasos sanguíneos causando resistencia capilar, previenen o retardan la formación de cataratas en diabéticos, siendo su principal área terapéutica la diabetes hemorrágica, hipertensión y arteroesclerosis. La segunda importante acción terapéutica de los flavonoides es su habilidad para neutralizar edemas.

No se identificó quinonas y se determinó que el contenido de leucoantocianinas es importante en zanahoria blanca pulpa morada, oca de corteza amarilla y melloco de color rojo.

Alcaloides

Dentro del tercer grupo analizado, todas las muestras de RTAs presentaron ausencia de alcaloides en todas las fracciones analizadas dentro de la marcha fitoquímica, sometidas a reacciones específicas de coloración y precipitación con los reactivos de Mayer, Wagner y Dragendorff.

Lecciones Aprendidas

- El tema de la biodiversidad en RTAs es importante en la actualidad no solo por las cualidades que presentan sino por su valor de opción, es decir por las futuras demandas que pueden ofrecerse en base a la tendencia de buscar materiales nativos para desarrollar productos naturales de amplia demanda en el mercado. El valor nutritivo de las RTAs constituye un complemento muy apreciado en la dieta andina. Estas muestran una gran diversidad de otras características deseables como es su valor nutricional, alto contenido de carbohidratos e importantes propiedades medicinales. De ahí la importancia de haber impulsado estudios orientados a la caracterización física, química, nutricional y funcional de estas especies para orientar sus posibles usos y aplicaciones.
- Las investigaciones han generado conocimiento sobre las propiedades básicas del almidón y su ventaja comparativa para ciertos usos, lo cual ya no es una limitante para su expansión comercial, y se puede confirmar como fuentes amiláceas que pueden sustituir parcial o totalmente a las materias primas tradicionales (maíz y trigo).

- También las investigaciones sobre las RTAs han demostrado que son fuente importante de carbohidratos, ya que representan el 81% de la materia seca. Están constituidos principalmente por almidones de alta digestibilidad y azúcares. Por ejemplo, en la jícama los azúcares constitutivos son ricos en oligosacáridos de bajo grado de polimerización, considerados en la categoría de alimentos no digeribles, por tanto un ingrediente funcional atractivo.
- Conforme a las características nutritivas de las RTAs estudiadas, es factible utilizarlas en dietas de animales de interés económico. En rumiantes por ejemplo, pueden complementar la dieta de los animales en pastoreo y cubrir los requerimientos de mantenimiento. Sin embargo, por el alto contenido de agua y bajo contenido de proteína y fibra cruda no sería factible utilizarlos como sustituto del pasto.
- Se identificaron los principales metabolitos secundarios presentes en las RTAs, las mismas que pueden constituirse en fuentes potenciales de posibles y nuevos principios activos con aplicación en diferentes áreas como la agricultura, nutrición e industrias de alimentos y farmacéutica.

Agradecimientos

Las autoras presentan sus agradecimientos al Dr. Toni Rihs de la Estación Federal de Investigaciones Sobre Producción Animal Posieux, Suiza y Dr. Marc Treboux, del Laboratorio Cantonal de Neuchâtel, Suiza, por su apoyo desinteresado en el aseguramiento de resultados y envío de bibliografía de soporte.

Al Centro Internacional de la Papa, Universidad Central del Ecuador en las personas del Dr. Michel Hermann, Dras. Ximena Chiriboga, Jimena Altamirano y Tania Rivadeneira.

Para los colegas del Departamento de Nutrición y Calidad, Estación Experimental Santa Catalina y UVTT-Chimborazo por participar el conocimiento y experiencias adquiridas.

Un agradecimiento particular a nuestras familias por su comprensión, perseverante estímulo y por compartir la abnegada tarea del investigador.

Bibliografía

- Alfaro, G. 1996. Los alimentos andinos. En La Alondra Boletín del Programa de Alimentos y Productos Naturales. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. p. 19-21.
- Altamirano, A. 1997. Caracterización fitoquímica y evaluación del contenido de provitamina A y Vitamina C en diez líneas promisorias de oca (*Oxalis tuberosa*) y Zanahoria blanca (*Arracacha xanthorrhiza*). Tesis Doctoral en Bioquímica y Farmacia, Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. p. 115-123, 147-150.
- Anderson, R.; H. Cohway; V. Pfeifer and R. Griffing. 1969. Gelatinization of Corn grits by roll and extrusion cooking. Cereal Science Today. Vol. 14 No.1. p. 4-12.
- Association of Official Analytical Chemists. 1984. Official Methods of Analysis. (14 th edn). Methods 2.057 and 7.062. Arlington, Virginia, USA. p. 16, 159-169.
- Braverman, J. 1986. Introducción a la Bioquímica de los Alimentos. México, D.F. p. 132-133.
- Brito, B.; S. Espín. 1999. Variabilidad en la composición química de raíces y tubérculos andinos del Ecuador. En Raíces y Tubérculos Andinos: Avances de la Investigación Tomo 1. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. p. 13-23.
- Chau, C.; K. Cheung; Y. Wong. 1977. Functional Properties of protein concentrates from three Chinese Indigenous Legume Seed. J. Agr. And Food Chem. 45:2500-2503.
- Espín, S.; B. Brito; E. Villacrés; A. Rubio; C. Nieto; Grijalva, J. 2001. Composición química, valor nutricional y usos potenciales de siete especies de raíces y tubérculos andinos. En Acta Científica Ecuatoriana, Volumen 7 Número 1. Ambato, Ecuador. p. 49.
- Espín, S.; X. Chiriboga; J. Altamirano. 2002. Caracterización cualitativa del potencial fitoquímico de siete especies de raíces y tubérculos andinos del Ecuador. En XI Congreso Italo-Latinoamericano de Etnomedicina "Alberto Di Capua" Atti_ Resúmenes. Università degli Studi di Pavia. Pavia, Italia. p. 155.
- Espín, S.; E. Villacrés; A. Rubio. 2001. Estudio y evaluación de los cambios en las propiedades físico-químicas de la Jícama (*Polymnia sonchifolio*) por efecto del almacenamiento. En informe final de resultados período agosto 2000-julio 2001. Proyecto CP BID 01/PCAPF-C. Departamento de Nutrición y Calidad. INIAP. Quito, Ecuador. 29 p.
- FAO/WHO/UNU. 1985. Energy and Protein Requirements. Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza.
- Gujka, E.; D. Reinhard; K. Khan. 1994. Physicochemical properties of field Pea, Pinto and Navy Bean Starches. J. Food Sc. 59 (3): 634-636. North Dakota, USA. 4 p.
- Inatsu, O.; I. Maeda; J. Nobuko; K. Takahashi. 1983. Some properties of Edible Canna Starch produced in Taiwan. Soc. Sci. Vol. 30, No 1. p. 38-47.
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. 1995. Estudios poscosecha de la calidad de raíces y tubérculos andinos para establecer posibles usos y aplicaciones. Informe técnico de avances. Subproyecto RTA No 5 R7-040. Período agosto 1994 julio 1995. p. 13-40.
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. 1996. Estudios poscosecha de la calidad de raíces y tubérculos andinos para establecer posibles usos y aplicaciones. Informe técnico de avances. Subproyecto RTA No 5 R7-040. Período agosto 1995 a julio 1996. p. 5-45, 51-52.
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. 1997. Estudios poscosecha de la calidad de raíces y tubérculos andinos para establecer posibles usos y aplicaciones. Informe técnico de avances. Subproyecto RTA No 5 R7-040. Período agosto 1996 a diciembre 1997. p. 6-48.
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. 1998. Estudios poscosecha de la calidad de raíces y tubérculos andinos para establecer posibles usos y aplicaciones. Informe técnico de avances. Subproyecto RTA No 5 R7-040. Período abril 1997 a septiembre 1998. p. 8-15.
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. 2000. Aplicaciones agroindustriales de raíces y tubérculos andinos. Informe técnico de avances. Línea de acción 34. Período septiembre 1999 a septiembre 2000. p. 8-45.
- Koziol, M.; L. Brinkmann. 1999. ABC de la Nutrición. Universidad San Francisco de Quito, Latin Reco S.A. Centro Nestlé de Investigación y Desarrollo de Alimentos en América Latina. Quito, Ecuador. p. 10, 81-85, 115.
- Lii, Ch.; Y. Chun; Y. Chang. 1988. Isolation and Characterization of Mungbean Starch. Institute of Chemistry, Academia Sinica, Taiwan, China. 6 p.

- Lock de Ugaz, O. 1988. Investigación Fotoquímica. Métodos en el estudio de productos naturales. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. p. 1-19.
- Martinod, P.; P. Pacheco. 1974. Contenido de amilosa y amilopectina de almidones. In Ciencia y Naturaleza. Vol. No. 1. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. p. 1-6.
- Maynard, L.; J. Loosli; H. Hintz; R. Warner. 1989. Nutrición Animal. Chapman & Hall. Ltd. London. p. 2-31.
- Morales, R. 1969. Características físicas, químicas y organolépticas del almidón de "achira". In Revista de la Academia Colombiana de Ciencias exactas, físicas y naturales. Vol. XIII. No. 51. Bogotá, Colombia. p. 357-368.
- Muller, H.; G. Tobin. 1995. Nutrición y Ciencia de los Alimentos. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España. p. 12, 63.
- Naranjo, P. 1986. Desnutrición: problemas y soluciones. Ministerio de Salud. Quito, Ecuador. p. 111, 115.
- National Academy Press. 1989. Lost Crops of the Incas. Little-Known plants of the Andes with promise for Worldwide cultivation. Washington, D.C. p. 136, 248, 360.
- Neira, M.; H. Luzuriaga. 2000. El hombre que cura el cáncer. Ediciones Abya-Yala, Primera Edición. Quito, Ecuador. p. 1.
- Peralta, E.; C. Nieto. 1991. Diagnóstico agro-socioeconómico a productores de melloco (*Ullucus tuberosus*, C.) en Ecuador. In Actas del VII Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos, del 4-8 Febrero 1991. IBTA/ORSTOM/CIID-Canadá. La Paz, Bolivia. p. 247-248.
- Pietila, L. 1991. Valor nutritivo del ullucu. In Investigaciones sobre el ulluku. Abo Akademis Kopierings Central, Tuku. p. 53-56.
- Ríos, M.; H. Pedersen. 1997. Uso y manejo de recursos vegetales. Memorias del Segundo Simposio Ecuatoriano de Etnobotánica y Botánica Económica. Ediciones Abya-Yala. Primera edición. Quito, Ecuador. p. 3-17.
- Rivadeneira, T.; S. Espín. 1994. Estudio de la composición química-nutricional de 12 clones promisorios de melloco (*Ullucus tuberosus* Cal.) y su variación por efecto de la cocción y almacenaje. En Memorias 1993-1994 Programa Colaborativo Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. p. 199-205.
- Santacruz, S. 1995. Estudio de las características del almidón de achira (*Canna edulis*) para su industrialización. Tesis de Grado Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química. Quito, Ecuador. p. 71-82.
- Shi, Q.; C. Chang; G. Schawarz; P. Wiesenborn; C. Shih. 1996. Optimizing pectin extraction from sunflower heads by alkaline washing. Bioresource Technology. Great Britain. 58: 291-297.
- Soni, P.; H. Sharma; H. Srivastava; M. Gharia. 1990. Physicochemical Properties of *Canna edulis* Starch-Comparison with Maize Starch. VCH Verlagsgesellschaft mbh, D-6940. Weinheim, Germany. p. 703-706.
- Tapia, M. 1990. Cultivos andinos subexplotados y su aporte en la alimentación. FAO/RLALC. Lima, Perú. p. 137-190.
- Tovar, J. 1993. Biodisponibilidad de los almidones en las leguminosas y efecto del procesamiento. In Simposio en carbohidratos, del 4-6 octubre de 1993. Quito, Ecuador. p. 75-82, 213-217.
- Villacrés, E.; S. Espín. 1999. Evaluación y rendimiento, características y propiedades del almidón de algunas raíces y tubérculos andinos. En Raíces y Tubérculos Andinos. Avances de la Investigación Tomo 1. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. p. 25-35.
- Vimos, C.; C. Nieto; M. Rivera. 1983. El melloco: Características técnicas del cultivo y potencial en Ecuador. Publicación miscelánea No. 60. EESC, INIAP. Quito. 23 p.
- Woolfe, J. 1987. The potato in the human diet. Cambridge University Press. International Potato Center. Lima, Perú. p. 84, 100, 101.