

**RAÍCES Y TUBÉRCULOS
ANDINOS
AVANCES DE INVESTIGACIÓN**

I

**TOMMY FAIRLIE
MARCIANO MORALES BERMÚDEZ
MIGUEL HOLLE
EDITORES**

**CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA
CONSORCIO PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA
ECORREGIÓN ANDINA
1999**

Los trabajos que se presentan en esta publicación son algunos de los resultados del Programa Colaborativo de Conservación y Uso de la Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos, auspiciados por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE).

Esta publicación fue posible también gracias al apoyo recibido por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID) del Canadá.

El cuidado de la edición estuvo a cargo de Elías Mujica B., y la diagramación de la carátula corresponde a Anselmo Morales Enríquez, de la Unidad de Comunicación del Centro Internacional de la Papa (CIP).

PRESENTACIÓN

El Centro Internacional de la Papa (CIP) y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), dentro del contexto del Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), han apoyado y promovido investigaciones en nueve raíces y tubérculos andinos en el marco del Programa Colaborativo de Conservación y Uso de la Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos. Estas especies/plantas/cultivos son comunes en chacras de la ecorregión andina, pero rara vez han sido motivo de investigaciones científicas organizadas sistemáticamente que resuelvan las inquietudes de los científicos y los problemas observados por los agricultores. En este momento, este Programa Colaborativo y el Proyecto de la Fundación Mac Knight (desarrollado por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y la Pennsylvania State University), son ejemplos de la forma de abordar el estudio de estos cultivos en los Andes Centrales.

Desde 1992, los investigadores participantes, con el apoyo de sus instituciones, han plasmado sus esfuerzos en los artículos científicos aquí publicados. Un grupo de ellos corresponden al tema de recursos genéticos, otro en raíces andinas y otro en aspectos desde la producción hasta el consumo. Artículos sobre otros tubérculos, como la oca y el olluco, así como otros temas, quedan en prensa para el Tomo II en adelante.

Los 14 artículos que se publican en este volumen son independientes entre si, aunque producto de una línea de investigación temática sobre una o más especies en algún lugar de los Andes. Los autores y su línea de investigación forman parte de resultados esperados que los reúnen. En el Tomo I se agrupan las contribuciones en tres partes: I. Recursos Genéticos, que incluye lo relacionado al germoplasma de estos cultivos, su conservación, manejo y evaluación; II. Raíces Andinas (arracacha, achira, ahipa, y maca), en aspectos como cultivo *in vitro* para conservación y micropagación, clasificación morfológica, citogenética y selección por caracteres de rendimiento; y III. Producción al consumo, como agroforestería con raíces andinas, almacenamiento de producto fresco y obtención de harinas.

Es oportunidad para agradecer al CIP y COSUDE, que con un apoyo institucional y financiero hacen posible una dinámica de investigación de los autores y sus colaboradores. A CONDESAN, por proveer el marco conceptual en que el trabajo individual y la colaboración resultan en publicaciones de este tipo. A los autores y sus colaboradores, que han planificado, ejecutado y reportado sus experiencias. Es

Presentación

estimulante encontrar científicos que hacen estos esfuerzos, obtienen resultados, y los comunican a sus colegas y a la sociedad en general. Y al Comité Directivo del Programa Colaborativo, a los revisores anónimos y editores técnicos que hicieron posible el proceso de producción de este tomo y los venideros.

Miguel Holle
Coordinador, Programa Colaborativo de Conservación y Uso
de Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos
Centro Internacional de la Papa (CIP) y
Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina
(CONDESAN)
Lima, Perú

TABLA DE CONTENIDO

PRESENTACIÓN

TABLA DE CONTENIDO

Parte I. RECURSOS GENÉTICOS

- | | |
|--|----|
| 1/ Variabilidad en la composición química de raíces y tubérculos andinos del Ecuador
<i>Beatriz Brito G. y Susana Espín M.</i> | 13 |
| 2/ Evaluación del rendimiento, características y propiedades del almidón de algunas raíces y tubérculos andinos
<i>Elena Villacrés y Susana Espín M.</i> | 25 |
| 3/ Recursos genéticos de raíces andinas: I. Exploración para chago, yacón, achira y arracacha en el norte del Perú
<i>Juan Seminario Cunya, Cecilio Granados Pérez y Jorge Ruiz Boy</i> | 37 |
| 4/ Conservación y manejo in situ de recursos fitogenéticos agrícolas en Bolivia
<i>Julio Rea</i> | 61 |
| 5/ Una experiencia metodológica en la identificación y caracterización de microcentros de biodiversidad en la región de Cochabamba, Bolivia
<i>Franz Terrazas y Grover Valdivia</i> | 77 |

Parte II. RAÍCES ANDINAS (arracacha, achira, ahipa y maca)

- | | |
|--|-----|
| 6/ Introducción, micropagación, conservación in vitro y aclimatación a invernadero de <i>Arracacia xanthorrhiza</i>
<i>Luis Miguel Duque y Pierre Landázuri</i> | 93 |
| 7/ Caracterización morfológica de la arracacha (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>)
<i>Raúl Blas y Carlos Albizu</i> | 111 |
| 8/ Introducción, micropagación, conservación in vitro y aclimatación a invernadero de <i>Canna edulis</i>
<i>Luis Miguel Duque y Pierre Landázuri</i> | 123 |
| 9/ Citogenética de <i>Pachyrhizus tuberosus</i> y <i>Pachyrhizus abipa</i> : ciclo celular y número cromosómico
<i>David Talledo, Carola Escobar y Nelly Arenas</i> | 139 |

Tabla de contenido

10/Estimación de parámetros genéticos para caracteres cuantitativos de producción de semilla en maca (<i>Lepidium meyenii</i>) <i>David Ponce Aguirre</i>	163
11/Variabilidad de familias S _i y selección combinada por peso de raíz hipocótilo en una población selecta de maca (<i>Lepidium meyenii</i>) de fase vegetativa <i>David Ponce Aguirre</i>	177

Parte III. PRODUCCIÓN AL CONSUMO

12/ Respuesta de tres raíces andinas: zanahoria blanca (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>), miso (<i>Mirabilis expansa</i>) y jícama (<i>Polytmnia sonchifolia</i>); dos pastos y una mezcla forrajera, bajo efecto de tres sistemas agroforestales en Santa Catalina, Quito <i>Raúl Ramos V., Jefferson Galarza R., Raúl Castillo, Gabriel Suárez G. y Carlos Nieto</i>	193
13/Reducción de pérdidas por almacenamiento para consumo de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>), olluco (<i>Ullucus tuberosus</i>) y mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>) <i>Alberto L. Tupac Yúpanqui</i>	213
14/Obtención de harinas de raíces y tubérculos andinos <i>Gonzalo Alfaro, Walter Illanes, Blasco Vera, Edwin Torrez e Yvan Larondelle</i>	223

Parte I

RECURSOS GENÉTICOS

VARIABILIDAD EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE RAÍCES Y TUBÉRCULOS ANDINOS DEL ECUADOR

Beatriz Brito G.
Susana Espín M.

RESUMEN

Las raíces y tubérculos andinos (RTA's) forman parte de una amplia biodiversidad del germoplasma andino, siendo especies consideradas entre las pocas alternativas de rotación de cultivos con un rango de adaptación que va desde los 700 a los 4300 msnm.

La evaluación del contenido de materia seca, almidón total, azúcares totales y reductores, proteína y energía bruta en los tubérculos melloco (*Ullucus tuberosus*), oca (*Oxalis tuberosa*), mashua (*Tropaeolum tuberosum*), papa (*Solanum tuberosum*) y en las raíces zanahoria blanca (*Arracacia xanthorriza*), miso (*Mirabilis expansa*) y jícama (*Poymnia sonchifolia*) del Banco de Germoplasma del INIAP-Ecuador, y la achira (*Canna edulis*) del Banco del CIP-Ecuador, ha permitido identificar la variabilidad existente entre especies y entradas estudiadas; además, correlacionar entre las características morfológicas y el contenido de los parámetros analizados, lo que amplia las posibilidades de selección a los fitomejoradores y su uso potencial.

INTRODUCCIÓN

Los mellocos, ocas, mashua, papa, zanahoria blanca, miso, achira y jícama son cultivados y consumidos como alimento en los Andes, algunos en gran extensión, mientras que los otros con un carácter muy restringido debido a múltiples factores

Raíces y Tubérculos Andinos. Avances de Investigación I, Tommy Fairlie, Marciano Morales Bermúdez y Miguel Holle, editores, págs. 13-23. Lima, Centro Internacional de la Papa (CIP) y Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), 1999.

como la introducción de nuevos cultivos, la aculturación de la población indígena, la falta de incentivos para su producción y la erosión genética de las especies.

Desde 1980, el Departamento de Recursos Fitogenéticos ha desplegado acciones de recolección, conservación, evaluación y documentación, dando como resultado el establecimiento de colecciones de germoplasma de raíces y tubérculos andinos que constituyen una diversidad genética muy representativa. La caracterización y evaluación físico-química de estas colecciones se está llevando a cabo en los Laboratorios del Departamento de Nutrición y Calidad del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAF).

Como objetivo se contempla la caracterización del contenido de materia seca, almidón total, azúcares totales y reductores, proteína y energía de morfotipos representativos de raíces y tubérculos andinos del Banco de Germoplasma del INIAF, para identificar la variabilidad existente entre especies y entradas estudiadas y conocer los potenciales de estos materiales. Además, se busca identificar si existe correlación entre algunas características morfológicas y el contenido de los parámetros analizados.

MATERIALES Y MÉTODOS

La actividad se desarrolló evaluando 4 variedades nativas de papa (Brito 1993), 12 entradas de melloco (Rivadeneira y Espín 1994), 46 de oca y 30 de zanahoria blanca (Brito 1995), 68 de mashua, 10 de miso y 10 de jícama (Brito 1996), 19 de melloco y 9 de achira (Brito 1997).

El Departamento de Recursos Fitogenéticos, Programa de Cultivos Andinos, el Programa de Papa del INIAF y el Centro Internacional de la Papa (CIP-Quito), entregaron los materiales recién cosechados, los que fueron seleccionados por sus características morfológicas, agronómicas y bioquímicas (isoenzimática). Las muestras ingresaron a los laboratorios del Departamento de Nutrición y Calidad, donde fueron procesadas de acuerdo a las necesidades de cada análisis.

Preparación de las muestras

Previo a la identificación, 2 kg de cada una de las muestras de las raíces y tubérculos se lavaron con agua de grifo para eliminar impurezas del campo, se secaron utilizando un paño y se procedió a picarlas finamente, para ser llevadas a 105 °C para determinar el contenido de materia seca y a 65 °C en estufa de aire forzado, molidas hasta obtener partículas de 0,5 mm y almacenadas en frascos plásticos provistos de tapas herméticas para la determinación del contenido de almidón, azúcares, proteína y energía bruta.

El análisis en cada una de las muestras se realizó por duplicado, reportándose el valor medio para cada factor estudiado. Se analizó en los resultados la media, desviación estándar y el coeficiente de variación para cada uno de los parámetros estudiados en cada especie.

Azúcares totales y reductores

Se pesaron 2 g de muestra en papel filtro cualitativo, luego se preparó un sobre y se puso a reflujar en un extractor soxhlet durante 3,5 horas con alcohol etílico al 85% V; después de no perder mucho líquido se colocó en una estufa a 40 °C y se secó hasta peso constante. Esta parte es insoluble en etanol y es la que se utiliza en la determinación de almidón. El líquido que queda en el balón es una solución de material soluble en etanol, a esta solución se le extrae el etanol obteniéndose los azúcares en medio acusoso.

Para evitar las interferencias del color de los extractos, se añadió 10 ml de crema de alumbre como agente clarificante y luego se filtró llevándose a volumen constante, donde los grupos carboxilo o cetónicos libres reducen los iones libres del cobre (reactivo de Cu), los cuales reaccionan colorimétricamente con el reactivo arsenomolibdato, cuantificable por espectroscopía de UV midiendo la absorbancia a 520 nm frente a una curva estándar de glucosa (CIAT 1994a).

Almidón

La cantidad de almidón se cuantificó luego de una extracción de azúcares con etanol. Se empleó un método enzimático colorimétrico, las muestras fueron digeridas con alfa amilasa y luego con amiloglucosidasa para hidrolizar la muestra hasta glucosa, determinando la cantidad de glucosa liberada a través de una reacción colorimétrica usando una solución de glucosa oxidasa-peroxidasa-ABTS en tampón trisfosfato. La cantidad de almidón se evaluó cuantificando la cantidad de glucosa por espectroscopía de UV, midiendo la absorbancia a 560 nm, las muestras se leen frente a una curva estándar de 0 a 48 ppm glucosa. El factor de conversión de glucosa a almidón fue de 0,9 (CIAT 1994b).

Proteína cruda

El nitrógeno de las proteínas y otros compuestos se transforman en sulfato de amonio por medio de la digestión con ácido sulfúrico en ebullición. El residuo se enfria, se diluye con agua y se le agrega hidróxido de sodio. El amonio presente se desprende y a la vez se destila y se recibe en una solución de ácido bórico, que luego es titulada con ácido sulfúrico estandarizado. El equipo empleado es un Kjeldahl, y se utiliza 6,25 como factor para la conversión de nitrógeno a proteína (AOAC 1984).

Energía bruta

El valor medido en términos de calorías, que se produce cuando se oxida una substancia totalmente en un calorímetro adiabático de bomba, se denomina energía bruta del material (Parr Instrument Company).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los valores extremos encontrados (rango), la media, desviación estándar y el coeficiente de variación (%), para el contenido de materia seca, energía proteína, almidón, azúcares totales y reductores en cada una de las especies estudiadas (Tabla 1).

Los datos obtenidos señalan una amplia variación a nivel del contenido de materia seca. Los valores más altos encontrados son en los morfotipos de oca 27,64% (ECU-958), zanahoria blanca 24,38% (ECU-1218), mashua 19,70% (ECU-1091), miso 40,10% (ECU-1265), jícama 13,72% (ECU-1256), melloco 19,30% (ECU-771), papa 24,95% (Var. nat. Chola) y achira 22,93% (ECU-8601).

La energía presenta el menor coeficiente de variación en relación a los otros parámetros estudiados: 0,43% jícama, 3,18% melloco, 0,89% oca, 0,91% miso, 1,34% zanahoria blanca, 2,20% mashua, 5,15% achira y 4,95% papa. Determinados los siguientes valores promedio, mashua con 4,41, miso con 4,19, jícama 4,16, melloco 4,28, oca 3,96, zanahoria blanca 3,86, achira 3,88 y la papa con 3,84 kcal/g de materia seca.

Los valores de proteína varían de 3,39 (ECU-1077) a 5,49% (ECU-990) en oca, 2,95 (ECU-1026) a 9,04% (ECU-1188) en zanahoria blanca, 7,22 (ECU-1102) a 13,99% (ECU-1139 en mashua, 4,87 (ECU-1262) a 13,09% (ECU-1270) en miso, 2,90 (ECU-1244) a 4,69% (ECU-1240) en jícama, 8,49 (ECU-8506) a 13,44% (ECU-854) en melloco, 10,49 (Chola) a 15,20% (Uvilla del Chimborazo) en papas nativas y 2,61 (MH-1173) a 8,17% (ECU-8610) en achira.

El almidón varía de 28,28 (ECU-8546) a 45,83% (ECU-1058) en oca, 48,55 (ECU-6658) a 85,58% (ECU-1201) en zanahoria blanca, 20,01 (ECU-1099) a 79,46% (ECU-1145) en mashua, 55,24 (ECU-1270) a 83,63% (ECU-1265) en miso, 0,42 (ECU-1244) a 1,75% (ECU-1246) en jícama, 57,46 (ECU-8503) a 81,00% (ECU-777) en melloco, 64,48 (Var. nat. Uvilla del Cañar) a 72,69% (Var. nat. Chola) y 43,55 (ECU-8610) a 66,06% (ECU-8603) en achira.

En el caso del contenido de azúcares totales, expresado como porcentaje de glucosa, se observa que los morfotipos de oca presentan valores en el rango de 4,27 (ECU-1037) a 14,27% (ECU-1058), para zanahoria blanca de 3,82 (ECU-1206) a 15,22 (ECU-1178), para mashua de 6,77 (ECU-1147) a 55,23% (ECU-1101), para miso de 0,17 (ECU-1267) a 2,52% (ECU-1268), para jícama 10,68 (ECU-1254) a 29,24% (ECU-1256), para melloco de 2,18 (ECU-8488) a 11,59% (ECU-926) y para achira de 1,96 (ECU-8601) a 10,89% (ECU-8603).

Los azúcares reductores varían de 2,16 (ECU-1077) a 12,72% (ECU-1058) en oca, 6,41 (ECU-1147) a 45,29% (ECU-1101) en mashua, 1,73 (ECU-1206) a 13,48% (ECU-1178) en zanahoria blanca, 0,03 (ECU-1267) a 0,66% (ECU-1266) en miso, 3,76 (ECU-2321) a 15,65% (ECU-1245) en jícama, 1,21 (ECU-8601) a 10,53% (ECU-8603)

Tabla 1. Rangos determinados en la caracterización química de 46 morfotipos de oca, 30 de melloco, 68 de mashua, 4 variedades nativas de papa, 30 de zanahoria blanca, 10 de miso y 10 de jícama del Banco de Germoplasma del INIAP-Ecuador, y 9 de achira del Banco del CIP-Quito (datos expresados en base seca, muestra entera).

Parámetro	Materia Seca %	Energía kcal/g	Proteína %	Almidón ¹ %	Az. Total ² %	Az. Reduc. ² %
OCA						
Rango	13,14 - 27,64	3,87 - 4,05	3,39 - 5,49	28,28 - 45,89	4,27 - 14,27	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
C.V. (%)	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	
C.V. (%)	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
C.V. (%)	21,04	2,20	15,78	21,67	37,47	41,63
PAPA						
Rango	20,60 - 24,95	3,59 - 4,02	10,49 - 15,20	64,48 - 72,69		0,35 - 0,48
X	22,04	3,84	13,51	68,61		0,41
S	2,01	0,19	2,20	4,02		0,05
C.V. (%)	9,14	4,95	16,31	5,86		13,06
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 - 13,48
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
C.V. (%)	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
C.V. (%)	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	0,64	21,77	12,23
S	1,67	0,02	0,57	0,43	5,42	3,44
C.V. (%)	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
C.V. (%)	16,50	5,15	36,64	12,75	53,14	93,17

1/ Muestra libre de azúcares y pigmentos

2/ Valores obtenidos de azúcares, como % glucosa

1/ Raíces y tubérculos andinos del Ecuador

para achira y para las variedades nativas de papa se tiene 0,35 (Bolona), 0,40 (Uvilla del Chimborazo), 0,41 (Chola) y 0,48% (Uvilla del Cañar). Parámetro de importancia para definir la calidad de fritura en las papas (alrededor de 0,5% para estilo francés y 0,25% para hojuelas), debiéndose considerar al miso, por su bajo contenido de azúcares, como una opción interesante.

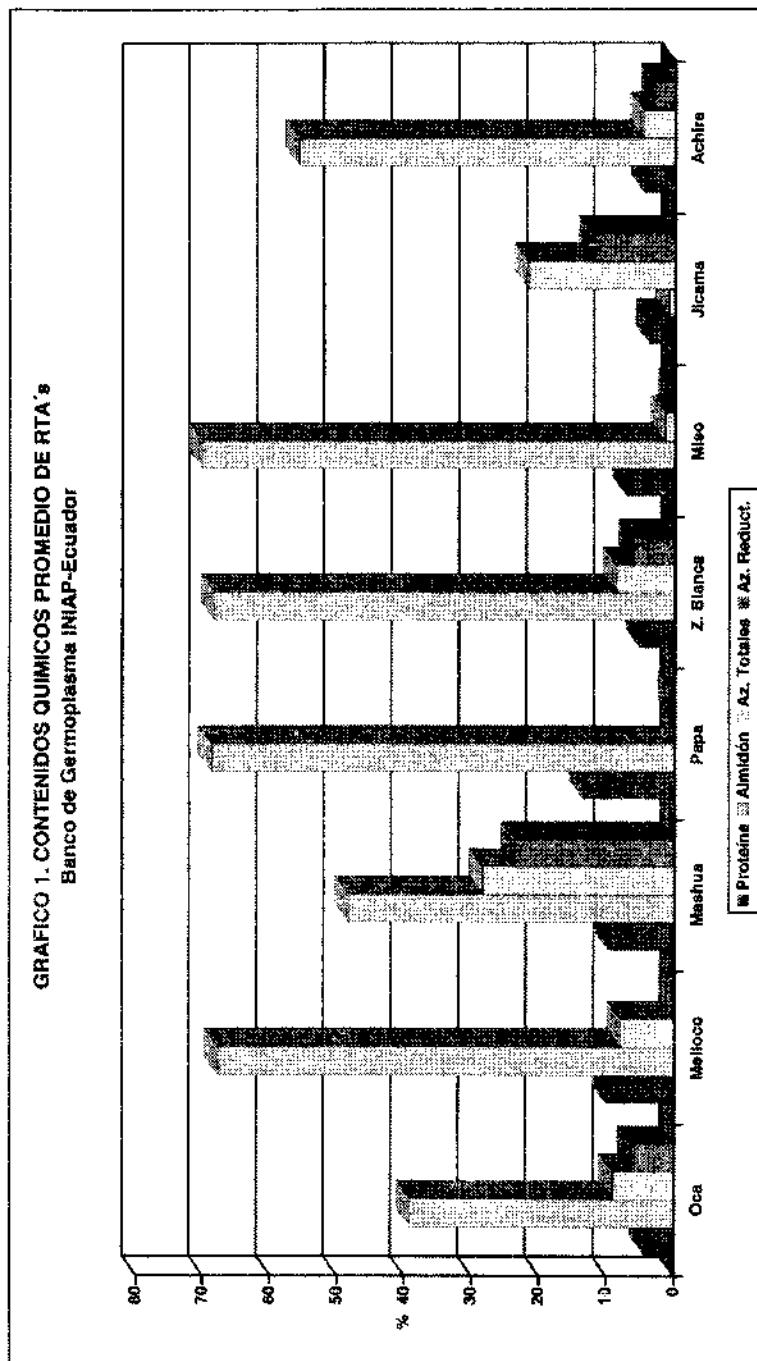
Se identifican las entradas de oca ECU-1058, 1038, 8546, 8549, 972 y 978 como los materiales que sobresalen por el contenido de azúcares. Esta información sirve como base de selección de los morfotipos aptos para futuros procesos de transformación agroindustrial. Las entradas de mashua ECU-1101, 1128, 1113, 1104, 1105, 1098, 1116 y 8768 obtuvieron los mayores contenidos de azúcares y almidón, valores que se correlacionan con las descripciones definidas en el Catálogo de Raíces y Tubérculos del Departamento de Recursos Fitogenéticos del INIAP (Tapia 1996), donde se señala que las entradas 1098 y 8768 requieren menos horas de sol para endulzar y tienen buen sabor.

En el Gráfico 1 se esquematizan los datos promedio de cada uno de los parámetros estudiados. Excluida el agua, los hidratos de carbono son el grupo de componentes mayoritarios, ya que suponen como almidón el 67,76% para melloco; 39,13% para oca; 68,26% para zanahoria blanca; 48,31% para mashua; 53,63% para achira; 70,01% para miso y 68,61% para papa. Como consecuencia de ello, predominan los polisacáridos sobre los azúcares mono y disacáridos, razón por la cual el sabor no es dulce y la textura es firme debido principalmente a la rigidez estructural que les confieren las paredes celulares (celulosa, hemicelulosa) y por su alto contenido de almidón.

En el caso de la jícama, con apenas 0,84% de almidón, es un caso interesante, que a diferencia de otras raíces y tubérculos que almacenan carbohidratos en forma de almidón, lo hace en forma de oligofructosas, habiéndose encontrado valores bibliográficos para azúcares solubles en el orden de $82 \pm 3\%$ en materia seca (Ohyama et al. 1990), usando técnicas por HPLC con detector de Índice de Refracción. El método colorimétrico utilizado reporta a los azúcares totales y reductores con 21,77 y 12,23% glucosa y el valor complementario corresponde a las oligofructosas, lo que le atribuye a esta especie una interesante característica como alimento dietético.

En la Tabla 2 se presenta un agrupamiento de los materiales de acuerdo al color de pulpa y corteza tanto para oca, zanahoria blanca, mashua y miso. Tanto para la oca como para la zanahoria blanca, la forma hortícola morada o violeta presentan los valores medios más altos de almidón con 42,24 y 72,32%, respectivamente. De manera individual, se destacan las líneas ECU-1201 (85,58%), ECU-1218 (82,08%) y ECU-1173 (76,04%) para el caso de la zanahoria blanca. Los azúcares totales de las formas amarilla y naranja sobresalen en el caso de la oca con 9,28%, mientras que para zanahoria blanca se destaca la forma hortícola morada con 9,09%, identificándose la línea 1178 como la más importante por su contenido de azúcares (15,22%).

En base al agrupamiento de las entradas de mashua por el color de corteza que presentaron, se identificaron diez formas hortícolas, encontrándose una



variabilidad de colores que van del blanco marfil (beige) al púrpura muy oscuro (negra), pasando por el amarillo y naranja en distintas tonalidades. Es difícil obtener una tendencia relacionando el color y el contenido de cada uno de los parámetros estudiados; lo que si existe es una relación más equitativa entre el contenido de almidón y azúcares en relación a las otras especies de raíces y tubérculos andinos, como puede apreciarse en las Tablas 1 y 2.

Las mashuas de color amarillo se encuentran en mayor proporción, destacando la amarillo con naranja y amarillo por su alto contenido de materia seca. De manera individual se destacan las líneas ECU-1091 (19,70%) y ECU-8766 (19,11%), respectivamente.

Para el miso, la forma hortícola amarilla presenta los valores medios más altos de materia seca, almidón y azúcares totales, a diferencia de la proteína donde la forma hortícola blanca muestra el contenido más alto.

Tabla 2. Agrupamiento por formas hortícolas de 46 entradas de oca (*Oxalis* *tuberosa*), 30 de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*), 10 de miso (*Mirabilis expansa*) y 68 de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) del Banco de Germoplasma del INIAP-Ecuador. Valores promedio de materia seca, proteína, almidón, azúcares y energía (datos expresados en base seca, muestra entera).

Forma hortícola	Materia seca %	Energía kcal/g	Proteína %	Almidón ¹ %	Az. Total ² %	Az. Reduc. ² %
OCA						
Amarilla	22,31 ± 3,49	3,97 ± 0,03	4,35 ± 0,48	39,18 ± 3,94	9,28 ± 2,59	6,58 ± 2,52
Roja	21,34 ± 4,10	3,95 ± 0,02	4,21 ± 0,26	38,78 ± 1,97	8,55 ± 2,92	5,58 ± 0,72
Violeta	21,78 ± 0,57	3,97 ± 0,06	4,50 ± 0,21	42,24 ± 3,30	5,51 ± 1,58	3,54 ± 0,72
Naranja	18,22	3,97	5,06	33,85	9,28	5,95
ZANAHORIA BLANCA						
Blanca	16,15 ± 3,59	3,86 ± 0,04	4,32 ± 1,12	67,29 ± 5,68	8,40 ± 2,71	6,05 ± 2,82
Amarilla	16,36 ± 4,19	3,89 ± 0,03	6,41 ± 1,04	65,49 ± 7,36	8,23 ± 2,73	6,38 ± 3,00
Morada	19,67 ± 4,40	3,89 ± 0,06	4,83 ± 1,26	72,32 ± 7,94	9,09 ± 3,50	6,41 ± 4,18
MASHUA						
Amarillo	13,07 ± 3,11	4,46 ± 0,10	10,28 ± 1,89	48,23 ± 14,46	26,42 ± 11,22	22,26 ± 10,84
Amarillo-Naranja	15,34 ± 6,17	4,44 ± 0,18	10,13 ± 0,22	49,00 ± 13,36	28,54 ± 7,26	24,11 ± 3,27
Amarillo-Rojo	12,07 ± 1,90	4,38 ± 0,09	9,40 ± 1,31	47,45 ± 8,03	28,57 ± 9,80	24,38 ± 9,04
Amarillo-Rubi	12,79 ± 2,62	4,47 ± 0,04	7,70 ± 2,14	46,35 ± 11,37	27,34 ± 11,08	21,24 ± 13,56
Amarillo-Violeta	12,63 ± 2,50	4,39 ± 0,10	9,54 ± 1,47	50,26 ± 10,73	29,31 ± 11,30	24,81 ± 10,61
Naranja	12,22 ± 1,97	4,48 ± 0,04	10,97 ± 0,87	45,65 ± 14,84	19,56 ± 5,49	17,44 ± 6,20
Naranja-Amarillo	10,83	4,37	9,33	36,76	36,36	27,70
Naranja-Violeta	9,10	4,44	9,01	41,27	29,09	17,52
Rubi-Amarillo	13,94	4,49	11,62	47,90	32,51	19,98
Rubi-Violeta	9,12 ± 1,69	4,40 ± 0,04	9,16 ± 1,09	37,24 ± 24,36	36,09 ± 6,58	30,03 ± 5,95
MISO						
Blanco	29,29 ± 5,31	4,19 ± 0,03	8,21 ± 2,93	66,07 ± 8,59	1,22 ± 0,70	0,40 ± 0,24
Amarillo	34,38 ± 4,81	4,19 ± 0,05	6,11 ± 1,39	73,95 ± 6,53	1,74 ± 0,91	0,44 ± 0,14

1/ Muestra libre de azúcares y pigmentos

2/ Valores obtenidos de azúcares, como % glucosa

No existen diferencias en el valor de la energía entre las formas hortícolas de las especies estudiadas.

CONCLUSIONES

De la evaluación realizada a las líneas promisorias de oca, zanahoria blanca, mashua, miso y melloco, a pesar de no tener los valores más altos de materia seca, pero en función de su rendimiento en campo, permiten la posibilidad de lograr de 6 a 8 t/ha de harina de oca, 2 a 4 t/ha de harina de zanahoria blanca, 2 a 3 t/ha de harina de mashua, 1 a 4 t/ha de miso y 1 t/ha de harina de melloco, y en el caso de las entradas de achira de 2 a 18 t/ha de harina. Se trata de valores interesantes, si pensamos en alternativas para promover y ampliar estos cultivos, incentivando su uso en la dieta diaria de poblaciones de altura, mediante preparaciones balanceadas y asociadas para complementarla y disminuir el riesgo de factores antinutricionales presentes en algunas de ellas.

Con esta caracterización se dispone de información adicional para el intercambio de germoplasma del Banco del INIAP con organismos o entidades que requieran de estos materiales con fines de investigación. El tema de la biodiversidad en raíces y tubérculos andinos o el manejo de variedades por los campesinos es un tema de actualidad, no sólo por las cualidades que presentan los mismos sino también por su valor de opción, es decir por las futuras demandas comerciales que puedan establecerse en base a variedades nativas, ya que hoy la tendencia es la búsqueda de alimentos nativos con el fin de desarrollar nuevos productos, llamados "naturales". Un caso concreto es cómo la industria almidonera se halla en la búsqueda de almidones nativos que presenten ciertas propiedades específicas, en los cuales el almidón no es considerado como aditivo sino como ingrediente base de fabricación y la cantidad incorporada a los alimentos no está sometida a reglamentación, como es el caso de los almidones modificados, que han sido desarrollados a fin de responder las exigencias de los procesos industriales de fabricación.

Por otra parte, en la mayoría de los países en vías de desarrollo se requiere impulsar proyectos integrados para contribuir al desarrollo socio económico de sus áreas rurales, en las que las raíces y tubérculos son una opción interesante.

BIBLIOGRAFÍA

AOAC

1994 *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemist. 14th Ed.

Brito, Beatriz

1993 "Evaluación químico-nutritiva de variedades nativas, mejoradas y clones avanzados de papa". En: *Informe Anual*, págs. 10-21. Quito, Departamento Nutrición y Calidad, Estación Experimental Santa Catalina-INIAP.

- 1995 "Evaluación del contenido de materia seca, almidón, azúcares, proteína y energía en 30 morfotipos de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y 46 de oca (*Oxalis tuberosa*)". En: Informe Técnico Subproyecto RTA No. 5 R7-040, págs. 4-13. Quito, Departamento Nutrición y Calidad, Estación Experimental Santa Catalina-INIAP.
- 1996 "Evaluación del contenido de materia seca, almidón, azúcares, proteína y energía en 68 morfotipos de mashua (*Tropaeolum tuberosum*), 10 de miso (*Mirabilis expansa*) y 10 de jícama (*Polytmnia sonchifolia*)". En: Informe Técnico Subproyecto RTA No. 5 R7-040, págs. 5-12. Quito, Departamento Nutrición y Calidad, Estación Experimental Santa Catalina-INIAP.
- 1997 "Evaluación del contenido de materia seca, almidón, azúcares, proteína y energía en 19 morfotipos de melloco (*Ullucus tuberosus*) y 9 de achira (*Canna edulis*)". En: Informe Técnico Subproyecto RTA. No. 5 R7-040. Quito, Departamento Nutrición y Calidad, Estación Experimental Santa Catalina-INIAP.

CIAT

- 1994a Método colorimétrico de cuantificación de azúcares. Laboratorio de Utilización de Yuca. Cali.
- 1994b Método enzimático de cuantificación de almidón. Laboratorio de Utilización de Yuca. Cali.

Hermann, Michael

- 1994 "Raíces y tubérculos andinos: Sus mitos, limitaciones y perspectivas para una mejor utilización". En: Resúmenes de trabajos presentados al VIII Congreso Internacional de Sistemas Agropecuarios y su Proyección al Tercer Milenio. 8º Congreso Internacional de Sistemas Agropecuarios Andinos (Valdivia, 21-26 marzo de 1994). *Agro-Sur* 22: 12 (número especial). Valdivia, Universidad Austral de Chile.

National Research Council

- 1989 *Lost Crops of the Incas: Little-known Plants of the Andes with Promise for Worldwide Cultivation*. Washington, D.C., National Academy Press.

Ohyama, T., O. Ito, S. Yasuyoshi, T. Ikarashi, K. Minamisawa, M. Kubota, T. Tsukihashi y T. Asami

- 1990 "Composition of storage carbohydrate in tubers of Yacon (*Polytmnia sonchifolia*)". *Soil Science and Plant Nutrition* 36 (1): 167-171. Japón.

Parr Instrument Company

- 1990 *Isoperibol Calorimeter Manual*. N. 242 M.

Rivadeneira, T. y S. Espín

- 1994 "Estudio de la composición químico-nutricional de 12 clones de melloco (*Ullucus tuberosus*) y su variación por efecto de la cocción y almacenaje". En: *Informe Anual*, págs. 10-21. Quito, Departamento Nutrición y Calidad, Estación Experimental Santa Catalina-INIAP.

Tapia, C., R. Castillo y N. Mazón

- 1996 *Catálogo de recursos genéticos de raíces y tubérculos andinos en Ecuador*. Quito, Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos y Biotecnología (DENAREF), Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

Tapia, Mario

- 1990 *Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación*. Santiago, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO, CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL ALMIDÓN DE ALGUNAS RAÍCES Y TUBÉRCULOS ANDINOS

*Elena Villacrés
Susana Espín*

RESUMEN

Los tubérculos andinos melloco (*Ullucus tuberosus*), oca (*Oxalis tuberosa*) y mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y las raíces miso (*Mirabilis expansa*) y zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*), son buenas fuentes de almidón. Sin embargo, los datos técnicos disponibles acerca de la calidad de estos almidones son escasos, lo que dificulta su aprovechamiento industrial. Con este objeto, estudios concernientes a las características y propiedades del almidón de estas especies fueron realizados en el Departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP (Quito, Ecuador), en 1996. Diez entradas promisorias de oca y melloco, ocho de miso y mashua y seis entradas de zanahoria blanca provenientes del Departamento de Recursos Fitogenéticos, fueron estudiadas.

El rendimiento promedio de extracción del almidón de oca, zanahoria blanca, miso, melloco y mashua fue de 14,18; 13,52; 10,42; 5,17 y 2,26%, respectivamente. El contenido promedio de amilosa para oca, melloco, mashua, zanahoria blanca y miso fue de 28,81; 27,27; 21,0; 20,61 y 20%, respectivamente.

El análisis amilográfico mostró que los almidones de oca y zanahoria blanca tienen buen poder de hinchamiento, facilidad de cocción y permanecieron estables durante 12 días de almacenamiento en congelación. Los almidones de mashua y melloco

exhibieron un poder de hinchamiento moderado, perdieron viscosidad al cuarto día de almacenamiento a temperatura ambiente, y mostraron altos valores de sinéresis al tercer día de almacenamiento en congelación.

Algunas propiedades físico-químicas de los almidones de oca y zanahoria blanca identificadas en este estudio, pueden ser aprovechadas para el procesamiento de alimentos expandidos. Sin embargo, estudios sobre las propiedades reológicas y la digestibilidad son necesarios para definir otros posibles usos.

INTRODUCCIÓN

Las raíces y tubérculos andinos son fuentes importantes de energía, debido principalmente a su contenido de almidón (Martinod y Pacheco 1974), un polisacárido muy complejo que se almacena en forma de gránulos en las células de membrana delgada. 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 de 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 (Anderson et al. 1969).

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 ilimitada en la elaboración de sustancias orgánicas, en la industria alimenticia, textil, en la del papel y en la de los polímeros (Inatsu et al. 1983).

Por otro lado, el diagnóstico de la producción de algunas raíces y tubérculos andinos en el Ecuador demuestra que existe una demanda limitada de estos productos y escasas posibilidades de expandirla por la inexistencia de usos alternativos (Morales 1969), lo que obliga a 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).

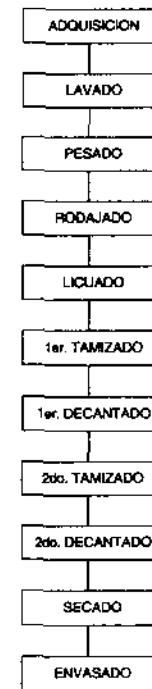
MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo fue realizado con diez entradas promisorias de oca, diez de melloco, ocho de mashua, ocho de miso y seis de zanahoria blanca cultivadas en la Estación Experimental Santa Catalina del INIAPI, en el Ecuador.

Proceso de extracción del almidón

Para la extracción del almidón a partir de raíces y tubérculos frescos, se siguió una serie de operaciones, con una secuencia establecida y semejante para todos los productos. El diagrama de flujo se muestra en el Diagrama 1.

Diagrama 1. Proceso para la obtención de almidón de tubérculos y raíces andinos



La pureza del almidón extraído fue estimado a partir de la determinación de cenizas, para lo cual muestras de 1 g de almidón fueron incineradas en una mufla a 600 °C por 12 horas y las cenizas resultantes fueron pesadas.

Apariencia microscópica y tamaño de los gránulos

La forma de los almidones se determinó mediante observaciones en un microscopio Nikon HFX-DX, con magnificación 4x, 10x y 20x. El tamaño de gránulo fue determinado a través de mediciones del diámetro de los ejes mayor y menor, de 50 gránulos, con un programa NIH. Para teñir los gránulos se utilizó una solución de yodo en yoduro de potasio al 0,1%.

Evaluación de la fracción de amilosa y amilopectina

El contenido de amilosa de las muestras de almidón fue 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, comparando los resultados con una curva estándar.

Propiedades de la pasta de almidón

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

Caracterización de las propiedades funcionales

El índice de absorción de agua (IAA), el índice de solubilidad en agua (ISA) y el poder de hinchamiento, fueron determinados por gravimetría según los métodos descritos por Medcalf y Giles (1965) y Anderson et al. (1969) y mencionados por Santacruz (1995).

Estabilidad al almacenamiento en congelación

Esta determinación se realizó por el método modificado de Charlotte y Ryang (1992) y mencionado por Santacruz (1995). Se prepararon suspensiones de almidón al 2%, las que se gelatinizaron en un baño a ebullición durante 10 minutos. Posteriormente las muestras fueron congeladas a -37 °C y después de 3 días se las descongeló en un baño a 30 °C durante 1 hora, enseguida se centrifugaron por 10 minutos y se pesó la cantidad de agua separada del gel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación, por extracción, del rendimiento en almidón

El rendimiento promedio en almidón para los diferentes tubérculos y raíces en estudio, a nivel de laboratorio, se muestran en la Tabla 1.

Los rendimientos en almidón son satisfactorios para la oca y la zanahoria blanca, regulares para el miso y bajos para la mashua y el melloco. Estas diferencias en las tasas de extracción están determinadas por el contenido mismo 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 la tasa de extracción del almidón, contribuyendo a ello los gránulos de mayor tamaño, como los de oca, que a pesar de

Tabla 1. Extracción del almidón de varios tubérculos y raíces: Rendimiento, porcentaje de residuos y contenido de cenizas.^{1/}

TUBÉRCULO/RAÍZ	RENDIMIENTO ² (%)	RESIDUO ² (%)	CENIZAS ³ (%) B.S
Oca	14,18 ± 1,22	3,30 ± 0,47	0,12 ± 0,03
Melloco	5,17 ± 0,83	2,63 ± 0,53	0,27 ± 0,05
Mashua	2,26 ± 0,84	2,75 ± 0,70	0,23 ± 0,03
Miso	10,42 ± 2,32	34,62 ± 10,43	1,27 ± 0,39
Zanahoria blanca	13,52 ± 6,78	3,07 ± 0,63	0,16 ± 0,08

1/ Promedio de 2 determinaciones en 10 entradas promisorias de oca, 10 de melloco, 8 de mashua, 8 de miso y 6 de zanahoria blanca; 2/ En base a peso fresco de tubérculo/raíz; 3/ B.S. = Base seca

poseer un menor contenido de almidón (42,17% B.S), su rendimiento por extracción fue mayor que para melloco, mashua, miso y zanahoria blanca.

El miso es una raíz abundante en almidón, y mediante determinaciones por el método enzimático se detectó un promedio de 70,01% B.S. Sin embargo, no se obtuvo una buena tasa de extracción de almidón, 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 entradas de gran tamaño y forma regular se alcanzaron rendimientos de hasta 16%, mientras que en las líneas de tamaño pequeño y con ojos profundos el rendimiento obtenido fue sólo de 8,51%.

Determinación de cenizas

El contenido de cenizas permitió estimar la pureza del almidón extraído a nivel de laboratorio. En el almidón de miso se detectó el más alto contenido de cenizas, como consecuencia de la mayor concentración de este componente en la raíz entera (6,18% B.S) y probablemente por la gran cantidad de impurezas (tierra), adherida a la cubierta de la raíz, de difícil eliminación en el proceso inicial de lavado y posteriormente durante la extracción del almidón.

Apariencia microscópica y tamaño de gránulo

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 (ver detalles en figuras).

Para determinar el tamaño, se midió el diámetro de los ejes mayor y menor en 50 gránulos, y los resultados se muestran en la Tabla 2. Los gránulos de 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 (forma ovoidal, tamaño 30,9 x 23,7 μ). El valor de 29,49 micras para el eje longitudinal del almidón de oca, es semejante al valor encontrado por Santacruz (1995) para *Oxalis tuberosa*.

Tabla 2. Tamaño y forma de los gránulos de varios almidones^{1/}

TUBÉRCULO/RAÍZ	EJE MAYOR (MICRAS)	EJE MENOR (MICRAS)	FORMA
Oca	29,49 ± 2,48	20,13 ± 2,08	Ovoidal
Melloco	23,79 ± 2,82	16,1 ± 1,65	Ovoidal
Mashua	15,60 ± 2,41	12,47 ± 1,87	Esférica
Miso	14,25 ± 1,36	10,51 ± 1,00	Esférica
Zanahoria Blanca	9,57 ± 2,00	6,76 ± 1,30	Esférica
Papa	30,9 ± 2,30	23,7 ± 1,70	Ovoidal

1/ Promedio de 2 mediciones, en 50 gránulos de 10 entradas promisorias de oca, 10 de melloco, 8 de mashua, 6 de zanahoria blanca y 8 de miso.

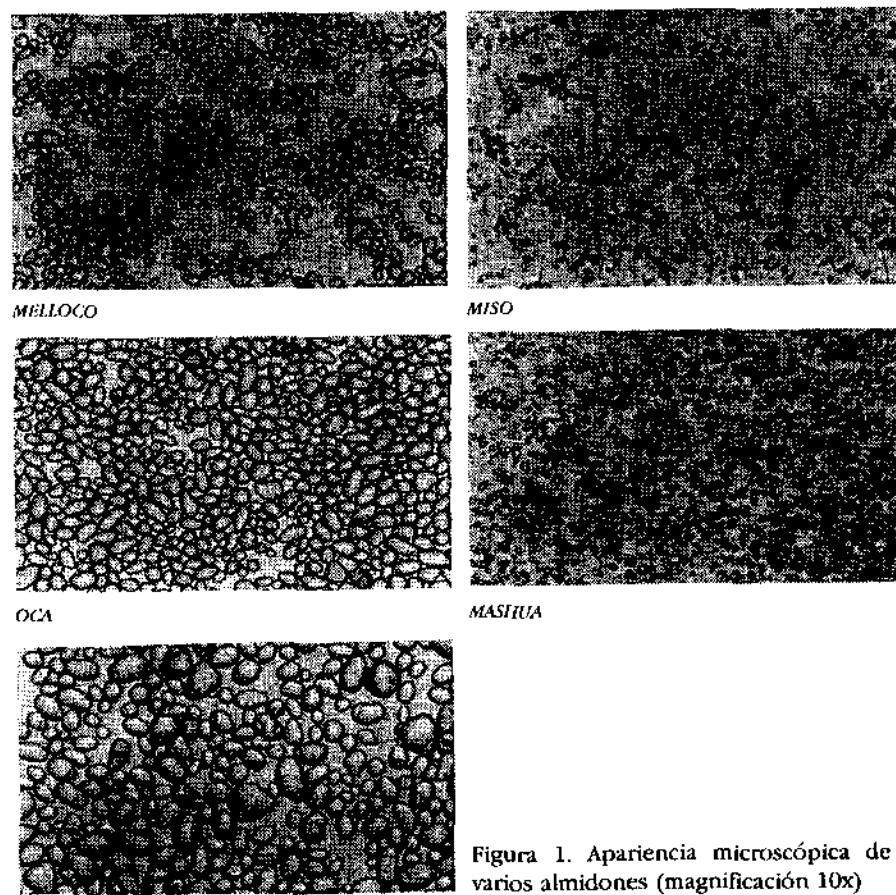


Figura 1. Apariencia microscópica de varios almidones (magnificación 10x)

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 linear, 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 la Tabla 3 se muestran y resumen los resultados obtenidos para el almidón de oca, melloco, mashua y miso, comparados con el contenido de amilosa/amilopectina de otros vegetales.

De acuerdo con estos resultados, el almidón de oca alcanzó el valor más alto de amilosa (29%), lo cual influirá en su comportamiento viscográfico y en su digestibilidad. A juzgar por el contenido de amilosa, se puede prever que el almidón de oca será de digestión lenta, mientras que el almidón de zanahoria blanca, con un menor contenido de amilosa, será de alta y fácil digestión.

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

Tabla 3. Contenido de amilosa/amilopectina, en el almidón de varias especies.

ALMIDÓN	AMILOSA (%)	AMILOPECTINA (%)
Oca	29 ¹	71
Melloco	26 ¹	74
Mashua	27 ¹	73
Miso	21 ¹	79
Z. Blanca	20 ¹	80
Papa	23 ²	77
Achira	26 ³	74
Maíz	26 ³	74
Arroz	25 ²	75
Trigo	24 ²	76

1/ Datos experimentales, promedio de 3 determinaciones, en 10 entradas promisorias de oca, 10 de melloco, 8 de mashua, 8 de miso y 6 de Z. blanca.
2/ Morales, R. (1969)
3/ Joslyn, E. (1970)

2/ Almidones en raíces y tubérculos andinos

Tabla 4. Interpretación de las curvas de viscosidad Brabender para varios almidones. Concentración B.S: 5%; Calentamiento: 1.5°C/min; Largo de calentamiento a 89 °C: 20 min.

Almidón	Mg min	V _m U.B	M _m min	V _r U.B.	V _e U.B.	T _i gel. Tg °C	Fac. cocc. Mm-Mg	Inest. del gel Vm-Vr	Ind. gelif. Ve-Vr
Mashua	25,5	1060	56	1045	1290	62	30,5	15	245
Mellocos	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
Zanah. Blanca	20,5	1080	26	260	310	58	5,5	820	50
Achirav	22,6	1200	39	800	850	60	17,0	260	50
Trigo ¹		580		580	580	84	23,0	0	0
Papa ²	3,3	980	12	340	340	55	9,3	640	0
Yuca ²	6,6	410	10	280	295	60	4,4	130	15

1/ Santacruz, S. (1995)

2/ Morales. (1969)

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

V_m : Viscosidad máxima durante el calentamiento

M_m : Minutos en los que se alcanza la viscosidad máxima V_m

V_r : Viscosidad después de 20 minutos a 89 °C

V_e : Viscosidad al enfriar a 50 °C

Tg : Temperatura a la cual comienza un brusco ascenso en la 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 cifras relativas se presentan en la Tabla 4.

Como puede observarse, los almidones de zanahoria blanca y oca tienen 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, mellocos, miso y trigo, lo cual indica que los almidones de oca y zanahoria blanca necesitan menos cantidad de calor para alcanzar su gelatinización.

Igualmente, es notable la facilidad para el cocimiento de los almidones de zanahoria blanca y oca, si se comparan con los de mashua, miso, mellocos, achira y trigo. No sucede igual con el almidón de Yuca, cuya facilidad de cocimiento supera al almidón de las mencionadas especies.

Contrasta la estabilidad de los geles de miso, trigo, mellocos y mashua con la inestabilidad de los de achira, papa, Yuca, oca y zanahoria blanca, siendo este último el más inestable.

También es notoria la tendencia a la gelificación de los almidones de mellocos y mashua, la misma es menor para los almidones de miso, oca, zanahoria blanca y achira y casi nula para los de papa y Yuca.

En esta prueba, adicionalmente, pudo observarse que los geles de los almidones de oca, zanahoria blanca, mellocos y mashua son transparentes, mientras que los de miso y trigo son turbios, lo cual guarda relación con el tamaño de los gránulos de almidón. 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 mellocos, 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 llegar a ser frágiles. El almidón de miso tiene un poder de hinchamiento limitado, debido al menor contenido de amilosa y probablemente al mayor entrecruzamiento de sus enlaces.

Propiedades funcionales

Se consideró importante el estudio de absorción de agua y las características de solubilidad. Para los diferentes almidones se determinó el índice de solubilidad en agua (ISA), el índice de absorción de agua (IAA) y el poder de hinchamiento. Los resultados se presentan en la Tabla 5.

En general, los almidones de oca, mellocos, mashua y zanahoria blanca presentaron geles con un menor índice de solubilidad (ISA), mayor índice de absorción de agua (IAA) y poder de hinchamiento que los geles de almidón de trigo.

Los almidones de oca, achira y zanahoria blanca tienen un poder mejor de hinchamiento que los almidones de mellocos, mashua y miso, lo cual se observa claramente en el amilograma, cuyo modelo de viscosidad Brabender es diferente al de los almidones de las especies mencionadas.

Tabla 5. Propiedades funcionales de algunos almidones.^{1,2}

ALMIDÓN	ISA	IAA	PODER DE HINCHAMIENTO
Oca	0,45 ± 0,04	2,03 ± 0,06	2,11 ± 0,06
Mellocos	0,92 ± 0,12	1,92 ± 0,04	1,90 ± 0,01
Mashua	0,62 ± 0,05	1,95 ± 0,04	1,95 ± 0,02
Miso	0,98 ± 0,12	1,82 ± 0,08	1,89 ± 0,06
Achira	0,49 ± 0,01	2,05 ± 0,07	2,40 ± 0,07
Zanah.B	0,43 ± 0,05	2,47 ± 0,06	2,45 ± 0,09
Trigo	2,98 ± 0,01	1,96 ± 0,02	1,88 ± 0,04

1/ Promedio de 2 determinaciones en 10 entradas promisorias de oca, 10 de mellocos, 8 de mashua, 8 de miso, 6 de zanahoria blanca. Una muestra de achira y una de trigo.

ISA: Índice de solubilidad en agua, IAA: Índice de absorción de agua.

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 amilopectina 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) (Pietila 1991).

En la Tabla 6 se observa que los geles de melloco, mashua y miso son inestables como los de trigo, 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 fue menor que la de los otros almidones. Los geles de oca y zanahoria blanca alcanzaron valores de sinéresis y se tornaron débiles en el cuarto ciclo (12 días de almacenamiento en congelación).

En pruebas iniciales de estabilidad, a temperatura ambiente se notó que los almidones gelatinizados de melloco, mashua, miso y trigo se debilitan y empiezan a perder viscosidad al cuarto día de almacenamiento; en este periodo, los almidones gelatinizados de oca, zanahoria blanca y papa aún conservan algunas de sus características iniciales.

CONCLUSIONES

El miso es una raíz abundante en almidón; sin embargo, no se obtuvo una buena tasa de extracción posiblemente por el menor tamaño de sus gránulos y la heterogeneidad en cuanto a la forma y tamaño de las raíces. Además, con esta especie debe probarse otros métodos de extracción, a fin de mejorar el rendimiento de almidón.

Tabla 6. Sinéresis de varios almidones (%).^a

Días	Oca	Melloco	Mashua	Miso	Zanh. B	Trigo
3	7,23	56,01	49,88	52,37	8,00	66,00
6	8,09	64,50	54,88	53,83	9,63	67,60
9	11,61	64,98	55,08	55,72	12,40	68,51
12	14,79	65,86	55,37	57,08	15,00	69,50
15	17,21	66,28	58,10	57,31	18,12	70,57
18	21,0	67,58	61,87	60,80	21,00	72,72
21	21,35	68,12	64,00	62,73	24,67	72,70

^a Promedio de 2 repeticiones en 10 entradas promisorias de oca, 10 de melloco, 8 de mashua, 8 de miso, 6 de zanahoria blanca y una muestra de trigo.

% Sinéresis = (Peso de agua/Peso de muestra)x100

La zanahoria blanca, al igual que la oca, constituyen buenas materias primas para la obtención de almidón. El contenido de amilosa del almidón de zanahoria blanca permite prever que éste es de alta digestibilidad.

Los gránulos del almidón de oca son de mayor tamaño que los de melloco, mashua y miso. Las diferencias en ciertas propiedades físicas de este almidón y su rendimiento durante la extracción están estrechamente relacionadas con las diferencias en el tamaño de gránulo.

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, otros estudios, como la digestibilidad del almidón, y sus propiedades reológicas son necesarios para precisar su aptitud para el uso y explotación comercial.

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, R., H. Cohway, V. Pfeifer y Griffin
1969 "Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking". *Cereal Science Today* 14 (1): 4-12.
- Braverman, J.
1980 *Introducción a la bioquímica de los alimentos*. México, D.F.
- Charlotte y Byang, H.
1992 *Physico-chemical properties of hydroxy propyl potato starch*. Ph. D thesis. Department of Food Technology, University of Lund, Sweden.
- Gujska, E., D. Reinhard y K. Khan
1994 "Physicochemical properties of field pea, pinto and navy bean starches". *Journal of Food Science* 59 (3): 634-636. North Dakota, USA.
- Inatsu, O., I. Maeda, N. Jimi, K. Takahashi, H. Taniguchi, M. Kawabata y M. Nakamura
1983 "Edible canna starch. 1: Some properties of edible canna starch produced in Taiwan". *Journal of the Japanese Society of Starch Science* 30 (1): 38-47.
- Lii, Ch., Y. Chu e Y. Chang
1988 *Isolation and Characterization of Mungbean Starch*. Institute of Chemistry, Academia Sinica, Taiwan, China.
- Martinod, P. y P. Pacheco de Aguirre
1974 "Contenido de amilosa y amilopectina de almidones". *Ciencia y Naturaleza* 15 (1): 2-7. Quito, Universidad Central del Ecuador.

- Morales, R.
- 1969 "Características físicas, químicas y organolépticas del almidón de «achira».
Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 13 (51). Bogotá.
- National Research Council
1989 *Lost Crops of the Incas: Little-known Plants of the Andes with Promise for Worldwide Cultivation*. Washington, D.C., National Academy Press.
- Peralta, E. y C. Nieto
- 1992 "Diagnóstico agrosocioeconómico a productores de melloco (*Ullucus tuberosus*, L.) en Ecuador". *Actas del VII Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos* (La Paz, Bolivia, 4-8 febrero 1991), D. Morales y J. J. Vacher, editores, págs. 247-254. La Paz, IBTA/ORSTOM/CIID.
- Pietila, L.
- 1991 "Valor nutritivo". En: *Investigaciones sobre el ulluku*, L. Pietila y M. Tapia, editores, págs. 53-56. Abo Akademis Kopieringscentral, Turku (Finlandia).
- 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.
- Soni, P. L., H. Sharma, H. C. Srivastava y M. M. Gharia
- 1990 Physicochemical properties of *Canna edulis* starch: Comparison with maize starch. En. Diags. Illus. Sum. Weinheim, Alemania.
- Tapia, Mario
- 1990 *Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación*. Santiago, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Vimos, C., C. Nieto y M. Rivera
- 1983 *El melloco. Características técnicas del cultivo y potencial en Ecuador*. Publicación Miscelánea N° 60. Quito, EESC, INIAP.

RECURSOS GENÉTICOS DE RAÍCES ANDINAS: I. EXPLORACIÓN PARA CHAGO, YACÓN, ACHIRA Y ARRACACHA EN EL NORTE DEL PERÚ

Juan Seminario Cunya
Cecilio Granados Pérez
Jorge Ruiz Boy

RESUMEN

El presente artículo resume los trabajos realizados para conocer los aspectos etnobotánicos y recolectar germoplasma con fines de conservación, mejoramiento y utilización en el norte del Perú de las siguientes raíces: chago o mauka (*Mirabilis expansa*), yacón (*Smallanthus sonchifolius*), achira (*Canna edulis*) y arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). En la exploración se siguieron las experiencias etnobotánicas de Hernández Xolocotzi (1985). La variabilidad del germoplasma fue caracterizada mediante descriptores morfológicos, siendo una de las metas el identificar y agregar los morfotipos que no estaban representados en las colecciones. Se identificaron los factores que favorecen o ponen en riesgo la conservación de las especies y sus variantes.

Se recolectaron 369 entradas de las cuatro especies, se identificaron y describieron 35 morfotipos para las tres primeras (chago, yacón y achira), mientras que para la arracacha éstos se vienen definiendo. Los factores y aspectos importantes de la relación hombre-planta que favorecen la conservación son: la distribución geográfica, el intercambio de semillas (a nivel de familias, comunidades, cuencas y regiones), los usos y roles, que incluyen los religiosos y rituales, la diversidad de morfotipos y las

RAÍCES Y TUBÉRCULOS ANDINOS. AVANCES DE INVESTIGACIÓN I, Tommy Fairlie, Mariano Morales Bermúdez y Miguel Holle, editores, págs. 37-59. Lima, Centro Internacional de la Papa (CIP) y Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), 1999.

relaciones con el mercado; aspectos que constituyen expresiones culturales ligadas a las especies. Los factores que presionan y ponen en riesgo la diversidad de las especies, son: la disminución de su utilización, los cambios en los sistemas productivos y el reemplazo por especies más comerciales. La disminución de las áreas cultivadas se considera como una evidencia probable de erosión genética. No se registraron pérdidas de morfotípos, bajo condiciones del agricultor, por lo menos en las dos últimas generaciones.

INTRODUCCIÓN

Una buena práctica de la conservación *ex situ* de la diversidad de plantas cultivadas es apoyarse en las formas de conservación de los agricultores. Ello implica el reconocimiento y la valoración de los conocimientos y prácticas tradicionales pero, a la vez, los programas de conservación deben mantener colecciones dinámicas en condiciones de servir de apoyo a los agricultores. De otro lado, el éxito de la conservación de los cultivares tradicionales radica en que el agricultor tenga la posibilidad de asegurar su bienestar, sin que ello signifique abandonar los sistemas agrícolas que han mantenido el germoplasma actual.

La conservación y utilización sostenida de los recursos vegetales conlleva, en primer lugar, conocer la variabilidad en todos sus aspectos. Esto significa conocer la dinámica de los sistemas productivos, la diversidad de los cultivares y sus parientes silvestres, los usos y roles, los factores que favorecen o ponen en riesgo la conservación, etc. La exploración etnobotánica provee el instrumento para abordar estos aspectos.

La función de la exploración etnobotánica consiste: primero, en registrar, ordenar, escudriñar, hilvanar y publicar la información en el mismo marco de la cultura agrícola del hombre; segundo, reunir con cuidado e inteligencia el material de propagación de interés inmediato y mediato a los problemas de la investigación agronómica, bioquímica y botánica; y tercero, seguir la secuencia de trabajos necesarios para su introducción o incorporación a los bancos de plasma germinal (Hernández Xolocotzi 1985).

La importancia de la exploración etnobotánica consiste en que permite entender la dinámica de los recursos genéticos, dentro de los sistemas agrícolas, considerando que su selección y conservación es función de las características biológicas del germoplasma, pero a la vez es función de factores culturales (Brush 1986). También, la exploración etnobotánica permite orientar y recomendar las actividades de conservación y se informa de casos en los cuales ésta ha dado lugar a la conservación de ecosistemas y agroecosistemas completos (Williams 1994).

Nueve especies de raíces tienen importancia en esta parte de los Andes (Hawkes 1989). De ellas, el chago o mauka (*Mirabilis expansa*), el yacón (*Smallanthus sonchifolius*), la achira (*Canna edulis*) y la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), son especialmente importantes en el norte del Perú. Las tres primeras porque existen

pocos antecedentes respecto a sus potencialidades de utilización, su biología, su variabilidad y conservación, y porque existe la presunción de que están en franco proceso de erosión. La última es importante porque en el norte del país (Cajamarca) se encuentra más del 60% del área cultivada en el Perú.

Para realizar este estudio se plantearon los siguientes objetivos: a) conocer los aspectos etnobotánicos relevantes sobre estas cuatro especies y b) recolectar germoplasma con fines de conservación, mejoramiento y utilización.

MATERIALES Y MÉTODOS

Especies y ámbito geográfico

La exploración comprendió a las especies chago o mauka, yacón, achira y arracacha, con énfasis en los cultivares tradicionales y de manera secundaria en los parientes silvestres. El ámbito geográfico comprendió básicamente el departamento de Cajamarca y parte de los departamentos de Piura, La Libertad, Amazonas y San Martín, todos en el norte del Perú. Dado que el énfasis fue puesto en algunas provincias de Cajamarca, la exploración no es exhaustiva para la región.

Los datos de altitud, latitud y longitud fueron en su mayor parte definidos utilizando la Carta Nacional (1/100,000) publicada por el Instituto Geográfico Militar. La determinación de regiones naturales se basó en lo establecido por Pulgar Vidal (1981). Para ubicar con cierta precisión el lugar de recolección, se usó el término **localidad** para referirse a una división del **caserío**; mientras que el conjunto de caseríos conforma un **distrito**. En algunos casos, la localidad puede incluso estar dividida en sectores más pequeños.

Método

Para el estudio se tomaron en cuenta las experiencias etnobotánicas de Hernández Xolocotzi (1985), las cuales son:

- Siempre hay antecedentes.** La estrategia para explorar y recolectar en zonas nuevas fue: reunir antecedentes o indicios sobre la presencia de cada especie y su variabilidad, mediante estadísticas oficiales, contacto con agricultores, estudiantes, profesores rurales, viajeros, etc. Luego, se programó una primera visita apoyándose en personas que conocían la zona. Se establecían así los primeros contactos *in situ* con agricultores y se delineaban las nuevas necesidades de exploración.
- El medio es determinante para el desarrollo de las plantas.** Se trató de explorar, en cada localidad en la cual es importante el cultivo.

- c) **El hombre ha sido y es el factor más importante para el desarrollo de los cultivares.** Cada etnia, cada comunidad y tal vez cada familia puede tener aspectos diferenciales en su relación con las plantas, lo cual puede determinar diferentes expresiones de estas últimas. Ello se tomó en consideración en la exploración.
- d) **Cada especie o variedad tiene características morfológicas y ecológicas distintas.** Una tarea fue revisar la botánica y la ecología generales de las especies. Sin embargo, pocos antecedentes se encontraron acerca de la diversidad intraespecífica (cultivares, variedades, etc.).
- e) **El conocimiento acumulado en milenios tarda en recopilarse.** Se considera que la larga experiencia de los agricultores no puede ser evidenciada en sólo una visita. Por otro lado, este conocimiento no está "congelado", sino que es dinámico y se sigue generando en cada nueva circunstancia.
- f) **La exploración etnobotánica es un proceso dialéctico.** En esta oportunidad se trató de no incurrir en la práctica de ser ocasionales exploradores y recolectores, que una vez que termina la recolección no regresan más. Se considera que es conveniente realizar exploraciones reiteradas en las mismas áreas en busca de: nuevos conocimientos, tanto del germoplasma como sobre el medio; nuevas entradas fenotípicamente diferentes; recuperar entradas perdidas; determinar o señalar las evidencias de erosión; identificar comunidades, familias o agricultores pioneros de la conservación, como lo recomienda Rea (1995); devolver cultivares de interés para los agricultores; y establecer relaciones de amistad y cooperación con los agricultores para la conservación, de manera que las formas *ex situ* y la de los agricultores no sean excluyentes sino que se apoyen mutuamente para el mismo objetivo.

El éxito de una estrategia como la descrita se basa en el apoyo y diálogo permanente con los agricultores.

• Las recolecciones

En un principio se realizaron en forma indiscriminada, tratando de acopiar un número considerable de entradas, lo cual permitió ir conociendo la variabilidad fenotípica dentro de cada especie. Posteriormente, se decidió recolectar muestras de los cultivares o morfotipos que eran fenotípicamente diferentes a los ya existentes en la colección. Si en una localidad existía más de un morfotipo, se trató de recolectar por lo menos una muestra de cada uno. En otros casos se recolectaron varias muestras del mismo morfotipo, pero en diferentes localidades. En el caso de la arracacha se recolectaba cada cultivar con nombre diferente dado que, en este cultivo, es frecuente una nomenclatura local para los cultivares. Así mismo, se consideró la necesidad de no incurrir en una acumulación excesiva de entradas que harían difícil su manejo, caracterización y evaluación.

Se recolectó en las mismas chacras y huertos familiares, con la participación del agricultor y/o su familia. Ello permitió iniciar también la caracterización de los materiales *in situ* con ayuda del agricultor. Se evitaron las "recolecciones al paso" y las recolecciones con sesgo hacia las áreas aledañas a las vías de acceso.

En todos los casos, al realizar las recolecciones, se tuvo especial cuidado de no recolectar en zonas en las que recolectaron Arbizu y Robles (1986) y Franco y colaboradores (1989) en años anteriores. A pesar que estas colecciones no fueron numerosas ni exhaustivas, los catálogos publicados sirvieron de referencia para el trabajo.

El tamaño de la muestra varió de acuerdo a la abundancia de semillas y a la predisposición de los agricultores. Cinco a diez propágulos se consideró un número adecuado para todas las especies, que fundamentalmente son de reproducción vegetativa.

• Concepto de morfotipo y agrupamiento del germoplasma

La caracterización del germoplasma se inició *in situ* con la participación del agricultor. Sin embargo, esta descripción no podía ser exhaustiva ni completa, debido a factores como: áreas extensas por recorrer, la edad de las plantas al momento de la visita no siempre es la adecuada, la predisposición de los agricultores para permitir sacar plantas, hacer cortes y anotaciones y responder interrogantes. Además, es importante respetar sus decisiones. Esta caracterización se continúa *ex situ*, en parcelas de la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), usando descriptores elaborados para el caso. De acuerdo a esta descripción, el germoplasma se agrupó en morfotipos. Un **morfotipo** se define como una población intraespecífica, que presenta la morfología general y típica de la especie, pero a la vez presenta ciertos caracteres, especialmente cualitativos, que la diferencian de otros morfotipos. Esta definición es una adecuación de la definición de Font Quer (1985), quien dice del morfotipo: "en las especies polimórficas es cualquier estado morfológico con determinados caracteres formales".

• Rol de los agricultores y de los recolectores

En el trabajo de recolección de germoplasma y de recopilación del conocimiento tradicional, los agricultores juegan un papel fundamental, dado que ellos han generado y conservado el germoplasma como parte de su cultura. Por ello se tuvo especial cuidado en registrar el nombre y dirección del agricultor donante de cada muestra, así como la información geográfica y ecológica pertinente. Por otro lado, los recolectores y la institución son los encargados o custodios del germoplasma, el cual puede ser requerido en el momento que el agricultor lo considere necesario.

• Documentación

La toma de datos sobre la ecología del lugar de colecta de la muestra propiamente dicha, así como sobre otras consideraciones, se realizó en una ficha de recolección,

la cual era llenada durante el proceso. Además, después de cada misión de recolección se elaboraba un **Informe de Viaje**, en el cual se detallaban aspectos como: ruta seguida, medio de transporte, horas de viaje, localidades visitadas, personas entrevistadas o colaboradoras, datos ecológicos generales, informaciones relevantes sobre las especies no registradas en las fichas de recolección: tipos, usos, preparaciones y otros roles, asociaciones, rotaciones, mercado, aspectos limitantes, referencias sobre erosión, etc. y sugerencias para otras exploraciones. Estos informes han sido sugeridos por Estrella (1994) como elementos auxiliares importantes en la documentación de recursos fitogenéticos, a los que denomina **Informes de Bitácora**.

En ciertas ocasiones se tomaron fotografías y se recolectó material para herbario, ambos elementos son auxiliares en la descripción y caracterización de las entradas. La información referida a cada entrada se almacenaba en una base de datos computadorizada. Al ingresar una nueva entrada al Banco de Germoplasma se le asignó un número-clave, con el cual es reconocida en lo sucesivo. Seguidamente se consignaban los datos recogidos en la ficha de recolección y/o en el informe de viaje. Posteriormente se va agregando la información obtenida en la caracterización y evaluación.

RESULTADOS

Chago o mauka

- **Recolecciones**

Totalizaron 42 entradas, de las cuales tres son silvestres/arvenses. El 12% de entradas se perdieron (Tabla 1).

- Morfotipos

Se determinaron tres morfotipos cultivados cuya caracterización aparece en la Tabla 2. Por otro lado, dos de los morfotipos silvestres fueron identificados como pertenecientes a la especie *M. prostrata*, la cual, por las características morfológicas, podría ser el pariente más cercano de *M. expansa*. A nivel de los agricultores no se registraron indicios de pérdidas de morfotipos en tiempos recientes.

- Distribución geográfica

Las altitudes de recolección estuvieron comprendidas entre 2300 y 3400 msnm y la mayoría de entradas fueron recolectadas entre los 2800 y 3200 msnm. Estas altitudes corresponden a la región Quechua media y alta.

Los recorridos de campo y el cruce de información diversa, permitieron tener confirmación de la presencia de la planta al estado cultivado en los departamentos de Ancash, La Libertad, Cajamarca y Amazonas, en 14 provincias, 36 distritos y 116 localidades; aunque sólo se recolectó en aproximadamente 26

Tabla 1. Recolección de cuatro raíces andinas del banco de germoplasma de la Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.

Donadas por el CIP, recolectadas en Perú, pero no se precisan las localidades.
* Provincia de Ecuador, que jerarquicamente equivale a un Departamento en Perú y Bolivia.

* Provincia de Ecuador, que jerárquicamente equivale a) Indica el número de entradas silvestres y/o artificiales

* Pr

Tabla 2. Descripción de morfolitos de chago o mauka del norte del Perú.

MORFOTIPO	HABITO CRECIMIENTO	TALLO Color	HOJA				% ENTRADAS
			Forma	Base	Apice	Color hls	
I	decum	púrpura	cordada	cordada	Agudo	vop/vop	
II	med. decum	verde oscuro	ovada	cuneada	Agudo	vo/v	
III	med. decum	verde ama.	cordada	cordada	Agudo	vo/vc	
MORFOTIPO	HABITO CRECIMIENTO	FLOR	RAIZ			% ENTRADAS	
		Color perigonio	Color estigma	Forma	Color externo	Color pulpa	
I	decum	lila	lila	cónica	crema-ama	blanco-cre	45.5
II	med decum	blanco liláceo	pejizo	fus-conica	crema-ama	blanco-cre	39.4
III	med decum	blanco	crema	cónica	blanco	blanco	15.1

Leyenda:
b=baz, e=envés, decum=decumbente, med.decum=medianamente decumbente, cro=crema
v=verde, vo=verde oscuro, vc=verde claro, vop=verde oscuro con pigmentación púrpura,
verde ama=verde amarillento, ama=amarillo, fus=fusiforme

de ellas (Tabla 1). Los morfolitos de mayor distribución resultaron ser el I y III. En cambio, el morfolito II resultó estar localizado en la provincia de Sánchez Carrión (La Libertad).

• Nombres comunes

La especie en esta región es conocida con variados nombres comunes, como: chago, achagu, cushpe, cushpin, arricón, yuca de jalca, arracacha de toro, yuca inca, yuquilla, camotillo, pega pega, rábano y shalca yuca. Estos numerosos nombres sugieren la existencia de una larga experiencia en la relación hombre-planta, pero que a la vez esta experiencia sería diferente para cada grupo étnico o población. En los lugares donde existe más de un morfolito, estos se denominan con los adjetivos verde o blanco y morado, precedido del nombre local que identifica a la especie.

Para los parientes silvestres, los nombres locales son: camotillo, pega pega, pegajera y papellita.

• Usos

En la región, las raíces y tallos subterráneos se consumen sancochados (como la yuca o el camote), sancochados y luego guisados con rocoto (*Capsicum pubescens*) y otros condimentos, en sopa o caldo, solo o con carne de cerdo, sancochados y luego fritos, sancochados y luego molidos, sancochados y luego revueltos con arroz o con repollo. En dulce se consumen trozados o rallados, luego se sancochan y se agrega azúcar o chancaca dulce de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y a veces leche. La época de mayor consumo está relacionada y coincide con ciertas festividades agrícolas-religiosas, pero se indica que en los últimos años su uso ha disminuido.

La raíz y los tallos subterráneos también se utilizan en la alimentación de cerdos. El follaje se puede utilizar como forraje para vacunos, cuyes y ovinos. En algunas

ocasiones se deja que las plantas crezcan junto con el maíz y otros cultivos (o en los terrenos en descanso) y luego de cosechar el maíz se coloca a los cerdos para que se alimenten libremente. Los tipos silvestres generalmente son usados como forraje para alimentar diversos animales domésticos.

• Sistema de cultivo

El cultivo del chago o mauka no se observa en extensiones grandes, a veces sólo se trata de unas pocas plantas en cada chacra o huerto familiar. Algunos agricultores indican que en épocas anteriores sembraban mayores extensiones, aunque las estadísticas oficiales no informan al respecto. Lo más común es encontrarla asociada con cultivos como maíz, frijol, haba, arracacha, camote, ya sea en el borde u otros sectores de la chacra. Prospera en suelos sueltos, negros con abundante materia orgánica (Chota, Bambaraca, Celendín), pero también en suelos de colores claros, arenosos (Huamachuco). Algunos agricultores indican que la planta es muy agresiva y a veces dejan de sembrarla asociada al maíz porque le "quitan fuerza", considerándose una causa de la disminución de las áreas sembradas. En Celendín, los agricultores indican que las mejores cosechas de maíz, frijol y papa se obtienen en suelos ocupados anteriormente por artichón o chago.

En los huertos familiares se asocia a diversas especies hortícolas. Esporádicamente se puede encontrar sembrado en pequeñas parcelas en monocultivo. Es posible, así mismo, encontrarlo junto a diversas arvenses en suelos que están en descanso, debido a que después de la cosecha quedan colinos enterrados, los que posteriormente brotan.

Las nuevas siembras se realizan en los meses de inicio de las lluvias (septiembre-noviembre), utilizando material vegetativo (colinos). Generalmente se plantan en "golpes" individuales a distanciamientos variables. Algunas veces se cosechan las raíces y tallos tuberizantes y se dejan en el suelo algunos colinos o la corona completa. Otra alternativa es el uso de esquejes de tallo aéreo.

Una forma de "siembra" es mediante semilla botánica, la cual, por su dehiscencia, cae al suelo y germina con la humedad de las lluvias, formando "almácigos". Estas plántulas son raleadas a medio de labores culturales o por la competencia sólo algunas logran sobrevivir.

La cosecha se realiza a partir de los 7 ½ meses, de acuerdo a las necesidades de consumo. Tal vez por las características agroecológicas el cultivo no presenta problemas patológicos de consideración (Seminario Cunya 1993).

• Relaciones con el mercado

Es un cultivo fundamentalmente de autoconsumo. Rara vez llega al mercado, siendo únicamente objeto de cambio o trueque.

Yacón

• Recolecciones

Totalizaron 81, las cuales incluyen dos entradas arvenses silvestres. Estas últimas se recolectaron dado que en la morfología general son parecidas a *S. sonchifolius* y, también, porque en las comunidades son conocidas con los nombres de yacón de campo, yacón de monte, yaconcillo o yaconkewa. Sin embargo, en la determinación resultaron pertenecer a especies y géneros diferentes (una de ellas pertenece a *Munozia*). Las pérdidas fueron de 13% (ver Tabla 1), y se produjeron entre el momento de recolección y el establecimiento *ex situ*. Se piensa que la causa es la succulencia de los tejidos de la corona y el alto contenido de azúcares que la hacen atractiva para el ataque de patógenos.

• Morfotipos

De las entradas cultivadas, se determinaron cuatro morfotípos de planta, cuya descripción aparece en la Tabla 3. El morfotipo más abundante en la región es el III.

• Distribución geográfica

La planta al estado cultivado se distribuye en todo el ámbito de estudio. El rango de altitud de las recolecciones va de 1600 a 3200 msnm y la mayoría de las recolecciones se distribuyen entre los 2200 y 2800 msnm. La distribución comprende las regiones de Ceja de Selva o *Rupa Rupa*, Yunga Fluvial y Quechua. Las provincias donde se recolectó el mayor número de entradas fueron Cajamarca y Cajabamba (ver Tabla 1). Los morfotípos I y III son los de mayor distribución; sin embargo, el morfotipo III es predominante en las zonas donde el cultivo tiene carácter comercial. Se indica que el sabor, la dulzura de las raíces y el alto rendimiento son las características por las que se le prefiere.

• Nombres comunes

En la región no existe otro nombre común para esta planta, solamente se constata que se puede pronunciar y escribir como **yacón** o **llacón**. Los agricultores diferencian dos tipos de cultivares o "layas": el verde o blanco y el morado.

• Usos

El uso más generalizado es al estado fresco como "fruta". De esta forma es especialmente apreciado por los niños de las escuelas. Se considera que al estado fresco es una buena "fruta" o rehidratante para consumirla en caminatas de jornadas largas, porque evita el cansancio, probablemente debido a su alto contenido en azúcares y minerales. También se puede preparar miel o una especie de chancaca y chicha (mediante un proceso de fermentación).

Tabla 3. Descripción de morfotipos de yacón del norte del Perú.

TIPO	RAMIFICACIÓN	COLOR	COLOR	FORMA	BASE	ÁPICE
I	Mucha	pur	pur	triangular	hastada	Acuminado
II	Poca	vc	v	triangular	truncada	Agudo
III	Poca	vo	vpur	triangular	hastada	Agudo
IV	Poca	prup	vpurp	cordada	cordada	Agudo

TIPO	COLOR h/e	COLOR LIGULA	FORMA LIGULA	PROMINENCIA DIENTES LIGULA	ENTRADAS %
I	v/vc	ama.osc	oblongo	si	25,9
II	vc/vc	ama.cla	elíptico	no	27,0
III	vo/vo	ama.osc	ova.elip	no	36,5
IV	vo/vo				4,7

Leyenda: Pur = púrpura, v = verde, vc = verde claro, vo = verde oscuro, vpurp = verde púrpura, b = haz, e = envés, ama.osc = amarillo oscuro, ama.cla = amarillo claro, ova.elip = ovalado elíptica

Como producto medicinal tiene diversas aplicaciones para las afecciones de los riñones y del hígado. También, en caso de hinchazones, tiene aplicaciones en combinación con otros vegetales. Tanto la raíz tuberosa como la cepa molida se usan contra la fiebre del ganado, principalmente vacuno. En San Miguel de Pallaques, los campesinos dicen que el follaje de yacón usado como forraje, permite mejorar el pelo de los animales. Esta versión se relaciona con lo que Rea (1995) encontró en Bolivia. Él informa que los campesinos consideran que el consumo de la raíz de yacón permite rejuvenecer la piel de las personas. En Cajamarca se encontró que las yemas o cogollos (en cocimiento o sólo el zumo) del yacón se usan para aumentar la secreción láctea en las mujeres, acompañados con yemas o brotes de rocoto y de arracacha de cerro (*Arracacia sp.*).

Los cuyes (*Cavia porcellus*) consumen con avidez las raíces tuberosas. Los tallos sirven también como leña y para cercos temporales.

Las raíces intervienen en los ritos como ofrenda en la fiesta de "Las Cruces" (mes de mayo) y en la festividad de San Isidro Labrador (patrón de las cosechas), que se celebran en varias localidades de la región.

• Sistema de cultivo

Comúnmente, existen pocas plantas en los jardines o huertos familiares, ubicados junto a las casas, en donde los suelos generalmente son ricos en materia orgánica. En los lugares donde el cultivo tiene cierto carácter comercial se siembra en suelos nuevos (a veces después de cortar el bosque), de color oscuro, con abundante materia orgánica, con frecuencia pedregosos. En San Antonio, San Jorge (Contumazá), se siembra en monocultivo o asociado con frijol arbustivo o semiarbustivo. Bajo esta modalidad, la siembra de las dos especies se hace en la misma época (junio-julio) y mientras se

produce el brotamiento y establecimiento del yacón, el frijol da cosecha y ya no compiten. En Chapolán, Socchedón (Contumazá) y en Sapuc, Asunción (Cajamarca), se cultiva asociado al maíz para choclo. Bajo esta modalidad, las dos especies se siembran en la misma época (junio a julio). Primero se siembra el yacón a distanciamientos de 70 a 80 cm entre surcos y 50 a 60 cm entre plantas o golpes; luego se siembra maíz "al paso". De manera que en ocasiones las plantas de maíz salen junto a las de yacón, otras veces muy cerca a éstas y otras veces en el intermedio. Bajo este sistema se aprovecha del brotamiento y crecimiento lento del yacón, mientras el maíz crece sin mayor competencia. Ya en los meses de diciembre o enero el maíz tiene choclo maduro, el cual se cosecha para el consumo, posteriormente se saca el follaje del maíz para forraje del ganado, justamente en la época más crítica o de mayor escasez de forraje, dejando el espacio libre para el desarrollo del yacón. En este momento, la planta de yacón ha entrado en su etapa de crecimiento acelerado y pronto "cerrará el surco". El sistema implica un uso intensivo y a la vez muy racional del suelo. Sin embargo, es necesario estudiar el efecto de esta asociación sobre la fertilidad del suelo.

En Sapuc, El Tomate y La Sarza, se asocia frecuentemente con el maíz, pero sembrándolo en diferente época; es decir, sembrando días o meses antes el yacón y posteriormente el maíz o viceversa. Otra alternativa de asociación observada en estas mismas localidades es con la papa. Del mismo modo, el brotamiento y crecimiento lento del yacón permite que se pueda obtener cosecha de papa, mientras el yacón entra en su etapa de crecimiento acelerado; posteriormente, el yacón "cerrará el surco" y desarrollará solo.

En otros lugares (Ogoris, Sapuc), se asocia con repollo (*Brassica oleracea*). Y también se siembra alrededor de los cultivos de papa y maíz o en el interior del huerto familiar, pero ubicado hacia el borde (San Marcos).

Las nuevas siembras se realizan generalmente en los meses de junio y julio (bajo riego), usando la "cepaa" cortada en fracciones, las cuales llevan varias yemas. Otras veces se cosecha entre abril y junio, se dejan las "cepas" en campo, para sembrarlas cuando caen las primeras lluvias. En ocasiones, la cosecha se hace mediante "capado" de las plantas, que consiste en extraer las raíces tuberosas maduras, quedando el resto de la planta en el campo, la parte aérea se seca y los nuevos brotes salen con las primeras lluvias. Esta última práctica es una buena alternativa para la conservación *ex situ* del germoplasma. Otra forma de propagación usada por los campesinos cuando hay escasez de semilla es a través de estacas de tallo.

Respecto a la patología, una larva, llamada gusano blanco, no identificada y un tipo de pudrición que ataca a la corona, tienen cierta repercusión en algunas comunidades.

• Relaciones con el mercado

Existen dos áreas donde el cultivo tiene cierto carácter comercial. Una, es la provincia de Contumazá con las localidades de Ishcayacu, Silacot, Chapolán, Socchedon, La Ramada, San Antonio y San Jorge. La otra zona se ubica en el distrito

de Asunción, en las localidades de Ogoris, Sapuc, Pachaní, El Tomate y La Sarza. Los lugares donde se comercializa son: Choropampa, Chilete, Cascas, Trujillo, Casa Grande, Roma, Laredo y Chimbote.

También en la provincia de Ayabaca, Piura, si bien no se cultiva en extensiones grandes, es común ver en la época de cosecha que las raíces tuberosas se expenden en los pequeños comercios o en la puerta de las casas de ciertos agricultores. Caso similar sucede en Chanta Alta (Cajamarca). En comunidades aledañas a la ciudad de Cajamarca, la cosecha se hace semanalmente, para concurrir al "día de plaza" o feria semanal. En Contumazá, un antiguo comerciante y los agricultores sostienen que una de las causas de la disminución de las áreas sembradas es la desaparición de los compradores y acopiadores, que llevaban el producto a la costa. Se sabe que hace pocos años existía, en el mercado mayorista de Trujillo, un puesto exclusivo de venta de yacón. Otra de las causas se considera que es el bajo precio que logra en el mercado.

Achira

• Recolecciones

En total se recolectaron 103 entradas (ver Tabla 1), las cuales se agruparon en: comestibles, ornamentales e intermedias. Las **comestibles** comprenden las achiras de flores relativamente pequeñas, cuya producción de cormos tuberosos es muy evidente, aunque no siempre se utilizan como alimento, pero las hojas son usadas para envolver alimentos. Las **ornamentales** son las achiras con flores relativamente grandes y más vistosas, no producen cormos tuberosos grandes como las anteriores. Las **intermedias** son las achiras que teniendo flores pequeñas (como las comestibles), no producen cormos grandes, por tanto no son usadas como comestibles, aunque sí se usan las hojas para envolver alimentos y como ornamentales.

Este agrupamiento es arbitrario y tiene el objetivo de facilitar la caracterización y el manejo del germoplasma. Por otro lado, era importante contar con todo el espectro de variación de la especie. En total, las perdidas sumaron 3% (Tabla 1).

• Morfotipos

En los tres grupos anteriores se determinaron diferentes morfotipos de planta. En el grupo de comestibles se han definido nueve morfotipos. Estos morfotipos son importantes, debido a que son producto de la evolución bajo domesticación de la especie; es decir, producto de la selección de los agricultores, sin intervención de la genética moderna (Tabla 4).

En el grupo de ornamentales se definieron 15 morfotipos (Tabla 5). Dado que estas achiras han sido seleccionadas y mejoradas desde muy temprano, con fines ornamentales, se dice que desde el final del siglo pasado estas achiras "entraron en moda" y a principios de este siglo existían ya más de 1,000 híbridos en el mercado. Dado el carácter ornamental y la facilidad de transporte de los propágulos, han sido

Tabla 4. Descripción de morfotipos de achiras comestibles del norte del Perú.

MORFOTIPO	BRÓTE Color	HOJA						FLOR						FRUTO	% Entradas
		Forma	Color lamina hle	Color borde	Color vaina	Color principal estanitido	Color secundario estanitido	Color sépalos	Color petalos	Color estílio	Forma	Color amarillo	Color amarillo		
I	Vama	ove	volve	no	t	v	rc	ana	va	rpr	v	amar	ana	tr	1.6
II	Vp	ote	vclvc	no	t	v	ana	ana	va	anvr	anvr	ana	ana	tr	15
III	P	ove	v/v	sí	lm	vp	an	ana	rv	rvr	anvr	an	an	an	8.2
IV	P	ove	volve	no	t	v	an	ana	rvr	rvr	anvr	lg	an	lg	3.3
V	Vama	ove	v/v	no	t	v	rvn	ana	wc	ana	ana	g	ana	g	39.3
VI	P	ove	volve	no	lm	vp	ros	ana	p	rp	ros	tr	ros	tr	16.4
VII	Pvr	ove	vclv	no	tama	v	r	ana	rp	r	an	tr	an	tr	1.6
VIII	V	la	v/v	no		v	rc	ana	v	r	r		v	r	1.6
IX	P	ove	vclvc	no	lm	v	r	an	no	r	an				13

Leyenda:
vama = verde amarillento, *vp* = verde púrpura, *p* = púrpura, *pvr* = púrpura, *tr* = púrpura verdoso,
ote = ovalado elíptica, *v* = verde, *vo* = verde oscuro, *rc* = verde claro, *t* = verde amarillo, *lm* = translúcido marrón,
tama = translúcido amarillo, *r* = rojo, *rv* = rojo claro, *ana* = amarillo, *an* = amarillo, *anvr* = rosado amarillento,
ros = rojo oscuro, *rpr* = rojo pardo, *rvr* = rojo verdoso, *rvr* = rojizo verdoso, *amar* = amarillo verdoso,
tr = triangular, *trg* = triangular globoso, *anvr* = anaranjado verdoso

objeto de traslado por todo el mundo. Esto hace difícil definir cuál es el origen de cada morfotipo para determinar cuáles son primitivos y cuáles son mejorados o híbridos.

En las intermedias se determinaron tres morfotipos. Este grupo es especialmente importante porque algunos de sus morfotipos fueron recolectados del estado silvestre o semiselvático (ruderales, viarias, arvenses), lo cual permite alentar la posibilidad de que sean los ancestros o los parientes más cercanos de las achiras comestibles y ornamentales.

Frente a esta variabilidad (grupos y morfotipos), una pregunta pertinente es: ¿cuántas especies están involucradas? La respuesta es una tarea para el trabajo futuro.

• Distribución geográfica

Las ornamentales se recolectaron en altitudes de 29 a 3400 msnm, con predominancia en el rango de 2000 a 2800 msnm, que comprende las regiones Chala, Yunga Fluvial, Quechua y Ceja de Selva. En cambio, las comestibles se recolectaron entre los 1100 y 3200 msnm, con predominancia entre los 2200 y 2800 msnm. La distribución comprende las regiones Yunga Fluvial, Quechua y Ceja de Selva. Las intermedias fueron recolectadas en altitudes de 1300 a 3400 msnm.

Los morfotipos no están uniformemente distribuidos, se nota más bien una distribución localizada de cada uno. Por ejemplo, el morfotipo V es muy abundante en la provincia de Cajamarca. En cambio, el morfotipo I sólo fue encontrado en la provincia de Cajabamba.

La mayor parte de las recolecciones se realizaron en las provincias de Cajamarca, San Ignacio y Ayabaca (ver Tabla 1). En las dos últimas, la planta tiene uso alimenticio y cierto nivel comercial.

• Nombres comunes

A parte del nombre común achira, en ocasiones muy esporádicas se puede escuchar el nombre de platanillo, por su parecido con el plátano. Los cultivares o variantes ("layas") dentro de la especie son identificados con los nombres de achira blanca o achira verde y achira morada. Las ornamentales son llamadas achira de flor y algunas intermedias son llamadas achiras de monte.

• Usos

Los cormos tuberosos son consumidos sancochados, se dice que preparados de esta forma constituyen un buen "fiambre" para caminatas de varios días, debido a que no se descomponen. Otra alternativa de consumo es en la forma de chuño o chuno (almidón de achira), para lo cual se rallan los cormos en un palo áspero llamado *vilco* o en rallador de latón, o se muelen en batán (piedra de moler) o en molino mecánico, luego se tamizan con agua a través de una tela (tocuyo). A la vez, el chuño o chuno se usa para la preparación

Tabla 5. Descripción de morfotipos de achiras ornamentales del norte del Perú.

MORFOTIPO	BROTE Color	HOJA					FLOR					FRUTO Forma	% Entradas	
		Color lámina h/e	Color borde	Color lámina	Color vaina	Color principal estaminodio	Color secundario estaminodio	Color sepálos	Color pétalos	Color estilo	Color estilo			
I	p	la	v/g	p	v	R	ama	p	p	r	r	G	8.3	
II	p	rom	v/v/o	tama	w	R	ama	vc	r	ama	ama	G	8.3	
III	p	la	v/v/o	tma	v	R	ama	pp	rc	an	tral	4.2	4.2	
IV	v	rom	v/v/o	tma	v	R	ama	vana	ama	r	G	4.2	4.2	
V	p	la	v/v	tma	v	R	ama	p	r	r	q	4.2	4.2	
VI	v	ova	v/v/o	tama	y	Ro	cre	vc	ro	ama	g	G	8.3	8.3
VII	v	rom	v/v	tama	v	Ama	fpr	vana	amac	ama	g	4.2	4.2	
VIII	v	la	v/v	t	vc	Amac	fpr	vana	amavr	ama	tr	G	8.3	8.3
IX	p	ova	v/v/c	tama	v	Ama	r	vana	r	ama	tral	12.5	12.5	
X	p	ova	v/p/p	tma	p	An	r/ama	r	an	ama	tg	16.5	16.5	
XI	p	ova	v/v	tama	v	Fuc		r	r	r	tr	4.2	4.2	
XII	v	ova	v/v/o	t	v	Cre		vana	amavr		g	4.2	4.2	
XIII	p	la	v/p/p	tma	p		ama	p	r	r	tral	4.2	4.2	
XIV	v	la	v/v	tama	v		Ama	r	ama	tg	4.2	4.2	4.2	
XV	vc	la	v/v	t	v			vana	ama	ama	g	4.2	4.2	

Leyenda:

tr = triangular, trg = triangular globoso, tral = triangular alargado, rom = romboide,

onda = ovalolanceolado, fuc = fucsia, cre = crema.

Las otras abbreviaturas tienen el mismo significado que en la tabla anterior.

de dulces, biscochuelos, diversos postres y bebidas. En la zona de Ayabaca (Piura), existen ciertas señoras "especializadas" que elaboran el biscochuelo de achira, generalmente sólo para atender pedidos especiales. El proceso incluye la mezcla del chuño o chuno con azúcar y huevo, luego se coloca al horno en porciones rectangulares sobre papel. Cuando hay demanda de biscochuelo, se trae chuño desde Jimbura, parroquia de Amaluza, Ecuador.

También es común el consumo en "conserva", ya sea de achira sola o mezclada con yuca (*Manihot esculenta*), camote (*Pomoea batatas*), sambumba o chiclayo (*Cucurbita ficifolia*), zapallo (*Cucurbita sp.*), guineo o plátano (*Musa sp.*) maduro. En esta forma, juega papel importante en ciertas festividades religiosas, en las cuales se ofrece gratuitamente a los visitantes.

En Chirinos (San Ignacio, Cajamarca), se prepara un plato a base de achira, llamado "chivato". Este consiste de achira molida y plátano "pintón" molido. Se mezclan y amasan agregándoles azúcar o chancaca y huevo (a veces se agrega harina de trigo para espesar la masa). Se envuelve en hojas de achira (como el tamal) y se cuece.

Las hojas se usan para envolver alimentos, especialmente tamales y queso; para cubrir alimentos como la yuca y el camote, cuando se cuecen en olla. Interviene, también, como una alternativa en la elaboración de la jora (para la chicha). En esta última forma se remoja el maíz, se coloca en el piso sobre hojas de achira y luego se vuelve a cubrir con las mismas hojas, hasta que se produce la germinación. En el aspecto medicinal, el jugo de los tallos tiernos y brotes se usa para "limpiar la sangre". Para ello se "chanca" el tallo y se echa al agua hervida; con esta agua se baña a la persona enferma. Con este mismo objetivo se le puede mezclar con brotes de carrizo (*Arundo donax*) "chancados". Como complemento a este tratamiento, el enfermo debe tomar el jugo de la achira endulzada con miel de abeja. En casos de personas que tienen la llamada "cólera", debido a algún disgusto o enojo, se recomienda tomar el jugo del tallo de achira mezclado con cepa de carrizo (San Juan, Ogoris, Pata Pata). Los cogollos de la achira se usan para curar los calambres y los hijuelos para baños, recomendados cuando se suspende la "regla" en las mujeres. Tanto las flores de las achiras ornamentales propiamente dichas como las de las comestibles, juegan el rol de ornamentales por sus diversos colores y tonalidades. También, la flor de las achiras ornamentales (flores grandes) es usada para tratamientos en casos de dolor de cabeza y ha sido usada como uno de los ingredientes para tratamientos caseros del "mal del cólera" que hace pocos años atacó en la zona de Cajamarca.

En San Miguel de Cajamarca, doña Felicita Medina dice: "mi mamá era partera, ella me contaba que cuando una mujer tiene amenaza de aborto (ya sea porque tuvo cólera o disgusto o porque tuvo deseo de algo que no pudo satisfacer), se le da la cepa (cormo) chancada y hervida de achira agregándole miel de abeja. Esto evitaba el aborto".

Los usos medicinales son diversos en la región. Así, por ejemplo, en Yamate (Patate, Tungurahua, Ecuador), se dice que el almidón de achira en la forma de "colada", se usa para hacer gárgaras contra afecciones de la garganta. En el mismo lugar se recogió la información que las flores de las achiras comestibles se usan para ayudar en el parto a las mujeres. Para ello se hiere agua y se colocan en ella las flores, dándose a tomar la infusión a la parturienta.

Las plantas de achira juegan también el rol de cerco, de rompevientos y de plantas que dan sombra para las aves domésticas. Finalmente, en ciertas ocasiones puede servir como forraje para diversos animales.

• Sistema de cultivo

Para las comestibles, lo frecuente es encontrarlas en jardines y huertos familiares, ya sea en el borde o formando matas, a veces junto a las ornamentales. Sin embargo, en los lugares donde su uso como comestible está difundido y reviste cierto carácter comercial, lo frecuente es encontrarlas cultivadas en pequeñas parcelas, por ejemplo en hondonadas, en áreas pedregosas o debajo de ciertos árboles frutales o en los cafetales, formando matorrales. En todos los casos, generalmente ocupan suelos con abundante materia orgánica (hojarasca) y buena humedad. Es poco probable encontrar parcelas grandes de monocultivo.

Para la siembra, lo común es extraer las plantas (cosechar), separar los cormos nuevos, que son los más gruesos y dulces y enterrar los cormos viejos en el campo. Otras veces se extraen brotes tiernos como semilla para la nueva siembra.

• Relaciones con el mercado

Es fundamentalmente una planta de autoconsumo. Se comercializa en pequeñas cantidades, en la forma de chuno o chuño (almidón de achira), de conserva y de biscochuelo. Es frecuente la venta en los mercados de hojas de achira (del tipo comestible, color verde), que se usan para envolver tamales.

Arracacha

• Recolecciones

Totalizaron 121, de las cuales seis son silvestres. Se perdió el 7% de las entradas (ver Tabla 1).

• Morfotipos

Los estudios preliminares demuestran mayor variabilidad de morfotipos que en las tres especies anteriores. La determinación detallada de morfotipos está en proceso de investigación.

• Distribución geográfica

Los cultivares fueron recolectados entre los 1550 y 2850 msnm, pero la mayoría corresponden a los 2200 y 2800 msnm. Los silvestres fueron recolectados entre los 2240 y 3400 msnm. Geográficamente el ámbito de recolecciones comprendió las zonas Yunga, Quechua y Selva Alta.

• Nombres comunes

La especie recibe los nombres de: ricacha, racacha, arracacha, zanahoria, zanahoria blanca. Los diferentes tipos o cultivares reciben nombres de acuerdo al lugar. En muchos casos, el nombre describe o indica una característica importante reconocida por el agricultor. Algunos nombres de cultivares son: morada, amarilla, negra, blanca, reyna, espelma, chufa, chotana, huambina, azafrana, chaucha, shiguila, jaena, chiguiripana, sonarca. Sólo se encontraron indicios de desaparición de cultivares en algunas comunidades, pero los agricultores señalan que las mismas pueden encontrarse en otras comunidades.

• Usos

Los más comunes son: en puré, especialmente para niños lactantes; en sopas diversas, forma en la que se considera un alimento especialmente bueno para enfermos convalecientes; cocida y frita; sancochada, acompañada de pescado fresco, seco-salado y envasado; en tortillas, mezclada con harina de maíz o trigo. Las hojas se utilizan para las "rellenas" de cerdo (Chota, Cajamarca). Hojas y raíces se usan para alimentar vacas, con el objeto de inducir una mayor producción de leche. Uso similar, pero para mujeres, es informado por Soukup (1994: 68) en Arequipa. En la región se prepara una plato llamado "sancocho" o "puchero", que consiste de arracacha, chago, yuca, repollo y carne o pellejo de cerdo. El consumo de este plato coincide con las labores de deshierbo y aporque de cultivos en las festividades del carnaval. En dulce se prepara sola o mezclada con sambumba o chichayo, camote, yuca o papaya. En comunidades de Cutervo y Chota, se elabora el llamado "rallado", que consiste de arracacha y chancaca o panela de caña de azúcar; es una forma de conserva que se vende especialmente en las fiestas regionales. Un tipo silvestre es usado ocasionalmente en la alimentación, en épocas de escasez de alimentos. Los campesinos refieren que es de sabor fuerte. El mismo tipo es usado como medicinal; se dice que ayuda a las mujeres en el parto y para la expulsión de la placenta. También en el tratamiento para una mayor secreción láctea en la mujer se usan brotes de esta arracacha silvestre, conjuntamente con brotes de yacón y de rocoto.

• Sistema de cultivo

En jardines o huertos familiares, es un componente muy frecuente que se asocia con diversas hortalizas. En chacras, en melgas, intercalada con otros cultivos como yacón y/o maíz (Contumazá). A veces sola (monocultivo) en parcelas de regular tamaño (Chota, Cutervo, San Andrés, Santo Tomás, San Ignacio, Santa Cruz, Jaén). En todos los casos, generalmente se siembran en el mismo campo entre dos a siete cultivares diferentes.

Los agricultores indican que una de las causas de la disminución del área sembrada de algunos cultivares es el "cansancio de las semillas" y el refrescamiento o incremento se realiza mediante intercambio a nivel familiar, comunal, entre cuencas y regiones. Rea (1995) encontró en Bolivia situaciones similares en la especie.

• Relaciones con el mercado

Es tanto de autoconsumo como de mercado. Al mercado llegan sobre todo las arracachas amarillas y blancas, muy poco las pigmentadas. El precio por lo general es superior al de la papa y otras tuberosas. Algunas localidades de producción comercial son: Huambos, Lajas, Santa Cruz, Sorochuco, Sóscota, San Ignacio y Jaén.

DISCUSIÓN

Considerando que el énfasis de la exploración se dio hacia algunas provincias de Cajamarca, quedan vacíos por cubrir en el futuro. Sin embargo, el número de entradas recolectadas permite una aproximación a la variabilidad del germoplasma en la región.

El agrupamiento en morfotipos resulta útil mientras no se tengan mejores instrumentos para discriminar el germoplasma. Resultó útil en el trabajo de caracterización y evaluación de las entradas, pero es especialmente importante porque es el producto del trabajo de selección y mejoramiento de los agricultores, seguramente durante muchas generaciones, sin intervención de la genética moderna. Al basarse en características cualitativas estables, lo más probable es que está denotando genotipos diferentes. En los antecedentes encontramos que Rea (1995) informa que, en papas nativas, los morfotipos reconocidos por los agricultores, sometidos a pruebas de electroforesis, resultaron ser genotipos diferentes. Por otro lado, el morfotipo corresponde aproximadamente a lo que los agricultores denominan "laya", la cual es descrita e identificada plenamente. Es decir, si ellos dicen que el yacón es de laya morado, este corresponde a una descripción de planta que a la vez corresponde a un morfotipo.

Probablemente la caracterización y evaluación de las entradas revelarán diferencias cuantitativas dentro de cada morfotipo, lo cual es de esperar por ser materiales evolucionados en diferentes ecologías y presiones de selección.

La distribución y los usos de las especies y sus morfotipos es evidente en todo el ámbito de estudio. En el caso del chago, la región comprendida entre Ancash, La Libertad, Cajamarca y Amazonas, se perfila como la de mayor distribución y diversidad, y quizás como el centro de domesticación de la especie; pues los hallazgos en el sur del Perú (Seminario y Seminario 1995, Vallenás 1995), son puntuales y con menor diversidad. Lo mismo se puede decir para Bolivia y Ecuador (Rea 1995, Tapia et al. 1996).

En yacón, la región muestra importancia después de la región sur del Perú (Meza 1995). En este caso, las áreas prioritarias para la conservación son: Sapuc, Pachaná (Asunción, Cajamarca), Chapolán, Socchedón (Contumazá) y Namora (Cajamarca).

La importancia de la achira comestible, sólo es comparable a la encontrada en el sur del país (Arbizu 1994, Meza 1995). Dos áreas foco resultan importantes para la conservación (Ayabaca y Chirinos). Igualmente resulta importante estudiar las relaciones entre las achiras comestibles y las intermedias y ornamentales.

La arracacha es una especie que requiere estudios más detallados, debido al significado cultural que tiene en la región. Las áreas de Lajas, Huambos, Pacopampa, Querocoto, San Andrés, Santo Tomás y Santa Cruz, se identifican como las de mayor importancia para la conservación.

En general, en cuanto a los usos y roles de las especies dentro de las comunidades, se revelan algunos insospechados y se requiere estudios de validación científica.

La falta de evidencias de erosión en las cuatro especies, quizás se deba a que en el caso del chago, del yacón y de la achira, son especies que siempre formaron parte de los sistemas de producción y alimentario, pero tal vez nunca se cultivaron extensivamente. En el caso de arracacha, quizás la explicación está en el hecho que, en la región, es un cultivo que constituye alimento básico de los pequeños agricultores, lo que ha permitido mantener la diversidad intraespecífica actual. Otra explicación importante es que estos cultivos intervienen en lo religioso o ritual de las comunidades, lo cual les confiere un valor mayor a la simple utilidad práctica. Por otro lado, debido a que estos sistemas se desenvuelven en condiciones ambientales muy aleatorias, la diversidad es una estrategia para conseguir sostenibilidad.

La versión reiterada de los agricultores, de que la intensidad de uso de las especies ha disminuido en los últimos años y que los cambios en los sistemas de producción son los que presionan con mayor fuerza para mantener la diversidad de estas especies, presentan un problema por resolver.

BIBLIOGRAFÍA

Arbizu Avellaneda, C.

- 1994 "La agroecología de la achira en el Perú". *Circular CIP* 20 (3): 12-13. Lima, Centro Internacional de la Papa.

Arbizu Avellaneda, C. y E. Robles García

- 1986 *Catálogo de los recursos fitogenéticos de raíces y tubérculos andinos*. Programa de Investigaciones en Cultivos Andinos, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho.

Brush, S.

- 1986 "Genetic diversity and conservation in traditional farming systems". *Journal of Ethnobiology* 6 (1): 151-167.

Estrella, Jaime

- 1994 Elementos auxiliares en la documentación de recursos fitogenéticos. Separata del Curso sobre Documentación de Recursos Fitogenéticos. IPGRI- CIAT, 02-10, junio. Palmira, Cali, Colombia.

Font Quer, P.

- 1985 *Diccionario de Botánica*. Barcelona, Editorial Labor S.A.

- Franco Pebe, S., J. Rodríguez y L. Machuca
 1989 *Catálogo de recursos fitogenéticos de la sierra norte del Perú, 1985-*
 1989. Pronargen, INIA, Cajamarca.
- Franco, Santiago y Juan Uceda
 1991 *El chago o yuca inca (*Mirabilis expansa*) raíz andina en peligro de extinción*. Cajamarca, Estación Experimental Agropecuaria y Forestal Baños del Inca - INIAA.
- Hawkes, J. G.
 1989 "The domestication of roots and tubers in the American tropics". En: *Foraging and Farming*, D. C. Harris y B. C. Hillman, editores, págs. 481-503. Londres, Unwin. Hyman.
- Hernández Xolocotzi, E.
 1985 "Exploración etnobotánica y su metodología". *Revista de Geografía Agrícola* 1: 164-188. Chapingo, México, UACH.
- Meza Zela, Gregorio
 1995 Variedades nativas de virraca (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) en Cusco. Cusco, Centro de Investigación en Cultivos Andinos, Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, y Programa Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos (CIP - COTESU).
- Pulgar Vidal, J.
 1981 *Geografía del Perú. Las ocho regiones naturales*. Lima, Editorial Universitaria.
- Rea, Julio
 1995 Conservación y manejo *in situ* de recursos fitogenéticos agrícolas en Bolivia. Informe Anual 1994-1995, Subproyecto R5-021. Programa Biodiversidad de RTAs, La Paz, Bolivia.
- Seminario Cunya, J.
 1993 "Aspectos etnobotánicos y morfológicos del chago, miso o mauca (*Mirabilis expansa* R. y P) en el Perú". *Boletín de Lima* 15 (86): 71-79.
 1996 "Origen de las raíces andinas". Curso Internacional Producción de Raíces Andinas. Cajamarca, 4 a 20 noviembre 1996.
 1996 Informe Anual 1995-1996. Subproyecto Manejo y Conservación de Germoplasma de Chago, Llacón y Achira, Programa Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos. (Convenio CIP-COTESU).
- Seminario Cunya, J. y A. Seminario Cunya
 1995 Colección regional de germoplasma de raíces andinas. Cajamarca, Universidad Nacional de Cajamarca y Programa Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos (Convenio CIP-COTESU).
- Soukup, Jaroslav
 1994 *Vocabulario de los nombres vulgares de la flora peruana y catálogo de los géneros*. Lima, Editorial Salesiana.
- Tapia, C., R. Castillo y N. Mazón
 1996 *Catálogo de recursos genéticos de raíces y tubérculos andinos en Ecuador*. Quito, Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos y Biotecnología (DENAREF), Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- Vallenas Ramírez, M.
 1995 "Vigencia del cultivo de mauka (*Mirabilis expansa* R. et P) en Puno-Peru". En: Congreso Peruano de Cultivos Andinos (Ayacucho, Perú, septiembre 11-16 1995). *Cultivos Andinos* 5 (1): 72-73. Ayacucho, Programa de Investigación en Cultivos Andinos, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Williams, D. E.
 1994 "Exploración etnobotánica para recursos fitogenéticos en México". En: *Memorias del Primer Simposium Internacional sobre Etnobotánica en Mesoamérica Efraím Hernández Xolocotzi*, Jesús Cuevas, Erick Estrada y Ernestina Cedillo, editores, págs. 137-147. Chapingo, México, UACH.

CONSERVACIÓN Y MANEJO IN SITU DE RECURSOS FITOGENÉTICOS AGRÍCOLAS EN BOLIVIA

Julio Rea

HISTORIA

Estamos comprobando nuestra hipótesis de que en la dorsal andina sur, entre el Perú y Bolivia y hasta los confines del norte argentino y chileno, se dio el movimiento de las etnias aymara y quechua, junto a sus cultivos principales. En la ruta del Cusco, pasando por el Collasuyo del lago Titicaca, resalta la gran variabilidad genética de los tubérculos, donde posiblemente fueron domesticados, y siguiendo la dirección a La Paz, Oruro, Cochabamba, Chuquisaca y Potosí llegó parte de esta diversidad a las fronteras de lo que hoy es Bolivia.

En estas trashumancias tempranas y movimientos poblacionales tardíos la papa ha tenido que jugar un rol importante, junto al maíz y a la oca. Así, el cultivar primitivo luki (*S. juzepczukii*) aparece mencionado en las crónicas de 1586 y 1653 (Ballivián y Ceballos 1941), lo que indicaría su presencia desde las épocas preincaicas. En épocas recientes la permanencia de esta especie, sus ecotípos y morfotipos, aparece en cantidades apreciables; por ejemplo, sólo para La Paz y Oruro, Alarcón (1975) registra 23 entradas. En *S. andigena* Cárdenas (1969) menciona el cultivar ccompis del Cusco, cuya sinonimia en Bolivia corresponde a imilla blanca, yurac o janko imilla. Alarcón (1975) menciona a 11 imillas junto a otros 70 diferentes cultivares de *S. andigena*. Más adelante, como evidencia de este proceso, mencionamos testimonios campesinos sobre la permanencia actual de algunos cultivares por unos 70, 40, 20 y 12 años en un microcentro de Cochabamba, formado por 16 comunidades donde se investigó de manera continua por un decenio. Rea, en los años noventa, complementa esta situación con más estudios en seis ecologías de tres departamentos de Bolivia,

RAÍCES Y TUBÉRCULOS ANDINOS. AVANCES DE INVESTIGACIÓN I, Tommy Fairlie, Marciano Morales Bermúdez y Miguel Holle, editores, págs. 61-76. Lima, Centro Internacional de la Papa (CIP) y Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), 1999.

mencionando unos 200 cultivares de unas seis especies de papa (Rea 1994) y sugiere la necesidad de establecer investigaciones prolongadas en microcentros localizados a lo largo de la dorsal sur andina.

La situación presentada demuestra la amplitud de distribución y la gran rusticidad de este precioso germoplasma mantenido a través de un largo periodo, digamos unos seis siglos, y que se ha mantenido básicamente gracias a la vía campesina de la conservación, manejo y utilización *in situ* de los recursos agrícolas. A través de esta vía los actuales pequeños productores, como descendientes directos de los domesticadores originales, siguen perpetuando acciones de tanto significado, las cuales son ignoradas por las instituciones del "modernismo" proclives a políticas depredatorias extranjeras. La Colonia no ha podido desaparecer este material como era su objetivo, y cabe preguntarse si el neocolonialismo podrá hacerlo.

Es de destacar en la vigencia de los cultivares primitivos su viabilización mediante el equilibrio biológico en que conviven los germoplasmas más heterogéneos con las plagas y enfermedades: virus, bacterias, hongos, nemátodes, micoplasmas, insectos, etc. En cuanto a los virus la identificación es incompleta a través de la cordillera dorsal andina. El científicismo soslaya, consciente o inconscientemente, esta realidad. Así, los patólogos dramatizan a partir de ensayos regionales sin mucho rigor porque son fugaces, al paso, a cargo de un extensionismo decadente y empírico que no respeta, menos analiza, el conocimiento y saber campesinos de categoría superior comparados con los de la técnica simple. Esta técnica de los paquetes simples empobrece la economía campesina (Regalsky et al. 1994), afectando la fragilidad de los suelos andinos mediante la incorporación de los agroquímicos; por otra parte, rompe el balance citado y además la introducción de híbridos de papa es extraña a la palatabilidad de nuestra cultura.

CONCEPCIÓN ANDINA DE LO *IN SITU*

Lo *in situ* está asociado a la evolución del hombre andino, está ligado a la familia y lo sobrepasa por instantes creando siempre vida, por tanto es vivo, dinámico, constantemente se mueve al interior de las chacras familiares y las familias a lo largo y ancho del mundo andino boliviano, cuyo dominio parcial de territorios horizontales y verticales están vigentes desde los 4700 a los 100 m de altitud. Se trata de una nación donde se originaron, domesticaron, seleccionaron y aún se utilizan importantes rubros alimenticios y medicinales por aproximadamente ocho etnias. Algunas etnias tienen sus núcleos familiares en el Altiplano, entre los 3700 y 4500 msnm, donde se mueven horizontalmente, o entre los 1200 y 2000 msnm cuando se desplazan por pisos verticales localizados en valles interandinos o subtropical, y aún en los llanos en el trópico entre los 1200 y 100 msnm, donde se establecen grupos de colonizadores espontáneos dentro del etnoderrollo y autogestión campesinas.

El movimiento de cultivares de arriba hacia abajo y viceversa se hace dentro de esta estructura y modalidad andina. El abastecimiento de alimentos producidos por los campesinos cubre alrededor del 70% del consumo nacional, donde figuran especies

nativas e introducidas. Entre los productores familiares y comunales hemos identificado a pioneros agrícolas, individuos sobresalientes por su inteligencia e iniciativas formados en la universidad de la vida de concepción integral, holística. Varios de ellos se destacan por su espíritu conservacionista, cuidando hasta 52 especies y cultivares mantenidos en sus jardines botánicos familiares (*conservación in situ*) y otros manteniendo sus reservas genéticas del material preferido en pequeñas chacras del subtropical procedentes del Altiplano para escapar de instancias de heladas y sequías propias de las ecologías de altura. Más adelante daremos ejemplos de estos sistemas originales de gran creatividad.

En el caso boliviano, la esencia de lo *in situ* se inscribe en todo el panorama que estamos desarrollando, donde los indicadores culturales, económicos, sociales y técnicos conforman las estrategias lógicas y racionales de la conservación, manejo y utilización de germoplasmas.

Fuera de Bolivia algo de este acontecer es conocido y constatado por actores de escuelas más innovadoras y creativas, como Brush y colaboradores (1981, 1991), Darre (1985), Altieri y Merrick (1987), Hawkes y Hjerting (1989), Van der Ploeg (1989), Debouck (1994) y Harlan (1994). Coincidentes con nosotros, sus contribuciones tienen relación con la taxonomía papera del pueblo andino, el funcionamiento campesino en el manejo de los mecanismos de la evolución, creación de nuevos genotipos y fenotipos, luego sobre el arte nativo en el manipuleo de la biodiversidad y que no siempre puede medirse partiendo del método científico.

NUESTRA EXPERIENCIA RECIENTE

Nuestras actividades en el decenio reciente han sido inspiradas en el marco presentado en los párrafos anteriores y han tenido la siguiente secuencia que no fue lineal sino más bien irregular en términos de tiempo.

Entre 1985-91, por iniciativa propia hicimos exploraciones concentradas en La Paz sobre cultivos y ocasionalmente en formas silvestres afines. Se trata del proceso continuado por generaciones de agricultores en los mismos sitios donde se sustenta la vida de las familias y comunidades, pero básicamente en términos de autogestión.

El dominio parcial de los pisos ecológicos verticales por familias y comunidades campesinas arranca desde la Reforma Agraria boliviana, o sea en los últimos 40 años. Lo más temprano de estos resultados se incorporó al estudio de los Recursos Fitogenéticos Agrícolas de Bolivia - bases para establecer el sistema, cuya idea sigue pendiente hasta hoy (Rea 1985).

A este período corresponden nuestras constataciones de iniciativas de los pioneros. Por ejemplo, Inocencio Mamani trasladando desde los 3900 a 4100 msnm reservas campesinas de papa (*Ullucus tuberosus*, *Tropaeolum tuberosum*) a 1600 msnm en Taipiplaya de las Nor Yungas para conservarlas lejos de su hábitat de heladas y sequías. Otro agricultor conservando sus quínuas preferidas del Altiplano en el subtropical de Sud Yungas a 1150 msnm. Luego el pionero de

4/ Recursos fitogenéticos en Bolivia

iniciativas originales, Lázaro Durán de la colonia Flor de Mayo, Sud Yungas, moviendo a lo largo de 500 km por ríos y caminos, desde Apolo al subtropical a 800 msnm, semillas de cacao, maní, camote, arroz, palmeras, yuca, frijoles, gualusa, pasto yaragua, Merkeron, etc.

Alrededor de los años noventa, en cuanto a papas nativas, Rea (1994) y otros sin ser "especialistas" mencionan la identificación de 258 cultivares de seis especies en unas 90 comunidades de tres departamentos. Como podemos ver en la Tabla 1, la multivariabilidad fenotípica es el 94% como un insumo propio que da seguridad de cosecha y alimentaria en ciclos prolongados. Existe una clasificación de decenas de cultivares por el gusto y usos a nivel familiar, comunal y regional que determinan en pisos altos su transformación en productos deshidratados: chuño, tunta y en otras formas; luego por la precocidad que facilita las estrategias de cultivo en períodos de sequía, resistencia a heladas y la evotranspiración por el porte rastreiro que genera métodos originales como mínima labranza, y aporte de agua en ciertos casos.

En la relación cultívar – suelo – clima – economía, aparece un promedio de 13 cultívar por familia en Ayo Ayo, La Paz; 12 en Acacio, Potosí; 10 en Japo, Cochabamba; con máximos de 21 en Ayo Ayo en los pedazos de 3 ha conducidos por una familia a 4150 msnm, donde conviven estrechamente clones susceptibles y tolerantes a enfermedades. En Ayo Ayo identificamos familias semilleristas conduciendo dos y tres cultívar en semilleros de su preferencia económica.

La incidencia de las 12 variedades mejoradas es mínima, de apenas el 6% que da una estrecha base genética, siendo alta su vulnerabilidad en la economía campesina. El gran contexto está dado por comunidades entre los 2800 a los 4200 msnm, donde aparecen como semilla certificada y cuya calidad se pone en duda, tal como evidenciamos en 7 comunidades de Vacas con cerca de 500 qq de semilla de 4 variedades. El Proyecto de Fortalecimiento del

Tabla 1. Bolivia – Papa. Recolecciones e investigaciones en 6 ecologías.

ECOLOGÍAS	No. de COMUNIDADES	NÚMERO DE CULTIVARES			NÚMERO ESPECIES
		NATIVOS	MODERNOS	TOTAL	
Ayo Ayo (La Paz)	24	64	2	66	6
Acacio (N.Potosí)	30	65	3	68	4
Vacas (Cochabamba)	7	20	4	24	4
Raqaypampa (Cochabamba)	14	12	7	19	-
Japo (Cochabamba) (Ayllu)	1	37	2	39	5
Pusillani (La Paz)	10	60	0	60	7
TOTAL	82	258	18	276	

Fuente: Para las cuatro primeras ecologías y vigencia de las papas nativas en Bolivia, J. Rea 1988, 1990, 1994. Germoplasma nativo de papas amargas, Tapacari, Japo, G. Saravia 1990. Microcentro RTA en el norte de La Paz, H. Bosque, II, y J. Rea 1994.

Sistema de Multiplicación de Semilla de Papa en Bolivia (PROSEMPA) denomina certificación al "sistema formal" en oposición al "sistema informal campesino"; para nosotros lo formal está en el sistema del agricultor minifundista que es el principal proveedor. En esta forma las inventivas peyorativas del tecnicismo alienado caen por su propio peso negativo.

Lo señalado en torno a la papa significa la recolección, conservación, caracterización y evaluación dinámica de germoplasma *in situ*. Por tanto, partiendo de una lógica elemental, aquí están las bases para un mejoramiento más original y creativo. En concreto se trata de lo siguiente:

- Reservas genéticas con sabor a frescura y de horizontes más amplios para la vida.
- Universo mucho más integral, sabio y ajeno de la agricultura campesina.
- Bancos dinámicos de germoplasma y permanentemente vivos.
- Expresión digna de una cultura agroalimentaria que sobrevive a siglos de colonización.

Todo este contexto contrastando con el afán homogeneizante, sintetizador y reduccionista del modernismo.

EL PROGRAMA COLABORATIVO DE RAÍCES Y TUBÉRCULOS (CIP-COTESU)

Desde 1993, actuamos en dos proyectos dentro del programa colaborativo de raíces y tubérculos andinos ligados a dos ONG's: a) Biodiversidad *in situ* de papas nativas - Conocimientos de las estrategias campesinas de producción; y b) Conservación *in situ* de raíces nativas - Identificación de microcentros de diversidad. El primero se realiza en un microcentro de 16 comunidades de altura en Mizque, Cochabamba y el segundo en todo el departamento de La Paz hasta definir uno o más microcentros donde concentrar las investigaciones.

Objetivos

Teniendo como eje lo *in situ*, los puntos coincidentes son:

- Identificar los procesos de conservación y manejo.
- Hacer seguimientos familiares para la sistematización de los procesos.
- Inventariar germoplasmas.
- Determinar la calidad y el destino del material genético.
- Ver la posibilidad de organizar semilleros.
- Probar en potenciar la economía minifundista.
- Identificar causas de erosión humana y sus secuelas en la erosión genética.
- Diagnosticar el establecimiento de redes comunales y regionales. Esto para las proyecciones de nuestros enfoques.

Metodología

Descartando encuestas distorsionantes se privilegia la convivencia y las relaciones humanas integrales con los agricultores. Se buscan amistades en las casas, las chacras, nos integramos en sus labores, en sus instancias de socialización: ritos, fiestas, pijcheos, asambleas, comercialización, deportes, etc. Se consigue información de primera mano, contrastando información de tipo generacional, se las revaloriza y lo consiguiente se devuelve a la familia o a la comunidad asociada a la provisión de algún material genético de calidad que mejore la dieta familiar y comunal. Lo fundamental en este relacionamiento es el respeto mutuo y la responsabilidad en los compromisos basados en la amistad como es la reciprocidad andina.

En la provisión de semillas comprobamos que son buenos experimentadores, pues las someten a pruebas de adaptación por unos dos años y lo hacen con cantidades mínimas en los mejores suelos. En el subtropical, donde hay hambre de proteínas, estas ofertas, por ejemplo leguminosas, son apreciadas.

RESULTADOS DESTACABLES

Papas Nativas

CENDA tiene publicados resultados sobre rendimiento, productividad, comercialización de papa para consumo y semilla. Como continuación nosotros profundizamos lo referente a la biodiversidad, su antigüedad, movimiento, caracterización, ecotipos versus suelos, deriva genética, conocimiento fitosanitario campesino, etc. A continuación damos lo más destacable de estos resultados que expresan a la chacra y su dueño en núcleos permanentes de investigación y conservación.

• Diversidad

Iniciamos con un inventario de 17 cultivares primitivos bolivianos, 12 encontrados en el microcentro y 5 introducidos en años recientes; este número se incrementó a 23 en 1995. Los del microcentro son Runa, Laqmu, Pukañawi, Manzana, Kiwsilla o papa del pobre, Imilla Blanca, Quyllu, Allqamari, Lluqalla Sani y Kulli y Llustha, siendo los 5 primeros los más preferidos por rusticidad, utilización, resistencia biótica, adaptación a los suelos, valor comercial, etc. En el ciclo 1994 - 1995 la "Punta Morada", enfermedad aún sin identificación, presenta a Laqmu y Runa como susceptibles; Pukañawi aparece como más resistente. En estos casos la respuesta campesina es la multivariabilidad.

Para probar nuestra hipótesis citada al inicio de este ensayo, la lista anterior tendría que ser completada en el área de influencia de Cochabamba con otros cultivares del norte de la dorsal andina, como las Imillas negras y rojas, Purejas rosadas, blancas y amarillas, las Waqalajra, las múltiples Wayku o Kati precoces. Esta búsqueda tendría que ser completada hacia Chuquisaca y Potosí, hasta los confines del norte argentino y chileno.

• Antiguedad de cultivares

La permanencia de Runa y sus morfotipos está inscrita en la memoria campesina del microcentro en más de 70 años, Manzana y Sayrura (que va desapareciendo en algunas comunidades por ser tardía y propensa al ataque de plagas) 40 años, Pukañawi 20, Laqmu unos 12 años, Choqe Laqmu es más reciente. En Runa, Pukañawi, Laqmu y otros, se da la deriva genética observada por los agricultores desde hace tiempo y detectada por nosotros en 1994.

Runa y Laqmu llevados a los primeros exámenes de electroforesis en 1994 aparecían como duplicados para los especialistas paperos, pero como las caracterizaciones campesinas con sus descriptores, registradas por largo tiempo y en varias condiciones, los presentan diferenciados, o sea que Runa es Runa y Laqmu es Laqmu, se insistió en repetir los exámenes y al final fue todo un respaldo al conocimiento y saber campesinos, porque evidentemente se trata de dos genotipos diferentes, y al mismo tiempo se evidencia que la electroforesis no es de precisión. Este detalle es importante porque en los bancos *ex situ* hay la tendencia del descarte de duplicados o sea que la reducción se impone más por comodidad en el manejo antes que en el análisis exhaustivo de ejemplares tal como se hace *in situ* por los directamente interesados.

• Caracterización varietal

En el párrafo anterior ya aparece ésta y en su sistematización. Si bien se tenía un formulario de descriptores más práctico que académico, se decidió empatarlos con los descriptores campesinos mucho más pragmáticos en el análisis de sus cosechas.

El proceso *in situ* iniciado en 1991 se fue completando en el 93 y 95 y tiene el consenso de varios agricultores, de promotores (Yanapampa), pioneros y técnicos de campo. Se cuenta con testimonios de los agricultores más esclarecidos, de mayor experiencia y familiarizados con sus ecotipos y fenotipos. Este conocimiento contrasta con el fragmentario e incompleto de los técnicos especialistas.

Este aporte campesino sobre 26 cultivares se considera muy bien elaborado, de detalle fino, con información para el mejoramiento de la concepción; constituye toda una historia de los ecotipos que se acomodan al medio ecológico, físico y humano del microcentro. Antes de la publicación del catálogo respectivo se hace la revisión por los pioneros al presente, cuyo contenido es superior a otro llamado Boliviano elaborado sobre 10 papas nativas caracterizadas *ex situ* por los especialistas paperos Estrada y Ugarte.

• Movimiento de cultivares

Se comenta la relación entre el movimiento desde y hasta el microcentro. En el primer caso, por tratarse de una zona con tradición semillera, la provisión se hace entre familias, comunidades y regiones. Hay algún conocimiento sobre estos desplazamientos en las grandes distancias, pero dada su importancia amerita un

seguimiento más sistemático. En la otra vía, la introducción de simiente a Raquaypampa se refiere al flujo de familia, al del mercado de semillas y al institucional técnico. La familiar es dinámica, ocurre dentro y entre comunidades vecinas y alejadas, vía matrimonios y parentescos espirituales, vía trueque y venta. En general, los volúmenes movidos son pequeños y está implícito el riesgo de trasladar plagas y enfermedades.

Según testimonios campesinos, la introducción de híbridos vía instituciones especializadas está asociada a la simular de patógenos. Todos estos procesos se dan dentro de un dinamismo inusitado en miles de microparcelas, en cuyas estrategias la mujer juega un rol decisivo que da lugar a la multivariabilidad asegurando cosechas y alimentos.

En cuanto a la "especialización" de semilleros familiares, ésta se refleja en el fenotipo de los suelos prevalecientes en el minifundio y la comunidad. Así, aparece una relación entre el inventario, las preferencias y el destino geográfico de las ventas. CENDA y la subcentral campesina cooperan en la organización y funcionamiento de las familias de mejoramiento. Esta colaboración está en abierta contradicción con las políticas y prácticas del Concejo Nacional de Semillas del país, que sostiene a las papas nativas. Cuando más atrás nos referimos a las políticas de estrangulamiento económico, estos casos son el ejemplo evidente y que están respaldados por análisis en mayor detalle en los estudios.

Raíces

• Geografía

De acuerdo a las exploraciones La Paz aparece como el departamento con mayor variabilidad de raíces, especialmente en racacha, yacón, mauka, una de las ajipas y otras más fuera del proyecto. Hay coincidencia con Cárdenas (1969) en esta dispersión específica y las recolecciones de 1994 - 1995 de cinco raíces silvestres de posible afinidad con las cultivadas avalan esta situación. Pero no está dicha la última palabra hasta no agotar nuestras indagaciones en el resto del país.

Históricamente La Paz fue centro de migraciones desde el sur peruano al subtrópico de los Yungas, situación que se acentuó en los últimos 40 años con los movimientos poblacionales desde La Paz misma, Oruro, Potosí y Chuquisaca. Del primer caso apareció una información de interés relacionada con la presencia de la papa japonesa (*Colocasia esculenta*), debido a estos desplazamientos asociados a los productos de ultramar según testimonio de los pioneros. En cuanto al producto de las migraciones internas, con el establecimiento de miles de colonias aimaras y quechuas, el movimiento de las raíces y otras especies se dio a ese ritmo de arriba y abajo a Los Yungas. Todo este movimiento se dio dentro del etnodesarrollo, por tanto la vía campesina del manejo y conservación de raíces es la única en ser detectada, acompañada y apoyada para su mejoramiento de ser posible, ya que ninguna otra institución se ocupa de ellas.

En esta ecología de valles cálidos, del subtrópico y el trópico se han explorado ocho provincias, detectado un centenar de comunidades y chacras y entrevistado familias productoras de su multivariabilidad genética al modo andino, y entre éstas a las caíces.

• Especies involucradas

Por orden de mérito son las siguientes:

<i>Arracacia xanthorrhiza</i>	Racacha
<i>Polyminia sonchifolia</i>	Yacón
<i>Pachyrhizus tuberosus</i>	Ajipa de Mora
<i>Pachyrhizus ahipa</i>	Ajipa de altura, Enana
<i>Mirabilis expansa</i>	Mauka

• Distribución altitudinal (msnm) y variabilidad

RACACHA Amarilla Blanca Morada	La mayor concentración se da a 3100; 1700 y 1500 msnm, lo más alto en Italaque 2600 msnm y lo más bajo a 400 msnm en Witoponte y Brecha C.
YACÓN Amarilla Blanca Morada	La mayor concentración a 3200 y 3400 msnm Lo más alto en Italaque a 3600 msnm y lo más bajo a 880 msnm en Colonia Cascada.
AJIPAS De Mora De Altura	Entre 400 a 2000 - 2500 msnm Más bajo para las de Mora y más alto para la Enana de Altura.
MAUKAS Amarilla Blanca	Entre 3200 y 3500 msnm

Los cultivares detectados, caracterizados y recolectados eventualmente llegan a unos 135, cuya frecuencia se da en el orden presentado y corresponden a la categoría de cultivares primitivos.

La **racacha** se encuentra todo el año en el mercado de La Paz, principal departamento productor. Es la única raíz con datos oficiales de producción. En 1994 "descubrimos" la comunidad de San Juan de La Miel en Coroico, entre los 1600 y 2000 msnm, con 98 familias y unas 120 hectáreas con racacha por año. Este caso es único en todo el país, porque el resto de los cultivos son marginales. El beneficio neto por ha/año/familia es de \$US 4500 y es lo más rentable que permitió sustituir a la coca en los últimos diez años. Semanalmente San Juan provee de unos 300 qq y los principales consumidores son los gremiales o comerciantes de extracción rural-citadina.

El **yacón** y la **ajipa de altura** aparecen durante el invierno en La Paz y se utilizan como refrescantes y como medicina por su contenido en sacarina. La comercialización rural en el

4/ Recursos fitogenéticos en Bolivia

norte de La Paz es mucho más activa. La ajipa de mora se vende en los mercados yungueños como refrescante y medicina por la calidad de sus azúcares. Estas tres especies tienen perspectivas en la farmacopea y las dos ajipas como insecticida por el contenido de rotenona de sus vainas.

El valor bromatológico de éstas y otras raíces nativas fue determinado por primera vez en el país. El contenido de proteínas tanto en las raíces como en el follaje es de mucho significado según los Tablas 2 y 3 y su utilización, en su habitat con hambre crónica de proteínas, puede potenciarse mucho más de lo que ocurre al presente. Según la Tabla 2, las proteínas en el follaje sobresalen en la mauka cultivada (31%), seguida por la Yuca rosada (25%), luego la mauka silvestre (21%), las racachas y la walusa (*Xanthosoma sagittifolium*) con 17, 15 y 16%, respectivamente.

• Movimiento de cultivares

El intercambio es permanente en las chacras familiares comunales y regionales. Frecuentemente se menciona el "cansancio" de las semillas y propágulos y la necesidad de renovación. En lo familiar existen preferencias según los usos, unos para autoconsumo y otros para el mercado.

Tabla 2. Porcentajes de proteína en raíces nativas.

ESPECIE-ECOTIPO Y PARTE	PROCEDENCIA	HUMEDAD %	PROTEINA BASE HUMEDA	PROTEINA BASE SECA
RACACHA				
Amajaya Amarilla	S.J. Miel			
Follaje		88,50	1,93	16,98
Colinos		83,60	1,85	11,26
Corona		85,00	1,45	10,22
Raices		76,70	1,36	5,86
Amarilla	Paco			
Follaje		88,05	1,76	14,74
Colinos		82,20	1,65	9,28
Corona		86,50	0,79	5,84
Raices		76,80	1,19	5,14
MAUKA				
Cultivada 4 años	Italaque			
Follaje pigmentada	(Bolonia)	85,59	4,46	30,96
Silvestre 1 año	Chuma			
Follaje	(Bolonia)	69,49	6,37	20,89
GUALUSA				
	Paco			
Follaje		91,50	1,34	15,76
Raices		83,80	0,10	6,17
YUCA				
Rosada	Paco			
Follaje		74,80	6,36	25,26

Fuente: Programa de Alimentos - UMSS - Cochabamba. 25,5 y 29,3%.

Tabla 3. Resultados del análisis bromatológico de coronas de racacha.

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR (1)	VALOR (2)
Humedad	%	85,81	
Ceniza	%	1,02	7,18
Fibra	%	1,82	12,81
Proteina	%	1,45	10,20
Hidratos de Carbono	%	9,72	68,52
Valor energético	kcal/100 g	42,82	301,78
pH		5,49	5,59
Calcio	mg/100g	67,55	476,02
Fósforo	mg/100g	39,91	281,26
Hierro	mg/100g	8,44	59,51

Fuente: Programa de Alimentos - UMSS - Cochabamba.

Los propágulos de racacha se aclimatan de acuerdo a las ecologías y épocas de trasplante, trasladados desde los 2800 a 400 msnm son bruscos y dan lugar a pudriciones. El intercambio es por venta o canje y en los Yungas hay un comerciante de semillas que merecerá nuestro apoyo dentro de una orientación mutua.

En general, la aclimatación de la simiente no es inmediata en los trasladados de pisos diferenciados en lo vertical. Así, el primer año racachas amarillas y blancas dan un producto de regular tamaño o menudo; la adaptación puede llevar más de un ciclo y el pionero conservacionista no se desespera en estas pruebas. La trashumancia vertical es una tradición, se practica constantemente como una actividad comercial, de trueque, de relajación y relacionamiento, que llega a su clímax durante las cosechas, las fiestas y ferias que convocan a la gente.

La conservación *in situ* es un proceso continuo de la evolución natural, o sea que la producción responde al medio natural donde vegeta un genotipo. Con los movimientos verticales se rompería el proceso y los cambios responderían positiva o negativamente de acuerdo a la plasticidad de los ejemplares. Nuestras evaluaciones preliminares deben profundizar las comprobaciones ya que no se conoce la existencia de investigaciones completas. Este es un aspecto básico a tenerse en cuenta para localizar los centros experimentales que al presente no responden a este tipo de análisis.

CARACTERIZACIONES

Estas se van completando en la medida en que se disponga de apoyo logístico en el extenso territorio de nuestras acciones y en los momentos oportunos. Tenemos información botánica y agronómica, pero lo más conspiciose se da a continuación.

El desarrollo de las plantas de seis entradas de yacón depende de los termo periodos y precipitaciones, más que de la fertilidad de los suelos. A medida que se sube en los pisos verticales el ciclo productivo se prolonga. La mayoría de los cultivares en ecologías yungueñas (1500 - 1800 msnm) completan su ciclo productivo a los 7 meses. Los

rendimientos en raíces varían desde 15 y 43 t/ha a 70 y 100 t/ha, siendo las moradas las más productivas.

En racacha se dan cultivares de raíz y de forraje; en el segundo caso los rendimientos de la corona son de 7 t/ha y hasta ahora se comprueba de 6 a 10% de proteína (ms). En los de raíz, en seis cultivares encontramos rendimientos desde 6 hasta 11 t/ha, fluctuando la proteína alrededor del 5%.

Las caracterizaciones y evaluaciones *in situ*, como expresión de la agricultura campesina, dan bases para el mejoramiento en su propio contexto. Los ejercicios experimentales del modernismo, sin este conocimiento previo de la realidad socio-cultural, económica y política, es más factible que no potencien la economía campesina como a veces se asume.

RELACIÓN *IN SITU-EX SITU-IN SITU*

• Aplicación de principios éticos, morales y lógicos

En rigor de ética la relación entre los dos sistemas tendría que establecerse desde las raíces en el reconocimiento de lo histórico de la conservación y manejo de la biodiversidad de los recursos fitogenéticos agrícolas, ya que lo *in situ* está registrado desde siempre como ficha no bibliográfica, porque en el transcurso sigue manteniéndose, sin mucha comprensión extraña, asociado a la evolución natural de las especies en cultivo, mientras que al archivarse en las gavetas de los ejercicios de la "supertecnología" son manipuladas como fichas de mercancía antes que como clave del arte en que el hombre articulado conscientemente a la naturaleza es la expresión de la vida.

Las recolecciones de agricultor a agricultor, por su lógica y racionalidad tienen un contraste marcado con las realizadas por los técnicos para la conservación *ex situ*, quienes privilegian las colectas al paso, en mercados de ciudades, pueblos y a veces en las comunidades sin gran esfuerzo analítico, utilizando al agricultor como un donante ingenuo o vendedor, donde no aparece la representación de toda la diversidad genética sino de las formas más comerciales y a veces de lo descartable. En cambio, hay un rigor más científico recolectando con los agricultores en sus parcelas y del mosaico de chacras donde se dan sorpresas de las reservas genéticas campesinas en todo su contexto productivo mediante clones y poblaciones heterogéneas y homogéneas.

Lo *ex situ* es un modelo del mundo desarrollado y de sus instituciones, incluidas las que están en el Tercer Mundo en oposición de lo *in situ*, y por ideología aún se mantienen incompatibles por las evidencias presentadas previamente. La ventaja para el segundo modelo es que buena parte de la biodiversidad agrícola cultivada y silvestre es propia del mundo subdesarrollado. Los que preconicen un balance entre ambos modelos, desde posiciones tradicionales siempre se inclinarán por los intereses que representan.

Cualquier cambio positivo como para instituir lo lógico y racional, se podría dar en condiciones de ética, no como parte de un proceso irregular, tecnicista absorbente,

sino como un proceso a alcanzarse ordenadamente, casuísticamente, a la luz de las experiencias presentadas.

Al tratarse sobre la estabilidad genética de germoplasmas *ex situ*, Harlan (1975) sostiene que en las entradas hay una repetida y periódica perturbación; que el ambiente prevaleciente es artificial, inestable, geográficamente extenso, con fuertes presiones de selección, biológicamente caprichoso y a menudo en diferentes direcciones. Que el resultado de todo esto es una enorme cantidad de variaciones conspicuas entre formas muy relacionadas.

Por otra parte, Brush y colaboradores (1981, 1991) sostienen que se sabe muy poco sobre cómo y por qué se mantiene la diversidad; que es muy posible que los indígenas pueden mantener la diversidad de sus cultivos nativos tal como lo hicieron durante los 500 años de la Colonia; que el éxito de los agricultores andinos en la protección de la diversidad de papas nativas es una evidencia positiva y que viabiliza la opción de una política de conservación *in situ*.

En el marco de la geopolítica de las semillas, Mooney (1979) llama la atención sobre que, junto a la crisis ecológica, está la crisis de la seguridad alimentaria no sólo para los pueblos del Tercer Mundo, "que falta desarrollar estrategias justas e integradas para gestionar la riqueza genética, poniendo a los agricultores en la base del desarrollo agrícola y de su propio porvenir"; "que con la revolución verde se perdieron las bases de la agricultura en los mismos centros de diversidad de los cultivos; que las compañías internacionales de semillas gestionaban patentes de propiedad intelectual sobre los primeros eslabones de las cadenas alimenticias, el origen de los cuales estaban en los campos de los campesinos del Tercer Mundo y finalmente que el sistema de los bancos mundiales de genes creados para conservar, para todas estas reservas en cámaras frigoríficas, no estaban en realidad bajo ningún control seguro". "Sin embargo, existen las bases para construir un sistema de conservación seguro, justo y mejor controlado". (...) "El poco uso que hacen algunas de estas compañías previa privatización de la investigación agrícola, de los bancos de genes y su afición a utilizar super genes únicos en vez de amplios complejos genéticos".

También se menciona sobre el nacimiento de una Red Mediterránea sobre el patrimonio genético doméstico, donde se anteponen las dimensiones socio culturales y económicas de los recursos genéticos al componente de germoplasma. Igualmente, el genuino eje de un plan de trabajo, haciendo hincapié en el conocimiento local y tradicional, en los recursos indígenas a salvar y valorizar en favor del desarrollo sostenible. Como temas ejes se citan: cómo mejorar la conservación y uso a nivel local y cómo reformar el entorno socio-político que hoy impide poderosamente esta mejora.

Las palabras claves para el enfoque de esta red, que en nuestro caso hay que referirla a la Red Andina, son:

- Conocimientos populares
- Agroecosistemas

- Variedades locales, tradicionales y parientes silvestres
- Cultura Andina
- Equilibrio entre los sectores formal e informal
- Enfoque integral
- Conservación dinámica (no estática)
- Coordinación rotativa
- Complementariedad entre metodologías *in situ*, *in borto* y *ex situ*.

El caso boliviano de la papa nativa, incluyendo a la amarga, es muy ilustrativo de lo utópico de nuestras posiciones en insistir que tales relaciones: a) entre lo *in situ*-*ex situ* y b) *in situ*-*ex situ* - *in situ* rompan con los esquemas clásicos basados en normas y valores tradicionales del espejismo de la técnica simple. Y es que la producción nacional generada en la chacra campesina con la biodiversidad de papas nativas cubre casi el total de la demanda boliviana. La investigación oficial con este germoplasma no responde a esa lógica y se imponen políticas más bien extrañas desde centros internacionales. Los pocos especialistas paperos bolivianos que emergen son proclives a esta dependencia. Por tanto, la dependencia no permite establecer una relación justa en el caso a) arriba señalado. Aquí las expectativas serían que las colecciones de germoplasma respondan a un análisis cuidadoso y profundo de lo *in situ* de acuerdo a los lineamientos y las experiencias que se presentan en el acápite "Nuestras Experiencias Recientes". Las recolecciones tradicionales parten de ese prejuicio de que "todo lo nativo es inferior" y en consecuencia los bancos "congelados" no sólo congelan los tubérculos sino a sus curadores. En este sentido, y dentro de una amplia polémica, esperamos una respuesta sobre los logros realmente de impacto a la producción papera campesina desde Toralapa, que debe estar en sus tres décadas de funcionamiento.

PROYECCIÓN DE LOS RESULTADOS

A los resultados presentados se suman los Jardines Botánicos Campesinos. Hemos inventariado ocho hasta el presente y que merecen el seguimiento y acompañamiento técnico. Luego tenemos las microparcelas con reservas genéticas familiares que nos motivan para proponer a cualquier institución científica de biodiversidad la instalación de lotes vedados familiares, protegidos adecuadamente, donde se conserve lo más sobresaliente de lo manejado *in situ*. Estas instalaciones regionales tienen que estar al cuidado de los pioneros.

En cuanto a las formas silvestres de raíces se tienen recolectadas cinco: dos mirabilis, dos racachas y una ajipa, se piensa que sean afines a las cultivadas. Estos refugios serían el sitio adecuado para las caracterizaciones, evaluaciones y de protección y multiplicación permanente de este material. Dentro del programa en el que actuamos aún no se vislumbra la comprensión necesaria del alcance de estas importantes iniciativas, que son la proyección lógica de los resultados que se están alcanzando en forma paulatina en el manejo y conservación *in situ* y que se presenta como experiencia boliviana.

BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, C.
1975 *Colección de papas cultivadas de la estación experimental Toralapa, Cochabamba*. Tesis. Cochabamba, Universidad Mayor de San Simón.
- Altieri, Miguel A. y Laura Merrick
1987 "In situ conservation of crop genetic resources through maintenance of traditional farming systems". *Economic Botany* 41 (1): 86-96. Society for Economic Botany.
- Ballivian, M. y T. Ceballos
1941 *Noticia histórica y clasificación de papas en Bolivia*. 2da. Edición. Cochabamba, Universidad Mayor de San Simón
- Brush, Stephen B.
1991 "A farmer - based approach to conserving crop germoplasm". *Economic Botany* 45 (2): 153-165.
- Brush, Stephen B., Heath J. Carney y Zózimo Huamán
1981 "Dynamics of Andean potato agriculture". *Economic Botany* (35) 1:70-88.
- Cárdenas, Martín
1969 *Manual de plantas económicas de Bolivia*. Cochabamba, Los Amigos del Libro.
- Darre, J.P.
1985 *La parole et la technique, L'univers de pensée des éleveurs du Ternois*. París, L'Harmattan.
- Debouck, D.G.
1994 *Conservación in situ de recursos fitogenéticos*. Cali, IPGRI.
- Harlan, Jack R.
1975 *Crops and Man*. Madison, American Society of Agronomy and Crop Science Society of America.
- Hawkes, J. G. y J. P. Hjerting
1989 *The potatoes of Bolivia: Their breeding value and evolutionary relationships*. Clarendon Press, Oxford University Press.
- Mooney, P. R.
1979 *Semillas de la tierra ¿Un recurso público o privado?* Ottawa, Canadian Council for International Co-operation International Coalition for Development Action.

Rea, Julio

- 1985 *Recursos fitogenéticos agrícolas de Bolivia: Bases para establecer el sistema.* La Paz, Comité Internacional de Recursos Fitogenéticos (CIRF), Grupo Consultivo de Investigación Agrícola Internacional (IBPGR).
- 1989a Evaluación del proyecto papa en 22 comunidades de Ayo Ayo. La Paz, CIPCA.
- 1989b Estructura productiva en Acacio - N. Potosí. Oruro, INDICEP.
- 1990 Proyecto producción de papa en 7 comunidades de Vacas, Arani. Cochabamba, INCCA.
- 1992 "Raíces andinas". En: *Cultivos marginados: otra perspectiva de 1492*, J. E. Hernández y J. León, editores, págs. 163-177. Roma, FAO.
- 1994 Manejo *in situ* de germoplasma de RTA en Bolivia. I Reunión Boliviana de RTA. Cochabamba, PROINPA.

Rea, J. y J. A. García

- 1994 II Informe de actividades. Conocimiento y utilización de estrategias campesinas de papas nativas *in situ*. Raquampampa, Cochabamba, CENDA-CIP.

Regalsky, P. et al.

- 1994 *Raqaypampa. Los complejos caminos de una comunidad andina.* Cochabamba.

Terrazas, F.

- 1995 Identificación y estudio de la dinámica de los microcentros de biodiversidad de RTA y manejo, conservación y uso de germoplasma RTA en campos de agricultores. Borrador de avances de informe técnico. Agosto '94 - Feb. '95. Cochabamba, PROINPA.

Van Der Ploeg, J.D.

- 1989 *Papas y metáforas.* Lima, Proyecto Andino de Tecnologías Campesinas (PRATEC).

UNA EXPERIENCIA METODOLÓGICA EN LA IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MICROCENTROS DE BIODIVERSIDAD EN LA REGIÓN DE COCHABAMBA, BOLIVIA

Franz Terrazas
Grover Valdivia

RESUMEN

La identificación y caracterización de microcentros de diversidad genética se efectuó en Cochabamba (Bolivia), en primera instancia a través del uso de información secundaria (uso de mapas, estadísticas de producción, visitas a ferias agrícolas), y luego se procedió a utilizar fuentes de información primaria (sondeos rápidos rurales), para finalmente generar una base de datos y con un sistema de información geográfica ubicar los posibles microcentros de biodiversidad de raíces y tubérculos andinos (RTAs). El proceso culminó con la consolidación de dos microcentros de biodiversidad de tubérculos andinos y un microcentro para raíces andinas. Estos microcentros son: a) Candelaria, ubicada en el Cantón Colomi de la provincia Chapare; b) Chuchuani, ubicada en el cantón Independencia de la provincia Ayopaya; y c) Corani Pampa, Tablas Monte y Santa Isabel en la provincia Chapare.

Los microcentros de Candelaria y Chuchuani se caracterizan por presentar un medio ecológico favorable donde existen diferentes pisos altitudinales, en los cuales se preserva toda una gama de diversidad de tubérculos y raíces andinas. Pero, también, hay que reconocer el rol de los agricultores en la preservación de los recursos genéticos, ya que su labor ha posibilitado la supervivencia de la diversidad pese a circunstancias sociales, ecológicas, económicas y políticas adversas.

RAÍCES Y TUBÉRCULOS ANDINOS. AVANCES DE INVESTIGACIÓN I, Tommy Fairlie, Marciano Morales Bermúdez y Miguel Holle, editores, págs. 77-90. Lima, Centro Internacional de la Papa (CIP) y Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), 1999.

INTRODUCCIÓN

La región andina constituye la mayor reserva genética mundial de tubérculos y raíces andinas, cuya fisiografía montañosa determina una heterogeneidad ambiental y biológica. El carácter megadiverso de los Andes se expresa por la presencia de nichos ecológicos con poblaciones vegetales y cultivos específicos que han evolucionado en condiciones naturales de la zona bajo la administración de los campesinos andinos, desde los inicios de la agricultura.

Los valles interandinos están separados unos de otros por barreras naturales (cordilleras altas), donde la coevolución dio lugar a la rasiación y formación de especies polítipicas. Cada valle presenta condiciones específicas donde las especies desarrollaron características completamente diferenciales. La colonización natural de las plantas y la migración del hombre andino superaron las barreras geográficas (con el consiguiente movimiento de germoplasma), y dieron lugar a una diversidad genética de enorme trascendencia.

En Bolivia existe una infinidad de valles, muchos de ellos se caracterizan por ser particularmente importantes como concentraciones geográficas de variedades de cultivos. Entre los recursos fitogenéticos utilizados en la agricultura se destacan los tubérculos andinos como papa (*Solanum* spp.), oca (*Oxalis* *tuberosa*), papalisa (*Ullucus* *tuberosus*) e isaño (*Tropaeolum* *tuberosum*) y las raíces como arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), yacón (*Polytmnia sonchifolia*), ajipa (*Pachyrrhizus* sp.) y achira (*Canna edulis*).

El rol de los agricultores en la preservación de los recursos fitogenéticos es fundamental, ya que su labor ha posibilitado la supervivencia de la diversidad de cultivares nativos pese a circunstancias sociales, ecológicas, económicas y políticas adversas que afectan el sistema de producción campesino. No obstante la diversidad biológica de los cultivos andinos, esta está en proceso de erosión genética por la pérdida de cultivares nativos que dejan de ser cultivados por los agricultores debido a diversas razones.

La distribución geográfica de los recursos genéticos de raíces y tubérculos andinos ha sido poco inventariada en Bolivia, por lo cual es oportuno identificar y localizar los microcentros de biodiversidad. La localización más racional de las áreas y zonas de conservación *in situ* es un problema metodológico. El presente documento pretende transmitir una experiencia metodológica para la identificación y caracterización de microcentros de biodiversidad de raíces y tubérculos andinos realizada en el departamento de Cochabamba, Bolivia.

OBJETIVOS

- Identificar y caracterizar posibles microcentros de biodiversidad de raíces y tubérculos andinos (RTAs) en el departamento de Cochabamba.

- Desarrollar una metodología eficaz para la identificación de microcentros de biodiversidad.
- Analizar el marco conceptual de los microcentros de biodiversidad en la conservación y utilización sostenible de los recursos genéticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La identificación de zonas de producción de raíces y tubérculos andinos en el departamento de Cochabamba se inicia en 1993. El proceso se implementó con revisión de información secundaria y fuentes de información primaria.

• Revisión de información secundaria

La identificación de áreas geográficas potenciales para la producción de raíces y tubérculos andinos fue realizada en base a información secundaria, como estadísticas de producción y mapas fisiográficos y ecológicos, cuyos resultados orientaron a la localización de áreas productoras de raíces y tubérculos andinos, incluyendo información de exploraciones y estudios sobre la diversidad de raíces y tubérculos andinos en la región.

• Fuentes de información primaria

Habiendo definido áreas potenciales de producción de raíces y tubérculos andinos en Cochabamba, se realizaron sondeos exploratorios en las principales ferias agrícolas rurales, precisando zonas, comunidades y áreas geográficas más restringidas. Allí se priorizaron las más tradicionales y donde existía mayores posibilidades de encontrar una mayor diversidad de cultivares nativos. Luego, en las zonas priorizadas se realizó la verificación en campo mediante diagnósticos multidisciplinarios para precisar la diversidad de especies y las variedades que existían dentro de cada especie de raíces y tubérculos andinos, así como la situación actual e importancia de las RTAs en el sistema de producción agrícola. Finalmente, fueron seleccionadas algunas zonas como posibles microcentros de biodiversidad de RTAs, para posteriormente implementar acciones de caracterización del entorno ambiental y sociocultural.

RESULTADOS

1. Marco conceptual de los microcentros de biodiversidad y su rol en la conservación y utilización sostenible de los recursos genéticos de raíces y tubérculos andinos

Se entiende por microcentro de biodiversidad como el “área geográfica contigua cuyas condiciones ecológicas, sistemas de producción agropecuarios y patrones

culturales posibilitan la supervivencia y uso de la biodiversidad" (Plan Quinquenal, Proyecto Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos, 1993).

Existen tres aspectos que orientan a la localización geográfica de los posibles microcentros de biodiversidad: a) el área geográfica contigua que implica, por ejemplo, una zona, una o varias comunidades aledañas, una microregión o una microcuenca; b) las condiciones ecológicas favorables, lo cual es muy importante para la supervivencia de los cultivares, ya que desastres climáticos como heladas o sequías extremas ocasionan la perdida de la diversidad; y c) la existencia de un máximo de diversidad de tubérculos andinos como el factor distintivo de los microcentros frente a otras zonas. Se presentan dos alternativas respecto a la biodiversidad: las zonas de interés pueden ser aquellas donde se preservan la mayor diversidad posible de cultivares tradicionales, o zonas donde existe un cultivar específico con cualidades especiales.

Más allá de una definición geográfica y ecológica del microcentro, el concepto enfatiza la participación de los agricultores pues su labor ha favorecido la proliferación y "crianza" de la diversidad en sistemas tradicionales de agricultura (Blanco 1993, Montesinos 1993), a través de sistemas culturales y sociales que fomentan la diversificación como una estrategia para asegurar el aprovisionamiento alimentario en un marco comunitario.

Los sistemas tradicionales de agricultura pueden tornarse vulnerables a los cambios político-sociales del país, ya que podrían afectar negativamente la conservación *in situ* desvalorizando a los cultivares nativos y por la mayor orientación comercial de la agricultura.

2. Proceso para la identificación de microcentros de biodiversidad de RTAs en la región de Cochabamba, Bolivia

a) Revisión de información secundaria

- Se delimitan las zonas potenciales de producción de raíces y tubérculos andinos en base a condiciones agroecológicas

El departamento de Cochabamba es la región más importante de Bolivia en la producción de oca y papalisa (Tabla 1). Los rendimientos promedio en t/ha son superiores en 20 a 50% a los de otras regiones del país (AGRODATA 1994).

- Condiciones fisiográficas y ecológicas de la región de Cochabamba y cultivo de raíces y tubérculos andinos

Según estudios realizados por la Corporación de Desarrollo de Cochabamba (CORDECO), la variabilidad ecológica en Cochabamba es amplia, existiendo zonas de puna, valles, yungas, trópico y subtropical.

Tabla 1. Producción nacional de oca y papalisa en Bolivia por departamentos (en toneladas métricas).

Producto/año	Chuquisaca	La Paz	Cochabamba	Oruro	Potosí
OCA:					
1989	5 140	15 925	18 229	3 443	4 181
1990	6 500	12 920	17 819	3 300	3 850
1991	5 080	15 725	18 000	3 400	4 125
1992	5 040	14 900	17 000	3 200	4 180
1993	5 350	15 900	18 500	3 400	4 900
Promedio	5 527	14 859	17 910	3 349	4 173
PAPALISA					
1990	2 510	3 580	9 140	300	700
1991	2 880	3 810	9 500	380	820
1992	2 800	3 200	7 800	310	750
1993	2 900	3 600	8 600	350	1 200
Promedio	2 773	3 548	8 760	335	868

Fuente: SNAG, Departamento de Estadísticas Sectoriales, 1994.

Elaboración: AGRODATA. La Paz, Bolivia 1994.

Las zonas específicas con aptitud potencial para el cultivo de tubérculos son las de puna, que están focalizadas en la parte central hacia el sur y atraviesan el departamento de este a oeste. Por lo tanto, esta es la base geográfica donde es posible identificar los microcentros de biodiversidad por sus condiciones ecológicas favorables (alturas entre los 3000 a 3800 msnm y precipitaciones pluviales entre 600 y 1400 mm). Para raíces andinas, la parte de los Yungas es favorable para su producción (alturas entre 500 y 1500 msnm. y precipitaciones pluviales entre 1400 a 2000 mm).

• Exploraciones y estudios sobre la diversidad de raíces y tubérculos andinos en la región de Cochabamba

Rea y Morales (1980a, 1980b), realizaron recolecciones de cultivares tradicionales de oca, papalisa e isaño en diversas regiones. En el departamento de Cochabamba, las provincias de Ayopaya, Chapare y Carrasco destacan por la mayor diversidad de cultivares detectados y recolectados.

Cárdenas (1987) señala que en Cochabamba la zona de Colomi en la provincia Chapare es tradicionalmente productora de oca, informa sobre la existencia de más de 8 cultivares y describe algunos ecotipos específicos existentes en la zona como el cultivar "Pili Runtu". Además, realizó la evaluación de colecciones de oca, papalisa e isaño procedentes de México, Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia.

Por la información secundaria consultada, las provincias Ayopaya, Chapare y Carrasco son la base geográfica para la identificación de posibles microcentros de

biodiversidad de tubérculos andinos, porque en estas provincias se detectó mayor diversidad de raíces y tubérculos andinos en relación a otras.

b) Información primaria para la localización de zonas de producción y comunidades tradicionales en la producción de raíces y tubérculos andinos

• **Las ferias rurales**

Las ferias rurales agrícolas son una instancia que concentra a productores e intermediarios. En los años 1993 y 1994, con la finalidad de puntear las zonas productoras de oca, papalisa, isño y de raíces andinas como arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), yacón (*Polymlia sonchifolia*), ajipa (*Pachyrhizus sp.*) y achira (*Canna edulis*), se realizaron visitas a 14 ferias agrícolas rurales distribuidas en nueve provincias de Cochabamba.

Mediante sondeos a intermediarios y productores sobre la procedencia de tubérculos andinos que se ofertan en el mercado y otras zonas cercanas, se identificaron 21 zonas y/o comunidades (áreas específicas geográficamente restringidas) como productoras de tubérculos. Estas zonas están distribuidas en las provincias de Ayopaya, Carrasco y Chapare, lo cual coincide con los resultados obtenidos en fuentes secundarias (Tabla 2).

La cobertura geográfica de las tres provincias es amplia, por lo cual de las 21 zonas fueron priorizadas seis, las que son consideradas tradicionales en la producción de tubérculos andinos y una zona tradicional en la producción de raíces para realizar en ellas la verificación en campo.

• **Verificación en campo**

La verificación en campo fue realizada por sondeos rápidos rurales (4 días de duración por zona) en las seis comunidades priorizadas, enfatizando la elaboración de inventarios de diversidad específica y varietal de RTAs. Los posibles microcentros de biodiversidad fueron seleccionados en base a los siguientes indicadores:

- Sistema de producción que incluya cuatro especies de tubérculos andinos (oca, papalisa, isño y papa nativa).
- Detección de multiusos de raíces y tubérculos andinos arraigados en la comunidad (alimentación familiar, alimentación animal, uso medicinal, uso artesanal y otros).
- Condiciones agroecológicas favorables para la preservación de los cultivos. Los riesgos productivos como heladas y sequías son mínimos.
- La existencia de mayor diversidad de cultivares locales por especie en relación a otras zonas de la región.

Tabla 2. Zonas visitadas por provincias y sus comunidades para la identificación de microcentros de biodiversidad.

Provincia	Zona	Comunidad	Altitud msnm	Cultivos de RTAs*	Fuente de información
Ayopaya	Independencia	Buena Vista	3200 - 4000	1,2,3	Diagnóstico
		Chuchuani	1500 - 3450	1,2,3,4,5,7,8	Diagnóstico
	Morochata	Piusilla	3000 - 4000	1,2,3,7,8	Seguimiento
		San Isidro	3000 - 4000	1,2,3	Seguimiento
		Torreni	3500 - 4100	1,2,3	Seguimiento
		Chorito	3850 - 4100	1,2,3	Diagnóstico
		Cocapata	3200	1,2,3	Diagnóstico
		Falsuri	3600	1,2,3	Diagnóstico
Carrasco	Totora	Chaupi Loma	3200 - 3600	1,2,3	Diagnóstico
		Laime Toro	3200 - 3800	1,2,3,4,5,7,8	Seguimiento
	Lope Mendoza	Mojón	3200 - 3800	1,2,3	Seguimiento
		T'holo Pampa	3200 - 3800	1,2,3	Seguimiento
		Mishka Mayu	3250 - 3900	1,2,3	Diagnóstico
	Chapare	Colomi	3000 - 3700	1,2,3,7	Seguimiento
		Candelaria	3150 - 3400	1,2,3	Seguimiento
		Pico Central	3500 - 3900	1,2,3	Seguimiento
		Aguirre	3200 - 3700	1,2,3	Seguimiento
		Sapanani	3300 - 3900	1,2,3	Diagnóstico
		Kanko	3300 - 3900	1,2,3,7,8	Diagnóstico
	Corani Pampa	Corani - S. Isabel	1300 - 2300	4,5,6	Diagnóstico

*1 = oca; 2 = papalisa; 3 = isño; 4 = yacón; 5 = arracacha y 6 = ajipa; 7 = silvestres afines de oca; 8 = silvestres afines de papalisa.

Deben existir por lo menos los siguientes cultivares: 25 de oca, 5 de papalisa, 5 de isño y 30 cultivares de papa nativa. El número de cultivares por especie fue convencionalmente asumida adecuando los indicadores a las circunstancias de la región, tomando en cuenta que los microcentros constituyen áreas geográficas restringidas donde la biodiversidad que se mantiene es también relativamente restringida.

Como resultado final fueron identificados dos posibles microcentros consolidados de diversidad para tubérculos andinos y una zona para raíces andinas: a) **Candelaria**, ubicada en el cantón Colomi de la provincia Chapare (para tubérculos andinos); b) **Chuchuani**, ubicada en el cantón Independencia de la provincia Ayopaya (para tubérculos andinos); y c) **Corani Pampa**, ubicada en el cantón Corani, provincia Chapare (para raíces andinas).

c) Caracterización de los microcentros de biodiversidad de tubérculos andinos

A través de miniencuestas exploratorias, se ha recabado información general del entorno ambiental (como el clima, zona ecológica y pisos altitudinales identificados

por los propios agricultores) y sociocultural asociado con la preservación y aprovechamiento sostenible de cultivares nativos.

• Entorno ambiental en Candelaria – Colomi

Candelaria es una microcuenca donde se distinguen zonas planas, de ladera y de altura. La zona de **planicie y pie de ladera** presenta parcelas con pendientes de hasta 5%, se encuentra ubicada entre los 3200 a 3250 msnm, los suelos son franco arcillosos con alto contenido de materia orgánica y coloración oscura. En los meses lluviosos (enero - marzo) presenta problemas de anegamiento y el daño por helada es mayor en esta zona que en otras.

El aprovechamiento de la tierra a través de cultivos en parcelas de propiedad individual es intensiva por el fácil acceso a ellas. La mayoría de las parcelas descansan sólo un año. Se cultivan hasta cuatro ciclos de papa en una misma campaña agrícola, siendo el principal el de "siembra de año" (octubre a noviembre). Los cultivos predominantes de esta zona son la papa, principalmente con variedades comerciales (sobre todo variedades mejoradas), seguida de haba y oca así como la asociación de oca y haba. La rotación de cultivos se inicia con el cultivo de la papa (en algunas oportunidades asociado con isaño en los bordes de las parcelas, utilizado como un repelente para ciertos roedores como los ratones), seguida de la oca (en cultivo puro y frecuentemente asociado con haba, isaño o tarwi) o papalisa y/o haba y finalmente avena o cebada. En algunos casos la papa se siembra por dos años consecutivos en la misma parcela.

La zona de **ladera** constituye una franja altitudinal que va desde los 3250 hasta los 3500 msnm. Presenta tierras fértilles, por lo que su aprovechamiento también es intenso, y el acceso no es muy difucultoso. El daño por heladas es menor en esta zona por efecto de la pendiente, lo que permite cultivar hasta cuatro ciclos de papa. En esta zona se concentra la producción de oca, papalisa e isaño.

Los cultivos principales son papa comercial (Imilla blanca, Waycha, Sani Imilla, Puka Toralapa, Yuraq Toralapa), papa para autoconsumo (nativas no comerciales como Quyllus, Canastílos, Pinta boca, Condor Uña, Roscalo, etc.), oca y haba. La rotación de cultivos presenta la siguiente secuencia: papa, oca (en cultivo puro o asociado con haba o isaño), haba, papalisa y avena, cebada o tarwi.

La zona de **lomas o ladera alta** se ubica por encima de los 3500 msnm, presenta la característica distintiva de una mayor humedad en relación a otras zonas debido a la presencia casi constante de neblina. En esta zona se ubican las tierras "*phurumas*", que son aquellas tierras que nunca fueron cultivadas o que tienen períodos prolongados de descanso (6-8 años). Por las temperaturas bajas que afectan la zona, también se cultivan en pequeñas cantidades las papas *luk'is* (*Solanum juzepczukii*), que son resistentes a heladas y no existe cultivo de oca, papalisa ni isaño, por ello la rotación es papa y avena.

Por su buena fertilidad, los suelos "*phurumas*" son preferidos para el cultivo de papa nativa; por otro lado, la poca incidencia del gusano blanco en las lomas o alturas

Tabla 3. Características de los microcentros de Candelaria (Chapare) y Chuchuani (Ayopaya).

CARACTERÍSTICA	CANDELARIA	CHUCHUANI
Idioma Principal:	Quechua	Quechua
Población estimada:	640 (2 comunidades)	375 (una comunidad)
Especies de tubérculos andinos:	Papa nativa, oca, papalisa e isaño	Papa nativa, oca, papalisa e isaño
Tipología de los productores:	Pequeños productores/minifundistas	Pequeños productores/minifundistas
Sistema de tenencia de la tierra:	Apropiación privada	Apropiación privada y propiedad comunal (aynokas y echaderos).
Integración al mercado:	Moderada a intensa participación en el mercado	Participación moderada
Zona agroecológica:	Puna	Cabecera de valle y puna
Clima:		
Precipitación anual (mm):	739 – 996	700 – 900
Temp. min. y max. anual (°C):	2,5 y 15,1	-----
Media anual:	8,8	10
Altitud (msnm):	3200 – 3900	2700 – 3500
Riesgo de heladas para RTAs:	Poco frecuente	No existe
Riesgo de sequías para RTAs.:	Ocasional al inicio del ciclo productivo (sept. – octubre)	Ocasional al inicio del ciclo productivo (sept. – octubre)
Pisos altitudinales	a) zona plana y pie de ladera (3200-3250) b) ladera intermedia (3250 – 3500) c) lomas (3500 - 3900)	a) valles (2700 – 2900) b) ladera (2900 – 3200) c) Lomas - "aynokas" (3200 – 3500)

hace que se convierta en zona productora de papa nativa, sobre todo con la finalidad de refrescar su semilla.

• Pisos altitudinales de Chuchuani - Independencia

Se distinguen tres pisos altitudinales: a) valles (2700 – 2900 msnm); b) ladera (2900 – 3200 msnm); y c) lomas (3200 – 3500 msnm).

En la zona alta o lomas se practica la **aynoka**, que es una forma tradicional de manejo de tierra, consistente en la rotación de sectores de tierra mediante la asignación de turnos previamente establecidos. Esta práctica es un manejo adecuado del suelo que permite mantener la sostenibilidad de los rendimientos.

En el caso dado de una *aynoka* después de haberse cultivado durante tres años (papa, oca o papalisa y avena), tendrá un descanso de 8 a 10 años.

Cabe señalar que en las zonas bajas el manejo de la tierra es de tipo netamente familiar, donde la rotación y la intensidad de su explotación es decidida por la familia independientemente de la comunidad.

• Situación socioeconómica de las familias campesinas en Chuchuani y Candelaria

A nivel familiar se han desarrollado estadísticas descriptivas sobre la situación socioeconómica de las familias campesinas a partir de una muestra estratificada por niveles socioeconómicos (Tablas 4 y 5). En las comunidades de Chuchuani y Candelaria fueron identificados tres estratos, que son: a) "k'hapaj" (ricos), donde se encuentran los agricultores con mayores recursos; b) el estrato intermedio o "regular", donde se encuentran los agricultores con menores posibilidades económicas y recursos que los "k'hapaj" y con mayores recursos que los pobres; y c) los "pobres", donde se encuentran las familias de menos recursos en la comunidad. Las nominaciones a los estratos fueron asignadas por los informantes claves.

La percepción que los habitantes de Chuchuani y Candelaria tienen de los diferentes niveles de riqueza, difieren en algunos criterios o indicadores tradicionales empleados para investigaciones de este propósito. Los indicadores locales de riqueza están basados en la tenencia de la tierra, tenencia de ganado, capacidad de trabajo de la familia, disponibilidad de capital (dinero) para emprender actividades productivas en cualquier época del año y la contratación de mano de obra extra a la mano de obra familiar.

Los criterios de riqueza involucran diversos factores, cuya complejidad hace difícil precisar indicadores que permitan comprender las interacciones entre los diferentes factores. Destacan criterios, como la cantidad de tierras y ganado que poseen; sin embargo, un elemento importante es la capacidad de trabajo de la familia. Es por ello que, por ejemplo, mujeres viudas o familias sin hijos y de edad avanzada, son tipificadas como pobres aunque posean considerables cantidades de tierra. Por el contrario, existen familias que poseen pocas tierras, pero tienen gran capacidad de trabajo, ubicándose estas familias en el estrato intermedio e inclusive en el estrato rico.

Tabla 4. Estratificación socioeconómica de familias campesinas en Candelaria y Chuchuani.

COMUNIDAD	NÚMERO DE FAMILIAS	TAMAÑO DE LA MUESTRA POR ESTRATO		
		K'hapaj (ricos)	Intermedio/regular	Pobre
Candelaria:				
Universo	118	30	57	31
Muestra	27	7	13	7
Chuchuani:				
Universo	75	27	28	20
Muestra	19	7	7	5

Tabla 5. Indicadores locales de riqueza por estratos bajo la percepción de los agricultores.

ESTRATO	Tenencia de ganado	Tenencia de tierras	Capacidad de trabajo	Disponibilidad de Capital
K'apac (ricos)	Vacuno: 15 a 20. Ovejas: más de 30	Más de 5 ha. Da en compañía a otros agricultores algunas de sus parcelas	Contratan jornaleros (4 a 5) durante la cosecha y siembras	Tienen dinero o capital durante todo el año.
Intermedio	Vacuno: 5 a 10. Ovejas: 10 a 20	2 a 3 ha. de tierra. A veces trabajan parcelas en compañía.	Contratan 1 ó 2 jornaleros	Disponen de poco capital en algunas épocas, pero es suficiente para alimentar a su familia.
Pobre	Vacuno: No tiene Ovejas: hasta 10.	Menos de 2 ha. Trabajan tierras en compañía.	Trabajan como jornaleros	No tienen capital y lo que tienen es insuficiente para la alimentación de su familia.

La capacidad de trabajo de la familia está determinada por el número de miembros en la familia, número de varones y mujeres y la edad de los componentes de la familia.

Durante la estratificación, aunque inicialmente se formaron tres grupos o estratos por su riqueza, se pudo diferenciar subestratos. En el estrato "k'hapaj" existen los muy "k'hapaj"; en el estrato intermedio se diferencian dos subestratos que son: aquellos que se aproximan a los "k'hapaj" y aquellos que se aproximan a los pobres; y en el estrato pobre se diferencia a los muy pobres. Por su complejidad y la delicadeza del tema, no se tomaron en cuenta la categorización por subestratos; sin embargo, este aspecto hace notar que las familias dentro un mismo estrato presentan situaciones socioeconómicas heterogéneas, especialmente en el estrato intermedio.

La familia modal o más común de la muestra de Candelaria pertenece al estrato intermedio, tiene 20 a 26 años de matrimonio y está compuesta por el padre, la madre mas tres a cinco hijos. Realizan viajes de migración temporal de 1 a 6 semanas por uno o dos veces al año a trabajar en sus tierras en Chapare o a trabajar en comunidades alejadas para ganar dinero. Los tubérculos que cultivan en orden de importancia son: papa, oca, papalisa e isano.

La familia modal en Chuchuani pertenece al estrato alto (de mayores posibilidades económicas), tiene entre 18 y 22 años de matrimonio, está conformada por los esposos mas tres a cinco hijos. No migran a otras zonas y cultivan, en orden de importancia: papa, oca, papalisa e isano.

Tabla 6. Estadísticas descriptivas de la situación socioeconómica de las familias campesinas en Candelaria (n = 27) y Chuchuani (n=19) a partir de muestras representativas.

TIPO DE VARIABLE	Microcentro	Número de casos	RANGO (%)	PROMEDIO
Edad estimada del jefe de familia (en años)	Candelaria	27	25 a 80	43
	Chuchuani	19	28 a 85	42
Composición del núcleo familiar (Nº de personas)	Candelaria	27	2 a 10	4.8
	Chuchuani	19	2 a 9	5
Edad estimada del matrimonio (en años)	Candelaria	25	2 a 50	26
	Chuchuani	15	1 a 55	21
Migración temporal:	Candelaria			
- Por 1 a 6 semanas al Chapare		14	(52)	
- Por 1 a 4 semanas a otras comunidades		5	(18)	
- No viajan		8	(30)	
Migración temporal:	Chuchuani			
- Por 1 a 6 semanas a otras comunidades		4	(21)	
- No viajan		15	(79)	

CONCLUSIONES

- Fueron identificados dos microcentros consolidados de biodiversidad de tubérculos andinos en la región de Cochabamba: a) **Candelaria**, cantón Colomi, de la provincia Chapare y b) **Chuchuani**, cantón Independencia de la provincia Ayopaya donde, por las condiciones agroecológicas favorables y gracias a la labor de los agricultores, se ha preservado mayor cantidad de cultivares de oca, papalisa, isano y papa nativa en relación a otras zonas.
- Se hace necesario contar con metodologías adecuadas para que el apoyo institucional sea más importante en la preservación de los recursos fitogenéticos en sus centros de origen.
- La presente metodología permitió identificar y precisar de manera eficiente sitios de concentración geográfica de cultivares de tubérculos andinos.

BIBLIOGRAFÍA

Anónimo

1993 "Las jícamas: ¿un cultivo primitivo o promisorio?" *Boletín de las Américas* 1 (2): 3-6.

Blanco, O.

1993 "Los recursos genéticos en los sistemas productivos andinos. Conservación *in situ*". En: *Biotecnología, recursos fitogenéticos y agricultura en los Andes*, Serie: Cuadernos de Debate y Reflexión No. 4, págs. 121-146. Lima, Comisión de Coordinación de Tecnología Andina (CCTA).

Brush, S. y E. Taylor

1992 "Diversidad biológica en el cultivo de papa". En: *La chacra de papa: economía y ecología*, E. Meyer y M. Glave, editores, págs. 217-221. Lima, Centro Peruano de Estudios Sociales.

Cárdenas, M.

1987 "Informe sobre trabajos hechos en Bolivia sobre oca, ulluco y mashua". En: *Avances en las investigaciones sobre tubérculos alimenticios de los Andes*, M. Tapia, editor, págs. 5-21. Lima, INIAA, CIID, ACDI, PISA. 2da. edición.

1989 *Manual de plantas económicas de Bolivia*. 2a. Edición. Cochabamba, Los Amigos del Libro.

Centro de Información para el Desarrollo (CID)

1994 *Anuario estadístico del sector rural*. La Paz, Ed. Papiro.

Centro Internacional de la Papa (CIP)

1994 "Protegiendo la diversidad genética". *CIP Circular* 20 (3) :1-7.

Linzer, K.

1994 *El diagnóstico rural participativo. Un método para la planificación de proyectos con comunidades rurales*. CIAT. Santa Cruz, Bolivia, Editorial El País.

Montesinos, C.

1993 "Agroecología y conservación de los recursos genéticos". En: *Biotecnología, recursos fitogenéticos y agricultura en los Andes*. Serie Cuadernos de Debate y Reflexión No. 4, págs. 181-198. Lima, Comisión de Coordinación de Tecnología Andina (CCTA).

PCBRTA

1995 *Memorias 1993-1994*. Programa Colaborativo Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos. Lima, CIP-COTESU-CONDESAN.

REA, J. y D. MORALES

- 1980a *Catálogo de tubérculos andinos*. La Paz, Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios e Instituto Boliviano de Tecnología agropecuaria (IBTA).
- 1980b "Germoplasma boliviano de tubérculos menores". En: *II Congreso Internacional Sobre Cultivos Andinos* (Riobamba, Ecuador, 4-8 junio 1979), L. Corral y J. H. Cáceres, editores, págs. 221-223. Riobamba (Ecuador), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ingeniería Agronómica, IICA.
- Tapia, C., R. Castillo y N. Mazon
- 1996 *Catálogo de recursos genéticos de raíces y tubérculos andinos en Ecuador*. Quito, Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAF).

Parte II

RAÍCES ANDINAS (ARRACACHA, ACHIRA, AHIPA y MACA)

INTRODUCCIÓN, MICROPROPAGACIÓN, CONSERVACIÓN IN VITRO Y ACLIMATACIÓN INVERNADERO DE ARRACACIA XANTHORRHIZA

Luis Miguel Duque
Pierre Landázuri

RESUMEN

El método de desinfección se obtuvo luego de realizar pruebas con cinco tratamientos, información con la cual fue posible la creación de un protocolo de desinfección para explantes de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), con 83% sin contaminación.

En la introducción *in vitro* de explantes de arracacha se planteó un ensayo de amplio espectro donde se probaron 4 niveles de citocininas (BAP) de 0,7; 1,4; 2,8 y 5,6 ppm y dos sales minerales, MS y B'S. Los explantes fueron colocados en tubos de ensayo a 4000 lux, fotoperíodo 12h luz y 22 ± 4 °C. Fue clara la inducción de los explantes a formar vástagos adventicios al ser sembrados en medios con alta concentración de citocininas. La mejor respuesta de los explantes fue encontrada, luego de 10 semanas de cultivo, en un medio con concentración de BAP de 5,6 ppm utilizando sales de MS y B'S; 0,05 ppm de ANA, 3% sucrosa, 0,6% agar y 1 ppm de complejo vitamínico. Con estas sales se obtuvieron promedios de 2,3 y 2,6 brotes por explante y 13,1 y 11,6 mm de tamaño para MS y B'S, respectivamente.

En base a los resultados de la introducción *in vitro* de arracacha, la micropropagación fue planteada con tres diferentes medios, mostrándose a las 8 semanas de cultivo una clara diferencia en el número de brotes producidos por medio. Para la multiplicación de

zanahoria se obtuvieron los mejores resultados con un medio basado en MS, 5,6 ppm de BAP, 0,05 ppm ANA, 3% sucrosa, 0,7% de agar y 1 ppm de complejo vitamínico, dispensado en magentas y colocadas a las mismas condiciones de cuarto de cultivo. Utilizando esta metodología, las plántulas de zanahoria produjeron 5,6 brotes a las 8 semanas de cultivo.

Se utilizaron condiciones de cultivo para limitar el crecimiento de las plántulas y así evitar la continua manipulación del material de conservación. Estos inhibidores se basan en cambios en la concentración de hormonas, concentración de nutrientes, concentración osmótica y temperatura. Las plántulas de arracacha reaccionaron positivamente a las condiciones de cultivo y el menor crecimiento se observó utilizando un medio compuesto por MS, 3% sucrosa, 4% sorbitol, 5,6 ppm de BAP, 0,05 ppm de ANA, 0,7% agar y 1 ppm de complejo vitamínico, colocándolas a una temperatura de $8 \pm 4^\circ\text{C}$, 4000 lux y fotoperíodo de 12h luz. Estas plántulas han logrado ser mantenidas *in vitro* por más de 4 meses de cultivo.

Para la aclimatación a invernadero, las plántulas de arracacha necesitan de un tratamiento de pre-adaptación, gracias al cual éstas son inducidas a formar raíces y a alargarse en 3-4 semanas de cultivo; posteriormente, los explantes son pasados a magentas en un medio compuesto por: 0,5 MS, 2% sucrosa, 0,5 ppm de ANA y 0,6% agar, a condiciones de cultivo similares que en ensayos anteriores, plántulas con un promedio de 5-7 cm son las mejoradas en aclimatarse y el 95% de éstas, luego de sufrir una proceso progresivo de adaptación, llegan a presentar la apariencia de plantas adultas que, en base a un examen físico y comparativo, no evidenciaron variaciones morfológicas.

INTRODUCCIÓN

La arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) se caracteriza por ser una planta herbácea de 0,5 a 1,5 metros de altura (Castillo 1984), que posee raíces reservantes insertadas en un cormo a modo de tallo, de éste emergen, justo a nivel de la tierra, estructuras como bulbos llamados colinetos que son empleados como propágulos para la propagación vegetativa (Garcés 1989).

La arracacha constituye una fuente alimenticia muy importante, tanto para el sector urbano como rural. Posee un 16% de almidón de grano lo que es muy fácilmente digerible. Además, contiene concentraciones de calcio superiores a las encontradas en la papa, alto contenido de fósforo, hierro, vitaminas, etc. Esta especie es consumida comúnmente en forma de purés, pasteles y tortillas (Castillo 1984); y en Brasil, Nestlé y otras compañías procesan sus raíces para producir una serie de fórmulas dietéticas para bebés (Heimann 1991).

Son varios los requerimientos de investigación de esta especie. El National Research Council (1989) demanda una determinante atención a la investigación de los requerimientos del cultivo, el mejoramiento de cultivares y el estudio de patógenos, especialmente virus. Es indispensable, añade, la creación de bancos de germoplasma que aseguren el mantenimiento de entradas silvestres y cultivadas.

Frente a los requerimientos actuales de investigación de estas especies, se ha visto la utilidad del empleo de técnicas de cultivo de tejidos para satisfacer necesidades como son microporpagación y conservación *in vitro* de germoplasma, pasos previos al estudio de erradicación de patógenos, especialmente virus. El cultivo *in vitro* posee varias ventajas sobre los cultivos tradicionales, entre las más importantes podemos rescatar:

- 1) posibilidad de mantener y producir material vegetal de alta calidad y libre de patógenos;
- 2) clonación masiva de plántulas homogéneas;
- 3) es posible multiplicar las plántulas durante todo el año al mantener condiciones ambientales controladas;
- 4) mantener bancos de germoplasma sin que éstos requieran gran espacio físico y mano de obra;
- 5) facilidad de transferencia de material vegetal entre instituciones;
- y 6) utilización de estas técnicas para estudios de inducción de variabilidad, fitomejoramiento, cultivo de embriones, cultivo de polen, etc. (Vidalie 1986, Pierik 1990). Quizás una de las utilidades más comúnmente utilizada es la conservación *in vitro* de germoplasma. Roca y asociados (1991, 1994) proponen la creación de bancos de germoplasma activos (IVAG, en inglés), donde los cultivos son mantenidos *in vitro* bajo condiciones que limitan el crecimiento; añaden que este banco debe ser respaldado por conservación de semillas, tubérculos u otro medio de propagación.

Son pocos los estudios de arracacha en lo que se refiere a cultivo *in vitro*. Las referencias sobre este tema provienen de Brasil y Ecuador. Reis y colaboradores (1989) utilizaron explantes meristemáticos de 1 mm de tamaño, los cuales fueron expuestos a temperaturas de 25 grados centígrados con un fotoperíodo de 16 h luz a 2500 lux. Sus mejores resultados los obtuvieron en un medio de cultivo compuesto por sales minerales de Gamborg (B'5) suplementado por 0,1 ppm BAP y 0,2 ppm de cinetina. Los resultados fueron poco consistentes, ya que luego de 8 semanas de cultivo el crecimiento de las plántulas es limitado al igual que la formación de brotes adventicios.

Cevallos (1991) trabajó con ocho entradas provenientes del banco de germoplasma del INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agropecuario). Utilizó 5 medios de cultivo obteniendo mejores resultados en un medio basado en sales minerales de Murashige y Skoog (MS), complementado con 0,25 ppm de AG₃, 0,05 ppm de ATA, 2 ppm de Pantotetato de Calcio, 3% de sucrosa y 0,8% de agar. Sus resultados variaron significativamente en relación a las entradas utilizadas, sin que el medio sugerido tenga mayores éxitos en la formación de brotes.

Senna Neto y López (1991) realizaron un estudio de microporpagación de arracacha obteniendo como resultados un mayor crecimiento de meristemas en un medio B'5 complementado con 0,02 ppm de ANA y 0,2 ppm de BAP; un mayor crecimiento de la parte aérea en un medio B'5 con 0,1 ppm de BAP; el crecimiento de callo se destacó en medios B'5 con 0,01 ppm de ANA y 0,2 de BAP y B'5 con 0,02 ppm ANA y 0,2 ppm de BAP. Registraron el crecimiento de plántulas en un medio B5 Enriquecido con 0,2 ppm de ANA y 0,15 ppm de BAP. Los resultados, aclaran los autores, no son satisfactorios y sugieren que se debe optimizar el medio de cultivo. Montero et al. (1991) realizaron un estudio en el cual los resultados apoyan un cultivo en un medio basado en sales minerales MS provisto de 2 ppm de adenina, 5

ppm de BAP, 0,1 ppm de AIB, 3% de sucrosa y 0,6% de agar. Obtuvieron buenos resultados en cuanto a número de brotes producidos en dos entradas utilizadas.

Todos los autores han podido introducir *in vitro* explantes de *Arracacia xanthorrhiza*, pero los resultados no son alentadores ya que el número de brotes por explante es reducido. Los datos difieren mucho, por lo que se hace necesario estandarizar la mayoría de los factores como son fitohormonas, temperatura, intensidad de luz, etc. con la creación de un ensayo de amplio espectro como el propuesto por Pierik (1990) y otros autores. El proceso de desinfección no es tratado con debida atención, por lo que la contaminación es alta en esta especie. En lo que se refiere a la conservación *in vitro* de germoplasma, no existe referencia alguna.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo fue realizado en los laboratorios e invernaderos del Centro Internacional de la Papa (CIP), Estación Experimental Quito, a 3058 msnm en Cutugagua, cantón Mejía, provincia de Pichincha, a 0° 12' de latitud Sur y 78° 33' de longitud Oeste.

El cultivo de tejidos requiere de un trabajo basado en un control estricto de la asepsia, tanto en la preparación de medios de cultivo como en la manipulación del material vegetal. La metodología *in vitro* está muy bien detallada en manuals y libros especializados (Torres 1989, Debergh y Zimmerman 1991, Lindsey 1992, Mejía Anaya 1994), por lo que no se menciona en el presente trabajo.

1. En Desinfección

En la desinfección de los explantes de arracacha se midió el porcentaje de material no contaminado luego de cuatro semanas de cultivo *in vitro*. Los tratamientos estudiados están detallados en el Anexo 1.

Para este ensayo se emplearon plantas cultivadas en macetas de 8 pulgadas con sustrato desinfectado con bromuro de metilo y mantenidas en invernadero, de donde se obtuvieron los explantes.

El tipo de explante utilizado fue obtenido del cormo, sin diferenciar entre yemas axilares o apicales. Su tamaño fue de 4-8 mm y se los sembró en tubos de ensayo de 18 x 150 mm con tapa de polietileno y sellados con parafilm.

El objetivo no fue el comprobar la eficacia de uno u otro medio, sino solamente evaluar la presencia de contaminación. Es por esto que las condiciones de cultivo, en cuanto al medio de cultivo fue MS + 5 ppm BAP + 3% sucrosa + 0,6% agar, pH final: 5,7; y en cuanto a los factores físicos del cuarto de cultivo: luminosidad 4000 lux, temperatura 17 ± 2 °C y fotoperíodo 12h luz.

Para la evaluación de los diferentes tratamientos se empleó el Diseño Completamente al Azar (DCA), cuya unidad experimental estuvo conformada por 10 tubos de ensayo (un explante por tubo). El experimento se repitió por tres veces y los datos fueron tomados a las cuatro semanas de cultivo; se utilizó adicionalmente la prueba de significación de Tukey al 5%.

2. En introducción *in vitro*

Las variables estudiadas en la introducción *in vitro* de arracacha fueron: número de brotes, como parámetro más importante, y tamaño de la plántula; adicionalmente, se observó la presencia de raíces. Estos datos fueron tomados por fuera del tubo de ensayo. Los factores en estudio fueron: Entradas: CA-5026, ECU-1157, MHCN-1233, Medios de cultivo: Sales minerales: MS y B5, Concentraciones de BAP (ppm): 0,7-1,4-2,8-5,6 (B1...B5 respectivamente).

Para este ensayo se sembraron, en invernadero, 50 plantas por entrada en macetas de 8" con sustrato desinfectado con bromuro de metilo. Estas plantas fueron cultivadas aproximadamente por tres meses, tiempo en el cual presentan de tres a cinco colinos.

El tipo de explante utilizado fue obtenido del cormo sin diferenciar entre yemas axilares o apicales. Su tamaño fue de 4-8 mm y se sembraron, previa su desinfección, en tubos de ensayo de 18 x 150 mm con tapa de papel de aluminio y sellados con parafilm. Las condiciones de cultivo fueron:

- * Composición común de los diferentes medios:

- Sucrosa 3%
- ANA 0,05 ppm
- Complejos vitamínicos para MS y B5
- Agar 0,6%
- pH final: 5,7

- * Factores físicos del cuarto de cultivo:

- Luminosidad: 4000 lux
- Temperatura: 22 ± 4 °C
- Fotoperíodo: 12h luz

Para la evaluación de los diferentes tratamientos se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con un arreglo factorial 3 x 2 x 4 para las variables número de brotes y altura. La unidad experimental constó de 10 tubos (un explante por tubo) y se repitió el experimento por tres oportunidades. Los datos fueron tomados a las cuatro y ocho semanas y se utilizó la prueba de significación de Tukey al 5% para clasificar las medias de tratamientos e interacciones en rangos.

3. En micropropagación

En la micropropagación de arracacha se midió el número de brotes y se observó adicionalmente el tamaño de las plántulas y la presencia de raíces. Los factores en estudio fueron:

- Entradas: CA-5026, ECU-1157, MHCN-1233
- Medios de cultivo:
 - Medio 1: MS + 5,6 ppm BAP + 0,05 ppm ANA + sucrosa 3% + agar 0,7% + 1 ppm complejo vitamínico. pH final: 5,7
 - Medio 2: MS + 8 ppm BAP + 0,05 ppm ANA + sucrosa 3% + agar 0,7% + 1 ppm complejo vitamínico. pH final: 5,7
 - Medio 3: MS + 2 ppm Adenina + 5 ppm BAP + 0,1 ppm AIB + Sucrosa 3% + Agar 0,6% + 1 ppm Complejo vitamínico. pH final: 5,7

Los explantes utilizados provinieron del ensayo de introducción *in vitro*, de donde se obtuvo una relativa homogeneidad (en una variación de tamaño de 8-12 mm). Las condiciones constantes de cultivo son:

- Luminosidad: 4000 lux
- Temperatura: 22 ± 4 °C
- Fotoperíodo: 12h luz

Para la evaluación de los diferentes tratamientos se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con un arreglo factorial 3 x 3 para la variable número de brotes. La unidad experimental constó de 6 explantes. Estos explantes fueron colocados en magentas de 6 x 6 x 10 cm donde se sembraron tres explantes por recipiente. Se repitió el experimento por tres oportunidades, siendo los datos tomados a las cuatro, seis y ocho semanas; las medias de los tratamientos e interacciones son clasificadas en rangos aplicando la prueba de significación de Tukey al 5%.

4. En conservación *in vitro* de germoplasma

Este ensayo fue evaluado por los resultados sobre el tamaño del explante y el número de brotes. Adicionalmente se observó la presencia de raíces. Los factores estudiados fueron:

- Entradas: CA-5026, ECU-1157, MHCN-1233
- Medios de cultivo:
 - Medio 1: MS + 0,7 ppm BAP + 0,05 ppm ANA + sucrosa 3% + agar 0,7% + 1 ppm complejo vitamínico. pH final: 5,7
 - Medio 2: MS + 5,6 ppm BAP + 0,05 ppm ANA + sucrosa 3% + agar 0,7% + sorbitol 4% + 1 ppm complejo vitamínico. pH final: 5,7

Los propágulos utilizados provinieron del ensayo de introducción *in vitro*, de donde se obtuvo un material más o menos homogéneo (tamaño de 8-12 mm).

Los factores físicos del cuarto de cultivo fueron:

- Luminosidad: 4000 lux
- Fotoperíodo: 12h luz
- Temperatura: 8 ± 4 °C y 17 ± 2 °C

Para la evaluación de los diferentes tratamientos se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) en un arreglo factorial 3 x 2 x 2 para las variables tamaño de las plántulas y número de brotes. La unidad experimental constó de cinco explantes sembrados en tubos de ensayo de 18 x 150 mm con tapa de polietileno y sellados con parafilm. Los datos se tomaron a las seis y 10 semanas y se utilizó la prueba de significación de Tukey al 5% para clasificar las medias de tratamientos e interacciones en rangos.

5. En aclimatación

La aclimatación de arracacha requiere de un tratamiento de preadaptación que consiste en mantener las plántulas por 3 a 4 semanas en un medio de enraizamiento dispensado en magentas de 6 x 10 x 10 cm y mantenidas bajo condiciones de cultivo semejantes a las presentadas para micropropagación, permitiendo a las plantas crecer y formar raíces. Se ensayaron preliminarmente tres medios de enraizamiento, transfiriéndose a magentas 25 explantes por medio. Estos medios fueron:

- Medio 1: MS_{1/3} + 2% sucrosa + 0,01 ppm ANA + 0,015 ppm AG₃ + 0,6% agar.
- Medio 2: MS + 3% sucrosa + 0,6% agar.
- Medio 3: MS_{1/2} + 2% sucrosa + 0,5 ppm ANA + 0,6% agar.

Una vez terminado el tiempo de enraizamiento, las plántulas fueron retiradas del medio de cultivo y se les aplicó, sumergiéndolas, una dosis de VITAVAX (5g/l). Luego, sembradas en macetas de 4" con sustrato previamente esterilizado a la autoclave y colocadas en la carpeta de adaptación por tres semanas; durante las dos primeras semanas permanecieron cubiertas con un vaso plástico. Adicionalmente, las plántulas fueron fertilizadas con una solución de COMPESAL (2,5g/l) en la primera y tercera semana. A partir de la cuarta semana fueron colocadas en invernadero bajo condiciones normales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Desinfección

El análisis estadístico de los resultados de la desinfección de los explantes de arracacha revela que existen diferencias altamente significativas entre los cinco

métodos utilizados en el ensayo, con un coeficiente de variación del 7,21%. El método que presentó la menor contaminación fue el número cinco, con 83,3% de material desinfectado, seguido por el método número uno con un 73,3%. Al realizar la prueba de significación de Tukey al 5% se constató que los dos métodos mencionados se encuentran en el mismo rango de significación, comprobándose así su similitud. El extremo poder desinfectante del bichloruro de mercurio utilizado en el método cinco es compensado con la desinfección directa de los explantes colocados en canastillas en el método uno desde el principio, por ser el que utiliza agentes desinfectantes menos tóxicos.

En base a estos resultados se decidió trabajar en los posteriores experimentos con el método uno, ya que su contraparte utiliza bichloruro de mercurio al 0,1% (Cl_2Hg), el cual es altamente tóxico (Pelezari et al. 1958, Budavari 1989, Brock y Madigan 1993).

A lo largo de esta investigación se ha ajustado dicho método de desinfección, llegando a mejorar su efecto sobre el porcentaje de contaminación. El protocolo ajustado para la desinfección de arracacha previo a la introducción *in vitro* es el siguiente:

Invernadero:

1. Cortar las hojas y raíz innutilizable, dejando el colmo de aproximadamente 7 cm.
2. Lavar con agua corriente para retirar la tierra completamente.

Laboratorio:

1. Lavar los colmos con detergente líquido (Desil, detergente neutro).
2. Retirar correctamente el jabón con agua corriente.

Cámara de flujo:

1. Lavar 2 veces en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación.
2. Sumergir y agitar ligeramente el colmo en etanol (75%) por 40 segundos.
3. Lavar 2 veces en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación.
4. Retirar los hilitos a utilizar (+8 mm); colocarlos en canastillas plásticas.
5. Lavar 2 veces en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación.
6. Sumergir y agitar fuertemente las canastillas en etanol (75%) por 20 segundos.
7. Lavar 2 veces en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación.
8. Sumergir y agitar cada 2 minutos las canastillas en una solución de cloretol (25%) + Tween-20 (0,1%) por 12 minutos.
9. Lavar 2 veces en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación.
10. Mantener los brotes en agua destilada estéril hasta su utilización.

2. Introducción *in vitro*

Los resultados de los análisis de variancia para el número de brotes y tamaño alcanzado por los explantes son similares. Para el número de brotes producidos a las 4 y 8 semanas, en todos los tratamientos y sus interacciones se encuentran diferencias

altamente significativas con coeficientes de variación de 10,08 y 8,58%, respectivamente. En la variable tamaño del explante se encontraron las mismas diferencias con ciertas excepciones citadas posteriormente. Los coeficientes de variación son de 7,06% a las 4 semanas y 6,74% a las 8 semanas. Al realizar las pruebas de significación se encuentra que la concentración de 5,6 ppm de citocinina (BAP) produce el mayor número de brotes a las 8 semanas de cultivo (247 brotes por explante cultivado) resultando, estos valores, estar positivamente correlacionados con la concentración de hormona, confirmándose así lo mencionado por varios autores que afirman que a altas concentraciones de citocinina predomina la formación de vástagos adventicios (Pierik 1990, Bouli Gilchrist 1992).

Los explantes sembrados en medios de cultivo con 0,7 ppm de citocinina (BAP) presentan una altura media de 13,48 mm luego de 8 semanas, concordando con lo mencionado por Vidalie (1986), quien considera un mayor crecimiento en altura de las plántulas cuando las concentraciones de citocininas son bajas.

No se observó presencia de raíces en los diferentes medios y entradas utilizados, por lo que se confirma lo mencionado por varios autores (Pierik 1990, Bouli Gilchrist 1992) que, a concentraciones elevadas, las citocininas pueden inhibir la formación de raíces.

Los resultados obtenidos concuerdan con los reportes de la literatura donde se afirma que, en general, a concentraciones altas de auxinas y bajas de citocininas, se induce la rizogénesis y la presencia de una dominancia apical clara; a concentraciones similares se induce la formación de masas vegetales de continuo crecimiento y casi nula diferenciación; y a concentraciones altas de citocininas y bajas de auxinas, como los medios planteados, los explantes tienden a formar vástagos adventicios cortando la dominancia apical (Vidalie 1986, Mejía Anaya 1987, 1994, Bouli Gilchrist 1992).

En base a los resultados del ensayo, los explantes de arracacha que fueron introducidos *in vitro* produjeron mayor cantidad de vástagos adventicios utilizando altas concentraciones de citocininas (5,6 ppm BAP), pero esto repercutió en la nula inducción de raíces y en el pequeño tamaño de las plántulas. Las sales minerales de Gamborg indujeron un mayor brotamiento y las sales de Murashige y Skoog produjeron explantes con menor brotamiento, pero con mayor crecimiento.

3. Microporpagación

En base a los resultados obtenidos en el ensayo de introducción *in vitro*, en esta etapa se plantó la investigación de tres medios de cultivo citados en los materiales y métodos. El primero de estos es un medio sugerido por los resultados anteriores mencionados (5,6 ppm de BAP); para el segundo, se propone un aumento en la concentración de BAP (8 ppm); y el tercero, proviene de un estudio anterior (Montero et al. 1991) e incluye 5 ppm de BAP y 2 ppm de Adenina. Los explantes fueron sembrados en magentas, ya que en recipientes de mayor superficie estos tienden a crecer y desarrollarse mejor (Pierik 1990).

Según el análisis de variancia, los medios utilizados en este ensayo no son diferentes a las 4 semanas de cultivo. Conforme avanza el tiempo, las diferencias se van marcando: a las 6 semanas existen diferencias significativas y a las 8 semanas altamente significativas. Los coeficientes de variación son de 14,23%, 9,47% y 11,03%. Al realizar las pruebas de significación las medias de estos tratamientos se distribuyen en dos rangos: a las 6 semanas los medios 2 y 3 comparten un mismo rango, pero a las 8 semanas de cultivo estas diferencias son más pronunciadas. El Medio 3 induce una mayor formación de brotes a las 8 semanas de cultivo (7,122 brotes por explante sembrado), seguido por los Medios 2 y 1 con 6,244 y 5,581 brotes, respectivamente. El mayor brotamiento inducido por el Medio 3 comparte el criterio de Roca y Mroginski (1991), que considera una combinación de hormonas que conlleva a una posible reacción sinérgica dando como resultado una mayor inducción por parte de las hormonas utilizadas. Las observaciones realizadas a lo largo del ensayo descartan la alternativa de utilizar el Medio 3, ya que éste hace que los pecíolos de las plántulas sean cortos y los limbos mal proporcionados, haciendo difícil la siguiente propagación; posiblemente esta alteración provenga de variaciones que no asegurarían la conservación del banco de germoplasma. Sin embargo, tomando en cuenta el grado de diferenciación de los explantes utilizados, se podría pensar en variaciones morfológicas más que genéticas (Pierik 1990). Por esta razón los mejores medios para micropoopagar arracacha resultan ser los Medios 1 y 2, de los cuales se podría sugerir el empleo del Medio 1 por motivos de estandarización: es decir, la utilización de una sola formulación de medio para las diferentes etapas del cultivo *in vitro*. Para la micropoopagación de esta especie se debería subcultivar plántulas a las 6 ó 7 semanas.

Conforme a los resultados, la mayor producción de brotes adventicios por parte de los explantes es observada utilizando altas concentraciones de BAP y concentraciones bajas de auxinas, en este caso de 0,05 ppm (ANA). En estas proporciones, las plántulas producen entre 5 y 7 brotes laterales en 7 semanas de cultivo a las condiciones mencionadas. Estas proporciones hormonales no permitieron la formación de raíces sin que esto interfiera con el crecimiento de las plántulas.

4. Conservación *in vitro* de germoplasma

El ensayo de conservación *in vitro* de arracacha fue basado en la utilización de variaciones de temperatura, concentración de fitohormonas y cambio en la concentración osmótica del medio de cultivo. Adicionalmente, la concentración de agar en los medios utilizados fue incrementada a 0,7% para dificultar la absorción de nutrientes y, así, contribuir en la limitación de crecimiento.

Según los análisis estadísticos, la respuesta a los diferentes tratamientos coinciden con lo mencionado por varios autores (Roca et al. 1994). Los índices de crecimiento bajaron considerablemente en comparación a los de introducción *in vitro* y micropoopagación. Los dos medios utilizados presentan diferencias altamente significativas para las dos variables en estudio a las 10 semanas de cultivo. A partir del

análisis de medias de tratamientos se infiere que el Medio 2, es decir el medio que posee 5,6 ppm BAP con sales minerales MS al cual fue incorporado 4% de sorbitol, limitó mucho más el crecimiento de los explantes (14,644 mm) que su contraparte el medio número uno con explantes de 20,072 mm a las 10 semanas de cultivo. El número de brotes producido por estas plántulas no presenta diferencias a las 10 semanas de cultivo. De igual manera, se asume que al variar la concentración osmótica por medio del sorbitol (4%), las plántulas no pudieron absorber fácilmente los nutrientes del medio y, por ende, el crecimiento fue restringido (Pierik 1990), compartiendo los resultados obtenidos en los estudios de conservación *in vitro* de yuca (Roca et al. 1994).

Para el factor temperatura las diferencias encontradas son altamente significativas a las 6 y 10 semanas de cultivo para las dos variables: tamaño del explante y brotamiento. El análisis de medias de tratamientos nos demuestra una limitación en crecimiento y brotamiento cultivando esta especie a 8 ± 4 °C; el tamaño de los explantes es de 12,644 y 13 mm y el brotamiento de 2,022 y 2,150 brotes por explante a las 6 y 10 semanas de cultivo, respectivamente. Su contraparte, la temperatura de 17 ± 2 °C, produjo explantes de 18,900 y 21,717 mm y brotamiento de 3,083 y 2,850 brotes por explante.

Sobre las diferencias altamente significativas de la interacción medio x temperatura, las pruebas de Tukey nos demuestran que el factor temperatura es el que influye con mayor fuerza en la limitación de crecimiento de los explantes; el incremento en el tamaño entre las 6 y las 10 semanas de cultivo es mucho menor cultivando esta especie a 8 ± 4 °C. La variable número de brotes no presentó diferencias estadísticas para esta interacción, pero el estudio de las medias de tratamientos nos confirma la acción de la temperatura sobre el crecimiento general de los explantes.

No hubo formación de raíces a lo largo del ensayo, con la excepción de algunos explantes que se vieron inducidos probablemente por la dificultad de absorber nutrientes del medio y/o por el consumo de medio por parte del mismo explante.

5. Aclimatización

Las plántulas de zanahoria obtenidas directamente de los ensayos de introducción, micropoopagación o conservación *in vitro* no llegan a aclimatizarse principalmente por la ausencia de raíces. De ahí la necesidad de un tratamiento de preadaptación por el cual las plántulas sean capaces de adaptarse a las condiciones de invernadero, concordando con Debergh y Zimmerman (1991) que mencionan que las especies vegetales necesitan de un paso de enraizamiento el cual puede ser realizado, dependiendo de la especie, *in vitro* o *ex vitro*.

De los ensayos preliminares, el Medio 3, compuesto de MS½, 2% sucrosa, 0,5 ppm ANA y 0,6% agar ajustado a un pH final de 5,7, indujo un mayor alargamiento de las plántulas a las 3 y 4 semanas de cultivo hasta 5-7 cm de tamaño. Además, al cabo de tres semanas el 52% de los explantes transferidos a este medio de cultivo presentaron raíces

y el 84% a la cuarta semana. Ahora estuvieron listos para ser transferidos a la carpeta de adaptación. Los medios de enraizamiento uno y dos indujeron una menor formación de raíces con porcentajes de 15% y 12%, respectivamente. La formación de raíces y el alargamiento de las plántulas es coherente con la acción de las auxinas utilizadas (ANA), las cuales influyen en la clara dominancia apical observada en la rizogenesis (Picrik 1990).

Una vez transferidos a la carpeta de adaptación, los explantes se caracterizaron por un pronunciado alargamiento de los peciolos al igual que de sus raíces, las cuales comenzaron a tomar una forma similar a las de las zanahorias cultivadas en invernadero (grosor y tamaño). Al cabo de las dos primeras semanas de cultivo se retiraron los vasos plásticos, los cuales permitieron que las plántulas no sufran un cambio brusco de condiciones de cultivo, permaneciendo de esta manera por una semana. Una vez terminado este proceso, el 95-100% de las plántulas se encuentran en condiciones para seguir su completa adaptación. Al ser pasadas a macetas de 8" (cuarta semana de adaptación), las plantas comenzaron a tomar características de adultas.

Los resultados de esta aclimatación fueron alcanzados gracias a la rigidez del proceso. Las plántulas fueron adaptadas de una forma progresiva, evitando los cambios bruscos de condiciones, concordando con lo mencionado por Debergh y Zimmerman (1991).

A partir de los resultados obtenidos, el protocolo de aclimatación de arracacha a invernadero sería el siguiente: traspasando explantes *in vitro* saludables a un medio dispensado en magentas cuya composición es: MS½, 2% sucrosa, 0,5 ppm ANA y 0,6% agar ajustado a un pH final de 5,7. Las plántulas son mantenidas por 3 ó 4 semanas de cultivo a iguales condiciones de cuarto de cultivo que los ensayos de introducción *in vitro* y micropagación, es decir, 4000 lux (fotoperiodo de 12 horas luz) a 22 ± 4 °C. Una vez que las plántulas presenten raíces y un tamaño promedio de 5-7 cm, se retiran completamente el medio de éstas lavándolas con agua corriente tibia, luego se sumergen en una solución diluida de un fungicida (VITAVAX 5g/l) evitando, así, futuras contaminaciones; el proceso continúa sembrándolas en macetas pequeñas que contienen sustrato previamente esterilizado a la autoclave. Durante las tres primeras semanas, las plántulas son mantenidas en una carpeta de adaptación protegidas con un vaso plástico durante los primeros 15 días. A partir de la cuarta semana, éstas pueden ser transferidas a condiciones normales de invernadero y a macetas más grandes. La primera y tercera semanas de cultivo son fertilizadas con COMPLESAL a concentraciones bajas (2,5g/l).

CONCLUSIONES

La arracacha o zanahoria blanca ha reaccionado positivamente a los distintas etapas y medios de cultivo *in vitro* planteados. Las diferentes condiciones de cultivo a las cuales fueron sometidas ejercieron, en la mayoría de los casos, un efecto concordante con las experimentos realizados por varios científicos en lo referente al cultivo de tejidos.

La introducción *in vitro* de arracacha, en base a este ensayo, se puede llevar a cabo de la siguiente manera: propagar vegetativamente colinos de zanahoria sembrándolos con sustrato desinfectado en invernadero. Utilizando el protocolo de desinfección, introducir yemas, tanto axilares como apicales, en tubos de ensayo con medio de cultivo compuesto de MS o B'5, 3% sucrosa, 0,6% agar, 1 ppm de complejo vitamínico MS o B'5; 5,6 ppm de BAP y 0,05 ppm de ANA, con un pH final de 5,7. Las condiciones del cuarto son: 4000 lux, fotoperiodo de 12 horas de luz y temperatura de 22 ± 4 °C. A partir de la sexta semana de cultivo, los explantes pueden ser traspasados a medios de micropagación o conservación e incluso ser aclimatados a condiciones de invernadero. A las 8 semanas de cultivo, las plántulas presentaron 2,3 y 2,6 brotes y tamaños promedios de 13,11 y 11,6 mm al ser sembrados en MS y B'5, respectivamente.

La mayor producción de brotes al subcultivar explantes de arracacha se obtuvo con el Medio 3, pero por posibles variaciones morfológicas y por estandarización de medios se sugiere proceder de la siguiente forma: transferir los explantes mantenidos *in vitro* a un medio de cultivo dispensado en magentas compuesto por: MS, 4% sucrosa, 0,7% agar, 1 ppm de complejo vitamínico, 5,6 ppm de BAP y 0,05 ppm de ANA, con un pH final de 5,7 (es posible sembrar hasta 3 explantes por magenta, lo cual ahorra material y espacio). Las condiciones del cuarto de cultivo deben ser similares a las del ensayo anterior y los subcultivos no deben sobrepasar las 7 semanas. En estas condiciones, las altas concentraciones de BAP conlleven a los explantes a formar una buena cantidad de vástagos adventicios (5,58 brotes), que pueden ser subcultivados nuevamente.

El ensayo de conservación *in vitro* de germoplasma de arracacha produjo resultados alejadores. Las plántulas cultivadas en un medio compuesto por MS, 3% sucrosa, 4% sorbitol, 5,6 ppm de BAP, 0,05 ppm de ANA, 0,7% agar y 1 ppm de complejo vitamínico con pH final de 5,7, y colocadas en cuarto de cultivo a una temperatura de 8 ± 4 °C, 4000 lux y fotoperiodo de 12h luz, han sido mantenidas por más de 4 meses en cultivo *in vitro*, presentando un tamaño inferior a las inoculadas en los otros medios probados; a las 10 semanas de cultivo presentaron un tamaño promedio de 11,2 mm y 2,1 brotes.

El proceso de aclimatación de zanahoria blanca ha sido superado con la creación de un tratamiento de preadaptación por el cual las plántulas son inducidas a formar raíces y a alargarse en 3-4 semanas de cultivo. Los explantes son pasados a magentas con un medio compuesto por: MS½, 2% sucrosa, 0,5 ppm de ANA y 0,6% agar ajustado a un pH final de 5,7 a condiciones de cultivo similares que en ensayos anteriores. Las plántulas con promedio de 5-7 cm son las mejores en aclimatarse y el 95% de éstas, luego de sufrir un proceso progresivo de adaptación, llegan a presentar apariencia de plantas adultas que, en base a un examen físico y comparativo, no evidencian ningún cambio en comparación con las propagadas vegetativamente.

ANEXO 1: MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PROBADOS PREVIA LA INTRODUCCIÓN *IN VITRO* DE ARRACACHA O ZANAHORIA BLanca (*Arracacia xanthorrhiza*)

1. Desinfección de brotes individuales en canastillas

1. Lavar en agua corriente hasta retirar todo resto de sustrato o tierra,
2. Retirar los brotes a utilizarse y colocarlos en canastillas,
3. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
4. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
5. Sumergir las canastillas en etanol (75%) por 30 segundos,
6. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
7. Sumergir en cloretol (25%) y Tween-20 (0,1%) por 15 minutos, agitación discontinua,
8. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
9. Mantener los brotes en agua destilada estéril hasta su utilización.

2. Desinfección de brotes individuales en canastillas

1. Lavar a agua corriente hasta retirar todo resto de sustrato o tierra,
2. Retirar los brotes a utilizarse y colocarlos en canastillas,
3. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
4. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
5. Sumergir las canastillas en etanol (75%) por 30 segundos,
6. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
7. Sumergir en hipoclorito de calcio (0,5%) + Tween-20 (0,1%) por 10 minutos, agitación discontinua,
8. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos,
9. Mantener los brotes en agua destilada estéril hasta su utilización.

3. Desinfección del colino

1. Lavar a agua corriente hasta retirar todo resto de sustrato o tierra,
2. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
3. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
4. Sumergir el colino en etanol (75%) por 30 segundos,
5. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
6. Sumergir en cloretol (25%) y Tween-20 (0,1%) por 15 minutos, agitación discontinua,
7. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos,
8. Mantener el colino en agua destilada estéril hasta su utilización.

4. Desinfección del colino

1. Lavar a agua corriente hasta retirar todo resto de sustrato o tierra,
2. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
3. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
4. Sumergir en etanol (75%) por 30 segundos,
5. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
6. Sumergir en hipoclorito de calcio (0,5%) + Tween-20 (0,1%) por 10 minutos, agitación discontinua,
7. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos,
8. Mantener el colino en agua destilada estéril hasta su utilización.

5. Desinfección del colino

1. Lavar a agua corriente hasta retirar todo resto de sustrato o tierra,
2. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
3. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
4. Sumergir en etanol (75%) por 30 segundos,
5. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
6. Sumergir el colino en cloretol (25%) y Tween-20 (0,1%) por 15 minutos, agitación discontinua,
7. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
8. Sumergir en una solución de bichloruro de mercurio (0,1%) durante 2 minutos agitación continua,
9. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación.
10. Mantener el colino en agua destilada estéril hasta su utilización.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este subproyecto (R3-030) fue posible gracias a la sustentación dada por el Proyecto de Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos. Agradezco también la contribución logística dada por el Gobierno Alemán a través del proyecto GTZ-94.7860.3-01.100.

BIBLIOGRAFÍA

Bajaña F., D. F.

- 1994 *Efectos de factores ambientales sobre la floración de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft)*. Tesis de Licenciatura en Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito.

- Botti Gilchrist, C. I.
 1992 Seminario sobre La producción de plantas *in vitro*, págs. 22-23; 29-42. Quito, agosto 13-14 de 1992.
- Brock, T. D. y M. T. Madigan
 1993 *Microbiología*. México D.F., Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
- Budavari, S. (editor)
 1989 *The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals*. Rahway, Merck & CO., Inc.
- Castillo T., R.
 1984 "La arracacha". *Desde el Surco* 42: 39-41. Quito.
- Cevallos, A.
 1991 *Respuesta de ocho líneas de arracacha (Arracacia xanthorrhiza Bancroft) a la introducción in vitro*. Tesis de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.
- Debergh, P. C. y R. H. Zimmerman
 1991 *Micropropagation: Technology and Application*. The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- Garcés, N.
 1980 "La arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) umbelífera". En: *Tubérculos y raíces*, págs. 64-67. Quito, Facultad de Agronomía y Medicina Veterinaria de la Universidad Central del Ecuador.
- Hermann, M.
 1991 The arracacha or "mandioquinha-salsa" (*Arracacia xanthorrhiza*) in Brazil: A report on travel in March 1991. Lima, International Potato Center (CIP).
- Hodge, W. H.
 1949 "La arracacha comestible". *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía de Medellín* 10 (35): 232-254. Colombia.
- Hurtado M., D. V. y M. Merino M.
 1991 *Cultivo de tejidos vegetales*. México D.F., Ed. Trillas.
- Lindsey, K. (editor)
 1992 *Plant Tissue Culture: Manual*. Supplement 3, págs. A1/1 - A1/24. Dordrecht (The Netherlands), Kluwer Academic Publishers.
- Margara, J.
 1988 *Multiplicación vegetativa y cultivo in vitro: Los meristemos y la organogénesis*. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa.
- Mejía Anaya, R.
 1987 *Cultivo "in vitro" de plantas de papa: Manual de laboratorio*. Lima, Programa Nacional de Papa (INIPA).
- 1994 *Propagación comercial de 312 especies de plantas por cultivo in vitro*, págs. 18-70; 284-288. Lima, Centro Internacional de la Papa.
- Montero, L., R. Vega y J. Rojas
 1991 *Microporpagación de arracacha (Arracacia xanthorrhiza Bancroft)*. AMDE, Ambato, Ecuador.
- National Research Council
 1989 *Lost Crops of the Incas: Little-Known Plants of the Andes with Promise for Worldwide Cultivation*. Washington D.C., National Academy Press.
- Pelczar Jr., M. J., R. D. Reid y E. C. Chan
 1958 *Microbiology*. México, McGraw-Hill, Inc.
- Pierik, R. L. M.
 1990 *Cultivo in vitro de las plantas superiores*. Madrid, Ediciones Mundiprensa.
- Programa de Recursos Vegetales del Convenio Andrés Bello
 1995 *Especies vegetales promisorias de los países del Convenio Andrés Bello*, págs. 5-59. Bogotá, Talleres de Editora Guadalupe Lida.
- Reis, E.M., A. C. S. Pessoa, R. F. Arrabal y M. A. Esquivel
 1989 "Microporpagação de batata-barroa a partir de cultura de meristemas". *Horticultura Brasileira* 7 (1): 74.
- Roca, W. M., R. Escobar y G. Mafla
 1994 *Conservación de yuca in vitro: Principios y técnicas*, págs. 4-24. Cali, Unidad de Investigación en Biotecnología y Unidad de Recursos Genéticos del Centro Internacional de Agronomía Tropical (CIAT).
- Roca, W. M. y L. A. Mroginski
 1991 *Cultivo de tejidos en la agricultura: Fundamentos y aplicaciones*. Cali, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Salisbury, F. B. y C. W. Ross
 1991 *Plant Physiology*. Library of Congress Cataloging in Publication Data, Wadsworth, Inc. California.
- Senna Neto, N. y L. C. López
 1991 "Microporpagação de Mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft)". *Resumos do 3 Congresso de Fisiología Vegetal*, UFV, Viçosa, Brazil.

SIGMA, Cell Culture
1995 *1995 Catalogue & Price List*. Sigma-Aldrich Corporation.

Torres, K. C.
1989 *Tissue Culture Techniques for Horticultural Crops*. Library of Congress
Cataloging-in-Publication Data. Ontario, Canadá.

Vidalie, H.
1986 *Cultivo in vitro*. Mexico D.F., Editorial Científica, S.A.

Zanin, A. C. W. y V. W. D. Casali
1984 "Efeitos climáticos sobre mandioquinha-salsa". *Informe Agropecuario* 10
(120): 13-15. Belo Horizonte.

CARACTERIZACION MORFOLÓGICA DE LA ARRACACHA (*ARRACACIA XANTHORRHIZA*)

Raúl Blas
Carlos Arbizu

RESUMEN

Sesenta y seis entradas de arracacha colectadas en diferentes partes del Perú fueron caracterizadas morfológicamente a través del uso de 28 descriptores cualitativos en La Molina (240 msnm) y Huancayo (3280 msnm). El análisis de agrupamientos identificó 31 morfotipos. El análisis de los componentes principales indicó que los caracteres de hoja seguido por los de raíz reservante y colinos fueron los más importantes para discriminar las entradas estudiadas. Entre otros, dichos caracteres fueron: acumen del foliol terminal, color secundario de la superficie de raíz reservante, color del borde de los foliolos, color secundario de la pulpa de colinos, distribución del color secundario de colinos, color predominante del peciolo, color secundario del peciolo, disección del foliol terminal, color predominante de la pulpa de los colinos, color predominante de la pulpa de la raíz reservante, color secundario de la pulpa de la raíz reservante, color secundario del envés, color predominante de la superficie de la raíz reservante, borde de los foliolos y color del follaje.

INTRODUCCIÓN

La arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) es la más importante de las raíces andinas. La planta es considerada como un alimento de los pobres en muchas partes de los Andes. Sin embargo, parece haber jugado un rol muy importante en la dieta del

RAÍCES Y TUBÉRCULOS ANDINOS. AVANCES DE INVESTIGACIÓN I, Tommy Fairlie, Marciano Morales Bermúdez y Miguel Holle, editores, págs. 111-128. Lima, Centro Internacional de la Papa (CIP) y Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), 1999.

poblador precolombino. Bukasov (1930) considera que la arracacha es una planta de origen muy antiguo, su cultivo podría preceder al de otras plantas andinas. La identificación de cultivares de arracacha puede resultar relativamente complicada debido a la gran variación morfológica y diversidad de nombres vernáculares. No se conocen claves para identificar cultivares de arracacha. Sin embargo, existen tres formas hortícolas de arracacha en la ecorregión andina diferenciadas por el color de la raíz (blancas, amarillas y moradas).

En el Perú, la arracacha se cultiva en huertos familiares predominante en la zona Quechua (2500 – 3500 msnm), así como en las zonas Chala (0 – 500 msnm), Yunga (500 – 2500 msnm) y Ceja de Selva (500 – 2000 msnm). Se encuentra asociada con hortalizas como cebolla, lechuga, col, tomate, ají, yacón, cucurbitas, maíz, culantro, ruda y frutales (palto, manzano, durazno, cítricos). Sembrios comerciales en forma de monocultivo se encuentran en Chota, Cutervo, Santa Cruz, Jaén y Celendín (Cajamarca), Panao (Huánuco), Andahuaylas (Apurímac), Tarata y Mirave (Tacna) (Arbizu 1986, Seminario 1995). Las raíces de arracacha son muy preferidas por infantes, ancianos y personas con problemas digestivos, explicadas por su almidón muy fino que lo hacen fácilmente digeribles. La raíz reservante también tiene altos niveles de calcio y vitamina A. Sin embargo, la arracacha es altamente pericible, debe consumirse en menos de una semana después de cosechada.

La arracacha es cosechada a los 10 ó 12 meses de su siembra, es muy susceptible a enfermedades viróticas, nematodos y muchas veces presenta floración prematura limitando así la producción de raíces. Colombia es el principal productor de arracacha en los Andes, con más de 7800 ha, seguido por Perú donde se cultivan más de 5800 ha, en Bolivia se siembran 1500 ha, y en Ecuador 400 ha (CIP y COTESU 1992). En los valles abrigados de los Andes peruanos, donde no se puede cultivar papa, la arracacha es un buen sustituto.

Existen 595 entradas de arracacha conservadas en los bancos de germoplasma andinos (436 en el INIA, Universidad de Cuzco y Universidad de Cajamarca, Perú; 93 en el INIAP, Ecuador; y 66 en el CIP). Aunque se han hecho esfuerzos por caracterizar y evaluar las arracachas en la ecorregión andina (Plasencia y Sánchez 1972, Ríos 1983, Franco y Rodríguez 1988, Franco et al. 1989, Tapia et al. 1996, Mazón et al. 1996), sin embargo la mayoría de las colecciones no han sido suficientemente caracterizadas morfológicamente; tampoco han sido suficientemente evaluadas agronómicamente. El uso eficiente de la diversidad genética de la arracacha conservada en los bancos de germoplasma andinos podría optimizarse a través de la identificación de cultivares o morfotipos de esta planta que satisfagan la demanda de los usuarios con características tales como arquitectura de planta, capacidad de rendimiento, precocidad, resistencia relativa a plagas y enfermedades. Los cultivares nativos de arracacha han sido seleccionados y adaptados a condiciones particulares de los valles abrigados de los Andes; por esta razón, ellas constituyen importantes fuentes de variación genética para el mejoramiento del cultivo.

Teniendo en cuenta estos antecedentes, se plantean los siguientes objetivos: 1) caracterizar las arracachas del Perú de acuerdo a su variación morfológica; y 2) determinar los caracteres morfológicos más importantes para la identificación de morfotipos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La caracterización morfológica se llevó a cabo en parcelas de observación del Centro Internacional de la Papa, ubicados en dos localidades: Lima (240 msnm, 12° 05' S y 76° 10' W) y Huancayo (3280 msnm, 12° 02' S y 75° 10' W). Cada parcela consistió de un surco de 2 m de longitud con 5 planchas espaciadas a 0,5 m entre ellas y 1 m entre surcos. Se utilizaron 66 entradas de arracachas cultivadas peruanas provenientes de los departamentos de Cajamarca, Ancash, Lima, Huánuco, Pasco, Junín, Apurímac, Ayacucho, Cuzco, Moquegua y Tacna (Tabla 1, Figura 1). De una gama amplia de descriptores, 28 caracteres cualitativos fueron seleccionados supuestamente por su alta heredabilidad y su fácil registro para caracterizar morfológicamente a la arracacha (Tabla 2). Los colores fueron registrados de acuerdo a la tabla del Royal Horticultural Society (1995). La caracterización de la parte aérea se llevó a cabo en plantas adultas



Figura 1. Distribución geográfica de 66 arracachas cultivadas del Perú.

Tabla 1. Material de arracachas peruanas.

Entradas	L localidad	D distrito	P provincia	D departamento	L latitud	L longitud	A altitud
MII 546	Cáceres	Cáceres	Cáceres	Cusco	13° 19' S	71° 57' W	2028
MII 547	Cáceres	Cáceres	Cáceres	Cusco	13° 19' S	71° 57' W	2028
MII 548	Cáceres	Cáceres	Cáceres	Cusco	13° 19' S	71° 57' W	2028
AMM 5140	Tinguia	Mánuas	Yungay	Antioch	09° 16' S	77° 38' W	2700
AMM 5141	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Antioch	09° 16' S	77° 37' W	3400
AMM 5141	Lípia	Santa	Cajamarca	Antioch	09° 13' S	77° 37' W	3400
ARL 5180	Oñonza	Cámarca	Vilcashuamán	Ayacucho	13° 44' S	73° 47' W	3000
ARL 5181	Cámarca	Cámarca	Vilcashuamán	Ayacucho	13° 44' S	73° 47' W	3000
ASL 98	S. Domingo	S. Domingo	Cámarca	Cámarca	06° 18' S	70° 41' W	2450
ASL 130	Piquio	S. Domingo	Cámarca	Cámarca	06° 18' S	70° 41' W	2200
ARCH 5432	Cochino	Santa	Ucayali	Antioch	09° 12' S	77° 41' W	3000
ARCH 5434	Cámarca	Cámarca	Ucayali	Antioch	09° 15' S	77° 41' W	3050
ARCH 5435	EFA	Moquegua	Moquegua	Moquegua	17° 11' S	70° 55' W	1410
ARCH 5436	Moquegua	Moquegua	Moquegua	Moquegua	17° 11' S	70° 55' W	1000
ARL 5392	Oriental	Oriental	Oriental	Pasco	07° 35' S	75° 23' W	1614
ARR 5373	Oriental	Oriental	Oriental	Pasco	10° 33' S	75° 23' W	1814
ARR 5374	Oriental	Oriental	Oriental	Pasco	10° 33' S	75° 23' W	2300
ARR 5381	San Juan Parra	Cámarca	Cámarca	Cámarca	05° 33' S	78° 38' W	2300
ARS 5415	Cámarca	Cámarca	Cámarca	Antioch	08° 54' S	77° 17' W	2621
ARS 5416	Cámarca	Cámarca	Cámarca	Antioch	08° 54' S	77° 17' W	2621
ARS 5420	Mataca	Ucayana	Ucayana	Antioch	08° 54' S	77° 20' W	2970
ARS 5421	Mataca	Mataca	Mataca	Antioch	08° 54' S	77° 20' W	2970
ARS 5443	Faro Santa Rosa	Oriental	Oriental	Ucayali	11° 33' S	77° 33' W	700
ARS 5447	Sacatay	Piscobamba	Piscobamba	Antioch	08° 54' S	77° 21' W	3281
ARS 5449	Sacatay	Oriental	Oriental	Antioch	08° 54' S	77° 20' W	2970
ARS 5461	Puente	Musga	Musga	Antioch	08° 54' S	77° 20' W	2970
ARS 5462	Puente	Puente	Puente	Antioch	08° 54' S	77° 16' W	2691
ARS 5463	Puente	Vila Rica	Vila Rica	Antioch	08° 54' S	75° 16' W	2691
ARS 5464	Puente	Vila Rica	Vila Rica	Pasco	10° 43' S	75° 16' W	2691
ARS 5465	Puente	Vila Rica	Vila Rica	Pasco	10° 43' S	75° 16' W	2691
ARS 5466	Puente	Vila Rica	Vila Rica	Pasco	10° 43' S	75° 16' W	2691
ARS 5467	Sespa	Oriental	Oriental	Pasco	13° 28' S	73° 33' W	3000
ARS 5468	Puente	Vila Rica	Vila Rica	Pasco	10° 43' S	75° 16' W	2691
ARS 5469	Puente	Vila Rica	Vila Rica	Pasco	10° 43' S	75° 16' W	2691
ARS 5470	Melito	Melito	Melito	Pasco	10° 43' S	75° 16' W	2691
ARS 5471	Melito	Vila Rica	Vila Rica	Pasco	10° 43' S	75° 16' W	2691
ARS 5472	Cayara	Cayara	Cayara	Pasco	10° 43' S	75° 16' W	2691
ARS 5473	Cayara	Cayara	Cayara	Pasco	10° 43' S	75° 16' W	2691
ARS 5474	Cinchos	Tambillo	Tambillo	Huancayo	09° 55' S	76° 02' W	3600
ARS 5475	Cinchos	Tambillo	Pacifico	Huancayo	09° 55' S	76° 02' W	3600
ARS 5516	Chinos	Tambillo	Pacifico	Huancayo	09° 55' S	76° 02' W	3600
ARS 5517	Quillabaya	Molinos	Pachica	Huancayo	09° 55' S	76° 02' W	3550
ARS 5518	Quillabaya	Molinos	Pachica	Huancayo	09° 55' S	76° 02' W	3550
ARS 5519	Tapicapa	Cávian	Pachica	Huancayo	09° 55' S	76° 02' W	3500
ARS 5520	Tapicapa	Molinos	Pachica	Huancayo	09° 55' S	76° 02' W	3500
ARS 5521	Tapicapa	Cávian	Pachica	Huancayo	09° 55' S	76° 02' W	3500
ARS 5522	Quillabaya	Molinos	Pachica	Huancayo	09° 55' S	76° 02' W	3500
ARS 5523	Quillabaya	Molinos	Pachica	Huancayo	09° 55' S	76° 02' W	3500
ARS 5524	Quillabaya	Molinos	Pachica	Huancayo	09° 55' S	76° 02' W	3500
ARS 5525	Tisnacocha	Molinos	Pachica	Huancayo	09° 55' S	76° 02' W	3500
ARS 5526	Comapoy	Molinos	Pachica	Huancayo	09° 55' S	76° 02' W	3500
ARS 5527	Comapoy	Molinos	Pachica	Huancayo	09° 55' S	76° 02' W	3500
ARS 5528	Jumpay	Molinos	Pachica	Huancayo	09° 55' S	76° 02' W	3500
ARS 5529	Jumpay	Molinos	Pachica	Huancayo	09° 55' S	76° 02' W	3500
ARS 5530	Llamanga	Gómez	Huancayo	Huancayo	09° 55' S	76° 16' W	2500
ARS 5531	Llamanga	Gómez	Huancayo	Huancayo	09° 55' S	76° 16' W	2500
ARS 5532	Jumapuy	Molinos	Pachica	Huancayo	09° 55' S	76° 02' W	3500
ARS 5533	Jumapuy	Molinos	Pachica	Huancayo	09° 55' S	76° 02' W	3500
ARS 5534	Chiquero	Chiquero	Chiquero	Huancayo	09° 55' S	76° 14' W	3175
ARS 5535	Chiquero	Chiquero	Chiquero	Huancayo	09° 55' S	76° 14' W	3175

Tabla 2. Caracteres registrados en cada entrada de arracacha.

PLANTA

1) Conformación de la planta (1 laxa, 2 compacto)

2) Color del follaje (1 verde claro, 2 verde amarillento, 3 verde, 4 verde oscuro, 5 verde amarillento purpura, 6 verde purpura, 7 verde púrpura oscuro).

3) Color predominante del haz (1 verde claro, 2 verde amarillento, 3 verde, 4 verde amarillo oscuro, 5 verde oscuro)

4) Color predominante del envés (1 verde claro, 2 verde, 3 verde amarillento, 4 verde amarillo oscuro)

5) Color secundario del envés (0 ausente, 1 púrpura, 2 violeta)

6) Distribución del color secundario del envés (0 ausente, 1 borde, 2 nervaduras, 3 borde y nervaduras, 4 irregularmente distribuido)

7) Color borde de los folios (0 ausente, 1 anaranjado grisáceo, 2 rojo púrpura, 3 púrpura grisáceo, 4 púrpura oscuro)

8) Color predominante del pecíolo (1 verde claro, 2 verde amarillento, 3 verde, 4 anaranjado grisáceo, 5 rojo grisáceo, 6 rojo púrpura, 7 púrpura grisáceo)

9) Color secundario del pecíolo (0 ausente, 1 verde amarillento, 2 verde claro, 3 verde, 4 anaranjado grisáceo, 5 rojo grisáceo, 6 rojo púrpura, 7 púrpura grisáceo oscuro)

10) Distribución del color secundario del pecíolo (0 ausente, 1 superior, 2 inferior, 4 regularmente distribuido, 5 irregularmente distribuido)

11) Estriás en el pecíolo (0 ausente, 1 presente)

12) Color de la vaina (1 verde blanco, 2 verde claro, 3 verde amarillento, 4 anaranjado grisáceo, 5 rojo púrpura, 6 púrpura grisáceo)

13) Cerosidad del pecíolo (0 ausente, 1 presente)

14) Borte de los folios (1 ligeramente inciso, 2 medianamente inciso, 3 profundamente inciso)

15) Acumen del folio terminal (0 ausente, 1 ligeramente acumulado, 2 acumulado, 3 ampliamente acumulado)

16) Dissección del folio terminal (1 bajo, 2 medio, 3 alto)

17) Inserción de la vaina (1 oblicuo, 2 revoluta, 3 involuta)

COLINOS

18) Color predominante de la pulpa (1 blanco, 2 amarillo claro, 3 amarillo)

19) Color secundario de la pulpa (0 ausente, 1 anaranjado amarillo, 2 púrpura)

20) Distribución del color secundario (0 ausente, 1 anillo cortical)

21) Color predominante de la superficie (1 blanco, 2 verde amarillento, 3 amarillo, 4 anaranjado grisáceo, 5 rojo púrpura, 6 púrpura grisáceo)

RAÍZ RESERVANTE

22) Color predominante de la superficie (1 blanco, 2 amarillo, 3 anaranjado amarillento, 4 anaranjado

grisáceo, 5 rojo púrpura, 6 púrpura grisáceo)

23) Color secundario de la superficie (0 ausente, 1 rojo púrpura, 2 púrpura oscuro)

24) Distribución del color secundario de la superficie (0 ausente, 1 irregularmente distribuido)

25) Forma (1 ovoide, 2 conico, 3 fusiforme, 4 irregular)

26) Color predominante de la pulpa (1 blanco, 2 amarillo, 3 anaranjado amarillento)

27) Color secundario de la pulpa (0 ausente, 1 anaranjado amarillento, 2 rojo púrpura, 3 púrpura)

28) Distribución de color secundario de la pulpa (0 ausente, 1 anillo cortical, 2 irregularmente en la pulpa)

de 8 meses de edad y las raíces reservantes fueron caracterizadas al momento de la cosecha (12 meses). Los descriptores morfológicos mencionados fueron complementados con datos pasaporte para dar consistencia a los resultados.

Los datos fueron estudiados a través del análisis de agrupamientos (*cluster analysis*) y el método de ordenación (análisis de componentes principales), utilizando el programa Numerical Taxonomy System (NTSYS) (Rohlf 1994).

RESULTADOS

En la Figura 2 se muestra el fenograma de los 66 cultivares de arracachas peruanas clasificados a través de 28 caracteres. Los 66 cultivares de arracacha fueron agrupados en 31 morfotipos. Las características principales de cada morfotipo se encuentran en la Tabla 3.

En la Tabla 4 se muestra la contribución relativa de los componentes principales a la variación total. Ellos indican que los primeros 19 componentes contribuyeron al 99,14% de la variación de los 28 caracteres para discriminar 66 entradas de arracacha

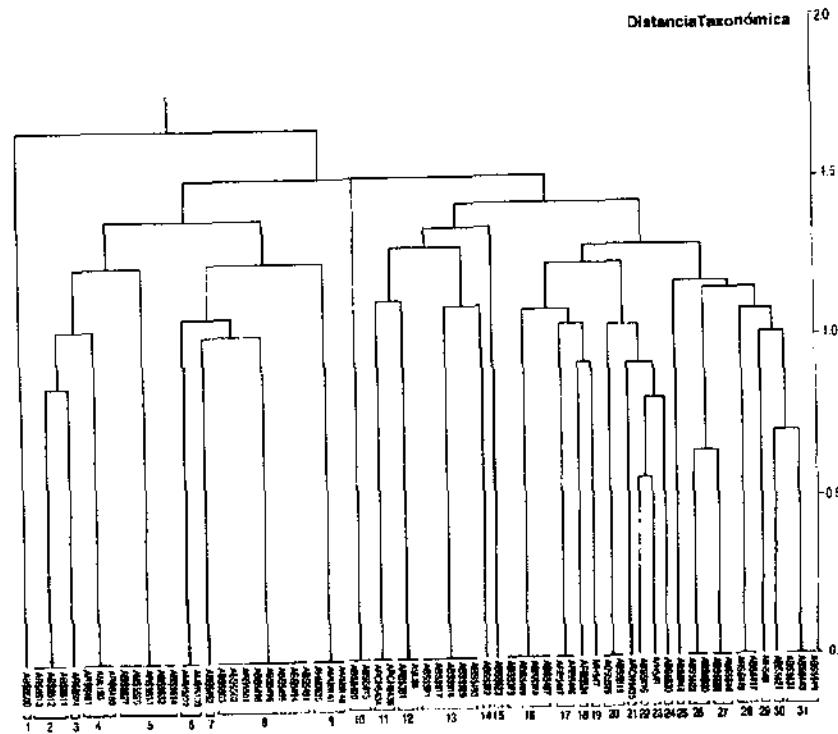


Figura 2. Fenograma que agrupa a 66 arracachas cultivadas del Perú.

Morfotipo	Planta	Col.	Col.	Col. 1° pe Col. 2°	Estr.pec	Col. vain	Ceros.p	Acum. tot	Disec.	Direc:	Colino		Rafe Reservante	Entrada
											col. 1°	col. 2°		
1	laxa	Ver	Ausente	Ver	Ausente	ausente	roj.pur.	present	amplicu	medio	revol	roj.pur	amaril	abs 5500
2	compac.	ver.os	pur.os	pur.gris	Ausente	ausente	pur.gris	present	ligier.	bajo	oblicu	roj.pur	blan.	abs 551, ABS5512, ABS5513
3	compac.	ver.os	pur.gris	pur.gris	Ver	present	pur.gris	ausente	acuminad	medio	oblicu	roj.pur	blan.	ausente ABS 5324
4	compac.	ver.a	pur.os	pur.gris	Ver	present	pur.gris	ausente	acuminad	medio	oblicu	roj.pur	blan.	CA 5180 CA5181, ASI 130
5	compacto	ver.a	pur.gris	pur.gris	ver	present	roj.pur	ausente	no	bajo	oblicu	roj.pur	blan.	ABSS5314, ABSS532, ABSS533,
6	compacto	ver.a	roj.pur	ver	rojo	present	ver.am.	present	acuminad	alto	oblicu	roj.pur	arranil	ANM 5130, ANM5232
7	laxa	Ver	pur.gris	pur.gris	ver	present	ver.am.	ausente	ligeir.	bajo	oblicu	roj.pur	amaril	ABSS592
8	compac.	ver.	roj.pur	roj.pur	ver	present	ver.am.	ausente	var	medio	oblicu	roj.pur	blan.	Purpura ABS5491, ABS5494,
9	compacto	Ver	roj.pur	ver	ausente	ausente	var	ausente	var	medio	oblicu	roj.pur	blan.	Purpura ANM 5116, ANM5161, ABSS535
10	compac.	Ver	roj.pur	roj.pur	ver	present	roj.pur	present	roj.pur	medio	oblicu	roj.pur	blan.	Purpura ABS 5320
11	laxa	Ver	roj.pur	roj.pur	ver	present	pur.gris	present	acuminad	bajo	revol	roj.pur	amaril	arreglar ARCH 5434, ARCH 5436
12	laxa	ver.os	pur.gris	pur.gris	ver	present	pur.gris	ausente	acuminad	bajo	revol	roj.pur	blan.	ausen conico ASL 88, ARB5381
13	compac.	ver.a	roj.pur	pur.gris	ver.am.	present	ver	present	acuminad	medio	oblicu	roj.pur	amaril	ausente ABS 5493, ABS5516, ABS5517,
14	compacto	ver.a	pur.gris	pur.gris	ver	present	ver	present	acuminad	bajo	oblicu	roj.pur	blan.	ausente ARB 5372
15	compac.	Ver	anar.gr	anar.gr	ver	present	pur.gris	ausente	no	medio	involu	pur.gr	amaril	ausente ABS 5323
16	compacto	ver.	ausen.ver.am.	ausen.ver.am.	ausen.ver.am.	ausente	ausen.ver.am.	ausente	acuminad	medio	revol	roj.pur	amaril	ausente ARS55197, ABS55499, ABS5573,
17	compacto	Ver	roj.pur	ver.am.	roj.pur	present	ver.am.	ausente	an. d'acu	medio	revol	roj.pur	amaril	arreglar ARB 5346, ABS5447
18	compacto	Ver	roj.pur	ver.am.	roj.pur	present	ver.am.	ausente	an. d'acu	alto	oblicu	roj.pur	amaril	ausente ARB5324
19	compacto	Ver	ausen.ver.am.	ausen.ver.am.	ausen.ver.am.	ausente	roj.pur	present	roj.pur	medio	oblicu	pur.gr	amaril	ausente M.H.547
20	compacto	Ver	ausen.ver.am.	ausen.ver.am.	ausen.ver.am.	ausente	roj.pur	ausente	roj.pur	medio	oblicu	roj.pur	amaril	ausente ABS 5115, ABS5526
21	compacto	ver.	pur.gris	pur.gris	ver	present	roj.pur	ausente	acuminad	alto	oblicu	roj.pur	amaril	ausente ARCH 5435
22	compacto	ver.a	pur.gris	anar.gr	ver	present	anar.gr	ausente	acuminad	bajo	oblicu	pur.gr	amaril	ausente ABS 5416
23	compacto	Ver	roj.pur	roj.pur	ver	present	ver.am.	ausente	ligeir.	medio	oblicu	roj.pur	amaril	ausente MH 549
24	compacto	Ver	pur.gris	pur.gris	ver	present	roj.pur	ausente	ligeir.	medio	oblicu	roj.pur	blan.	ausente ABS 5330
25	compacto	Ver	roj.pur	ver	roj.pur	present	ver.am.	present	ampli.cu	alto	oblicu	blan.	ausen fusil	ABS 5418
26	compacto.	Ver.	ausen.ver.am.	ausen.ver.am.	ausen.ver.am.	ausente	roj.pur	present	ver.am.	ausente	acuminad	medio	oblicu	ver.a blan. ausen fusil
27	compacto.	Ver.	ausen.ver.am.	roj.pur	roj.pur	present	roj.pur	ausente	acuminad	bajo	oblicu	roj.pur	blan.	ausene ABS5528, ABS 5518
28	compacto.	Ver	ausen.ver.	ausen.gr	ver	present	ver.	ausente	ligeir.	medio	oblicu	blan.	ausente ABS 5417, ABS5519	
29	compacto.	ver.	ausen.ver.	anar.gr	ver	present	ver.am.	ausente	acuminad	alto	oblicu	blan.	ausente MH 546	
30	compacto.	ver.	ausen.ver.	roj.pur	roj.pur	present	ver.am.	ausente	acuminad	alto	oblicu	roj.pur	blan.	ausente ABS 5421
31	compacto.	ver.	ausen.ver.	anar.gr	ver	ausente	anar.gr	ausente	acuminad	medio	revol	roj.pur	blan.	ausente ABS 5445, ABS5511, ABS5531

Tabla 3. Características principales de los morfotipos de arracacha.

Tabla 4. Contribución relativa de los componentes principales a la variación total.

C.P.	% Variación	% Variación acumulada	CP	% Variación	% Variación acumulada
1	24,08	24,08	15	1,09	96,58
2	15,42	39,50	16	0,85	97,53
3	11,27	50,77	17	0,64	98,17
4	8,49	59,27	18	0,62	98,79
5	6,73	66,00	19	0,36	99,14
6	6,19	72,18	20	0,30	99,45
7	4,78	76,97	21	0,22	99,57
8	4,14	81,11	22	0,12	99,79
9	3,53	84,64	23	0,08	99,87
10	3,02	87,66	24	0,06	99,94
11	2,87	90,53	25	0,03	99,97
12	2,14	92,67	26	0,02	99,99
13	1,77	94,44	27	0,01	100,00
14	1,15	95,59			

y los tres primeros explican el 50,77% de la variación. Los caracteres asociados en cada uno de los tres primeros componentes se muestran en la Tabla 5. El 24,08% de la variación entre entradas está explicada por el primer componente. El acumen del foliolo terminal y color secundario de la superficie de raíz reservante son los que más contribuyeron al primer componente principal por tener los más altos coeficientes de correlación. Otras características, tales como color borde de los foliolos, color secundario de la pulpa de los colinos, distribución del color secundario de la pulpa de los colinos, color predominante del peciolo, color secundario del peciolo, disección del foliolo terminal, color predominante de la pulpa de los colinos y color predominante de la pulpa de raíz reservante, también destacan en contribuir más al primer componente debido a sus coeficientes de correlación relativamente altos. Al analizar la contribución relativa de las otras variables al primer componente, se ve que la contribución de ellas disminuye progresivamente.

El 15,42% de la variación total es atribuida al segundo componente. De los 28 caracteres estudiados, el color del follaje es el que más contribuyó al segundo componente por su más alto cociente de correlación. El color secundario del envés, distribución del color secundario del envés, color secundario de la pulpa de la raíz reservante y color predominante del peciolo siguen en importancia al color del follaje. La contribución relativa de los otros caracteres del segundo componente disminuye progresivamente.

La contribución del tercer componente (11,27%) a la variación total es casi la mitad del primer componente y su importancia es un tanto comparable a la del segundo componente principal. Existe una clara demarcación de dos grupos de caracteres que contribuyen al tercer componente. La forma de la raíz reservante

Tabla 5. Diez caracteres asociados a los tres primeros componentes principales de 66 entradas de arracachas y sus coeficientes de correlación.

CP1
• Acumen del foliolo terminal (-0,769)
• Color secundario de la superficie de RR (0,707)
• Color borde de los foliolos (0,687)
• Color secundario de la pulpa de los colinos (0,681)
• Distr. del color secundario de los colinos (0,681)
• Color predominante del peciolo (0,651)
• Color secundario del peciolo (-0,648)
• Disección del foliolo terminal (0,615)
• Color predominante de la pulpa de los colinos(-0,588)
• Color predominante de la pulpa de RR (-0,572)

CP2
1. Color de follaje (-0,743)
2. Color secundario del envés (-0,682)
3. Distr. del color secundario del envés (-0,670)
4. Color secundario de la pulpa de RR (0,621)
5. Color predominante del peciolo (-0,600)
6. Color secundario de la pulpa de colinos(0,548)
7. Distribución color secundario de la pulpa de los colinos (0,548)
8. Distribución color secundario de la pulpa de raíz reservante (0,501)
9. Borde de los foliolos (-0,455)
10. Color de la vaina (-0,399)

CP3
11. Forma de la raíz reservante (-0,613)
12. Color predominante de la superficie de los colinos (-0,542)
13. Color predominante del envés (-0,538)
14. Cerosidad del peciolo (-0,487)
15. Distribución del color secundario del peciolo (-0,471)
16. Borde de los foliolos (0,469)
17. Color predominante de la superficie de la raíz reservante (-0,461)
18. Color predominante de la pulpa de los colinos (-0,413)
19. Color predominante de la pulpa de la raíz reservante (-0,354)
20. Estriás en el peciolo (-0,333)

muestra la más alta contribución al tercer componente por tener el más alto coeficiente de correlación. Le sigue en importancia el color predominante de la superficie de los colinos y el color predominante del envés. El resto de caracteres disminuye progresivamente su contribución al tercer componente, entre otros ellos están formados por cerosidad del peciolo, distribución de color secundario del peciolo, borde de los foliolos, color predominante de la superficie de la raíz reservante y color predominante de la pulpa de los colinos.

DISCUSIÓN

El fenograma de la Figura 2 muestra que la diversidad de las arracachas estudiadas en términos morfológicos es considerable. Se identificaron 31 morfotipos de arracacha de las 66 entradas caracterizadas; es decir, el 53% de entradas de arracachas peruanas mantenido por el CIP posiblemente son duplicados. Blas (1997), a través del análisis de marcadores RAPD's (Random Amplified Polymorphism DNA) llevados a cabo con el mismo material mencionado, confirmó que el 52% de las 66 entradas de arracachas eran duplicados. Mazón (1993), encontró resultados similares, ya que el 57% de la colección ecuatoriana de arracacha eran duplicados en términos morfológicos e isoenzimáticos.

El agrupamiento de los genotipos de arracacha no indicó ninguna relación entre las formas hortícolas de arracachas blancas, amarillas y moradas con la distribución eco-geográfica, sugiriendo que la distribución de la arracacha en el Perú habría sido influenciada principalmente por grupos étnicos y no por adaptación de las formas hortícolas mencionadas a condiciones ecológicas particulares.

Los caracteres de hojas, seguido por los de raíz reservante y colinos resultaron ser los más importantes para explicar la variación de 28 caracteres de las 66 entradas de arracacha. Mazón (1993), también determinó que los caracteres de hoja eran los de más alta variabilidad en arracachas ecuatorianas. Tapia y colaboradores (1996) utilizaron 4 caracteres de hoja y 3 de raíz reservante para identificar 17 morfotipos de arracachas en el Ecuador. Aunque Goulart (1994), entre otros, encontró correlaciones medias entre caracteres de hoja y la parte subterránea; Blas (1997), sin embargo, no encontró correlación entre los colores de los caracteres de hoja con el color de la raíz reservante. Finalmente, Franco y colaboradores (1989) realizaron trabajos preliminares de caracterización morfológica en 110 entradas peruanas de arracacha utilizando 4 caracteres de hoja.

En conclusión, los caracteres morfológicos cualitativos mostraron ser eficientes para agrupar 66 entradas de arracachas peruanas en 31 morfotipos. Los caracteres más importantes para discriminar las arracachas estudiadas fueron: acúmen del foliolito terminal, color secundario de la superficie de raíz reservante, color borde de los foliolos, color secundario de la pulpa de colinos, distribución del color secundario de colinos, color predominante del peciolo, color secundario del peciolo, disección del foliolito terminal, color predominante de la pulpa de colinos, color predominante de la pulpa de raíz reservante, color secundario de la pulpa de raíz reservante, color secundario del envés, color predominante de la superficie de raíz reservante, borde de los foliolos y color de follaje.

BIBLIOGRAFÍA

- Arbizu, C.
1986 Collection expedition of sweet potato, cassava and other tuber and root crops in Peru. Final report project 82/7, IBPGR/FAO, Rome.
- Blas, R.
1997 *Caracterización y evaluación preliminar de la arracacha (Arracacia xanthorrhiza Bancroft)*. Tesis M.Sc., Universidad Agraria La Molina. Lima, Perú (En preparación).
- Bukasov, S. M.
1930 "The cultivated plants of Mexico, Guatemala and Colombia". *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Breeding*, Suppl. 47. Leningrad. (Traducción al castellano: *Las plantas cultivadas de México, Guatemala y Colombia*. Turrialba (Costa Rica), Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza -CATIE, 1981.
- CIP y COTESU
1992 Taller de planificación participativa por objetivos del proyecto: Conservación, evaluación y utilización de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos. Lima, agosto 31 - setiembre 4, 1992.
- Franco, S. y J. Rodríguez
1988 "Evaluación del germoplasma de arracacha o racacha (*Arracacia xanthorrhiza*) en el valle de Cajamarca". En: *Memorias VI Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos* (Quito, Ecuador, 30 de mayo - 02 de junio de 1988), págs. 247-252. Quito, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- Franco, S., J. Rodríguez y L. Machuca
1989 *Catálogo de colecciones de recursos fitogenéticos de la sierra norte del Perú 1985 - 1989*. INIA, PRONARGEN, PICA.
- Goulart, P.
1994 *Melhoramento de batata-baroa (Arracacia xanthorrhiza Bancroft). Biología floral; obtenção e caracterização de cloens: correlações genotípicas, fenotípicas e de ambiente*. Tese apresentada a Universidades Federal de Vicsa, como parte das exigências do curso de genética e melhoramento, para obtenção do título de Magister Scientiae. Vicsa, Minas Gerais, Brasil (Resumen).
- Mazón, N.
1993 *Análisis de la variación morfológica e isoenzimática de la colección ecuatoriana de zanahoria blanca (Arracacia xanthorrhiza Bancroft)*. Tesis Ing. Agr. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ingeniería Agronómica. Riobamba, Ecuador.

Mazón N., R. Castillo, M. Hermann y P. Espinoza

1996 *La zanahoria blanca o arracacha (Arracacia xanthorrhiza Bancroft) en Ecuador*. Publicación Miscelánea No. 67 del Dept. Nacional de Recursos Fitogenéticos y Biotecnología (DENAREF), Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Quito.

Plasencia, G. e I. Sánchez

1972 "Ensayo comparativo de diez clones de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Baer.) en Cajamarca". *Revista de la Universidad Nacional Técnica de Cajamarca* 2 (2): 73-86.

Ríos, M.

1983 *Evaluación de las características fenotípicas y agronómicas de 37 clones de germoplasma de arracacha (Arracacia xanthorrhiza Bancroft.) en el valle de Cajamarca*. Tesis Ing. Agr., Programa Académico de Agronomía, Universidad Nacional de Cajamarca.

Rohlf, F.

1994 *NTSYS PC: Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis for the IBM PC Microcomputers (and Compatibles). User Manual*. Stony Brook, New York.

Royal Horticultural Society

1995 *Colour Chart*. London.

Seminario, J.

1995 "La investigación sobre arracacha en Cajamarca 1967 - 1994". *Boletín de Lima* 17 (99): 59-66. Lima.

Tapia, C., R. Castillo y N. Mazón

1996 *Catálogo de recursos genéticos de raíces y tubérculos andinos en Ecuador*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos y Biotecnología. Quito, Ecuador.

INTRODUCCIÓN, MICROPROPAGACIÓN, CONSERVACIÓN IN VITRO Y ACLIMATIZACIÓN A INVERNADERO DE *CANNA EDULIS*

Luis Miguel Duque
Pierre Landázuri

RESUMEN

El método de desinfección se obtuvo luego de realizar pruebas con cinco tratamientos, información con la cual fue posible la creación de un protocolo de desinfección para explantes de achira (*Canna edulis*), con 86% sin contaminación.

Para la introducción *in vitro* se ensayaron dos niveles de auxinas (ANA) 0,5 y 1,0 ppm, tres de citocininas (BAP) 2,0; 4,0 y 8,0 ppm y dos concentraciones de sales minerales, MS y 0,5 MS. No se presentaron diferencias entre las hormonas utilizadas; pero sí una pronunciada inducción de los explantes, por parte de 0,5 MS a formar raíces y crecer en longitud. El medio sugerido para la introducción *in vitro* de achira consiste en la utilización de 0,5 MS, 4 ppm de BAP y 0,5 ppm de ANA, 3% sucrosa y 1 ppm de complejo vitamínico MS colocando los explantes en $22 \pm 4^\circ\text{C}$, 4000 lux y fotoperíodo de 12h luz. Luego de 10 semanas de cultivo, las plántulas produjeron 1,03 brotes adventicios y su tamaño fue de 10,2 mm.

Al ensayar dos condiciones hormonales y dos características de los medios, sean líquidos o semisólidos, la mejor formación de vástagos adventicios de achira se obtuvo utilizando un medio compuesto por 0,5 MS, 4 ppm BAP, 0,5 ppm ANA, 3% sucrosa, 0,6% agar y 1 ppm complejo vitamínico; estas plántulas fueron sembradas en magentas y colocadas a una temperatura de $29 \pm 1^\circ\text{C}$ con una intensidad de luz de 3000 a 4000 lux y un fotoperíodo de 12h luz. Las plántulas cultivadas en estas

RAÍCES Y TUBÉRCULOS ANDINOS. AVANCES DE INVESTIGACIÓN I, Tommy Fairlie, Marciano Morales Bermúdez y Miguel Holle, editores, págs. 123-137. Lima, Centro Internacional de la Papa (CIP) y Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), 1999.

condiciones produjeron 1,86 brotes adventicios, adicionalmente presentaron buen desarrollo y un sistema radical aceptable.

La achira presentó buena tolerancia a las condiciones de cultivo a las que fue expuesta; sin embargo, este estudio preliminar sugiere el siguiente protocolo de cultivo para la conservación *In vitro* de esta especie: 0,5 MS, 3% sacrosa, 2 ppm de ANA, 0,7% agar y 1 ppm de complejo vitamínico, con una temperatura de cultivo de $17 \pm 2^\circ\text{C}$.

Para el paso de *in vitro* a invernadero, las plántulas de achira no necesitan de una preadaptación y siguiendo patrones generales de aclimatación, esta especie puede ser fácilmente transferida a condiciones normales de invernadero. Luego de estudios morfológicos y comparativos, no se evidencian cambios en las plantas provenientes de laboratorio.

INTRODUCCIÓN

El National Research Council (1989) cita la necesidad de investigación de esta especie en la valorización del cultivo y sus diferentes estudios, caracterización de almidón y mejoramiento genético. Añade, además, la urgencia de crear bancos de germoplasma activos con los cuales seán posibles estudios de variabilidad y los posibles usos de este material germoplasmico; realza la importancia de las técnicas de cultivo de tejidos en lo referente a la propagación en masa y la erradicación de virus. La Junta Internacional de Recursos Fitogenéticos, en 1983, estableció la prioridad respecto al estudio de conservación *in vitro* de *Canna* y otras especies andinas (Roca y Mrózinski 1991).

Frente a los requerimientos actuales de investigación de esta especie, se ha visto la utilidad del empleo de técnicas de cultivo de tejidos para satisfacer necesidades como son microporpagación y conservación *in vitro* de germoplasma, pasos previos al estudio de erradicación de patógenos, especialmente virus.

Los trabajos referentes a la utilización de técnicas de cultivo de tejidos en la achira son, de igual manera, limitados. Kromer (1979), ensayó sobre la actividad biológica e influencia de reguladores exógenos de crecimiento en regeneración *in vitro* de *Canna indica*, obtuvo los mejores resultados sembrando meristemas en un medio de cultivo MS enriquecido por 2 ppm de AIA y 1 ppm de cínetina. El mismo autor, en 1985, continuando con su estudio llegó a la conclusión que el mejor crecimiento de *Canna indica* se obtuvo en un medio de cultivo basado en sales minerales a la mitad de la concentración normal (0,5 MS) provisto de ácido ascórbico, extracto de maíz, extracto de levadura y un mezcla de fructosa y glucosa, 2 ppm de cínetina, 100 ppm de sulfato de adenina y 0,2 ppm de ANA; previamente se sometió a los explantes a un período de cuatro meses a 6°C en un medio básico con 0,02 ppm de ACl, para luego pasarlo al medio antes mencionado. Sus resultados no fueron satisfactorios, sobre todo por el alto porcentaje de necrosis y la poca reacción de los explantes.

Pierik (1990) sugiere que la achira, al igual que muchas especies, requiere de un estudio basado en un experimento de amplio espectro, con el cual sea posible sobrepasar los diferentes estadios del cultivo de tejidos de esta especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo fue realizado en los laboratorios e invernaderos del Centro Internacional de la Papa (CIP), Estación Experimental Quito, a 3058 msnm en Cutupagua, cantón Mejía, provincia de Pichincha, a $0^\circ 12'$ de latitud Sur y $78^\circ 33'$ de longitud Oeste.

1. Desinfección

Este ensayo se inició con plantas cultivadas en macetas de 8" con pomona mantenidas en invernadero. En la desinfección de esta especie se evaluó el porcentaje de material no contaminado luego de cuatro semanas de cultivo. Los tratamientos utilizados fueron cinco métodos de desinfección (Anexo 1).

El tipo de explante utilizado se tomó tanto del rizoma como de los tallos aéreos, sin diferenciar entre yemas axilares o apicales. El tamaño de los explantes estuvo en el rango de 4-8 mm, los que fueron sembrados en tubos de ensayo de 18 x 150 mm con tapa de polietileno y sellados con parafilm.

El objetivo no fue el comprobar la eficacia de uno u otro medio, ni la diferencia de reacción entre uno y otro tipo de explante, sino solamente evaluar la presencia de contaminación. Es por esto que las condiciones de cultivo fueron:

- Medio de cultivo: MS + 0,5 ppm AG3 + 3% sacrosa + 2 ppm pantotenato de calcio + 0,6% agar. pH final: 5,7
- Factores físicos del cuarto de cultivo: Luminosidad: 4000 lux
Temperatura: $17 \pm 2^\circ\text{C}$
Fotoperiodo: 12h luz..

Para la evaluación de los distintos tratamientos se empleó el Diseño Completamente al Azar (DCA), cuya unidad experimental estuvo conformada por 10 tubos de ensayo (un explante por tubo). El experimento fue repetido por 3 veces y los datos fueron tomados a las cuatro semanas de cultivo; además, se utilizó la prueba de significación de Tukey al 5%.

2. Introducción

Los factores en estudio fueron:

- Entradas: ASL-135, MH-1173, MHG-920;
- Medios de cultivo:
 - Sales minerales: MS (0,6% agar) y 0,5 MS (0,4% agar);
 - Concentraciones de ANA (ppm): 0,5-1,0;
 - Concentraciones de BAP (ppm): 2,0-4,0-8,0.

- Componentes comunes de los diferentes medios:

sucrosa 3%,
complejo vitamínico MS,
pH final: 5,7

Las variables analizadas en la introducción *in vitro* de la achira fueron: número de brotes, tamaño de la planta y presencia de raíces.

Para este ensayo se sembraron en invernadero 70 plantas por entrada en macetas de 8" cor sustrato desinfectado, las que se cultivaron aproximadamente por tres meses, tiempo en el cual presentaron entre uno y tres propágulos.

El tipo de explante utilizado fue semejante al utilizado en desinfección al igual que el pH, luminosidad y fotoperiodo, en tanto que la temperatura fue de $22 \pm 4^{\circ}\text{C}$.

Para la evaluación de los diferentes tratamientos se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con un arreglo factorial $3 \times 2 \times 3 \times 2$ para las variables número de brotes y altura de la plántula. La unidad experimental constó de 10 tubos (un explante por tubo); se repitió el experimento por tres oportunidades. Los datos fueron tomados a las seis y diez semanas y se utilizó la prueba de significación de Tukey al 5% para ordenar las medias de tratamientos e interacciones en rangos.

3. Micropagación

Los factores estudiados fueron los siguientes:

- Entradas: ASL-135, MH-1173, MHG-920
- Medios de cultivo:
 1. líquido con agitación (100 rpm)
 2. semisólido (0,6% de agar)

Medio 1: MS½ + 3% sucrosa + 4 ppm BAP + 1 ppm complejo vitamínico + 0,5 ppm ANA. pH final: 5,7

Medio 2: MS + 3% sucrosa + 6 ppm BAP + 1 ppm complejo vitamínico + 1 ppm ANA. pH final: 5,7

Los propágulos utilizados provinieron del ensayo de introducción *in vitro*, de donde se obtuvo material relativamente homogéneo de 10 a 15 mm. Las variables analizadas en la micropagación de achira fueron: el número de brotes, tamaño de las plántulas y presencia de raíces.

- Condiciones de cultivo:

Luminosidad: 3000 lux aproximadamente
Temperatura: $29 \pm 1^{\circ}\text{C}$, y
Fotoperiodo: 12h luz.

Para la evaluación de los diferentes tratamientos se utilizó un Diseño al Azar (DCA) con un arreglo factorial $3 \times 2 \times 2$ para la variable número de experimental estuvo formada por cuatro explantes, los cuales fueron caso de medios líquidos, en frascos de 55 mm de diámetro x 65 mm c. y sellados con parafilm. En el caso de medios semisólidos, en magent con 40 ml de medio de cultivo cada una; en ambos casos se sembr recipiente. El experimento tuvo tres repeticiones y los datos fueron to seis y ocho semanas. Las medias de tratamientos e interacciones fueron rangos aplicando la prueba de significación de Tukey al 5%.

4. Conservación

Los factores en estudio fueron los siguientes:

- Entradas: ASL-135, MH-1173, MHG-920
- Temperatura: $14 \pm 1^{\circ}\text{C}$ y $17 \pm 2^{\circ}\text{C}$
- Medios de cultivo:

Medio 1: 0,5 MS + sucrosa 3% + 2 ppm BAP + 0,1 complejo vitamínico + agar 0,7% pH f

Medio 2: 0,5 MS + sucrosa 3% + 4 ppm BAP + 0,5 4% + 1 ppm complejo vitamínico + aga

Las variables analizadas para la conservación de achira fueron plántulas y el número de brotes; adicionalmente se observó la p

Los propágulos utilizados provinieron del ensayo de introducción caracterizaron por su relativa homogeneidad. El tamaño varió de 10

Las condiciones comunes de cultivo son:

- Luminosidad: 4000 lux
- Fotoperiodo: 12h luz.

Para la evaluación de los diferentes tratamientos se Completamente al Azar (DCA) con un arreglo factorial 3 : experimental constó de cinco explantes distribuidos en tubos d mm con tapa de polietileno y sellados con parafilm. Los datos seis y diez semanas y se utilizó la prueba de significación de Tukey las medias de tratamientos e interacciones en rangos.

5. Aclimatación a invernadero

Para la aclimatación de achira a invernadero se utilizaron provenientes de los ensayos de micropagación. Fueron retir

cultivo y se les aplicó, sumergiéndolas, una dosis de VITAVAX 0,5%, luego fueron sembradas en macetas de 4" con sustrato desinfectado y colocadas en la carpeta de adaptación por tres semanas; y luego pasadas a condiciones normales de invernadero.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Desinfección

Los análisis estadísticos reflejaron diferencias altamente significativas entre los diferentes métodos utilizados con un coeficiente de variación del 7,66%. Al realizar las pruebas de significación de Tukey al 5% se constata la presencia de dos rangos de significación: los tratamientos dos, tres y cuatro se relacionan en el primer rango con porcentajes de 83,33% y 86,67% de material no contaminado respectivamente.

En base a este análisis se decidió utilizar para los próximos estudios el cuarto método con el cual se consigue el menor porcentaje de no contaminación (86,67%), recomendándose que el material vegetal a ser desinfectado debe ser cultivado primeramente en pomina en invernadero. El protocolo ajustado de desinfección para achira es el siguiente:

• Invernadero:

1. Cortar las hojas y raíz inutilizable, dejando el propágulo de aproximadamente 7 cm.
2. Lavar con agua corriente para retirar la tierra completamente.

• Laboratorio:

1. Lavar los propágulos con detergente líquido (Desil, detergente neutro).
2. Retirar correctamente el jabón con agua corriente.

• Cámara de flujo:

1. Lavar 2 veces en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación.
2. Sumergir y agitar fuertemente el propágulo en etanol (75%) por 40 segundos.
3. Lavar 2 veces en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación.
4. Sumergir y agitar cada 2 minutos las canastillas en una solución de cloretol (25%) + Tween-20 (0,1%) por 15 minutos.
5. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación.
6. Retirar los brotes a utilizar (4-8 mm); colocarlos en canastillas plásticas en agua destilada estéril.
7. Sumergir y agitar fuertemente las canastillas en etanol (75%) por 20 segundos.
8. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación.
9. Sumergir y agitar las canastillas en una solución de cloretol (25%) + Tween-20 (0,1%) por 3 minutos.

10. Lavar 2 veces en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación.
11. Mantener los brotes en agua destilada estéril hasta su utilización.

2. Introducción

Los resultados de los análisis de variancia para brotamiento y tamaño varían en su significancia. Los coeficientes de variación son, para la variable número de brotes, de 1,92% y 5,04% a las 6 y 10 semanas de cultivo; en tanto que para la variable tamaño alcanzado del explante de 9,22% y 11,57%.

Es poca la reacción de los explantes a las 6 semanas de cultivo, es por esto que el análisis estadístico no presenta diferencias significativas en cuanto al brotamiento en este tiempo. Es posible que la achira requiera de un tiempo considerable para su adaptación a las condiciones *in vitro*.

El primer factor estudiado fue la hormona ANA, la cual pertenece al grupo de las auxinas, que se caracteriza por inducir principalmente alargamiento de las células y formación de raíces (Mejía Anaya 1987).

Las concentraciones utilizadas no presentaron diferencias significativas a las 6 y 10 semanas para las variables número de brotes y tamaño del explante, por lo que se podría asumir que las concentraciones propuestas no son lo suficientemente sensibles para ejercer una diferenciación.

En cuanto a las citocininas (BAP), la variable número de brotes presenta diferencias altamente significativas a las 10 semanas. Sus medias se distribuyen en dos rangos de significación según Tukey, donde las concentraciones de 2 y 4 ppm comparten el primer rango con 1,092 y 1,039 brotes por explante. El tamaño del explante a las 10 semanas de cultivo no presentó diferencias con la aplicación de las hormonas utilizadas.

Las diferencias en la interacción entre estas dos hormonas, encontradas a las 10 semanas de cultivo, sobre la variable número de brotes, permite agrupar a las medias de tratamientos en dos rangos donde las tendencias no son muy claras, pero se observa una mejor reacción de los explantes en un nivel alto de auxina con un nivel medio de citocinina. Es posible que las concentraciones utilizadas de estas hormonas sean complementarias, por lo que los explantes no reaccionan de acuerdo a lo esperado. Según Botti Gilchrist (1992), esto es posible en varias especies, o son muy pocos los niveles estudiados que no permiten observar tendencias claras de resultados.

En el ensayo se obtuvo diferencias altamente significativas entre las dos concentraciones de sales minerales utilizadas. Los explantes sembrados en medio de cultivo basado en 0,5 MS produjeron 1,093 brotes y su tamaño promedio fue de 10,44 mm. No se evidenciaron diferencias en las interacciones ANA x Sales y BAP x Sales.

3. Micropagación

El estudio de la micropagación de achira se basó en los resultados obtenidos en la introducción *in vitro* de esta especie. Se utilizaron dos medios: el primero de estos está compuesto de 4 ppm de BAP y 0,5 ppm de ANA y, tratando de mantener esta relación entre las hormonas, se planteó el segundo medio constituido por 6 ppm de BAP y 1 ppm de ANA. Se trató de comprobar que no existen diferencias entre las concentraciones de ANA utilizadas y, por otro lado, la mayor producción de brotes incrementando la concentración de citocininas (BAP). La poca reacción ante las condiciones aplicadas para la introducción *in vitro* de achira llevaron a introducir otros factores al estudio como temperatura del cuarto de cultivo, recipientes de cultivo y características del medio de cultivo (sea semisólido o líquido).

Para el ensayo de micropagación se procedió a cultivar los explantes en pequeñas cámaras de cultivo (cámara de termoterapia), donde la temperatura fue incrementada y mantenida con pocas variaciones durante el día. El poco espacio disponible en los tubos de ensayo para el crecimiento de los explantes fue reemplazado con la utilización de magentas de 6 x 6 x 10 cm con 40 ml de medio semisólido y de frascos de 55 mm de diámetro x 65 mm de altura con 30 ml de medio de cultivo líquido mantenidos en movimiento circular (100 rpm). Estos últimos cambios en las consistencias de los medios de cultivo se basaron en protocolos de cultivo a especies pertenecientes a familias vinculadas con *Cannaceae* como *Musaceae* (Roca y Mroginski 1991).

De los resultados del análisis estadístico observamos que no existen diferencias significativas al usar los dos medios de cultivo propuestos, debido posiblemente a que las proporciones de ANA/BAP utilizadas tienden a solaparse en los medios utilizados. En cuanto a la utilización de medios semisólidos o líquidos, varía la respuesta, produciendo diferencias altamente significativas; en tanto que los medios líquidos producen 1,150; 1,156 y 1,150 brotes por explante a las 4, 6 y 8 semanas de cultivo, los medios semisólidos producen 1,411; 1,583 y 1,767 a los mismos tiempos de cultivo. Estos resultados discrepan con los obtenidos por Kromer y Kukulozanka (1985), donde los mejores resultados se obtuvieron utilizando medios líquidos. De las observaciones realizadas a lo largo del ensayo, los explantes cultivados en medios líquidos no se desarrollan con normalidad, es decir, su tamaño es reducido y las hojas coriáceas y, exceptuando algunos explantes, no llegan a desarrollar raíces. Los explantes mantenidos en medios semisólidos se caracterizan por una formación moderada de raíces y un tamaño que en varias ocasiones puede llegar a ser el del recipiente.

Por todo lo mencionado anteriormente no se recomendaría el cultivo de esta especie en medios líquidos. Pierik (1990) menciona que la respuesta de la planta al medio de cultivo depende de la especie y que el crecimiento y diferenciación de órganos puede ser completamente distinto según que el medio sea líquido o sólido.

En cuanto a la interacción entre los factores medios de cultivo y sólido/líquido, no se encontraron diferencias. El análisis de las medias de tratamientos ratifican lo antes

mentionado, observándose una tendencia de un mejor comportamiento de los explantes en medios semisólidos.

4. Conservación

Para el estudio de conservación *in vitro* de achira se consideraron iguales parámetros que en el realizado con la arracacha. Es por esto que, en base a los resultados obtenidos en los ensayos anteriores de introducción *in vitro* y micropagación, se probaron dos medios de cultivo: el primero posee una menor concentración de reguladores de crecimiento (2 ppm BAP y 0,1 ppm ANA), y en el segundo el medio de mejor resultado en la micropagación al cual se le ha añadido 4% de sorbitol para bajar la concentración osmótica; la concentración de agar fue incrementada a 0,7% para dificultar la absorción de nutrientes. El factor temperatura fue tomado como uno de los principales factores en la limitación del crecimiento de las plántulas.

El análisis de varianza nos confirma que tanto el factor medios de cultivo como la temperatura y la interacción entre estos no poseen diferencias significativas. Estos resultados pueden deberse a la relativa poca variación existente entre las dos temperaturas de cultivo utilizadas para el ensayo. Por otro lado, es posible que esta especie sea mucho más tolerante al cambio en la concentración osmótica y pueda, gracias a su fuertes raíces, absorber más fácilmente los nutrientes en estas condiciones.

Se presentaron diferencias altamente significativas en la interacción de los tres factores en estudio para la variable tamaño del explante. Las tendencias en lo referente a los medios y temperaturas utilizados no son claras, pues las entradas tienden a reaccionar indiferentemente al medio y a la temperatura en la cual son sembrados.

De los resultados globales del ensayo se puede inferir que la achira es tolerante a las condiciones a las cuales ha sido expuesta, concordando con Pierik (1990), quien menciona que las especies reaccionan en un rango de condiciones de cultivo y al ser cambiado, las plántulas pueden incrementar o disminuir su crecimiento general. La conservación *in vitro* de germoplasma de achira debe ser aún más estudiada. El estrés producido por la adición de sorbitol como agente osmótico, la baja de temperatura y las concentraciones de sales minerales y reguladores de crecimiento utilizados no conllevaron a una baja significativa en el índice de crecimiento. Se deben realizar experimentos utilizando condiciones de cultivo más energéticas en las cuales la achira sufra una mayor limitación en su crecimiento sin que pierda viabilidad.

5. Aclimatización a invernadero

La achira, al no requerir de un tratamiento específico de preadaptación, es aclimatada siguiendo patrones generales mencionados por varios autores (Debergh y Zimmerman 1991), es decir, una aclimatización por la cual las plántulas sufren un proceso progresivo de adaptación. Los explantes *in vitro* presentan ya raíces fuertes y hojas fotosintéticas, permitiendo a la achira ser muy autótrofa aún estando en

condiciones *in vitro*. Sesenta plántulas de achira fueron pasadas a la carpeta de adaptación y luego a invernadero.

Los procedimientos fueron similares que para la aclimatación de arracacha y al cabo de las tres primeras semanas de cultivo en la carpeta de adaptación, el 75% de las plantas mantuvieron el vigor con el que provinieron de *in vitro*. Segundo a esto, fueron pasadas a macetas de mayor tamaño (8") y a condiciones normales de invernadero. Las raíces formadas en los diferentes estadios de cultivo *in vitro* fueron poco a poco sustituidas por raíces definitivas, propias de la especie. A los 5 meses de ser exportadas del laboratorio, las plantas florecieron completando así su ciclo de cultivo.

La aclimatación de achira a invernadero se ha logrado utilizando el siguiente protocolo: utilizando explantes saludables de más de 3 cm que, preferiblemente, presenten raíces, retirar completamente el medio de cultivo de las plántulas con agua corriente para evitar futuras contaminaciones; sumergirlas en una solución de fungicida (VITAVAX 5g/l) y sembrarlas en macetas pequeñas con sustrato previamente desinfectado. Durante las tres primeras semanas mantenerlas en una carpeta de adaptación protegidas con un vaso plástico (2 semanas). A partir de la cuarta semana, las plantas de achira pueden ser transferidas a condiciones normales de invernadero. La primera y tercera semanas de cultivo son fertilizadas con COMPLESAL a concentraciones bajas (2,5 g/l); luego de esto pueden ser fertilizadas normalmente y una vez por mes.

Es importante mencionar que al realizar un examen físico y comparativo entre las plantas procedentes de *in vitro* y las propagadas vegetativamente (propagación tradicional), tomando en cuenta las mismas entradas, no se evidenció ningún cambio morfológico.

CONCLUSIONES

La desinfección del material vegetal a ser utilizado para la introducción *in vitro* de la achira es aceptable. Los métodos planteados fueron la base para la creación de un eficaz protocolo de desinfección; sin embargo, hay que recalcar la importancia de cultivar las plantas en condiciones controladas para aminorar la futura contaminación de los explantes una vez inoculados en los diferentes medios de cultivo.

La introducción *in vitro* de la achira es un poco complicada; los explantes, por provenir principalmente del rizoma, necesitan ser desinfectados de una manera más estricta. Se debe propagar vegetativamente plantas de achira en invernaderos cuarentenarios utilizando preferentemente pomina para evitar una contaminación excesiva. De igual manera, se debe utilizar material vegetal joven para la extracción de brotes, los cuales son sometidos al protocolo de desinfección. Posteriormente, los explantes son inoculados en tubos de ensayo con un medio de cultivo compuesto por: MS½, 3% sucrosa, 0,4% agar, 1 ppm de complejo vitamínico, 4 ppm de BAP, 0,5 ppm de ANA y un pH final de 5,7. Las condiciones del cuarto de cultivo

son: 4000 lux, fotoperiodo de 12 horas luz y 22 ± 4 °C. A partir de de cultivo, los explantes pueden ser traspasados a medios micropropagación o conservación e incluso aclimatados a invernadero. Los explantes cultivados en este medio producen 1,6 un tamaño promedio de 10,22 mm y presentan un sistema radical a las 10 semanas de cultivo.

Al ensayar dos condiciones hormonales y dos características de líquidos o semisólidos, la mejor respuesta para la micropropagación obtiene al cultivar esta especie a una temperatura de 29 ± 1 °C cc de luz de 3000 a 4000 lux en un medio de cultivo semisólido magentas compuesto por: MS½, 3% sucrosa, 4 ppm de BAP, 0,5 g agar, 1 ppm de complejo vitamínico y a un pH final de 5,7. Las plántulas en estas condiciones produjeron 1,86 brotes adventicios. presentaron buen desarrollo y un sistema radical aceptable. Estos deben ser sobrepasados al momento en que las plántulas de achira están adaptadas a las condiciones *in vitro*; sin embargo, se deben realizar para optimizar el medio de cultivo.

De los resultados globales del ensayo de conservación *in vitro* de la achira se infiere que esta especie es tolerante a las condiciones de exposición. Sin embargo, este estudio preliminar sugiere el siguiente cultivo para limitar el crecimiento de plántulas de achira: medio de cultivo por MS½, 3% sucrosa, 2 ppm de BAP, 0,1 ppm de ANA, 0,7% agar y vitamínico, a un pH final de 5,7; la temperatura de cultivo de 17 °C.

Para el paso de *in vitro* a invernadero, las plántulas de achira se pre-adaptan y, siguiendo patrones generales de aclimatación, se fácilmente transferida a condiciones normales de invernadero. Exámenes físicos y comparativos, no se evidencian cambios en la morfología provenientes del laboratorio.

Anexo 1

MÉTODOS PRUEBAS PARA LA DESINFECCIÓN PRE INTRODUCCIÓN *IN VITRO* EN ACHIRA (*Canna edulis*)

1. Desinfección del propágulo

1. Lavar con agua corriente hasta retirar todo resto de sustra
2. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación
3. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación
4. Sumergir en etanol (75%) por 30 segundos,
5. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación
6. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación

7. Sumergir en hipoclorito de calcio (0,5%) + Tween-20 (0,1%) por 15 minutos, agitación discontinua,
8. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
9. Mantener el propágulo en agua destilada estéril hasta su utilización.

2. Desinfección de brotes individuales en canastillas

1. Lavar el propágulo con agua corriente hasta retirar todo resto de sustrato o tierra,
2. Retirar los brotes a utilizarse y colocarlos en canastillas,
3. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
4. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
5. Sumergir en etanol (75%) por 30 segundos,
6. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
7. Sumergir en hipoclorito de calcio (2,5%) + Tween-20 (0,1%) por 5 minutos, agitación discontinua,
8. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
9. Mantener los brotes en solución antioxidante hasta su utilización.

3. Desinfección de brotes individuales en canastillas

1. Lavar el propágulo con agua corriente hasta retirar todo resto de sustrato o tierra,
2. Retirar los brotes a utilizarse y colocarlos en canastillas,
3. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
4. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
5. Sumergir en etanol (75%) por 30 segundos,
6. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
7. Sumergir en cloretol (25%) y Tween-20 (0,1%) por 15 minutos, agitación discontinua,
8. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
9. Mantener los brotes en solución antioxidante hasta su utilización.

4. Desinfección del propágulo

1. Lavar a agua corriente hasta retirar todo resto de sustrato o tierra,
2. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
3. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
4. Sumergir en etanol (75%) por 30 segundos,
5. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
6. Sumergir en cloretol (25%) + Tween-20 (0,1%) por 15 minutos, agitación discontinua,
7. Retirar los brotes a utilizarse y colocarlos en canastillas
8. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
9. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
10. Mantener los brotes en solución antioxidante hasta su utilización.

5. Desinfección de propágulo

1. Lavar a agua corriente hasta retirar todo resto de sustrato o tierra,
2. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
3. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
4. Sumergir en etanol (75%) por 30 segundos,
5. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
6. Sumergir en cloretol (25%) + Tween-20 (0,1%) por 15 minutos, agitación discontinua,
7. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación,
8. Sumergir en bichloruro de mercurio (0,1%) durante 2 minutos agitación continua,
9. Lavar en agua destilada estéril por 2 minutos en agitación.
10. Mantener los brotes en agua destilada estéril hasta su utilización.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este subproyecto (R3-030) fue posible gracias a la sustentación dada por el Proyecto de Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos. Agradezco también la contribución logística dada por el Gobierno Alemán a través del proyecto GTZ-94.7860.3-01.100.

BIBLIOGRAFÍA

Botti Gilchrist, C. I.

1992 Seminario sobre La Producción de Plantas *in vitro*. Quito, agosto 13-14 de 1992.

Brock, T. D. y M. T. Madigan

1993 *Microbiología*. México D.F., Prentice Hall Hispanoamericana S.A.

Budavari, S. (editor)

1989 *The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals*. Rahway, Merck & CO. Inc.

Chaparro R., R. B. y V. H. Cortes

1979 "La achira (*Canna edulis Ker*)". *Orientación Agropecuaria* 131: 7-49. ICA, Bogotá, Colombia.

Debergh, P. C. y R. H. Zimmerman (editores)

1991 *Micropropagation: Technology and Application*. The Netherlands, Kluwer Academic.

- Hurtado M., D. V. y M. Merino M.
1991 *Cultivo de tejidos vegetales*. México, Ed. Trillas
- Kromer, K.
1979 "Biological activity of endogenous and influence of exogenous growth regulators on *Canna indica* regeneration *in vitro*". *Acta Horticulturae* 91: 295-300. Holanda.
- Kromer, K. y K. Kukulozanka
1985 "In vitro cultures of meristems-tips of *Canna indica*". En: 2 Symposium on Growth Regulators in Floriculture (Skiernewice, Poland, 30 Jul - 4 Aug 1994). *Acta Horticulturae* 167: 279-285. Holanda.
- Leiva B., A. M.
1964 "La *Canna edulis*, Ker.". *Boletín del Museo de Historia Natural "Javier Prado"* 5 (16): 12-23.
- Lindsey, K.
1992 Plant Tissue Culture: Manual. *Supplement 3*, Department of Botany, University of Leicester, pág. A1/1-A1/24. U. K., Kluwer Academic Publishers.
- Margara, J.
1988 *Multiplicación vegetativa y cultivo in vitro: Los meristemos y la organogénesis*. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa.
- Mejía Anaya, R.
1987 *Cultivo "in vitro" de plantas de papa: Manual de Laboratorio*. Lima, Centro Internacional de la Papa.
1994 *Propagación comercial de 312 especies de plantas por cultivo in vitro*. Lima, Centro Internacional de la Papa.
- Montalvo, J. L.
1996 *Evaluación de germoplasma andino de achira Canna edulis Ker.* Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador. Quito.
- National Research Council
1989 *Lost Crops of the Incas: Little-Known Plants of the Andes with Promise for Worldwide Cultivation*. Washington D.C., National Academy Press.
- Pelczar, M. J. y R. D. Reid
1958 *Microbiology*. McGraw-Hill, Inc.
- Pierik, R. L. M.
1990 *Cultivo in vitro de las plantas superiores*. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa
- Programa de Recursos Vegetales del Convenio Andrés Bello
1995 *Especies vegetales promisorias de los países del Convenio Andrés Bello*, págs. 5-59. Bogotá, Talleres de Editora Guadalupe Ltda.
- Reis, E. M., A. C. S. Pessoa, R. F. Arrabal y M. A. Esquibel
1989 "Micropagación de batata-barcoa a partir de cultura de meristemas". *Horticultura Brasileira* 7 (1): 74.
- Richardson, J. W. y L. B. Smith
1972 "Canaceas". En: *Flora Ilustrada Catarinense, I Parte: As Plantas Cana*. Pág. 1-39. Brasil, Santa Catarina.
- Roca, W. M., R. Escobar y G. Mafra
1994 *Conservación de yuca in vitro: Principios y técnicas*. Cali, Unidad de Investigación en Biotecnología y Unidad de Recursos Genéticos del Centro Internacional de Agronomía Tropical (CIAT).
- Roca, W. M. y L. A. Mroginiski
1991 *Cultivo de tejidos en la agricultura: Fundamentos y aplicaciones*. Cali, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Salisbury, F. B. y C. W. Ross
1991 *Plant Physiology*, Caps. 16-18. Library of Congress Cataloging in Publication Data. California, Wadsworth, Inc.
- SIGMA, Cell Culture
1995 *Catalogue & Price List*, págs. 127-156. Sigma-Aldrich Corporation.
- Torres, K. C.
1989 *Tissue Culture Techniques for Horticultural Crops*, págs. 26-51. Library of Congress Cataloging in Publication Data. Ontario, Canadá.
- Truong, V. H. y T. H. Bui
1995 "Studies on Edible *Canna* in Vietnam". En: *Root Crops Germplasm: Research in Vietnam*, págs. 47-56. INSA, IDRC, CIP.
- Tychsen, M.
1995 *Morphological and phenotypic investigation of *Canna L.* with special reference to sexual reproduction*. MSc. thesis in Botany, Botanical Section, Royal Veterinary and Agricultural University.
- Vidalie, H.
1986 *Cultivo in vitro*. México D.F., Editorial Científica, S.A.

CITOGENÉTICA DE *PACHYRHYZUS TUBEROSUS* Y *PACHYRHYZUS AHIPA*: CICLO CELULAR Y NÚMERO CROMOSÓMICO

David Talledo
Carola Escobar
Nelly Arenas

RESUMEN

Se describe por primera vez la secuencia del ciclo celular de la "ashipa" o "jíquima" *Pachyrrhizus tuberosus* y *Pachyrrhizus abipa* "ahipa", estableciéndose la incidencia y duración de cada fase, así como de toda la mitosis, en base a la evaluación cíclica -para un periodo de 24 horas- de los índices de fases e índices mitóticos parciales y totales, según el método propuesto por Diers. No se registran alteraciones del curso de los ciclos celulares. Los autores sugieren que los genes que controlan la división celular no son afectados seriamente por las condiciones ambientales y que el proceso de diversificación específica se habría producido en base a mutaciones génicas y/o aberraciones estructurales de los cromosomas. Se plantea que $2n=22$ para las especies estudiadas.

INTRODUCCIÓN

La "ashipa" o "jíquima" *Pachyrrhizus tuberosus* y *Pachyrrhizus abipa* "ahipa", son especies andinas pertenecientes a la familia Fabaceae, tribu Pbaseolae. Las especies de este género presentan dos peculiaridades interesantes: a) La capacidad, única entre las leguminosas, de formar raíces reservantes; en el caso de las tres especies más

RAÍCES Y TUBérculos ANDINOS. AVANCES DE INVESTIGACIÓN I, Tommy Fairlie, Marciano Morales Bermúdez y Miguel Holle, editores, págs. 139-161. Lima, Centro Internacional de la Papa (CIP) y Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), 1999.

importantes de *Pachyrhizus* (*P. erosus*, *P. tuberosus* y *P. ahipa*), estas raíces son comestibles. Y b), a diferencia de las demás raíces andinas, estas especies presentan simbiosis con bacterias fijadoras del nitrógeno libre de la atmósfera, en este caso del género *Bradyrhizobium*.

El contenido protéico de las raíces de *P. tuberosus* y *P. ahipa*, sobre una base de materia seca, es mayor que el de otras raíces cultivadas, son también ricas en potasio y vitamina C y pobres en sodio y calorías. El almidón de jíquima es fácilmente digerible debido al tamaño de sus partículas, lo que lo hace interesante para su inclusión en dietas.

Los estudios cariotípicos de las especies de este género se han circunscrito a contejos cromosómicos, habiéndose establecido que $2n=22$ para todas ellas. La estabilidad del número de cromosomas de las especies del género, y de toda la tribu *Phaseolae*, sugiere fuertemente que las causas de la diversificación específica entre las mismas se deben buscar en función de la variabilidad a nivel génico y/o cromosómico (transformaciones estructurales). Sin embargo, no se han llevado a cabo estudios del ciclo celular ni de la morfología de los cromosomas de estas especies, lo que limita las posibilidades del fitomejoramiento, tanto clásico como analítico.

Por estas razones, hemos considerado de interés efectuar un análisis de la conducta del ciclo celular de estas especies en condiciones de Costa, a través de la evaluación tanto de los índices de fases como índices mitóticos, realizar contejos cromosómicos e iniciar la caracterización cariomorfológica de las mismas.

ANTECEDENTES

• Origen y antecedentes históricos de las tres especies cultivadas del género *Pachyrhizus*

Los cronistas españoles del siglo XVI hablaban de la "ashipa" o "jíquima" como una planta muy común en el Perú, mientras que datos recientes señalan que su cultivo es casi desconocido. E. Yákovleff señaló en 1933 que la presencia de *Pachyrhizus tuberosus* "ashipa" o "jíquima" ha sido discernible en las representaciones fitomórficas de los ceramios de la cultura Nazca y los tejidos bordados de la cultura Paracas y que, hasta entonces, no existían evidencias arqueológicas para otras regiones del Perú, en particular para la costa norte.

En el mismo trabajo (Yákovleff 1933), el autor afirma que *Pachyrhizus tuberosus* no es oriundo del Perú, ni se encuentra aquí en forma espontánea y, por lo tanto, debe haber sido introducido a los valles de la región de Nazca a través de alguna otra región.

Posteriormente hallazgos arqueológicos realizados por Engel (1967) han demostrado la existencia de esta especie, junto con otras especies andinas (Tabla 1), en "El Paraíso", uno de los grupos arquitectónicos más antiguos de América ubicado en el valle del Chillón, Lima, Perú (registro 11B-X1-13 del catastro arqueológico). Este complejo

perteneció a la "civilización de los agricultores del pällar", quienes desconocían el uso de la cerámica y el consumo del maíz. Los agricultores del pällar, que utilizaban el algodón en la confección de sus vestimentas, tomó forma hace 4300 años y desapareció dramáticamente hace 3500 años por razones desconocidas.

El mismo autor plantea que, debido a la escasez de datos sobre esta y otras especies, cabe preguntarse: ¿Qué ha ocurrido en la zona alto andina y cuáles han sido los contactos o las migraciones entre costa y sierra y viceversa durante los tiempos de la civilización del pällar?; y ¿qué relación tiene la aparición del algodón y del pällar en la costa peruana con la agricultura u horticultura serrana, o la de cultivadores establecidos en ceja de selva? Por falta de estudios concretos, aún no existen respuestas a estas interrogantes (Engel 1967).

Actualmente, la *P. tuberosus* se cultiva en el norte de Sudamérica, en áreas aisladas de las regiones de la cuenca superior del río Amazonas y en las regiones amazónicas de Bolivia, Brasil, Ecuador, Paraguay, Perú y, posiblemente, Colombia y Venezuela (National Research Council - NRC 1989).

Una especie próxima a la *P. tuberosus* es la *Pachyrhizus ahipa* "ahipa". Su distribución geográfica y las evidencias arqueológicas revelan que fue cultivada extensivamente en los valles de la región andina hace 2000 años. Sin embargo, no se cuenta con evidencias de su presencia en estado silvestre. La ahipa se cultivaba en muy pocas zonas de los Andes, tanto en el Perú como en Bolivia, en valles comprendidos entre los 1500 y 3000 msnm y en ceja de selva. En las provincias argentinas de Jujuy

Tabla 1. Principales especies vegetales observadas en el complejo arqueológico «El Paraíso» en el valle del Chillón (según Engel 1967).

Plantas cultivadas:

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
<i>Pachyrhizus tuberosus</i>	Ashipa, jíquima
<i>Lagenaria siceraria</i>	Mate o calabaza
<i>Phaseolus lunatus</i>	Pällar
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Frijol

Semillas, frutos, tubérculos y raíces:

Canna sp.	Achira
Inga feuillei	Pacae
<i>Psidium guajava</i>	Guayaba
Lucuma abovata	Lúcuma
<i>Gynerium sagittatum</i>	Caña brava
Juncus sp.	Juncos

y Salta y en la yungas bolivianas esta especie amenaza con extinguirse (NRC 1989), mientras que en el Perú su extinción ya se habría producido (Dr. Carlos Arbizu del CIP, comunicación personal, octubre de 1995).

Pachyrhizus erosus es la especie más cultivada del género, no sólo en América Central, sino también en la Polinesia y el Sudeste de Asia. En México, su país de origen, es conocida como "jícama de agua o de leche" y en Filipinas como "yam" o "sinkamas". Sin embargo, esta no es la "jícama" de Ecuador y Perú (*Polymnia sonchifolia* "yacón"), ya que su raíz es mucho más grande (Burkart 1952, NRC 1989).

• Generalidades

Pachyrhizus es un género de origen americano, que se extiende principalmente desde México hasta el noroeste de Sudamérica, con seis especies y algunas variedades (Clausen 1945).

Tres especies de este género (*P. abipa*, *P. erosus* y *P. tuberosus*) son cultivadas por sus partes subterráneas. Sus raíces, comestibles crudas o cocidas, semejan tubérculos que llegan a tener un peso superior a 1 kg. Así mismo, pruebas de invernadero han demostrado que las especies silvestres *P. panamensts* y *P. ferrugineus* pueden producir tubérculos con peso, tamaño y calidad similar al de las especies cultivadas, aunque se desconoce si son comestibles (NRC 1989).

El género *Pachyrhizus* pertenece a la familia *Fabaceae* (*Papilionaceae*), sus tres especies más importantes difieren del frijol, guisante, haba, soya y maní por sus partes subterráneas. A diferencia de otras raíces cultivadas, estas especies poseen ciertas propiedades interesantes. Una de ellas, inherente a la familia de las leguminosas, es su simbiosis con bacterias fijadoras del nitrógeno libre de la atmósfera; en este caso, del género *Bradyrhizobium*. Estas bacterias -que se encuentran en los nódulos de la raíz y se nutren de las sustancias azucaradas que la planta produce durante la fotosíntesis- son capaces de fijar el nitrógeno libre en moléculas orgánicas, formando diversas substancias proteicas, que aprovecha también la planta. Este abono favorece al cultivo en sitios empobrecidos y enriquece los suelos. Su alta productividad y considerable resistencia a las enfermedades constituyen otra ventaja importante (Polhill et al. 1981, Kjaer 1994, Kjaer y Sorensen 1994).

Las plantas de *P. abipa*, *P. erosus* y *P. tuberosus* se propagan fácilmente por semilla y su cultivo exige poca atención, a excepción de la fertilización del terreno antes de la siembra. Se pueden propagar también a través de las raíces reservantes, lo que reduce significativamente el tiempo de crecimiento. En algunas zonas se suele duplicar el volumen de sus raíces mediante la recolección temprana de las flores (NRC 1989).

Existen considerables variaciones entre estas especies con respecto al tamaño y calidad de las raíces, crecimiento, hábitat, caracteres botánicos y sinonimia, lo que podemos observar en la Tabla 2.

Tabla 2. Diferencias entre *P. abipa*, *P. erosus* y *P. tuberosus* (Burkart 1952, NRC 1989).

	<i>P. abipa</i>	<i>P. erosus</i>	<i>P. tuberosus</i>
SINÓNIMOS Y SINONIMIA	Ajipa, asipa (quechua); villu, huitoto (aymara); Ahipa, ajipa, achipa, dabau, frijol chuncho, judía batata, poroto batata (castellano); Ahipa (portugués); Andine knollenbonne (alemán).	Jicama, jícama de agua o de leche (español) Yam, Sinkamas (inglés); Dolichos erosus L., P. angulatus Rich., P. bulbosus (latín).	Jíquima, ashipa (español); Yam bean, potato bean (ingles); pois-patao (francés); Dolichos tuberosus Lam. (latín).
CARACTERÍSTICA DE LA PLANTA	Planta anual, pequeña, erecta o semierecta, de 30-60 cm de altura, se cultiva en zonas cálidas y secas.	Planta trepadora de maduración rápida, mayor de 60 cm de altura.	Planta de crecimiento indeterminado en zonas cálidas.
HOJAS	Trifoliáceas, pubescentes, asimétricas, enteras, ovales o acorazonadas.	Trifoliáceas asimétricas, dentadas-aserradas o lobadas, rara vez enteras, de base anchamente cuneada o truncada. Aurícula de las alas casi igualando su uña en longitud.	Trifoliáceas enteras, el mediano de base cuneada. Aurícula de las alas 1/2 la longitud de la uña.
VAINAS Y SEMILLAS	Vainas de 8-11 cm x 1,5-1,8 cm con 5-7 semillas de 8-10 mm de color negro, blanco o pardo.	Semillas de 5-11 mm De diámetro.	Semillas de 11-14 mm de diámetro, de color marrón.
INFLORESCENCIA	Tallo corto (0,1-1,5 cm) con flores violáceas y blancas (var. violacea Par y var. albiflora Par.)		
FRUTO (PRODUCTO)	Raíz carnosa de 15 cm de longitud y 500-800 g de peso.	Raíz carnosa de 8-14 cm de longitud.	Raíz carnosa de 6,5-30 cm de longitud.

• Potencial Alimenticio

En la actualidad sólo se conoce el contenido nutricional de *P. erosus* "jícama", sin embargo, se presume que éste es similar para *P. abipa* "abipa" y *P. tuberosus* "jíquima". En tal caso, estas especies son pobres en sodio y calorías y ricas en potasio y vitamina C.

Recientes investigaciones han demostrado que el almidón contenido en jícama es fácilmente digerible. Aproximadamente 80% de las partículas de almidón son de diámetro inferior a las 5 micras y 75% de este almidón es metabolizado por la glucoamilasa luego de un periodo de 16 horas en el trato digestivo, en

comparación con 40% de almidón de papa metabolizado en este mismo período (Tadera et al. 1984).

Sólo la raíz reservante es inocua para la alimentación. Las hojas, tallos, raíces, vainas maduras y semillas contienen un insecticida, que se presenta en proporciones muy bajas cuando se cosechan verdes. El insecticida se denomina rotenone, por analogía con jícama; su fórmula química es $C_{25}H_{42}O_6$ (Hansberry et al. 1947, NRC 1989).

Se ha determinado que el contenido protéico en una base de materia seca es mucho mayor que el de otras raíces cultivadas (NRC 1989), siendo esta característica propia de las especies que integran la familia *Leguminosae*. Sin embargo, las raíces frescas tienen un bajo contenido protéico por su elevado porcentaje de agua (cit. de Antúnez de Mayolo 1988).

Las raíces son consumidas generalmente crudas. La pulpa blanca es dulce y refrescante, siendo muy apreciada y popular en los meses de verano. Se pueden consumir crudas, cortadas en rebanadas delgadas, acompañando las ensaladas de verduras o frutas. A menudo son cocidas al vapor y fritas a fuego lento. Cuando se logra el ablandamiento de su pulpa son incorporadas en las salsas. Las investigaciones realizadas por Pressey en 1993 han demostrado que las células de estas raíces contienen en la pared polisacáridos ricos en arabinosa, ácido glucurónico y xilosa, lo que las hace altamente resistentes al ablandamiento térmico (Pressey 1993).

• Caracterización Genética

Los estudios a nivel botánico, bioquímico, genético y fitopatológico son escasos para las tres especies más importantes y representativas del género *Pachyrhizus*: *P. abipa* "abipa", *P. erosus* "jícama" y *P. tuberosus* "jíquima". Sobre este fondo, abipa y jícama han sido las más estudiadas (NRC 1989).

Annerose y Diouf (1994) investigaron la tolerancia de una accesión de *P. erosus* (ECO33) y una de *P. abipa* (AC102) a las condiciones de secano, encontrando que la diversidad existente al interior del género puede ser utilizada para identificar materiales bien adaptados a condiciones semiáridas.

La conservación de las variedades de *Pachyrhizus* es de gran importancia, más aún cuando existen evidencias de su extinción en algunas de las regiones de los Andes. El Laboratorio de Botánica de la Universidad de Copenhague y el Instituto Botánico de Agricultura y Mejoramiento Vegetal (ambos en la Real Universidad de Agricultura en Copenhague), vienen evaluando la biosistemática de este género desde 1985 en una inmensa colección de semillas de especies silvestres y cultivadas de las áreas de distribución de origen, con el fin de investigar el potencial de *Pachyrhizus* (NRC 1989).

Hasta hace algunos años no se contaba con un banco de germoplasma para las especies de este género. Sin embargo, al comprobar que la viabilidad de las semillas era de sólo 3 a 4 años en condiciones tropicales, surge la necesidad de conservar duplicados de este material en bancos de germoplasma bajo condiciones controladas

de temperatura y humedad. Actualmente, uno de los proyectos que han hecho posible la conservación de este material es el Programa Colaborativo de la Cooperación Técnica Suiza (COTESU) y del Centro Internacional de la Papa (CIP), iniciando las recolecciones del material genético en el Perú, Bolivia y Ecuador, conservándolo tanto en bancos de germoplasma (*ex situ*), como en campo (*ex situ e in situ*) (NRC 1989, Memorias 1993-1994, Programa Colaborativo Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos).

En un ensayo de rendimiento, E. Heredia (1992) evaluó 8 introducciones de *P. erosus* y 3 de *P. abipa*, así como dos segregantes de híbridos interespecíficos (*P. abipa* x *P. tuberosus*), determinando que la productividad puede superar las 145 toneladas por hectárea. En este mismo experimento fueron observadas 15 introducciones representantes de *P. abipa* y *P. erosus*, así como plantas en generaciones segregantes de 10 cruzas interespecíficas.

• Estudios Citogenéticos

Las investigaciones citológicas no sólo dan a conocer las propiedades citogenéticas de uno u otro grupo de vegetales, sino que también nos llevan a aclarar una serie de problemas evolutivos, tanto generales como en lo referido al origen de determinados grupos. En este sentido, los números cromosómicos y el análisis comparativo de los complementos cromosómicos de diferentes especies, así como de grupos intraespecíficos, son la base del estudio de la evolución cariotípica y pueden proporcionar información valiosa (Levitsky 1933).

El desarrollo histórico de los organismos puede ir acompañado de variaciones de los aparatos cromosómicos. Pese a que estos últimos presentan una gran estabilidad, inherente a su funcionamiento como mecanismo de la herencia, se presenta cierta variabilidad. Esta variabilidad se aprecia mejor cuando comparamos grupos filogenéticamente próximos, en el plano histórico.

La importancia filogenética de las variaciones de los complementos cromosómicos ha sido establecida en una serie de estudios. En un trabajo pionero sobre evolución cromosómica a través de la formación de series poliploidias en el género *Festuca*, Levitsky y Kuzminá (1927) evidenciaron que los números de cromosomas son importantes para la sistemática y la filogenia debido a su particular condición de portadores de la herencia, que se transmiten directamente de una célula a otra y, a través de las células reproductivas, de una generación a otra. Sin embargo, la poliploidia caracteriza sólo pequeñas ramificaciones del proceso evolutivo y no influye sobre sus tendencias principales. Por ejemplo, en la sub-familia *Helleboreae* (Fam. *Ranunculaceae*) las relaciones poliploidias están muy difundidas, pero nunca superan los límites genéticos. De manera que las formas con muchos cromosomas, pese a su gran dilución, son "impotentes filéticos" y las principales líneas evolutivas se desarrollan con pequeños números cromosómicos (Levitsky 1931).

En una investigación de corte similar en 221 especies de 110 géneros de gramíneas, Avdúlov (1931) encontró que la evolución cariotípica respecto a los números de

cromosomas puede producirse de dos maneras: 1) Mediante la formación de series poliploides. En esta familia el aumento múltiple de un número base de cromosomas se circumscribe a los límites del género y caracteriza grupos de especies emparentadas; y 2) A través de la variación de los números base de cromosomas (x), que se observa en divisiones superiores de la familia, involucrando unidades tales como tribus, en cuyos límites los números base (x) permanecen constantes.

En este trabajo se señala que los números base en esta familia van de mayor -12, 10, 9 (propios de los grupos más primitivos- serie *Phragmitiformes*, subfamilia *Poatae*) a menor -7, 6, 5 (propios de los grupos filogenéticamente más jóvenes en esta familia - Serie *Pestuciformes*). De modo que la variación de los números base de cromosomas está ligada a las principales líneas de desarrollo de la familia.

Numerosos investigadores se han consagrado al estudio de los cromosomas en Leguminosas, tratando de descubrir hechos que arrojen nueva luz sobre la filogenia y las relaciones sistemáticas de los diversos grupos. A pesar de los progresos realizados en los últimos años, quedan aún mucho por estudiar, lo que se explica si consideramos el gran número de géneros y especies que los integran.

Un trabajo parecido al de Avdúlov fue desarrollado por Chéjov (1937), quien realizó el análisis cariotípico comparativo de 8 tribus de la familia *Leguminosae* (*Sophoreae*, *Podalariae*, *Genisteae*, *Trifolieae*, *Loteae*, *Phaseolae*, *Galegeae*, *Hedysareae*) y 3 géneros de ubicación dudosa (*Cicer*, *Ononis*, *Abrus*). Este autor encontró que los mayores valores para el número base de cromosomas (10, 11, 12, 13, 14) caracterizan a las subfamilias y tribus más primitivas. Los grupos filogenéticamente más jóvenes se caracterizan por números base menores. En algunos casos la disminución del número base de cromosomas está ligada al aumento del tamaño de estos últimos (Vb. en la tribu *Viciae*).

De forma que la evolución cariotípica de esta familia se ha producido mediante la disminución del número base de cromosomas de 14, 13, 12 y 11 a 8, 7 y 6.

Los primeros estudios de los cromosomas del género *Pachyrrhizus* fueron realizados por Roy (1933) y posteriormente por Senn (1938), reportando que el número cromosómico en las células somáticas de *P. angulatus* Rich y *P. tuberosus* Spreng es de 22 cromosomas ($2n=22$).

P. Goldblatt (1981) señala que el número base de cromosomas es el mismo ($n=x=11$) en todas las especies de *Pachyrrhizus*, al igual que en la mayoría de las de los géneros de la tribu *Phaseolae*, de las *Papilionidae*, a la que pertenece.

Gracias a los primeros aportes de Levitsky y al posterior desarrollo de las técnicas de coloración y fijación, hoy podemos presentar los estudios cariomorfológicos desarrollados en algunas especies de la familia *Fabaceae* (Tabla 3).

Pese al apreciable número de reportes sobre aspectos citogenéticos en la tribu *Phaseolae* y las leguminosas en general, existen pocos trabajos sobre el control

genético de la división celular en estos grupos. Como producto de los listados de 212 genes de *Pisum sativum* y 150 genes de *Phaseolus viciifolius* (1990) elaborados en base a los trabajos de Blix (1972, 1974, 1978), G (1983), Jarnell (1965) y Roberts Mary-Howell E. (1982), hemos elegido algunos de estos genes para *Pisum*, los que describimos a continuación:

Símbolo	Fenotipo
as 1-8 - As 1-8	Genes de la asinapsis
cc - CC	Calix carpelar, polen diploide
ds 1-4 - Ds 1-4	Desinapsis, esterilidad
ms 1-3, 5-11	Esterilidad masculina como resultado de diferentes alteraciones de la microsporogénesis (ms4 es al revés)
Ms 1-3, 5-11:	En estado dominante causa alteraciones de la microsporogénesis (ms4 es al revés)
Ms ₁ - ms ₁	En estado recesivo causa ruptura de los cromosomas en la profase I de la meiosis
Ms ₂ - ms ₂	En estado recesivo causa alteraciones de la fase final de la división meiótica
Ster - ster	En estado recesivo causa esterilidad femenina

A excepción de los alelos cc - CC (Cromosoma 7), ds - Ds (Cromosoma 3), aún no se ha determinado la ubicación de los mencionados en un cromosoma concreto. Considerar referirnos al control genético de estos procesos en legumbres a la probable similitud de la organización de los aparatos de control en las especies de la tribu *Phaseolae*, lo que indicaría que los genes de control de la división celular en esta tribu estarían en acción similar.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio del ciclo celular en *Pachyrrhizus tuberosus* Spren (de genotipos), se realizó en células obtenidas de meristemas de semillas recolectadas en 1995 en el Departamento de Cuzco y proporcionadas por el Dr. Carlos Arbizu (Centro Internacional de Investigación de la Papa - CIP). Así mismo, la determinación del ciclo celular en *Pachyrrhizus* Parodi "ahipa" se realizó en base a meristemos radiculares obtenidos en 1995 en la comunidad de Carapari, provincia de Bolivia, clasificadas y proporcionadas por la Ing. Ximena Cañizares (Investigación de la Papa - PROINPA).

Los meristemas, fijados en Carnoy 3:1 a intervalos de 1 hora y una temperatura promedio de 22.5 °C, fueron coloreados según Talledo y Escobar (1995a). El squash se realizó con orceína y microfotografías con una película en blanco y negro de bajo contraste Mikrat 300.

Tabla 3a. Avances cariotípicos en especies de la Familia Fabaceae (modificado de Escobar 1991).

ESPECIE	NOMBRE COMÚN	2n	LONG. (μ)	METAC.	SUB-METAC.	SUB-ACROC.	ACROC.	REF. BIBLIOG.
Cicer arietinum	Garbanzo	16	4-6	1,2,3,4,5	6,7,8			Merey et al. 1974.
Faba vulgaris	Haba	12	10-20	1			2,3,4,5	Turkov et al. 1984
Lathyrus L. odoratus	Guijas o lulos	14	4-6	1,5,7,	2,3,4,6	6,7,		Lavania y Sharma 1979
L. sativus	Arveja muela	14	6-8	1,2,	3,4,5,			Caicedo et al. 1982
LENS ERVOIDES	Lenteja	14	2,5-3,5		1,2,3,4		5,6,7	Sindhu et al. 1983
LUPINUS	Chocho, Tarhui							Bolkhovskikh et al. 1969; Bardales 1986
L. albus		50						
L. angustifolius		40						
L. caespitosus		48						
L. consertini		32						
L. luteus		52						
L. microcarpus		60						
L. mutabilis		48						
L. palaestinus		42						
L. paniculatus		48						
L. pilosus		42						
L. pubescens		48						
L. sp.		48						
MEDICAGO SATIVA	Alfalfa	32	2-4	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	11,12,13,14,15,16			Caicedo et al. 1982; Turkov et al. 1984

Los índices de fases (IF), índices mitóticos (IM), duración del ciclo celular y el número cromosómico fueron determinados usando los criterios descritos por Talledo y Escobar (1995a).

RESULTADOS

Pachyrhizus tuberosus

Las tablas 4A y 4B muestran la evaluación durante 24 horas de los IF e IM de *Pachyrhizus tuberosus* Spreng, "ashipa" o "jíquima", en 25 976 células en división y en las células hijas producidas a partir de las primeras. A través de estos índices, evaluados a una temperatura promedio de 22,5 °C y en condiciones de Costa, se estableció que la mejor hora para la prefijación de *P. tuberosus* con inhibidores es a las 14:00 horas, alcanzando un IM de

Tabla 3b. Avances cariotípicos en especies de la Familia Fabaceae (modificado de Escobar 1991).

ESPECIE	NOMBRE COMÚN	2n	LONG. (μ)	METAC.	SUB-METAC.	SUB-ACROC.	ACROC.	REF. BIBLIOG.
PHASEOLUS	Frijoles		2-4					Bolkhovskikh et al. 1969.
P. acutifolius		22		1,2,3,4				Turkov et al. 1984
P. aureus	F. tapary	22		5,6,7	11			Escobar 1991
P. bracteatus		22		1,2,3,4	7,8,9			Escobar et al. 1996.
P. calcaratus		22		5,6	10			
P. capensis		22						
P. coccoideus	F. ayacahue	22		1,2,3,4	8,9,10			
P. erythroloma		22		5,6,7	11			
P. lunatus		22		1,2,3,4	10,11			
P. metacalcei		22						
P. nigerinus		22						
P. polystachys		22						
P. nicandrioides		22						
P. scaberrulus		22						
P. trichocarpus		22						
P. vulgaris	F. común	22		1,2,3,4,5	6,7,8,9			10,11
P. multiflorus		—	—	—	—	—	—	
P. mungo		24						
P. radiatus		24						
PISUM	Arveja							Lamm 1978; Caicedo et al. 1982; Turkov et al. 1984
Pisum arvense		14	4-5	1,2,3,4				
Pisum sativum		14	3,5-5,5	5,6,7	1,2,3,4			
PSOPHOCARPUS								
P. palustris		20, 22	4-6					He y Swarth 1977
P. tetragonolobus		18	4-6	1,2,3,4	5,6,7,8,9			Turkov et al. 1984

16,26%, presentándose además un pico secundario bastante breve a las 19:00 horas. Durante las demás horas procesadas los valores del índice mitótico fueron bajos, fluctuando entre 20% a las 18:00 horas y 13,56% a las 13:00 horas (Ver Fig. 1).

Durante las 24 horas el porcentaje de interfases ocupó la mayor parte de la población celular, siendo los valores promedio del 90%. Esto nos indica la regularidad del ciclo celular, que se refleja en la curva de la Figura 2. Durante la interfase fue posible observar en forma consistente la presencia de un nucléolo, lo que indica la existencia de un cromosoma con satélite. Así mismo, en algunos casos se observaron células binucleadas, lo que coincidió con la elevación del índice de telofases IF, (Ver Fig. 2).

Tabla 3c. Avances cariotípicos en especies de la Familia Fabaceae (modificado de Escobar 1991).

ESPECIE	NOMBRE COMÚN	2n	LONG. (μ)	METAC.	SUB-METAC.	SUB-ACROC.	ACROC.	REF.BIBLIOG.
VICIA								
<i>V. amoena</i>	Habas	24	6-8	1,2,3	4,5,6,7	8,9,10, 11,12		Dyer 1979 Balvin 1982 Turkov 1984
<i>V. amphicarpa</i>		10	4-5			1,2	3,4,5	
<i>V. andicola</i>		14	5-6	1,2	3,4,5	6,7		
<i>V. articulata</i>		14	6-8	1,2		3,4,5,6,7		
<i>V. atropurpurea</i>		14	4-5		1,2,3,4	5,6,7		
<i>V. benghalensis</i>		14	4-5	1	2,3,4,5	6,7		
<i>V. bithynica</i>		14	3-5	1,2	3,4,5,6	7		
<i>V. dasycarpa</i>		14	3-4	1,2,3	4,5,6,7			
<i>V. faba</i>		12						
<i>Vicia hirsuta</i>		14	5-6	1,2,3,4	5	6,7		
<i>V. lutea</i>		14	6-8		1,2,3,4,5	6,7		
<i>V. macrocarpa</i>		12	5-6			1,2	3,4,5,6	
<i>V. monanthos</i>		14	3-5	1,2,3,4,5	6,7			
<i>V. neglecta</i>		12	5-6	1	2,3	4,5,6		
<i>V. pannonica</i>		12	6-8		1,2,3,4	5,6		
<i>V. peregrina</i>		14	8-10	1		2,3,4	5,6,7	
<i>V. sativa</i>		12	5-8		4		1,2,3,5,6	
<i>V. sensitifolia</i>		14	6-8	1,2,3	4,5,6	7		
<i>V. sylvatica</i>		14	5-6	1,2	3,4,5	6,7		
<i>V. tetrasperma</i>		14	3-6	1,2,3,4,5, 6,7				
<i>V. varia</i>		14	3-4	1,2,3	4,5,6,7			
<i>V. villosa</i>		14	3-4	1,2	3,4,5,6	7		
VIGNA SINENSIS	Vigna	22	3-6	1,2,3,4 5,6,7,8 9,10,11				Turkov 1984

Al analizar el ciclo celular en su conjunto encontramos que sólo entre la 13:40 y las 14:20, aproximadamente, parece desarrollarse francamente la mitosis y que su duración, calculada en base a la evaluación de los IF e IM totales asumiendo un valor medio de 7 horas para un ciclo completo, es de 43 minutos, de los cuales 24 minutos son ocupados por la profase, 7 minutos por la metafase, 5 minutos por la anafase y 7 minutos por la telofase (Ver Fig. 3).

Pachyrrhizus abipa

Para el caso de *P. abipa* hemos considerado posible omitir la descripción de la evaluación de los IF, IM y ciclo celular debido a que el comportamiento registrado para esta especie es similar al observado en *P. tuberosus*. Así mismo, podemos señalar en base a 8 metafases, evidenciadas sin inhibidores mitóticos para cada especie durante la presente evaluación, que los números cromosómicos de *P. tuberosus* y *P. abipa* fueron de 2n=22 (Ver Fig. 4).

Finalmente, nuestras observaciones revelan que para la prefijación de estas especies es conveniente utilizar una solución saturada de ABN (alfa-bromoanftaleno) a 4 °C durante 4-5 horas, debido al tamaño de los cromosomas, comprendido entre 2 y 4 micras.

DISCUSIÓN

Los estudios cariotípicos evolutivos en base al carácter "número de cromosomas" constituyeron la primera etapa de las investigaciones de este tipo. El número de cromosomas no siempre es suficiente para caracterizar las especies, ya que en algunas especies se presentan razas con diferentes números de cromosomas; mientras que, en otros casos, especies diferentes pueden presentar números iguales de cromosomas: Vb. n=7, 14, 21 y 35 para *Festuca ovina* (Levitsky y Kuzminá 1927) mientras que 2n=24 para *Solanum berthaultii*, *S. brevicaule*, *S. catartrum*, *S. doddii*, *S. incamayoense*, *S. sparsipilum*, *S. spegazzinii* y *S. vernerii* y 2n=22 para *Phaseolus acutifolius*, *Pb. aureus*, *Pb. coccineus* y *Pb. lunatus* (Talledo y Escobar 1994, Escobar, Talledo y Namisato 1995, respectivamente). Por estas razones, el número de cromosomas no puede servir como criterio de especie en los casos dudosos. Cuando la evolución cariotípica al interior del género se ha producido sin que se modifique el número de cromosomas, es preciso ubicar estos procesos a otro nivel: características estructurales de los cromosomas o mutaciones génicas.

La individualidad morfológica de los cromosomas, su gran estabilidad, que permite identificar diferentes tipos de cromosomas no sólo en los límites de una determinada especie, sino también en otras especies del mismo género, facilitan la utilización de sus caracteres morfológicos para esclarecer la evolución cariotípica. Como resultado, los cariotipos de especies diferentes que presentan números iguales de cromosomas se pueden identificar en base a la morfología de estos últimos. Las especies sistemáticamente próximas con frecuencia presentan en sus complementos

Figura 1. Fases del ciclo celular en *Pachyrhizus tuberosus*.

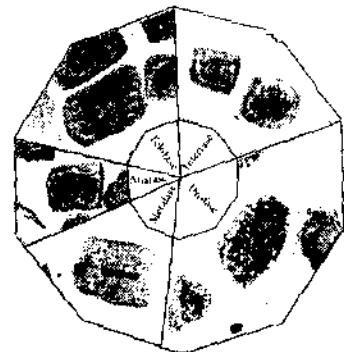


Figura 2. Secuencia del ciclo celular en *Pachyrhizus tuberosus*.

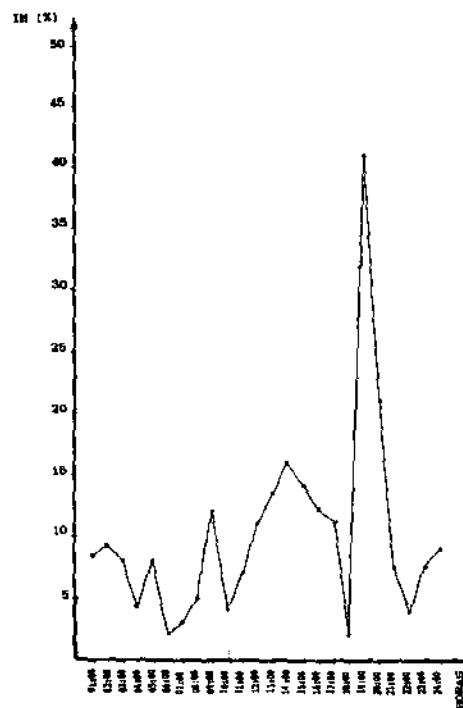


Figura 3. Secuencia de índices de fases en *Pachyrhizus tuberosus*.

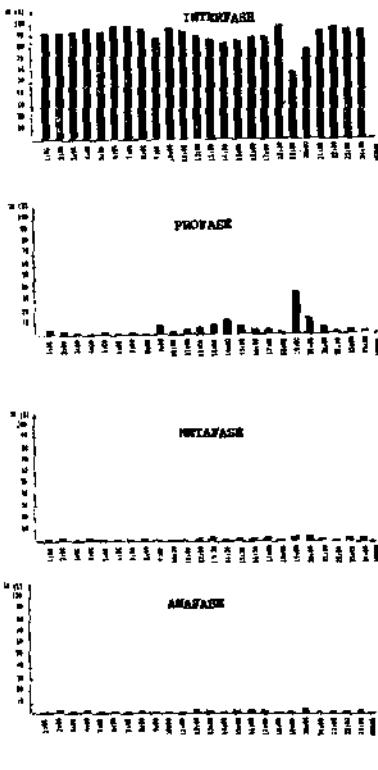
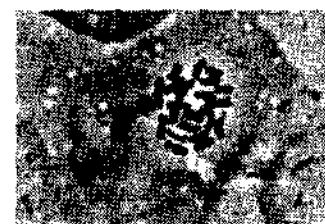


Figura 4. Metafase de *Pachyrhizus tuberosus* ($2n=22$).



algunos cromosomas similares y otros con diferencias notables, lo que permite utilizar a estos últimos en calidad de marcadores. Por ejemplo, Escobar et al. (1995) evidenciaron los complementos cromosómicos de 4 especies de *Phaseolus*, llegando a plantear las siguientes fórmulas cariotípicas para las mismas:

$$Pb. acutifolius \quad K(n=11) = 7M (4M_1 + 3M_2) + 4SM$$

$$Pb. coccineus \quad K(n=11) = 7M (6M_1 + 1M_2) + 4SM$$

$$Pb. lunatus \quad K(n=11) = 1M + 9SM (3M_1 + 6M_2) + 1SA$$

$$Pb. vulgaris \quad K(n=11) = 5M + 4SM + 2SA$$

donde M, SM y SA significan metacéntricos, sub metacéntricos y sub acrocéntricos; los sub índices 1 y 2, grandes y pequeños, respectivamente, y (n) - es el número de cromosomas del complemento haploide, en este caso el número base.

Estas diferencias permiten esclarecer algunos aspectos del proceso evolutivo (Levitsky 1930). Por ejemplo, Escobar et al. (1995) establecen que las especies de frijol estudiadas muestran cariotipos altamente simétricos y postulan que *Pb. acutifolius* y *Pb. coccineus* representarían formas originales y morfológicamente más primitivas debido al alto porcentaje de cromosomas metacéntricos y sub-metacéntricos, mientras *Pb. lunatus* y *Pb. vulgaris* integrarían los tipos "cultivados" y más diferenciados, pues comienzan a aparecer cromosomas sub-acrocéntricos.

Los mismos autores utilizaron nuevamente la morfología cromosómica en un estudio cariológico comparativo de 9 especies de *Solanum L.* (Talledo y Escobar 1994) para esclarecer algunos aspectos de la filogenia de las especies estudiadas, en base a los diferentes grados de simetría de los cariotipos, que presentamos en la Tabla 6.

En este trabajo los autores establecieron en algunas especies la presencia de cromosomas que han sufrido variaciones morfológicas, por lo que pueden cumplir la función de marcadores. Así mismo postulan, en base a resultados del análisis cromosómico, que el genoma de *S. tuberosum* se habría formado como consecuencia de la integración de los genomas de dos especies diploides diferentes. Esta hipótesis sería confirmada por el doble número de cromosomas en todos los grupos del cariotipo de *S. tuberosum* y por la presencia de cromosomas marcadores en los grupos B y D, según la nomenclatura propuesta por Talledo y Escobar (1994) para los cromosomas de las especies de *Solanum L.* estudiadas.

La evaluación citológica de *Pachyrhizus tuberosus* y *P. abipa* basada en la determinación de los índices de fases (IF), índices mitóticos (IM) y secuencia del ciclo celular en condiciones de Costa, permitió determinar un IM elevado, de 16,26% a las 14:00 horas, lo que corrobora los resultados reportados recientemente en oca y ulluco (Talledo y Escobar 1995a, 1995b). El análisis de las tablas 4A, 4B y 5 permite establecer un ciclo celular de aproximadamente 7 horas. El ciclo mitótico, cuya duración aproximada fue de 43 minutos, estaría comprendido entre las 13:40 y las 14:20 horas, lo que corresponde a la duración de un ciclo normal de división y coincide con los resultados obtenidos anteriormente en *Ullucus tuberosum* por los autores bajo condiciones ambientales similares, cuando el ciclo mitótico tuvo una duración de una

Tabla 4a. Evaluación de los índices de fases e índices mitóticos parciales de *Pachyrhizus tuberosus*.

HORA IF (%)	T(C)	Células contadas	Interf.	Prof.	Metaf.	Anaf.	Telof.	IM (%)
01:00	23,0	1040 100%	95 91,44%	50 4,81%	17 1,63%	6 0,58%	16 1,54%	8,56
02:00	23,0	1100 100%	1002 91,09%	36 3,27%	27 2,45%	18 1,64%	17 1,55%	8,91
03:00	23,0	1170 100%	1084 92,85%	15 1,28%	12 1,03%	9 0,77%	4,27%	7,35
04:00	23,0	1000 100%	956 95,60%	-- -	20 2,00%	19 1,90%	5 0,50%	4,40
05:00	22,5	1066 100%	982 92,12%	29 2,72%	16 1,51%	9 0,84%	30 2,81%	7,88
06:00	22,0	1004 100%	982 97,80%	4 0,40%	8 0,80%	9 0,90%	1 0,10%	2,20
07:00	22,0	1000 100%	967 96,70%	6 0,60%	14 1,40%	8 0,80%	5 0,50%	3,30
08:00	22,5	1028 100%	975 94,84%	20 1,95%	14 1,36%	16 1,56%	3 0,29%	5,16
09:00	22,5	1010 100%	889 88,01%	83 8,22%	11 1,09%	4 0,40%	23 2,28%	11,99
10:00	23,0	1275 100%	1221 95,76%	32 2,51%	4 0,31%	3 0,24%	15 1,18%	4,24
11:00	23,0	1150 100%	1067 92,78%	43 3,74%	11 0,98%	9 0,78%	20 1,74%	7,22
12:00	23,0	1026 100%	914 89,09%	54 5,26%	18 1,75%	15 1,46%	25 2,44%	10,91

hora. El flujo normal del ciclo celular nos indica que la variabilidad fenotípica de la especie debe producirse en función de la variabilidad a nivel genético y/o cromosómico (aberraciones estructurales), y que la influencia de las alteraciones genómicas (numéricas) no sería significativa.

No son frecuentes los ciclos normales en las especies de la región Andina sometidas a condiciones ambientales de la Costa. En el caso de la *Oxalis tuberosa* "oca", el mecanismo es diferente. Escobar y Talledo (1995b) informan para esta especie ciclos celulares incompletos, con valores anormales para la duración del ciclo debido al desarrollo de procesos mitóticos en los cuales se han reducido una o varias de las fases normales de la mitosis (en este caso, ciclos en los que se evidencia el bloqueo en profase y en el paso de telofase a interfase), lo que puede haberse desencadenado por el traslado de las muestras a un hábitat diferente, produciéndose aquí la variante señalada por Villiers (cit. de Talledo y Escobar 1996).

En el efecto de las condiciones ambientales sobre el desarrollo del ciclo celular podría estar la clave para explicar la formación de series poliploides en algunos géneros de la región Andina. No es difícil imaginar un efecto ambiental similar sobre la esporogénesis y gametogénesis.

Tabla 4b. Evaluación de los índices de fases e índices mitóticos parciales de *Pachyrhizus tuberosus*.

HORA IF (%)	T(C)	Células contadas	Interf.	Prof.	Metaf.	Anaf.	Telof.	IM (%)
13:00	22,0	1165 100%	1007 86,44%	97 8,33%	30 2,57%	21 1,80%	10 0,86%	13,56
14:00	22,0	1095 100%	917 83,74%	136 12,42%	17 1,55%	5 0,46%	20 1,83%	16,26
15:00	22,0	1156 100%	990 85,64%	81 7,00%	21 2,42%	20 1,64%	25 3,30	14,36
16:00	22,0	1034 100%	913 88,30%	55 5,32	20 2,03%	19 1,93%	5 2,42%	11,70
17:00	22,0	1019 100%	905 88,81%	45 4,42%	29 2,85%	19 1,86%	21 2,08%	11,19
18:00	23,0	1100 100%	1077 97,91%	4 0,27%	5 0,45%	1 0,10%	14 1,27%	2,09
19:00	21,0	1236 100%	728 58,90%	448 35,08	33 2,67%	12 0,97%	17 1,39%	41,10
20:00	21,0	1045 100%	822 78,67%	129 12,34	34 3,25%	32 3,06%	28 2,68%	21,33
21:00	21,0	1213 100%	1123 92,58%	71 5,86%	2 0,16%	7 0,58%	10 0,82%	7,42
22:00	21,0	1001 100%	959 95,80%	10 1,00%	8 0,80%	13 1,30%	11 1,10%	4,20
23:00	22,0	1007 100%	942 93,55%	23 2,28%	15 1,49%	10 0,99%	17 1,69%	6,45
24:00	22,5	1036 100%	964 93,05%	10 0,97%	20 1,93%	14 1,35%	28 2,70%	6,95

El estudio citológico de 8 metafases tanto de *Pachyrhizus tuberosus* como de *P. abipa*, permitió establecer en base al conteo de cromosomas en células sin pre tratamiento que el número cromosómico de las accesiones procesadas es el mismo, $2n=22$.

Este resultado, documentado por primera vez en *Pachyrhizus tuberosus* y *P. abipa*, coincide con lo reportado por Roy (1933), Senn (1938) y Goldblatt (1981) para otras especies de este género. Así mismo, corroboran lo señalado por P. Goldblatt (1981) en cuanto a que el número base de cromosomas es $n=x=11$ en todas las especies de *Pachyrhizus*, al igual que en la mayoría de las de los géneros de la tribu *Pbaseolae*, de las *Papilionidae*, a la que pertenece.

Tabla 5. Determinación de los IF e IM totales y de la duración del ciclo celular.

Estado	TOTAL	INTERF.	PROF.	METAF.	ANAF.	TELOF.
Frecuencia	25976	23337	1478	414	298	449
IF (%)	100	89,84	5,69	1,59	1,15	1,73
IM (%)				10,76 = (5,69 + 1,59 + 1,15 + 1,73)		

Tabla 6. Distribución de los cromosomas y sus tipos en *Solanum L.* (Talledo y Escobar 1994).

N	ESPECIE	2n=	TIPO DE CROMOSOMAS (%)			
			S	M	SM	A
1.	<i>S. berthaultii</i>	24	91,7	50,0	41,7	8,3
2.	<i>S. brevicaule</i>	24	83,3	8,3	75,0	16,7
3.	<i>S. catathrum</i>	24	91,7	41,7	50,0	8,3
4.	<i>S. dodec</i>	24	91,7	25,0	66,7	8,3
5.	<i>S. incamayoense</i>	24	91,7	41,7	50,0	8,3
6.	<i>S. sparsipilum</i>	24	91,7	25,0	66,7	8,3
7.	<i>S. spegazzinii</i>	24	83,3	25,0	58,3	16,7
8.	<i>S. vernei</i>	24	91,7	41,7	50,0	8,3
9.	<i>S. tuberosum</i>	48	91,7	41,7	50,0	8,3

S = Simétricos, M = Metacéntricos, SM = Submetacéntricos, A = Acrocéntricos.

En este sentido, nuestros resultados respecto al curso del ciclo celular y los números de cromosomas de *Pachyrrhizus tuberosus* y *P. abipa* ($2n=22$, en ambos casos), especies pertenecientes a la tribu *Phaseolae*, parecen corroborar también lo postulado por otros autores (Chéjov 1937, Goldblatt 1981) en tres aspectos: a) el control genético de los procesos de división celular en este género presenta gran estabilidad, la misma que parece ser característica de la tribu *Phaseolae*; b) los números cromosómicos en las especies del género *Pachyrrhizus*, al igual que las de otros géneros de la tribu *Phaseolae*, que lo comprende, se mantienen estables; y c) al interior de este género se debe buscar las causas de la diversificación específica en niveles de organización menores al genómico, lo que deriva de los dos puntos anteriores.

Desde esta óptica, es muy interesante el trabajo de E. Heredia (1992) en Celaya (Guanajuato, México), citado en "Antecedentes". Aunque no contamos con mayor información al respecto, los resultados positivos de cruzas inter-específicas nos estarían indicando que el curso de la división reduccional, tanto en las células madres de microspora como para la formación de los óvulos, se caracteriza por la ausencia de figuras anormales (presencia simultánea de bivalentes y univalentes, husos multipolares, distribución caótica de los cromosomas, etc.) y por la conjugación (sinapsis) normal (o casi normal) de los cromosomas, lo que atestigua sobre el grado de homología entre los mismos (Rubissova 1975). Sería conveniente estudiar la fertilidad de los híbridos F₁ y de las demás generaciones a fin de evaluar la magnitud de esta homología. Los resultados de Heredia coinciden con los nuestros en el sentido de que a partir de ellos es posible inferir que la diversificación específica en este género se habría producido mediante mutaciones génicas espontáneas y alteraciones estructurales poco significativas de los cromosomas. Es probable que los cariotipos de las especies que lo conforman presenten mucha similitud, la misma que podría ser mayor que la existente entre el genoma de *Phaseolus lunatus* y los de *P. vulgaris*, *P. coccineus* y *P. acutifolius*, con quienes el "pollar" se cruza con suma dificultad. Los cariotipos de los *Pachyrrhizus* estudiados, al igual que los de *Phaseolus*, presentan un par de cromosomas con satélite.

CONCLUSIONES

1. En el procesamiento de las muestras para la evidenciación de la morfología cromosómica se debe incluir el pre-tratamiento con una solución saturada de mono-bromo-naftaleno en calidad de inhibidor de la mitosis.
2. La incidencia de ciclos celulares incompletos en las muestras estudiadas es pequeña, se circunscribe a las fases tardías de la mitosis, particularmente telofases, y no difiere de lo habitualmente observado en especies consideradas como estables para su ciclo celular.
3. El control genético de los procesos de división celular presenta gran estabilidad en este género, la misma que parece ser característica de la tribu *Phaseolae*.
4. El periodo comprendido entre las 14:00 y 15:00 horas parece ser el más aparente para la toma de muestras celulares de abipa y achipa para estudios cariotípicos.
5. El número cromosómico de las especies estudiadas, tanto abipa como achipa, dos de las especies más importantes del género *Pachyrrhizus*, es $2n=22$.
6. Estos resultados evidencian que los números cromosómicos de las especies estudiadas del género *Pachyrrhizus*, al igual que las de otros géneros de la tribu *Phaseolae*, que lo comprende, se mantienen estables.
7. Esta estabilidad del número cromosómico se debe a la estabilidad del ciclo de división celular.
8. Las causas de la diversificación específica al interior del género se deben buscar en niveles de organización menores al genómico.
9. El análisis cariomorfológico de las especies de *Pachyrrhizus* es imprescindible, tanto para su mejor caracterización como para una mejor comprensión de los trabajos de su mejoramiento.
10. Los cariotipos de las especies estudiadas presentan un par de cromosomas con satélite.

AGRADECIMIENTOS

Los autores queremos expresar nuestro reconocimiento al Programa Colaborativo COSUDE - CIP y a la Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ciencias Biológicas, sin cuyo apoyo no hubiera sido posible desarrollar el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Annerose, D. J. M. y O. Diouf

- 1994 "Some aspects of response to drought in the genus *Pachyrrhizus* Rich. ex DC." En: *Proceedings of the First International Symposium on Tuberous Legumes* (21-24 Apr 1992. Frederiksberg, Denmark), M. Sorensen, editor, págs. 199-213. Frederiksberg, Dinamarca, Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation (CTA), Royal Veterinary and Agricultural University (KVL).

- Antúnez de Mayolo, S.**
- 1988 *La nutrición en el antiguo Perú*. Lima, Fondo Editorial del Banco Central de Reserva del Perú. 4ta Edición.
- Avdúlov, N. P.**
- 1931 *Estudio cariosistemático de la familia de las gramíneas*. Leningrado. (En ruso).
- Balvin, H. G.**
- 1982 *Efectos de los rayos Gamma-Cobalto 60, Bandas "C" y Aminogramas de Vicia faba L. (Haba)*. Tesis para Lic. en Biología. Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ciencias Biológicas. Lima.
- Bardales, A. R.**
- 1986 *Número cromosómico para Lupinus mutabilis y Lupinus misticola*. Tesis de Bachiller en Ciencias Biológicas. Universidad de San Agustín, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Arequipa.
- Burkart, A.**
- 1952 *Las leguminosas argentinas - silvestres y cultivadas*. Buenos Aires, Acme Agency, SRL.
- Bolkhovskikh, Z., V. Grif, T. Matvejeva y O. Zakharyeva**
- 1969 *Chromosome Numbers of Flowering Plants*. L. Nauka.
- Caicedo, P. L., V. D. Turkov, A. Shalumashvili y G. A. Shelepin**
- 1982 *Análisis cromosómico de las plantas*. Moscú, Ed. UDN. (En ruso).
- Clausen, R. T.**
- 1945 "A botanical study of the yam beans (*Pachyrhizus*)". *Cornell University Agriculture Experimental Station Memoir*.
- Chéjov, V. P.**
- 1937 "Números base de cromosomas y relaciones filogenéticas entre los géneros, sub-tribus y tribus de la familia Leguminosae". *Boletín de la Sociedad de Investigaciones de la Naturaleza, Biología* 46 (4): 233-240. Moscú (En ruso).
- Dyer, F.**
- 1979 *Investigating Chromosomes*. London, Ed. Arnold.
- Engel, F.**
- 1967 "El Complejo "El Paraíso" en el valle del Chillón, habitado hace 3,500 años; nuevos aspectos de la civilización de los agricultores del pällar". *Anales Científicos* 5 (3-4): 241-280. Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Escobar G., C.**
- 1991 *Estudio cariotípico comparativo en cuatro especies del género Phaseolus: Ph. acutifolius Gray "Frijol tepary", Ph. coccineus L. "Frijol ayocote", Ph. lunatus L. "Pällar" y Ph. vulgaris L. "frijol común"*. Tesis de Licenciado en Biología. Universidad Ricardo Palma. Facultad de Ciencias Biológicas. Lima.
- Escobar, C., D. Talledo y T. Narnisato**
- 1995 "El genoma del frijol". *Biotempo* 2 (2): 47-55. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Ricardo Palma. Lima.
- Fadéyeva, T. S.**
- 1990 "Genética de las plantas cultivadas: Leguminosas de grano y hortalizas". *Agropromizdat* 15-110. Leningrado. (En ruso).
- Goldblatt, P.**
- 1981 "Cytology and the phylogeny of leguminosae". En: *Advances in Legume Systematics*, R. M. Polhill y P. H. Raven, editores, págs. 427-463. Royal Botanic Gardens.
- Hansberry, R., R. T. Clausen y L.B. Norton**
- 1947 "Variations in the chemical composition and insecticidal properties of the yam bean (*Pachyrhizus*)". *Journal of Agricultural Research* 74 (2): 55-64.
- Haq, N. y J. Swarth**
- 1977 "Chromosome complements in *Psopobacarpus* spp". *Tropical Grain Legume Bulletin* 10: 16-19.
- Heredia García, E.**
- 1992 "Segregating materials observation and germoplasm evaluation of Jicama (*Pachyrhizus* spp.) in Mexico". En: *Proceedings of the First International Symposium on Tuberous Legumes* (21-24 Apr 1992. Frederiksberg, Denmark), M. Sorensen, editor, págs. 273-282. Frederiksberg, Dinamarca, Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation (CTA), Royal Veterinary and Agricultural University (KVL).
- Kjaer, S.**
- 1994 "Biological nitrogen fixation in *Pachyrhizus abipa* (Weed.) Parodi". *Annals of Botany* 70: 11-17.
- Kjaer, S. y M. Sorensen**
- 1994 "Symbiotic nitrogen fixation in *Pachyrhizus abipa* (Weed.) Parodi". En: *Proceedings of the First International Symposium on Tuberous Legumes* (21-24 Apr 1992. Frederiksberg, Denmark), M. Sorensen, editor, págs. 227-235. Frederiksberg, Dinamarca, Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation (CTA), Royal Veterinary and Agricultural University (KVL).

- Lamm, R.
1976 "Technical hints for chromosomes studies in Pisum". *Hereditas* 84: 235-237.
- Lavania, U.C. y K. Sharma
1979 "Trypsin-orcein banding in plant chromosomes". *Stain Technology* 54: 261-263.
- Levitsky, G. A.
1930 "Sobre el método citológico en la sistemática". *Congreso Pan-soviético de Genética, Fitomejoramiento, Producción de Semillas y Ganadería* 2: 343. (En ruso).
1931 "La morfología cromosómica y el concepto de "cariotipo" en la sistemática en base al estudio de la subfamilia Helleboreae". *Trudy Po Prikladnoi Boanike, Genetike y Seeksii* 27 (1): 187-240. (En ruso).
1933 "El método citológico en el fitomejoramiento". *Fitotecnia Socialista*. 5-6: 30-47. (En ruso).
- Levitsky, G.A. y N. Kuzminá
1927 "El método cariológico en la sistemática y filogenética del género Festuca, Sub-género Eulestuca". *Trudy Po Prikladnoi Boanike, Genetike y Seeksii* 17 (3): 1-36. (En ruso).
- Merey, S. T., S. N. Kakar y J. B. Choudhury
1974 "Cytological studies in three species of the genus Cicer". *Cytologia* 39: 383-390.
- National Research Council (NRC)
1989 *Lost Crops of the Incas: Little Known Plants of the Andes with Promise for Worldwide Cultivation*. Washington, D.C., National Academy Press.
- Polhill, R. M., P.H. Raven y C. H. Stirton
1981 "Evolution and systematics of the Leguminosae". En: *Advances in Legume Systematics*, R. M. Polhill y P. H. Raven, editores, págs. 1-25. Royal Botanic Gardens.
- Pressey, R.
1993 "Cell wall compositions and enzymes of potatoes, jicamas and chinese water chestnuts". *Journal of Food Biochemistry* 17: 85-95.
- Roy, B.
1933 "Studies in the development of the female gametophyte in some leguminous crop plants of India". *India Journal of Agricultural Science* 3 (6): 1098-1107.
- Rubtsova, Z. M.
1975 *Desarrollo de la Citogenética Vegetal Evolutiva en la URSS*. Ed. L. Nauka. (En ruso).
- Senn, H. A.
1938 "Chromosome number relationships in the Leguminosae". *Bibliographia Genetica* 12: 175-336. The Hague.
- Sindhu, J. S., A. E Slinkard y G. J. Scoles
1983 "Karyotypic analysis of Lens ervoides". *Brign. Crop. Sci.* 23: 534-536.
- Tadera, K., T. Tanguchi M. Teramoto, M. Arima I. Yagi, A. Kobayashi, T. Nagahama y K. Ishihata
1984 "Protein and starch in tubers of winged bean, Psophocarpus tetragonolobus (L.) DC., and yam bean, Pachyrhizus erosus (L.) Urban". *Memoirs of the Faculty of Agriculture* 20: 73-81. Kagoshima University.
- Talledo, D. y C. Escobar
1994 "Análisis cariotípico comparativo en nueve especies del género *Solanum* L.". *Biotempo* 1 (1): 11-18. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Ricardo Palma, Lima.
1995a "El ciclo celular en vegetales: Su estudio, importancia y aplicaciones". *Biotempo* 2 (2): 13-31. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Ricardo Palma, Lima.
1995b "Citogenética de *Oxalis tuberosa*: Ciclo celular y número de cromosomas". *Biotempo* 2 (2): 33-46. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Ricardo Palma, Lima.
- Turkov, V., L. Guzhov Yu, G. Shelepin y S. Liyanarashni
1984 *Cromosomas de las plantas cultivadas y de sus predecesores silvestres*. Moscú, Ed. UDН. (En ruso).
- Yacovleff, E.
1933 "La jíquima, raíz comestible extinguida en el Perú". *Revista del Museo Nacional* 2 (1): 51-56.

ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS PARA CARACTERES CUANTITATIVOS DE PRODUCCIÓN DE SEMILLA EN MACA (*LEPIDIUM MEYENII*)

David Ponce Aguirre

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en Chaupimarca (4440 msnm), en la ciudad de Cerro de Pasco, en el Perú, durante 1993-95. Pretende responder a la interrogante: ¿cuál es el efecto de la autofecundación prolongada en una población de fase generativa de maca (*Lepidium meyenii*)? Igualmente, pretende probar la hipótesis: "En una población autógama de fase generativa de maca existe reducida variabilidad genotípica". El objetivo fue estimar la variabilidad genotípica de un grupo de caracteres cuantitativos de producción de semilla y establecer el método de mejora para el mejoramiento de los mismos.

En una muestra al azar de seis genotípos de maca se estimaron los parámetros genéticos para ocho caracteres de producción de semilla y para tres caracteres de producción de raíz-hipocótilo (fase vegetativa). Los datos se analizaron según un modelo jerárquico de efectos mixtos.

No se encontró variabilidad genotípica potencial (cvg) en los caracteres de producción de semilla (0%): área de la inflorescencia, diámetro de la inflorescencia, diámetro del tallo principal, peso fresco de la planta y número de ramas generativas principales, posiblemente porque los genotípos usados fueron el producto de varias generaciones de autofecundación. La altura de planta presentó el más alto valor (44%) que el resto de caracteres estudiados, pero su mejoramiento no es de importancia ya que no

RAÍCES Y TUBérculos ANDINOS. AVANCES DE INVESTIGACIÓN I, Tommy Fairlie, Marciano Morales Bermúdez y Miguel Holle, editores, págs. 163-176. Lima, Centro Internacional de la Papa (CIP) y Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), 1999.

conviene modificar el hábito arrosetado de la planta. La variabilidad fue reducida en los caracteres: número de ramas generativas secundarias (13%) y porcentaje de maduración (11.4%), y su mejoramiento reviste importancia ya que se hallan relacionados con el número de semillas y la precocidad, respectivamente.

En los caracteres de producción de raíces-hipocótilos (fase vegetativa) se encontró también variabilidad reducida en el peso (6%), longitud (5%) y diámetro (1.1%). Estos diversos grados de variabilidad genotípica se deberían a mutaciones naturales (bajo %), mezcla de semilla (voluntaria o involuntaria), cruzamiento natural (bajo %) y segregación poliploide octosómica ($8n=64$).

Los estimados de heredabilidad en sentido amplio (h^2) mostraron similares tendencias que sus variabilidades genotípicas. En cuanto a los caracteres de producción de semilla, en cinco fueron 0%, y en tres variaron del 11.4 al 44%; mientras que en los caracteres de la raíz-hipocótilo fluctuó del 1.1 al 6%. El más alto avance genético esperado en porcentaje de la media se halló en la altura de planta (58%), y el menor valor en el diámetro de la raíz-hipocótilo (0.16%). La varianza genética (varianza aditiva y sus interacciones), en estos caracteres varió del 0 al 42%, en tanto que la varianza ambiental osciló del 58 al 100%. Se concluye que en una población de maca de fase generativa existe reducida variabilidad genotípica y el método de mejora para ciertos caracteres es la selección familiar.

INTRODUCCIÓN

La maca (*Lepidium meyenii*) es una planta herbácea, bienal, que se encuentra distribuida en los pisos ecológicos Suni y Puna en la zona central de los Andes peruanos (Dpios, Junín y Pasco), entre altitudes de 3700 a 4500 msnm (Johns 1988, Tello et al. 1991, Aliaga 1995). Es una planta que presenta una roseta externa de hojas y un órgano subterráneo, reservante y suculento; formado por una parte de tejido del tallo (hipocótilo) y raíz pivotante verdadera con raicillas que es la parte comestible (L. Jon 1964, King 1988, Tello et al. 1991).

El color de la raíz-hipocótilo es bastante variable. Según Ponce (1995a), se han identificado seis colores básicos: crema, morado, rojo, blanco, plomo y negro, y dos combinaciones: morado-blanco (muru-blanco) y el morado-crema (muru-crema). Existen otras combinaciones que se diferencian por sus intensidades y distribuciones en la corteza.

En el primer año (fase vegetativa) se forma, a partir de la semilla botánica, una roseta de hojas que producen la raíz-hipocótulo. En el segundo año (fase generativa) la raíz-hipocótilo produce de uno a cinco tallos principales, los cuales desarrollan tallos en sentido circular y se ramifican en forma lateral formando panículas de inflorescencias compuestas que producen semillas botánicas (King 1988, Tello et al. 1991, Aliaga 1995).

Las hojas son compuestas y presentan dimorfismo; en plantas vegetativas son grandes pectioladas y numerosas y en las plantas reproductivas son pequeñas e irregulares (Léon 1964, Tello et al. 1991).

Las flores son pequeñas y blancuzcas, compuestas y hermafroditas de perianto persistente, cáliz cóncavo y pétalos dispuestos en forma de cruz. Se caracterizan por ser parcialmente cleistogámos y autógamos, cuya lórula (florales: X K₁C₁A₂G. El fruto es una silícula que contiene dos semillas de forma ovoide, lisas de color amarillo o pardo (Aliaga 1995).

En la producción de semilla botánica convencionalmente se siguen estos pasos: se seleccionan hipocótilos recién cosechados, sanos, de buen tamaño y con la raíz principal completa. Estos se guardan cubiertos con tierra dentro de pozas a manera de almácigos para que enraízen y broten los tallos generativos. Cuando los brotes han alcanzado unos tres centímetros de longitud (después de 45 días), se trasplantan las raíces hipocótilos al terreno definitivo y se usan distanciamientos de 0.60 a 0.70 m entre surcos y entre plantas (Tello et al. 1991, Aliaga 1995, Ponce 1995b).

El trasplante consiste en efectuar orificios en el suelo, en los cuales se deposita estéril de ovino, luego la raíz hipocótilo es colocada en sentido vertical con la raíz principal dirigida hacia abajo. Cuando la planta madura, se cosechan las flororescencias para hacerlas secar, y luego se trillan, vetean y se separan las semillas botánicas (Ponce 1995b, Aliaga 1995).

Estudios de recuentos cromosómicos en células madres del polen en la metosis indicaron que la maca es un octoploide de $2n=8x=64$ cromosomas que se aparean predominantemente como 32 bivalentes en la diakinesis y en la metafase I. Este tipo de apareamiento muestra que es un poliploide disomico (Quiros et al. 1996).

El género *Lepidium* comprende una serie poliploide con un número básico de $X=8$ cromosomas, agrupa especies diploides (2n), tetraploides (4n) y octaploides (8n). Las especies silvestres de maca *Lepidium pubescens*, *Lepidium bipinnatifidum*, *Lepidium virginicum* y *Lepidium chi-chicara*, presentaron los siguientes niveles de ploidía: 4n, 4n, 8n y 8n, respectivamente (Quiros y Aliaga 1996).

Quiros y Aliaga (1996) evaluaron 30 entradas diferentes de maca cultivadas y 21 entradas silvestres de maca provenientes del Perú y Bolivia con marcadores RAPD y RFLP, para ADNr, Cruciferinas, Napininas y secuencias de autoincompatibilidad y encontraron bajísimos polimorfismos entre las entradas. Así mismo, en otro estudio para establecer las distancias filogenéticas entre diversas entradas silvestres de maca empleando 75 marcadores RAPD, indicaron que ninguna de las especies silvestres evaluadas se encuentra siquiera ligeramente relacionada con la maca cultivada.

El género *Lepidium* está ampliamente distribuido en todo el mundo. Se le encuentran en todos los continentes excepto en la Antártida y agrupa aproximadamente 175 especies, siendo el más amplio dentro de las Brassicaceas. Este género posiblemente se originó en el Mediterráneo, donde se han encontrado la mayoría de especies diploides (Thellung 1906, Hewson 1982, Mummehof et al. 1992, citados por Quiros y Aliaga 1996).

La maca fue domesticada hace por lo menos 2000 años. En San Blas, provincia y departamento de Junín en el Perú, era ya conocida cuando los españoles llegaron a la zona del lago de Chinchaycocha, lago de Junín (Rea 1992).

Ponce (1995a) estimó de manera preliminar la variabilidad genotípica en una muestra al azar de 590 plantas de fase vegetativa de maca y encontró reducida variabilidad genotípica potencial entre el diámetro (0,8%) y la longitud comercial de la raíz-hipocótilo (1,2%). Los estimados de heredabilidad en sentido amplio fueron bajos, 1,2% y 3,4%, respectivamente, por lo que la respuesta esperada a la selección será muy pequeña o nula en cambiar la media poblacional de estos caracteres.

En cuanto al mejoramiento genético de la maca, Ponce (1995a) informa que se han efectuado recolecciones en la meseta del Bombón, logrando reunir 15 entradas entre especies cultivadas y silvestres que se vienen caracterizando y evaluando para diversos fines. Este material ha servido para iniciar un programa de selección individual y prueba de progenie por alto peso de raíz-hipocótilo, así mismo se están realizando hibridaciones experimentales entre los ocho ecotípos de maca con fines de estudios de herencia de ciertos caracteres cualitativos.

El presente trabajo se realizó para probar la hipótesis: "Una población de fase generativa de maca sometida a constante autofecundación presenta reducida variabilidad genética"; y los objetivos fueron estimar de manera preliminar los parámetros genéticos de algunos caracteres cuantitativos relacionados con la producción de semilla, así como proponer un método de mejora apropiado para dichos caracteres para desarrollar información básica que permita el mejoramiento por producción de semilla.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el barrio Alfonso Ugarte, distrito de Chaupimarcá, ciudad de Cerro de Pasco (4440 msnm), provincia y departamento de Pasco, durante las campañas 1993-95.

Los genotipos de maca (*Lepidium meyenii*) Rojo (M_1), Crema (M_2), Morado (M_3), Muru (M_4) –ecotipo de maca que presenta dos tipos de pigmentaciones, morado/crema y morado/blanco-, Blanco (M_5) y Plomo (M_6), fueron seleccionados al azar de una población original (mezclada) de maca de fase vegetativa (producción de raíces), sembrada por el autor en 1993, que incluía una mezcla de entradas recolectadas en los departamentos de Pasco y Junín, que comúnmente se cultiva en la meseta del Bombón (Ponce 1995b).

Estos 800 genotipos de maca fueron cosechados y luego enterrados en pozas para su conservación y brotamiento de tallos generativos (fase generativa), por un periodo de mes y medio en agosto de 1994. Las raíces hipocótilos brotadas se trasplantaron al campo definitivo haciendo pequeños hoyos en los cuales se aplicó fertilizante compuesto 12N-12P-12K, luego se adicionó estiércol de ovino, colocando las raíces

hipocótilos en líneas de diversos colores de diferente número, formando dos repeticiones (parcelas).

La unidad experimental consistió de un surco de 12,60 m de longitud, llevando 18 plantas espaciadas a 0,70 m. Los datos fueron tomados al azar de cinco plantas de cada genotípico y de cada repetición dentro del surco, y se expresaron en medias por planta.

Se evaluaron los siguientes caracteres cuantitativos de plantas y raíces-hipocótilos relacionados con la producción de la semilla botánica: peso fresco de la planta completa (g/pl), diámetro de la inflorescencia (cm/pl), área de la inflorescencia (cm²/pl), porcentaje de maduración (%), altura de planta (cm/pl), diámetro de tallo principal (cm/pl), número de ramas generativas secundarias (N°/pl), diámetro de la raíz-hipocótilo fresco (cm/pl), longitud comercial de la raíz-hipocótilo (cm/pl) y peso fresco de la raíz-hipocótilo (g/pl). El análisis estadístico de la información se efectuó mediante un modelo estadístico de efectos mixtos (modelo III), en clasificación jerárquica, y fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_{j(0)} + E_{k(0)} \\ i = 1, 2, \dots, s \text{ (parcelas) factor fijo} \\ j = 1, 2, \dots, d \text{ (genotípico) factor al azar} \\ k = 1, 2, \dots, p \text{ (plantas) factor al azar}$$

Y_{ijk} es el valor fenotípico de la parcela "i" en el ecotípico "j" y en la planta "k"; α_i es el efecto de la parcela "i"; $\beta_{j(0)}$ es el efecto del genotípico "j" dentro de la parcela "i"; $E_{k(0)}$ es el efecto de la planta "k" dentro de la parcela "i" y dentro del genotípico "j" (error experimental). Se consideran a " $\beta_{j(0)}$ " y $E_{k(0)}$ como variables no correlacionadas dentro ni entre ellas, con medias "O" y varianzas " σ^2_{β} " y " σ^2_e ", respectivamente (Kempthorne 1969, Steel y Torrie 1985).

Esquema del análisis de varianza del diseño jerárquico para el análisis de los caracteres cuantitativos y esperados cuadrados medios (modelo mixto).

F. V.	g.l	C. M.	E [C.M.]
Parcelas (P)	1	C M parcelas	$\sigma^2_e + 5 \sigma^2_{\beta} + 30 \sum \sigma^2_{i-1}$
Genotípicos (G)/p	10	C M genot.	$\sigma^2_e + 5 \sigma^2_{\beta}$
Plantas/G/P	48	C M planta	σ^2_e
TOTAL	59		

Mediante este análisis se pusieron a prueba las hipótesis:

$H_0: \sigma^2_{\alpha} = 0$ Los genotipos de maca no muestran variabilidad para un determinado carácter cuantitativo.

$H_1: \sigma^2_{\alpha} > 0$ Los genotipos de maca muestran variabilidad para un determinado carácter cuantitativo.

Los estimados de varianza se obtuvieron igualando los cuadrados medios a sus correspondientes esperados cuadrados medios del análisis de varianza y despejando la componente de interés (Dudley y Moll 1969, Kempthorne 1969, Falconer 1970, Márquez 1985, Reyes 1985).

La varianza fenotípica (σ^2_y) de los caracteres en estudio, se estimaron mediante la expresión: $\sigma^2_y = \sigma^2_g + \sigma^2_e$, donde σ^2_g es la varianza entre genotipos y σ^2_e la varianza ambiental (error experimental) (Falconer 1970, Márquez 1985, Reyes 1985).

La heredabilidad en sentido amplio (h^2), mediante $h^2 = \sigma^2_g / \sigma^2_y \times 100$. El coeficiente de variación genético (cvg) por cvg = σ_g / \bar{y}_g , donde σ_g es la desviación estándar entre ecotipos y \bar{y}_g es la media general del carácter (Dudley y Moll 1969, Falconer 1970).

La respuesta esperada a la selección (A_i): $A_i = ih^2\sigma_g$, donde "i" es la intensidad de selección al nivel del 5% en unidades estándar, cuyo valor es 2,06; y σ_g la desviación estándar fenotípica, se expresó en porcentaje de la media mediante la relación $A_i/\bar{y}_g \times 100$ (Allard 1967, Reyes 1985, Márquez 1985).

RESULTADOS

En este trabajo se ha supuesto que los genotipos estudiados representan una muestra al azar de la población de genotipos nativos cultivados de maca (*Lepidium meyenii*), a fin de hacer inferencias genéticas acerca de dicha población, de allí que no se dará importancia a los genotipos en particular.

El análisis de varianza (Tabla 3) indicó variabilidad altamente significativa ($P < 0,01$) entre los genotipos para el carácter altura de planta, y sólo variabilidad significativa ($P < 0,05$) para número de ramas generativas secundarias y porcentaje de maduración de las inflorescencias y no hubo variabilidad significativa ($P > 0,05$) para área de la inflorescencia, diámetro de la raíz-hipocótilo, longitud comercial de la raíz-hipocótilo, diámetro del tallo principal, peso fresco de la planta, diámetro de la inflorescencia, peso de la raíz-hipocótilo y número de ramas principales.

Las medias fenotípicas (\bar{Y}_{ij}) para cada uno de los once caracteres de planta y raíces-hipocótilos por genotipos de maca, se muestran ordenados en orden decreciente y en sentido horizontal en la Tabla 1.

En relación con la producción de semilla botánica, se observa que los genotipos Rojo (M_1), Blaneo (M_5), Morado (M_3), Plomo (M_6) y Crema (M_2), ocuparon los primeros lugares en orden de mérito, y destacaron en 3, 3, 2, 2 y 1 caracteres de planta y raíces-hipocótilos, respectivamente.

En la Tabla 2 se presentan los estimadores de los parámetros genéticos para cada uno de los caracteres cuantitativos de la producción de semilla (fase generativa) en la maca. La amplitud más alta corresponde al carácter área de la inflorescencia (201,6 -

1734,95 cm²/pl.), mientras que el diámetro del tallo principal presenta el menor valor (0,4 - 1,3 cm/pl.). Similares tendencias muestran sus medias fenotípicas generales (809,13 cm² 0,76 cm/pl., respectivamente).

El coeficiente de variación genética varió de 1,08% a 43,66% para el diámetro de la raíz-hipocótilo y la altura de planta, respectivamente, mientras que en los

Tabla 1. Comparación de medias fenotípicas de once caracteres cuantitativos de producción de semilla botánica (\bar{Y}_{ij}) de seis genotipos de maca (*Lepidium meyenii*) en la fase generativa, Chaupimarcá, Cerro de Pasco (4440 msnm), durante 1995-96.

CARACTER	GENOTIPOS					
	M_1 =Rojo	M_2 =crema	M_3 =Morado	M_4 =Muru	M_5 =Blanco	M_6 =Plomo
Altura de planta (cm/pl)	M_3 6,79	M_2 5,92	M_1 3,62	M_4 3,38	M_5 2,57	M_6 2,52
Área de inflorescencia (cm ² /pl)	M_1 887,424	M_5 836,059	M_3 809,277	M_6 800,558	M_4 793,648	M_2 727,830
*Num. ramas generat. Principales (n1/pl)	M_6 1,3	M_2 1,1	M_1 1,0	M_5 1,0	M_4 1,0	M_3 1,0
Diámetro de inflorescencia (cm/pl)	M_1 33,3	M_3 31,9	M_5 31,9	M_4 30,7	M_6 30,5	M_2 29,7
Diámetro del tallo princ. (cm/pl)	M_5 0,81	M_3 0,80	M_6 0,77	M_4 0,75	M_1 0,73	M_2 0,68
Peso fresco de la planta (g/pl)	M_5 168,5	M_6 162,0	M_4 160,5	M_3 152,0	M_2 126,0	M_1 125,0
*Porcentaje de maduración (%)	M_2 77,312	M_3 76,070	M_4 69,946	M_1 60,491	M_6 60,168	M_5 56,960
*Num.ramas general. Sec. (n1/pl)	M_6 5,723	M_4 4,948	M_5 4,843	M_1 4,436	M_3 3,902	M_2 3,840
Diámetro raíz-hipocótilo (cm/pl)	M_3 2,64	M_4 2,63	M_2 2,50	M_5 2,44	M_6 2,34	M_1 2,33
Longitud raíz-hipocótilo (cm/pl)	M_1 2,47	M_2 2,42	M_6 2,42	M_5 2,29	M_4 2,23	M_3 2,01
Peso raíz-hipocótilo (g/pl)	M_5 24,5	M_2 24,0	M_4 24,0	M_6 23,4	M_3 23,0	M_1 21,0

* Datos transformados $(X+0,5)^{1/2}$, $(X)^{1/2}$, seno del arco X, respectivamente

caracteres cuyos coeficientes de variación genética fueron 0% como en los casos de área de la inflorescencia, número de ramas generativas principales, diámetro de inflorescencia, diámetro del tallo principal y peso fresco de la planta completa, no existe variabilidad genética potencial, por lo que se espera respuesta nula (0%) a la selección.

El estimado de heredabilidad en sentido amplio para altura de planta, fue uno de los más altos en todo el experimento (41,9%), mientras que resultó medio para número de ramas generativas secundarias (23%) y el porcentaje de maduración (22,4%).

Entre los tres caracteres cuantitativos de la raíz-hipocótilo que interesan mejorar en la fase vegetativa (producción de raíz-hipocótilo), el peso presentó una heredabilidad mayor (12%) que sus componentes directos, longitud comercial (5,72%) y diámetro de la raíz-hipocótilo (0,6%).

El más alto avance genético esperado en porcentaje de la media se obtuvo para altura de planta (58%), seguido por la longitud comercial de la raíz-hipocótulo (37,7%), el número de ramas generativas secundarias (12%), y el porcentaje de la maduración de la inflorescencia (11,06%).

El análisis de los componentes de varianza, mediante la partición de la varianza fenotípica en sus componentes genético (σ^2_g) y ambiental (σ^2_e) en proporción a la varianza fenotípica (σ^2_g) para cada uno de los caracteres en estudio, se muestran en la Tabla 3. En la estimación de los componentes de varianza se observaron algunos estimadores de varianza genética negativos ($\sigma^2_g < 0$). En virtud de que los parámetros verdaderos no pueden ser negativos, dichos estimadores se deben interpretar como estimadores de varianza con valor cero (0%).

Se aprecia que no existe variabilidad genética en cinco caracteres (0%), mientras que en el resto varió de 1 al 42%, indicando que los efectos ambientales están afectando en diferente grado la expresión fenotípica de los demás caracteres cuantitativos.

DISCUSIÓN

La no significación estadística ($P>0,05$) encontrada en ocho caracteres cuantitativos, corroboraría que en una especie autogama como la maca no debería existir suficiente variación genética como consecuencia de la autofecundación continua y prolongada a la que suele someterse dicha especie. Se infiere que estos caracteres no presentan posibilidades de mejoramiento, ya que la selección sólo actúa cuando existe variación genética. Se rechaza la "Ho" y se concluye que las evidencias muestrales indican variabilidad en la altura de planta ($P<0,01$), en el número de ramas generativas secundarias ($P<0,05$) y porcentaje de maduración de la inflorescencia ($P<0,05$) que se deberían posiblemente al cruzamiento natural (bajo porcentaje); y en la ocurrencia de mutación natural (casual), mezcla de semilla de diferentes genotípos

Tábla 2. Rango (R), media genotípica general (X) coeficiente de variación genotípica (cvg), heredabilidad en sentido amplio (h^2). Respuesta esperada a la selección (A_s) de once caracteres cuantitativos, en una población de maca (*Lepidium meyenii*), de fase generativa (producción de semilla) en Chauquimata, Cerro de Pasco (4440 msnm), durante 1994-95.

CARÁCTER	R	X	Cvg (%)	h^2 (%)	A_s (%)
Altura de Planta (cm/pl)	3,00 - 9,50	4,93	43,66	41,90	58,06
Área de la inflorescencia (cm ² /pl)	201,60 - 1734,95	689,13	0,00	0,00	0,00
Número Ramas Generat. Prin. (N1/pl)	1,00 - 4,00	1,24	0,00	0,00	0,00
Diametro de inflorescencia (cm/pl)	15,00 - 47,00	31,30	0,00	0,00	0,00
Diametro del tallo princ. (cm/pl)	0,40 - 1,30	0,76	0,00	0,00	0,00
Peso fresco de la planta (g/pl)	40,00 - 315,00	149,00	0,00	0,00	0,00
Porcentaje de maduración (%)	39,23 - 90,00	66,82	11,37	22,40	11,06
Nº Ramas Generat. Sec. (N2/pl)	2,24 - 8,19	4,62	12,71	23,00	12,00
Diametro raíz-hipocótilo (cm/pl)	1,90 - 3,20	2,48	1,08	0,60	0,16
Longitud raíz-hipocótilo (cm/pl)	1,30 - 3,50	2,31	4,63	5,72	37,66
Peso raíz-hipocótilo (g./pl)	10,00 - 30,00	23,32	5,86	12,00	4,16

* Datos transformados ($X+0,5)^{1/2}$; (X/Y)^{1/2}, seno del Arco X; respectivamente.

(involuntaria) y efectos de la poliploidía ($8n=64$), que serían los principales factores de la variación natural en una especie que se considera como normalmente autógama (Allard 1967, Márquez 1985, Reyes 1985, Molina 1992).

De estos tres caracteres, los dos últimos revisten especial importancia, ya que el número de ramas generativas secundarias se halla relacionado con la producción de inflorescencias axilares, terminales y consiguiente producción de semilla botánica. En tanto que el carácter porcentaje de maduración se encuentra asociado con el ciclo biológico de la planta generativa, que como sabemos es bastante prolongado (> 5 meses), la variabilidad existente en este carácter permitiría la selección de plantas precoz (< 5 meses) para aprovechar con mayor eficiencia la corta duración de la temporada de lluvia en la meseta del Bombón (5 meses) y de esta forma asegurar la producción de semilla cuando ocurren sequías que se presentan muy frecuentemente a tales altitudes (> 4000 msnm).

En la comparación de medias (Tabla 1), los genotípicos de maca que destacaron fueron los siguientes: en altura de planta, el "Morado" (6,79 cm/pl); en área de inflorescencia, el "Rojo" (887,24 cm²/pl); en número de ramas generativas secundarias, el "Plomo" (5,723 N^o/pl); en número de ramas generativas principales, el "Plomo" (1,3 N^o/pl); en diámetro del tallo principal, el "Blanco" (0,81 cm/pl); en peso fresco de la planta completa, el "Blanco" (168,5 g/pl); en porcentaje de la inflorescencia ($77,312\%$); en diámetro de la inflorescencia, el "Rojo" (33,3 cm/pl); en diámetro de la raíz-hipocótilo, el "Morado" (2,64 cm/pl); en longitud de la raíz-hipocótilo, el "Rojo" (2,47 cm/pl); y en peso de raíz-hipocótilo, el "Plomo" (24,5 g/pl).

Tabla 3.- Varianza genética (σ^2_p), varianza ambiental (σ^2_e) en proporción a la varianza fenotípica (σ^2_f) para once caracteres cuantitativos de producción de semilla en la maca (*Lepidium meyenii*); en Chaupimarcá (4440 msnm), Cerro de Pasco, durante 1995-96.

CARÁCTER	σ^2_p / σ^2_p	σ^2_e / σ^2_p	σ^2_p
Altura de planta (cm/pl)	3,09515 **	4,29108	7,38623
%	42	58	100
Área de la inflorescencia (cm ² /pl)	0,00000	153405,55630	153405,55630
%	0	100	100
Número. ramas generat. princ. (Nº/pl)	0,00000	0,01566	0,01566
%	0	100	100
Diámetro de inflorescencia (cm/pl)	0,00000	60,46667	60,46667
%	0	100	100
Diámetro del tallo princ. (cm/pl)	0,00000	0,03408	0,03408
%	0	100	100
Peso fresco de la planta (g/pl)	0,00000	4261,25001	4261,25001
%	0	100	100
Porcentaje de maduración (%)	57,76041 *	199,03759	256,79800
%	23	77	100
N.º. Ramas generat. sec. (Nº/pl)	0,34504 *	1,15268	1,49772
%	23	77	100
Diámetro raíz-hipocótilo (cm/pl)	0,00072	0,11333	0,11405
%	1	99	100
Longitud raíz-hipocótilo (cm/pl)	0,01142	0,18817	0,19959
%	6	94	100
Peso raíz-hipocótilo (g./pl)	1,87000	13,66667	15,53667
%	12	88	100

*; ** Significativo al 0,05 y 0,01 de probabilidad, respectivamente.

En virtud de que cinco de once caracteres de producción de semilla están afectados completamente por los efectos ambientales (0%), se espera una respuesta nula a la selección. En el resto de caracteres la variabilidad relativa varió de 1,08 a 43,66% que corresponden al diámetro de la raíz-hipocótilo y altura de planta, respectivamente (Tabla 2). Los máximos valores del coeficiente de variación genética (43,66%) y la heredabilidad (41,9%) encontrados en la altura de planta, indican un rápido progreso (58,06%) en el mejoramiento por selección de plantas de menor altura (<10 cm). Ahora bien, considerando que el fitomejorador de especies autógamas toma especial interés en explotar la varianza genética aditiva y ésta se incrementa conforme avanzan las generaciones de autofecundación, se espera que la selección individual sea el método más adecuado y apropiado para el mejoramiento de este carácter.

El éxito de la selección de los caracteres número de ramas generativas secundarias, porcentaje de maduración de la inflorescencia (roseta) cuyas variabilidades genotípicas potenciales fueron moderadas (12,71 y 11,37%, respectivamente) y de heredabilidades medias (23,0 y 22,4%, respectivamente), dependerá principalmente del método de selección y de la presión de selección que se aplique en la población de fase generativa;

pudiéndose sugerir el uso de métodos de mejora basados en la selección familiar. En los caracteres de fase vegetativa que se evaluaron adicionalmente: diámetro, longitud y peso de la raíz-hipocótilo cuyas variabilidades genotípicas potenciales fueron relativamente bajas (1,8 a 5,86%) y de heredabilidades bajas (0,6 a 12%), se justifica la introducción de material genético de la zona alta del valle del Mantaro (C.C Jarpa, Yanacancha, Puquio, Achipampa) y el uso de métodos genotécnicos basados en la selección familiar bajo cualquiera de sus modalidades: entre familias, dentro de familias o selección combinada. De estos caracteres sólo la longitud comercial (espesor comestible) es el componente directo de mayor interés, ya que si bien su heredabilidad resultó baja (6%), sin embargo su valor del avance genético esperado indica un rápido progreso en el mejoramiento por selección de este carácter por lo que sería un buen indicador del peso (rendimiento) de la raíz-hipocótilo, en caso de encontrarse correlacionado genotípicamente en forma positiva con el carácter de interés para iniciar un programa de mejoramiento basado en la selección indirecta.

Sobre esta base queda reconocido que las poblaciones endémicas de especies autógamas están constituidas por una mezcla de genotipos altamente homocigóticas (población heterogénea-homocigota), en los cuales la selección natural ha eliminado muchos genes recesivos con efectos deletéreos.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados y bajo las condiciones en las cuales se llevó a cabo este experimento, se concluye lo siguiente:

- La estimación preliminar de los parámetros genéticos de los once caracteres cuantitativos de producción de semilla (fase generativa), indican:
 - Nula e inexistente variación genotípica potencial (0%) presente en los caracteres: área de la inflorescencia, diámetro de la inflorescencia, diámetro del tallo principal, peso fresco de la planta completa y número de ramas generativas secundarias.
 - Moderada variabilidad genotípica potencial existente en los caracteres: número de ramas generativas secundarias (12,71%) y porcentaje de maduración de la inflorescencia (11,37%).
 - Alta variabilidad genotípica potencial existente en la altura de planta (44%).
- El éxito de la selección de los caracteres número de ramas generativas secundarias y porcentaje de maduración de la inflorescencia dependerá principalmente del método y de la presión de selección.
- Excepto el carácter altura de planta, el método de mejoramiento más apropiado para la mayoría de caracteres será la selección familiar y sus variantes: interfamiliar, intrafamiliar o combinada.
- La estimación preliminar de los parámetros genéticos de tres caracteres de producción de la raíz-hipocótilo (fase vegetativa), indican:
 - Reducida variabilidad genotípica potencial presente en los caracteres: peso (6%), longitud (5%) y diámetro de la raíz-hipocótilo (1,0%).

- La longitud comercial de la raíz-hipocótilo (altura o espesor comestible) es el componente directo de mayor interés para efectuar selección indirecta por alto peso de raíz-hipocótilo.
- c) Se acepta la H_1 , es decir que en una "población autógama de maca (*Lepidium meyenii*) generativa existe reducida variabilidad genotípica".

RECOMENDACIONES

1. Emplear la selección individual para mejorar la altura de la planta generativa dirigiendo la mejora hacia plantas de menor altura (<10 cm).
2. Emplear la selección familiar para el mejoramiento del número de ramas generativas secundarias y el porcentaje de maduración de la planta generativa.
3. Emplear la selección familiar combinada para el mejoramiento del peso, diámetro y longitud comercial de las raíces-hipocótilos.
4. Estudiar la descendencia de las plantas individuales de los ecotipos de maca seleccionados por alto peso de raíz-hipocótilos y otros caracteres favorables.

AGRADECIMIENTO

El autor agradece sinceramente al Dr. Miguel Holle, Coordinador del Programa Colaborativo Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos (CIP-COTESU) por sus valiosas sugerencias, críticas y revisión del manuscrito original que permitieron mejorarlo. Igualmente agradece al CONDESAN por el financiamiento económico y a los señores Bach. Rubén Quispe Espinoza, asistente de campo y Prudencio Vega M., propietario del Fundo "El Milagro", Callaway, Junín.

BIBLIOGRAFÍA

- Aliaga, C. R.
1995 *Biología floral de la maca (Lepidium meyenii Walp.)*. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Altard, R. W.
1967 *Principios de la mejora genética de las plantas*. 1ra. Edic. Trad. J. L. Montoya. Barcelona, Editorial Omega S.A.
- Chacón, D. E. y G. Popovici
1990 "La maca (*Lepidium peruvianum* Chacón sp.nov.) y su hábitat". *Revista Peruana de Biología* 3 (2): 171-267.
- Dudley, J. W. y R. H. Moll
1969 "Interpretation and use of estimates of heritability and genetics variances in plant Breeding". *Crop Science* 9 (3): 257-262.

- Falconer, D. S.
1970 *Introducción a la genética cuantitativa*. Trad. F. Márquez S. México, CECyTA.
- Johns, T.
1981 "The aña and the maca". *Journal of Ethnobiology* 1 (2): 208-212.
- Kempthorne, O.
1969 *An Introduction to Genetics Statistics*. Iowa, The Iowa University Press.
- King, S. R.
1988 *Economic Botany of the Andean Tuber Crop Complex: Lepidium meyenii, Oxalis tuberosa, Tropaeolum tuberosum and Ullucus tuberosus*. PhD. Thesis, the City University of New York.
- León, J.
1964 "The maca (*Lepidium meyenii*) a little know food plant of Perú". *Economic Botany* 18 (2): 122-127.
- Márquez, S. F.
1985 *Genetecnia vegetal. Tomo II. Métodos, teoría y resultados*. México, AGT Editor S.A.
- Molina, G. J.
1992 "Mejoramiento genético en autógamas como alogamas. I. Análisis teórico conceptual". En: *Producción y genetecnia de plantas autógamas*, F. Márquez S., editor. 1ra. Edición, México D. F.
- Ponce, A. D.
1993 Producción de semilla de alta calidad de maca (*Lepidium meyenii*) mediante selección individual y prueba de progenie. Informe Técnico de avance, Dic. 1993 del Sub Proyecto R4-009. Lima, CIP-UNDAC.
1995a "Estimación de parámetros genéticos para once caracteres en una población de Maca (*Lepidium meyenii* Walp) de fase generativa (producción de semilla)". En: *3er. Congreso Peruano de Genética SPG*, págs. 95-97. Lima.
1995b Producción de semilla básica de maca (*Lepidium meyenii*) mediante selección individual y prueba de progenie para los agricultores de Pasco y Junín. Informe Técnico, Agosto-Julio. Lima, CIP-UNDAC.
1995b Producción de semilla de alta calidad de maca (*Lepidium meyenii* Walp) mediante selección individual y prueba de progenie. Informe técnico. Subproyecto: R4-009, CIP-COTESU, UNDAC Pasco.
- Quiros, C. F. y C. R. Aliaga
1996 *Genetics Resources of Maca*. Manuscrito Original. University of California en Davies y Dpto. de Horticultura, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

- Quiros, C. E., A. Epperson, J. Hu y M. Holle
1996 "Physiological studies and determination of chromosome number in maca, *Lepidium meyenii*(Brassicaceae). *Economic Botany* 50 (2): 216-223.
- Rea, J.
1992 "Raíces andinas, maca". En: *Cultivos Marginados, Otra Perspectiva de 1942*, B. Hernández y J. E. León, editores, págs. 163-166. Roma, FAO.
- Reyes, C. P.
1985 *Fitogenotecnia básica y aplicada*. México, AGT Editor S.A.
- Steel, G. D. y J. H. Torrie
1985 *Bioestadística principios y procedimientos*. Trad. R. Martínez. Mc. Graw-Hill.
- Tello, J., M. Hermann y A. Calderón
1991 "La maca (*Lepidium meyenii* Walpers), cultivo alimenticio potencial para las zonas altoandinas". En: *VII Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos: Resúmenes* (La Paz, 4-8 Feb. 1991), pág. 57. La Paz, Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria (IBTA) y CIRD.

VARIABILIDAD DE FAMILIAS S₁ Y SELECCIÓN COMBINADA POR PESO DE RAÍZ-HIPOCOTILO EN UNA POBLACIÓN SELECTA DE MACA (*LEPIDIUM MEYENII*) DE FASE VEGETATIVA

David Ponce Aguirre

RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo en el fundo "El Milagro" en Callaway, ubicado en la provincia y departamento de Junín en el Perú, a 4400 msnm. Los objetivos fueron conocer la variabilidad existente en un grupo de ecotipos de maca (*Lepidium meyenii*), y evaluar los resultados de un ciclo de selección familiar combinada.

En 1994-95, en un campo de fase generativa (producción de semilla), se seleccionaron las mejores inflorescencias provenientes de autofecundación de los ecotipos: Crema, Morado, Blanco, Muru, Muru Blanco, Muru Crema, Plomo y Rojo, y se obtuvieron sus semillas botánicas. En 1995-96 se sembraron 373 familias S₁ de diferente número de progenies, en inflorescencias por surcos (10,0 x 0,40 m). La cosecha se hizo en forma individual juntando las raíces-hipocótilos producidas por cada familia S₁, y se registró el número y el peso total, los cuales se expresaron en peso promedio (g/pl). Los datos se analizaron mediante un diseño jerárquico bajo el modelo II y se estimaron: medias (x), varianzas (s²), coeficientes de variación genética (CVG), respuesta a la selección (A_s), heredabilidad en sentido amplio (h²), y se aplicó selección familiar combinada priorizando la selección intrafamiliar.

Los ecotipos de maca mostraron variabilidad en peso de raíces-hipocótilos (P<1,00). La varianza entre ecotipos fue de menor magnitud (5%) que la varianza dentro de

RAÍCES Y TUBÉRCULOS ANDINOS. AVANCES DE INVESTIGACIÓN I, Tommy Fairlie, Marciano Morales Bermúdez y Miguel Holle, editores, págs. 177-190. Lima, Centro Internacional de la Papa (CIP) y Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), 1999.

familias (95%), probablemente por segregación genética poliploide disómica ($2n=8x=64$) y efectos ambientales.

Se infiere que las familias S_1 son heterocigóticas y que existe variación genética (varianza aditiva e interacciones) entre progenies dentro de las familias, por lo que es conveniente y justificable el uso de métodos basados en la selección familiar.

Entre los ecotipos existe escasa variabilidad genética potencial (1%); la heredabilidad resultó baja (5%), por lo que la selección será nula e inefectiva en cambiar la media poblacional del carácter bajo estudio. El Plomo produjo las familias de más alto peso promedio de raíz-hipocótilo (40,61 g/pl), mientras que el Rojo las familias de menor peso (24,02 g/pl). En un primer ciclo de selección combinada por alto peso de raíz-hipocótilo, de 373 familias S_1 con 23 523 progenies autofecundadas, se han seleccionado interfamiliarmente 369 familias S_1 (99%), e intrafamiliarmente las 12 progenies superiores de cada familia independientemente de sus medias familiares que suman 4 463 (20%). En la actualidad estos materiales continúan evaluándose en la fase S_2 , en condiciones de campo, con miras a generar una nueva población selecta y seleccionar exitosamente un grupo de genotipos para liberar una variedad multilinal por alto peso de raíz-hipocótilo y otras características favorables.

INTRODUCCIÓN

La maca (*Lepidium meyenii*) es un cultivo altoandino que crece y se desarrolla en los ecosistemas Suni y Puna de los departamentos de Pasco y Junín en el Perú, entre altitudes de 3000 a 4500 msnm (León 1964, Tello et al. 1992). Es una planta herbácea bienal que crece vegetativamente (1er año) y reproductivamente (2do año). La fase vegetativa se caracteriza por el crecimiento y desarrollo de la raíz-hipocótilo, mientras que en la fase generativa se producen panículas de inflorescencias compuestas de forma circular (pita) que producen frutos y semillas botánicas (King 1988, Tello et al. 1992, Aliaga 1995, Ponce 1995b). La planta vegetativa presenta hábito de crecimiento arrosetado con hojas distribuidas alrededor del tallo en forma de roseta, y que producen luego de siete meses un órgano carnoso, ensanchado y suculento formado por una parte del tejido de tallo (hipocótilo) y de la raíz verdadera pivotante, denominado raíz-hipocótilo (León 1964, Tello et al. 1992, Aliaga 1995, Ponce 1995b).

Según Ponce (1995a), la raíz-hipocótilo presenta diferentes formas: esférica, ovalada, discoidal, napiforme, claviforme, cónica y bifurcada; así como también diversas coloraciones: crema, morado, rojo, blanco, plomo y negro, y combinaciones de colores: morado-blanco (muru-blanc), morado-crema (muru-crema) y otras más que se diferencian por las tonalidades y distribuciones de los colores básicos. Las hojas presentan dimorfismo foliar; en las plantas vegetativas son grandes, compuestas, pecioladas y de diferentes formas: pinnatilobadas, pinnatisidas, pinnatisectas y pinnatipartidas (Chacón 1990, Ponce 1995b).

La planta está compuesta de flores pequeñas, actinomorfas, hermafroditas, con cuatro pétalos persistentes de forma cóncava, cuatro pétalos de color blanco; el

androceo está formado por dos estambres de dehiscencia longitudinal y cuatro nectarios; el gineceo presenta ovario supero ancho y ligeramente aplanado, bicarpelar y bilocular de placentación tabical superior, de estilo reducido y estigma pequeño, globoso y abultado, la antesis dura tres días y es parcialmente cleistogama (Aliaga 1995).

La maca es una planta que se caracteriza por su alta tolerancia a las heladas, comparable a los pastos naturales. Crece y se desarrolla en un hábitat sobre los 4000 msnm (Meseta del Bombón), donde la temperatura promedio diurna llega a 18 °C, y la temperatura promedio nocturna es de 8 °C. En estas zonas las heladas son frecuentes y la temperatura puede descender hasta los -10 °C. La humedad relativa promedio es de 70%, y los suelos son franco arenosos o franco arcillosos y ácidos de pH 5 o menor (Tello et. al. 1992, Aliaga 1995).

El cultivo convencional de maca se realiza en pequeñas parcelas de terrenos que han servido como corrales para animales y donde el estiércol se ha acumulado. Se prepara el suelo con *chakitaclla*, *casbu* o pico y luego se desterrona y mulle. Seguidamente se siembra al voleo y se hacen pasar ovinos para cubrir la semilla (León 1964, King 1988, Chacón 1990, Tello et al. 1992). En cambio, el cultivo comercial en grandes extensiones (> 0,5 ha) utiliza el tractor agrícola para la preparación del suelo, se efectúa roturación, rastreo y nivelación y luego se siembra al voleo y se cubre la semilla con un pasaje de rastro o animales (Ponce 1995b). Las raíces-hipocótilos son consumidas frescas y sancochadas o asadas en terrones incandescentes (*pacbamanca* o *huatia*), después de la cosecha, o también son secadas al medio ambiente para su conservación, almacenamiento y posterior uso en cocteles, bebidas, mazamorras y otros preparados (León 1964, King 1988, Chacón 1990, Tello et al. 1992). En la actualidad, la raíz-hipocótilo es utilizada intensivamente por la industria farmacéutica para la obtención de cápsulas, extractos, comprimidos y para mezclar con otras plantas medicinales en forma de medicamento para incrementar la fertilidad, como reconstituyente, estimulante del metabolismo, afrodisíaco, etc.; es por esta última propiedad que se le conoce como el "gingsen peruano" (Rea 1992, Tello et al. 1992).

Según la creencia folklórica de la zona, la maca incrementa la fertilidad de las personas y de los animales domésticos que se hallan restringidos por la altitud en que viven (> 4000 msnm) (León 1964). Experimentos realizados en ratas albinas hembras mostraron un incremento de la fertilidad en un 25% y un aparente desarrollo en los folículos de Graff (Chacón 1990). Diversos análisis químicos efectuados en la raíz-hipocótilo indicaron que la propiedad medicinal se debe específicamente a un compuesto orgánico denominado el "p-metoxibenzil isotiocianato", que también se ha encontrado en la mashua o añu (*Tropaeolum tuberosum*) (Johns 1981).

El valor nutritivo de la maca es comparable al de los cereales: maíz, arroz y trigo. La raíz-hipocótilo fresca contiene 80% de agua, mientras que seca presenta la siguiente composición: 59% de carbohidratos, 10,2% de proteínas, 8,5% de fibra y 2,2% de grasas. Además, contiene diversos aminoácidos esenciales y ácidos grasos no saturados, como el linoleico, el palmitico y el oleico. Es también rico en esteroideos y minerales, principalmente Ca, Fe y Cu. También se han encontrado diversos alcaloides, pero estos aún no han sido identificados (Dini et al. 1994).

Aliaga (1995) señala que la clasificación sistemática de la maca es la siguiente: Orden: *Capparales*, Familia: *Brassicaceae (Cruciferae)*; Tribu: *Lepidieae*; Sección: *Monoploca*; Género: *Lepidium*; y Especie: *L. Meyenii* Walp. Las especies silvestres de maca se encuentran distribuidas en el continente sudamericano en el Perú, Bolivia, Ecuador y Argentina (King 1988, Quiros et al. 1996). Comprende aproximadamente 175 especies, siendo el género más numeroso dentro de las Brassicaceas. El género *Lepidium* probablemente se originó en el Mediterráneo, donde se han encontrado la mayoría de especies diploides (Quiros et al. 1996).

Ponce (1995b) efectuó una recolección de especies silvestres y cultivadas de maca en la meseta del Bombón, logrando reunir 15 entradas, que se conservan en la Escuela de Agronomía de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en Pasco, Perú. Este material viene siendo caracterizado y evaluado para diferentes fines y ha servido para iniciar un programa de mejoramiento genético basado en la selección individual con prueba de progenie por alto peso de raíz-hipocótilo.

Aliaga (1995) informa de la recolección de 38 entradas cultivadas y 29 entradas silvestres de maca realizada en los alrededores del Lago de Junín y en la parte alta del valle del Mantaro, las cuales se conservan en la Universidad Nacional Agraria "La Molina" de Lima (Perú).

Molina (1992) y Reyes (1985) señalan que la variación fenotípica de un carácter cuantitativo se expresa por la siguiente expresión: $\sigma^2_p = \sigma^2_{g_e} + \sigma^2_{e_a} + \sigma^2_{g_g}$; donde $\sigma^2_{g_e}$ es la varianza de la interacción genotipo por ambiente, $\sigma^2_{e_a}$ es la varianza ambiental y $\sigma^2_{g_g}$ es la varianza genética, que se puede subdividir en varianza aditiva (σ^2_A), de dominancia (σ^2_D) y epistática (σ^2_E).

Ponce (1995a) estimó la variabilidad de once caracteres cuantitativos en una población de maca de fase generativa (producción de semilla) y encontró que la varianza genética en seis caracteres fue 0%, mientras que el resto varió de 1 a 42%; concluyendo que los efectos ambientales afectaron en diferente grado la expresión fenotípica de estos caracteres.

En la fase vegetativa (producción de raíz-hipocótilo), Ponce (1995b) encontró que la varianza genética para longitud comercial fue de 4%, en tanto que para diámetro de raíz-hipocótilo fue de 1%, concluyendo que ambos caracteres están altamente influenciados por los efectos ambientales, por lo que el avance genético esperado por selección será mínimo.

Quiros y colaboradores (1996) efectuaron contejos cromosómicos en células madres del polen, observando en la meiosis 32 bivalentes durante la diakinesis y la metafase I, y concluyeron que la maca es un octaploide de comportamiento poliploide disómico de $2n=8x=64$ cromosomas.

Estudios recientes realizados en biología floral y reproductiva, por Aliaga (1995), Ponce (1995b) y Quiros et al. (1996), confirman que la maca es una especie normalmente autógama. La variación natural que se puede hallar dentro de una

población de plantas autógamas depende de la ocurrencia de cruzamiento natural (en bajo porcentaje), mutaciones naturales (casuales) y la mezcla de semillas (involuntarias) provenientes de otras plantas (Allard 1967, Márquez 1985, Reyes 1985).

La selección familiar es un procedimiento que consiste en tomar el valor fenotípico individual para obtener la media familiar y en base a este valor se escogen o se rechazan familias completas. La selección se hace entre familias, dentro de familias, o combinada (Márquez 1985, Molina 1992).

El presente experimento se efectuó para probar la hipótesis: "Los ecotipos de maca producen por autofecundación familiar variables en peso de raíz-hipocótilo". Los objetivos fueron: a) estimar de manera preliminar la variabilidad en una población de autofecundación de fase vegetativa; y b) evaluar los resultados de un ciclo de selección familiar combinada por alto peso de raíz-hipocótilo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el fundo "El Milagro" en Callaway (4400 msnm), provincia y departamento de Junín en el Perú, durante las campañas 1994 - 1996. Se emplearon 373 familias S₁ de diferente número de progenies, derivados de la autofecundación de ocho ecotipos de maca (*Lepidium meyenii*), los cuales fueron:

Nº	Ecotipo	Clave	N1 Fam.S1	Origen
1	Crema	CR95S1	71	Carhuamayo, Junín
2	Morado	MO95S1	92	Huayre, Junín
3	Blanco	BL95S1	21	Shalipayco, Carhuamayo
4	Muru	MU95S1	90	Yanacancha, Junín
5	Muru Blanco	MB95S1	06	Huayre, Junín
6	Muru Crema	MC95S1	11	Ninacaca, Pasco
7	Plomo	PL95S1	13	Ninacaca, Pasco
8	Rojo	RO95S1	69	Ninacaca, Pasco
			373	

Se asume que estos ecotipos representan una muestra tomada al azar del germplasma de maca. Este material se originó de la selección de las mejores inflorescencias (plantas generativas del 2do año) de un campo de maca trasplantando con raíces-hipocótilos distribuidas en surcos por colores. El procedimiento seguido fue el siguiente:

1. En 1994, en un campo de fase generativa (semillero), en la madurez se marcaron con estacas las mejores plantas generativas (inflorescencia o rosetas) de cada ecotipo, por tipo, sanidad de planta y aspecto de la inflorescencia.

2. En la cosecha estas inflorescencias se llenaron en bolsas de papel, se trasladaron a la ciudad de Cerro de Pasco (4380 msnm) para continuar con el secado, trilla y venteo de las inflorescencias por separado hasta obtener todas las semillas botánicas, las que se guardaron en sobres con su correspondiente identificación.

3. En 1995 las semillas de las familias S_i (373), fueron sembradas en surcos individuales (progenie por surco) de 10,0 m de longitud llevando diferente número de plantas de una misma inflorescencia, espaciadas a 10 cm; la separación entre surcos fue de 40 cm. Las inflorescencias por surco se agruparon por colores de raíces-hipocótilos (ecotipos).

4. Se aplicó fertilización mineral empleando una dosis 12N:12P:12K, a chorro continuo y al fondo de surco, seguidamente se adicionó estiercol de ovino, y luego se efectuó la siembra a chorillo a lo largo del surco y se cubrió la semilla con un pasaje de rastrillo.

5. La conducción y manejo fue como cualquier cultivo convencional de maca de fase vegetativa (1er año). Al final del ciclo se cosecharon individualmente la producción de los surcos progenie, se registró el número total de raíces hipocótilos, luego se llenaron en mallas y se pesaron; los resultados se expresaron en peso promedio por familias (g/pl).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de los pesos de las raíces-hipocótilos de las familias S_i , derivados de los ocho ecotipos, se realizó bajo el Modelo II (efectos aleatorios) en clasificación jerárquica (anidada) con desigual número de familias de los ecotipos, cuyo modelo estadístico lineal es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_{j(i)} \\ i = 1, 2, \dots, g(\text{ecotipos}) \\ j = 1, 2, \dots, n_i(\text{familias } S_i)$$

Y_{ij} es el valor fenotípico observado del ecotipo "i", en la familia "j"; " α_i " es el efecto del ecotipo "i"; $\beta_{j(i)}$ es el efecto de la familia "j", dentro del ecotipo "i" (error experimental). Se considera a α_i y $\beta_{j(i)}$ como variables aleatorias no correlacionadas dentro ni entre ellas, con medias "0" y varianzas " σ^2_{α} " y " σ^2_{β} ", respectivamente (Márquez 1985, Reyes 1985, Molina 1992).

Mediante este análisis de varianza se puso a prueba las hipótesis: H_0) Los ecotipos de maca no muestran variabilidad en peso de raíces-hipocótilos ($\sigma^2_{\beta} = 0$); y H_1) Los ecotipos de maca muestran variabilidad en peso de raíces-hipocótilos ($\sigma^2_{\beta} > 0$).

Los estimados de varianza se obtuvieron igualando los cuadrados medios a sus correspondientes esperados cuadrados medios y despejando la componente de interés (Dudley y Moll 1969).

La varianza fenotípica (σ^2_y) del carácter en estudio, se estimó mediante la expresión: $\sigma^2_y = \sigma^2_{\beta} + \sigma^2_{\alpha}$, donde σ^2_{β} es la varianza entre ecotipos y σ^2_{α} la varianza de las familias dentro de los ecotipos (Márquez 1985, Reyes 1985, Molina 1992). La heredabilidad en sentido amplio (h^2), mediante $h^2 = \frac{\sigma^2_{\beta}}{\sigma^2_y} \times 100$. El coeficiente de variación genética (cvg) por cvg = $\frac{\sigma_{\beta}}{Y_{..}}$, donde σ_{β} es la desviación estándar entre ecotipos e $Y_{..}$ es la media general del carácter (Allard 1967, Dudley y Moll 1969, Márquez 1985, Reyes 1985, Molina 1992).

La respuesta esperada a la selección ($A_c/A_g = ih^2\sigma_{\beta}$, donde "i" es la intensidad de selección (10%) en unidades estándar, cuyo valor es 1,75 y σ_{β} la desviación estándar fenotípica (Allard 1967, Márquez 1985, Molina 1992).

La selección dentro de familias S_i , por alto peso de raíz-hipocótilo, se realizó seleccionando las mejores progenies que superaron el valor crítico $X_c = Y_{..} + S Z_{20}$, cuyo valor fue de 33 g/pl; en esta expresión, S es la desviación estándar (6,84), y Z_{20} es un valor tabular (0,84) de la distribución normal estandarizada que encierra un área de 20% (Márquez 1985, Molina 1992).

RESULTADOS

La Tabla 2 muestra los resultados del análisis de varianza de los ecotipos de maca (*Lepidium meyenii*) en estudio para el peso promedio de las raíces-hipocótilos.

Se rechaza la H_0 y se concluye para ($p < 0,01$) que las evidencias muestrales indican variabilidad entre los pesos de las raíces-hipocótilos de los ocho ecotipos de maca (modelo II).

La Tabla 3 presenta los valores de los componentes de varianza del carácter bajo estudio.

Se observa que la varianza de familias (σ^2_{α}) es de mayor magnitud (95%) que la varianza de los ecotipos (5%). Es decir, existe alta variabilidad genotípica entre las familias S_i que se encuentra confundida con efectos ambientales y que no es posible separar en este experimento.

Tabla 1. Esquema del análisis de varianza del diseño jerárquico para el análisis del peso promedio de la raíz-hipocotilo y esperados cuadrados medios (modelo II).

F. V.	g.l	C. M.	E [C.M.]
Ecotipos Familias/E	(g-1) (n-f)	CM Ecotipo CM Familia	$\sigma^2_{\alpha} + K_1 \sigma^2_{\beta}$ σ^2_{α}
TOTAL	(n-1)	---	

La Tabla 4 presenta los valores estadísticos para cada uno de los ecotipos y además muestra también los valores de los parámetros genéticos de la población selecta de maca de fase generativa. El peso promedio familiar de las 373 familias fue de 27,5 g/pl, y existe baja variabilidad (6,84 g) que representa el 24,9% de la media familiar. Los valores bajos del coeficiente de variación genética (0,8%) y la heredabilidad (5%), indican que la selección entre los ecotipos no será muy efectiva en cambiar las frecuencias génicas del peso promedio de la raíz-hipocótilo, ya que se espera una respuesta muy pequeña o nula a la selección (1.2 g/pl).

Los ocho ecotípos diferenciados por los colores de sus raíces hipocótilos produjeron 373 familias S₁ por autofecundación con un total de 23 527 progenies (autohermanos).

El ecotipo "Morado" produjo el mayor número (92) de familias S₁, mientras que el "Muru-Blanco" produjo el menor número (6) de familias S₁, el "Muru" el mayor número de progenies (7 551) y el "Muru-Blanco" el menor número de progenies (271). El "Plomo" produjo las familias de más alto peso de raíces hipocótilos (40,61 g/pl), en tanto que el "Rojo" las familias de menor peso de raíces-hipocótilos (24,02 g/pl).

La Tabla 5 presenta los resultados de la selección familiar combinada por alto peso de raíz-hipocótilo, para cada ecotipo de maca en particular.

Entre familias por alto peso de raíces-hipocótilos, se han seleccionado todas las familias del ecotipo "Morado" (92); mientras que dentro de familias (progenies), el mayor número correspondió a los progenies del ecotipo "Muru" (1310).

La Tabla 6 resume los resultados de la selección combinada (entre y dentro de familias), por alto peso de raíz-hipocótilo en la población selecta de fase vegetativa de maca.

En un primer ciclo de selección combinada (dos años), se han seleccionado por el alto peso de raíz-hipocótilo interfamiliarmente 369 familias S₁, las cuales superaron el valor medio familiar $\bar{x}_f = 35$ g/pl, los mismos que representan el 99% de la población; mientras que intrafamiliarmente se han seleccionado en promedio las doce mejores progenies superiores de cada familia, independientemente de sus medias familiares, las mismas que suman 4 463 y representan el 20%.

DISCUSIÓN

La existencia de variabilidad para peso de raíz hipocótilo, en la población selecta de maca (*Lepidium meyenii*) de fase vegetativa de donde provino la muestra de ecotipos, quedó manifiesta por la alta significación estadística ($P < 0,01$) de la fuente de varianza de ecotipos (Tabla 2).

El análisis de la varianza fenotípica (σ^2) del peso de raíz-hipocótilo, mediante la partición de sus componentes de varianza, muestra que la varianza de familias S₁ dentro de los ecotipos resultó ser mucho más grande en valor (95%), que la

Tabla 2. Análisis de varianza del peso promedio de la raíz-hipocótilo, de ocho ecotipos de maca (*Lepidium meyenii*) en El Milagro, Callaway (4400 msnm), Junín-Perú, durante 1995-96.

F.V.	g.l	C.M.	E [C.M.]
Ecotipos	7	561,0125 **	$\sigma^2_a + 42,29 \sigma^2_\beta$
Familias/E	365	173,8214	σ^2_n
TOTAL	372	-	

** Significativo al nivel del 0,01% de probabilidad

Tabla 3. Valores de los componentes de varianza del carácter: peso promedio de la raíz-hipocótilo, en una población segregante de autofecundación de maca (*Lepidium meyenii*) de fase vegetativa (prod. raíz-hipocótilo) en El Milagro, Callaway (4400 msnm), Junín-Perú, durante 1995-96.

Componente de varianza	Valor estimado	%
σ^2_β	9,0275	5
σ^2_a	173,8214	95
σ^2_n	182,8489	100

Tabla 4. Media Familiar (X_f), Desviación estándar (S_f), Coeficiente de variación (cv), Coeficiente de variación genética (CVG), Heredabilidad en sentido amplio (h^2) y Avance genético esperado a la selección (A_g) del carácter peso promedio de la raíz-hipocótilo en una muestra al azar de ocho ecotipos de maca (*Lepidium meyenii*) y sus familias S₁ de autofecundación en El Milagro, Callaway (4400 msnm), Junín-Perú, durante 1995-1996.

Ecotipo	Clave	Fam F _i	Prog n _i	X _f (g/pl)	S _f (g)	CV (%)	CVG %	h ² %	A _g G
Crema	CR95S1	71	2931	31,09	6,09	19,0			
Morado	MO95S1	92	5002	29,58	5,07	17,1			
Blanco	BL95S1	21	847	34,94	5,83	16,7			
Muru	MU95S1	90	7751	24,84	6,40	25,8			
Muru Blanco	MB95S1	06	271	36,33	7,82	21,5			
Muru Crema	MC95S1	11	501	37,41	5,46	24,6			
Plomo	PL95S1	13	484	40,61	8,49	20,9			
Rojo	RO95S1	69	5740	24,02	3,41	14,2			
Pobl. Total		373	23527	27,51	6,84	24,9	0,8	5	1,2

11/ Variabilidad de maca y selección familiar

Tabla 5. Selección combinada entre y dentro de familias de autofecundación S_1 , por alto peso de raíz-hipocótilo, para ocho ecotipos de maca (*Lepidium meyenii*) en la fase vegetativa (prod. raíz-hipocótilo) en El Milagro, Callaway (4400 msnm), Junín-Perú, durante 1995-1996.

ECOTIPO	Entre familias			Dentro familias		
	Probado f _i	Seleccionado		Probado n _i	Seleccionado	
		f _j	%		n _j	%
Crema	71	71	19,2	2936	658	14,7
Morado	92	19	24,9	5002	1041	23,3
Blanco	21	20	5,4	847	205	4,6
Muru	90	88	23,8	7751	1310	29,3
Muru Blanco	06	06	2,0	271	79	2,0
Muru Crema	11	11	3,0	501	159	3,5
Plomo	13	13	3,5	484	161	3,6
Rojo	69	68	18,4	5740	850	19,9
Total	373	369	100,0	23527	4463	100,0

componente entre ecotipos (5%). Esto indica que las familias S_1 de diferente número de progenies serían heterocigotas y que existen una gran proporción de varianza genética de tipo aditivo (σ^2_A) y sus interacciones ($\sigma^2_{A\wedge}$) entre las progenies (autohermanos) dentro de las familias. Debe tenerse en cuenta que la componente de varianza de familias S_1 que se ha estimado está confundida con la componente de varianza ambiental (σ^2_e) que puede representar un buen porcentaje del valor encontrado (Tabla 3).

La variabilidad genotípica encontrada entre las diversas familias S_1 de maca se deberían a la ocurrencia de mutaciones naturales (casuales), cruzamiento natural (bajo porcentaje), mezcla de semillas (involuntaria) de diferentes genotipos o poliploidía disómica ($2n=8x=64$) (Allard 1967, Márquez 1985, Reyes 1985). En relación a esto, en la cosecha individual de las inflorescencias (ecotipos) por surcos (progenies) se pudo observar que para el caso particular de la pigmentación de las raíces-hipocótilos se presentaron:

1) Familias S_1 homogéneas que segregaron progenies de pigmentaciones similares a la pigmentación del ecotipo escogido.

2) Familias S_1 heterogéneas que segregaron progenies de pigmentaciones diferentes a la pigmentación del ecotipo elegido.

Si la selección comprendiera los ecotipos, la selección será nula e inefectiva en cambiar la media poblacional del peso de las raíces-hipocótilos, ya que dicho carácter está altamente influenciado por los efectos ambientales (95%) que no serán trasmisibles a la descendencia. Debido a ello, es más conveniente que la selección se efectúe a nivel familiar, empleando para ello los métodos de selección familiar bajo diferentes modalidades (Tabla 5).

Los ecotipos "Plomo", "Muru", "Crema" y "Muru-Blanco", produjeron las familias de más alto peso de raíces hipocóticos con rendimientos de: 40,61; 37,41 y 36,33 g/pl, respectivamente; mientras que el "Rojo" y el "Muru" fueron los de menor rendimiento con 24,02 y 24,82 g/pl, respectivamente (Tabla 4).

Las familias seleccionadas en mayor número correspondieron a los ecotipos: Morado, Crema, Muru y Rojo con 92, 88, 71 y 68 familias S_1 , respectivamente; en tanto que el menos numeroso fue el Muru-Blanco con sólo 6 familias (Tabla 6).

Dentro de familias, las progenies más numerosas que se han seleccionado pertenecen a los ecotipos Muru, Morado y Rojo, con 1 310, 1 041 y 850 progenies, respectivamente, en cambio el menor número de progenies seleccionadas corresponde al Muru-Blanco con sólo 79 progenies.

En la población segregante de fase vegetativa de maca, en un primer ciclo de selección combinada que duró dos años, de un total de 373 familias S_1 con 23 523 progenies, se han seleccionado por alto peso de raíz-hipocótilo, interfamiliarmente 369 familias S_1 , e intrafamiliarmente 4 463 progenies que corresponden al 99 y 20% del total de la población, respectivamente. En este primer ciclo se ha dado mayor prioridad a la selección intrafamiliar seleccionando las mejores progenies superiores sin considerar sus medias familiares, y que correspondían al color del ecotipo original del cual se obtuvo las inflorescencias. En la actualidad este material seleccionado continua evaluándose en condiciones de campo en su fase generativa (producción de semilla botánica), en Callaway, provincia de Junín.

Tabla 6. Resultados de la selección interfamiliar e intrafamiliar por alto peso de raíz-hipocótilo, en una población selecta de maca (*Lepidium meyenii*) de fase vegetativa (producción raíz-hipocótilo), para un primer ciclo de selección combinada en El Milagro, Callaway (4400 msnm), durante 1995-96.

Selección combinada	Seleccionado	Descartado	Total probado
Interfamiliar %	369 99	04 1	373 100
Intrafamiliar %	4463 20	19064 80	23527 100

La prueba de progenie ha permitido identificar las familias más rendidoras en peso de raíz-hipocótilos, en base al comportamiento de las progenies. Pero, como se han conservado una parte de la semilla remanente de cada familia ensayada, se formará una nueva población seleccionada, juntando las semillas sólo de las mejores familias seleccionadas, para constituir un sintético el cual será entregado a los agricultores de la zona para iniciar un programa de producción de semilla de calidad.

CONCLUSIONES

En base a los resultados y bajo las condiciones en que se llevó a cabo este experimento, se concluye lo siguiente:

- a) Se acepta H_0 , es decir los ecotipos de maca difieren en sus variabilidades de pesos de raíces-hipocótilos (Tabla 2).
- b) Dentro de las familias S_1 existe alta variabilidad (95%) para peso de raíz-hipocótilo, y entre ecotipos existe una reducida variabilidad (5%) y la selección no será electiva (Tabla 3).
- c) Entre progenies (autohermanos) se observó que la pigmentación de la raíz-hipocótilo en algunos casos guarda relación y en otros difiere de la pigmentación del color del ecotipo escogido.
- d) El ecotipo "Plomo" produjo las familias S_1 más rendidoras en peso de raíz-hipocótilo (40,61 g/pl).
- e) El ecotipo "Morado" produjo la familia más numerosa (92), y el "Muru Blanco" el menor número (6).
- f) Interfamiliarmente, se seleccionaron por alto peso de raíz-hipocótilo 369 familias S_1 .
- g) Intrafamiliarmente, se seleccionaron 4 463 progenies.
- h) La aparente variabilidad genotípica entre las familias S_1 se debería a la segregación poliploide disómica de la especie ($2n=8x=64$).

RECOMENDACIONES

Se señalan las siguientes recomendaciones:

- a) Formar una nueva población selecta en base a la reunión de la semilla remanente de las mejores familias.
- b) Continuar con la evaluación del material seleccionado, considerando otros caracteres de interés económico como: precocidad, resistencia al Mildiu Velloso (*Peronospora parasitica*) y otras enfermedades.

AGRADECIMIENTO

El autor agradece sinceramente al Dr. Miguel Holle, Coordinador del Programa Colaborativo Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos (CIP-COTESU), por sus valiosas sugerencias, críticas y revisión del manuscrito original que permitieron mejorarlo. Igualmente, agradece al CONDESAN por el financiamiento económico y a

los señores Bach, Rubén Quispe Espinoza, asistente de campo y Prudencio Vega M., Propietario del fundo "El Milagro", Callaway Junín.

BIBLIOGRAFÍA

- Allard, R.W.
1967 *Principios de la mejora genética de las plantas*. Trat. J.L. Montoya
Edic. Barcelona, Omega S.A.
- Aliaga, C. R.
1995 *Biotología floral de la maca (Lepidium meyenii Walp)*. Tesis Ingeniero Agrícola. Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Chacón, P. G.
1990 "La maca (*Lepidium peruvianum*) Chacón sp. nov. y su hábitat". *Revista Peruana de Biología* 3: 171-272.
- Dini, A., G. Migliuolo, L. Rastrelli, P. Saturnino y O. Schettino
1994 "Chemical composition of *Lepidium meyenii*". *Food Chemistry* 49: 347-349.
- Dudley, J.W. y R. H. Moll
1969 "Interpretation and use of estimates of heritability and genetics variances in plant breeding". *Crop Science* 1 (3): 257-261.
- Johns, T.
1981 "The aña and the maca". *Journal of Ethnobiology* 1: 208-212.
- King, S. R.
1988 *Economic Botany of the Andean Tuber Crop Complex: Lepidium meyenii, Oxalis tuberosa, Tropaeolum tuberosum and Ullucus tuberosus*. PhD. Thesis, the City University of New York.
- León, J.
1964 "The maca (*Lepidium meyenii*) a little know food plant of Perú". *Economic Botany* 18 (2): 122-127.
- Márquez, S. F.
1985 *Genotecnia vegetal. Tomo II. Métodos, teoría y resultados*. México, AGT Editor S.A.
- Molina, G. J.
1992 *Introducción a la genética de poblaciones y cuantitativa (algunas implicaciones en Genotecnia)*. México, AGT Editor S.A.

Ponce, A. D.

- 1995a "Estimación de parámetros genéticos para once caracteres en una población de Maca (*Lepidium meyenii* Walp) de fase generativa (producción de semilla)". En: *3er. Congreso Peruano de Genética SPG*, págs. 95-97. Lima.
- 1995b Producción de semilla de alta calidad de maca (*Lepidium meyenii* Walp) mediante selección individual y prueba de progenie. Informe técnico. Subproyecto: R4-009, CIP-COTESU, UNDAC Pasco.

Quiros, C. F., A. Epperson, J. Hu y M. Holle

- 1996 "Physiological studies and determination of chromosome number in maca, *Lepidium meyenii* (Brassicaceae). *Economic Botany* 50 (2): 216-223.

Rea, J.

- 1992 "Raíces andinas; Maca". En: *Cultivos marginados, otra perspectiva de 1942*, B. Hernández y J. E. León, editores, págs. 163-166. Roma, FAO.

Reyes, C. P.

- 1985 *Fitogenotecnia básica y aplicada*. México, AGT Editor S.A.

Tello, J., M. Hermann y A. Calderón

- 1992 "La maca (*Lepidium meyenii* Walp). Cultivo alimenticio potencial para las zonas altoandinas". *Boletín de Lima* 81: 56-66.

Parte III

PRODUCCIÓN AL CONSUMO

**RESPUESTA DE TRES RAÍCES ANDINAS: ZANAHORIA
BLANCA (*ARRACACIA XANTHORRIZA*), MISO
(*MIRABILIS EXPansa*) Y JÍCAMA (*POLYMNIA
SONCHIFOLIA*); DOS PASTOS Y UNA MEZCLA
FORRAJERA, AL EFECTO DE TRES SISTEMAS
AGROFORESTALES EN SANTA CATALINA, QUITO**

Raúl Ramos V.
Jefferson Galarza R.
Raúl Castillo
Gabriel Suárez G.
Carlos Nieto

RESUMEN

Con el fin de buscar alternativas para tratar de solucionar uno de los grandes problemas de la sierra ecuatoriana, como es el uso inadecuado de los recursos naturales, especialmente la deforestación, que complementada con los efectos negativos del clima hacen que la agricultura de esta área sea deprimida y de alto riesgo, se realizó esta investigación entre diciembre de 1995 y diciembre de 1996, en la Estación Experimental Santa Catalina del Instituto Nacional de Investigación Agropecuarias - INIAP (Quito, Ecuador). El objetivo principal fue evaluar el comportamiento agronómico de tres raíces andinas (zanahoria blanca, miso y jícama), tres pastos (alfalfa, rye-grass y rye-grass + trébol), y los cambios físico, químico y biológico del suelo bajo el efecto de tres sistemas agroforestales (A1 = acacia + quishuar, A2 = aliso + retama y A3 = pleno sol). Se utilizó un diseño completamente al azar en análisis grupal (jerárquico), con dos repeticiones.

RAÍCES Y TUBÉRCULOS ANDINOS. AVANCES DE INVESTIGACIÓN I, Tommy Fairlie, Marciano Morales Bermúdez y Miguel Holle, editores, págs. 193-212. Lima, Centro Internacionales de la Papa (CIP) y Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), 1999.

No hubo influencia de los sistemas agroforestales en la mayoría de las variables en las tres RTAs, a excepción de rendimiento en miso, que presentó el mayor promedio en el sistema pleno sol con 25,2 t/ha, en comparación a los sistemas A1 y A2 que alcanzaron promedios de 16,4 y 16,9 t/ha, respectivamente. El rendimiento de alfalfa disminuyó hasta un 50%, en las parcelas que se encontraron dentro de los sistemas influenciados por las especies forestales; lo contrario sucede con rye-grass, mientras que rye-grass + trébol no se ve afectada por la sombra, al comparar con el testigo. Las dos evaluaciones de fertilidad de suelo en las tres raíces andinas muestran ligeros incrementos en los contenidos de nitrógeno y fósforo, mientras que el potasio disminuyó ligeramente en la segunda evaluación; y en los tres pastos estos elementos disminuyeron su concentración en la segunda evaluación. Las sombras (matutina y vespertina) no produjeron ningún efecto sobre la dinámica de la nematofauna. En general, se incrementan los contenidos de humedad de los suelos sembrados con RTAs y pastos, únicamente en los sistemas influenciados por las especies forestales.

En el análisis de costos y beneficios, los tres sistemas agroforestales son rentables con tasas de 248,2% en el sistema A3; 154,2% en el A2 y 147,6% en el A1. Todos estos porcentajes demuestran que la rentabilidad obtenida es mayor al costo de oportunidad del capital que fue de (36%).

ANTECEDENTES

Ecuador, al igual que los demás países de la región Andina, posee una parte de su territorio dentro de la zona conocida como "Sierra". Esta zona corresponde al 24% del territorio nacional, con aproximadamente unos 67 000 km². Es una de las zonas más densamente pobladas y más empobrecidas del país. Aproximadamente el 46% de la población nacional, es decir unos 4,5 millones de habitantes, se encuentra asentada en esta región, área en la cual la desnutrición afecta al 40% a la población. Por esto es la zona de mayor intervención y presión de los recursos naturales.

En la mayoría de los sectores de esta área escasean los recursos forestales, sobre todo para leña y madera. Son grandes las jornadas que pasan las mujeres y niños en la recolección de leña para utilizar como combustible, ya que han desaparecido todas las fuentes, incluso la chilca (*Baccharis Spp.*) y los "pencos" secos (*Agave sp.*) que utilizaban anteriormente como combustible.

La presión sobre los pajonales está acelerando y acentuando el proceso de degeneración de estas áreas, en algunas de las cuales ya ha empezado un proceso de desertificación. Esto, sumado a los efectos negativos de las variables climáticas, hacen que la agricultura de esta área sea cada vez más deprimida y de alto riesgo.

Los programas de reforestación, especialmente a nivel de agricultores de subsistencia, presentan grandes dificultades, no solamente por la escasez de tierra (minifundio exagerado), sino por una resistencia de parte de los campesinos, pues se argumenta que no es posible plantar árboles en las pequeñas parcelas, ya que éstas tienen que producir alimentos para el sustento familiar (Dove 1992).

Ecuador, como parte de uno de los centros de dispersión de plantas cultivadas, dispone de una gran biodiversidad vegetal, que está en franco proceso de erosión genética. Dentro de los importantes, pero olvidados cultivos de la zona andina se encuentran: la zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*), el miso (*Mirabilis expansa*) y la jícama (*Polytmia sonchifolia*), que destacan por sus potenciales usos en la alimentación humana, animal y en la industria, incluyendo el aprovechamiento de las propiedades medicinales y curativas para algunas enfermedades (Castillo 1989).

La necesidad de investigar los RTAs en los sistemas agroforestales se justifica, desde el punto de vista agroecológico, puesto que la mayoría de ellos pueden completar su ciclo productivo sin requerimiento alguno de pesticidas, otros pueden dar cosechas sin requerimiento de fertilizantes y en el caso de la jícama, el miso y la zanahoria blanca, por su condición de plantas bianuales o perennes, sirven como alternativa para proteger el suelo de la erosión y su siembra en contornos o franjas impiden el arrastre de suelo por efecto de las lluvias siendo su uso de doble propósito (consumo humano y como forraje).

Conociendo que la actividad del productor del área andina no se restringe solamente a cultivos, sino que hay otras actividades que son determinantes del bienestar campesino, como son los cultivos, los cultivos y la crianza de animales, las artesanías, etc., se puede observar que el proceso productivo en este sector es bastante complejo, por lo cual al tratar de buscar soluciones para la problemática del sector, hay que enfocarlo dentro del término de "sistema" como una herramienta ordenadora de la actividad científica para el desarrollo agrícola andino. Entendiéndose por sistema a una disposición de componentes físicos que están interrelacionados entre sí, de tal forma que constituyen o actúan como una unidad o como un todo (Gutiérrez 1986).

Todo lo anterior sugiere que los sistemas agroforestales constituyen opciones racionales para incorporar el componente arbóreo a los sistemas tradicionales, sin dejar de producir los cultivos agrícolas o el forraje para los animales y contribuir así a un manejo más sostenible de la tierra en las zonas de montaña.

La plantación de árboles combinados con cultivos no solamente permiten lograr una producción agrícola estable, sino que los árboles por si solos proporcionan otros beneficios como: son fuente de alimento directo para la población, fomentan la proliferación de la fauna silvestre, la que puede ser alimento para la población, son fuentes de reserva alimentaria para épocas de hambruna, son fuentes forrajeras para animales domésticos, son fuentes de combustible, y proporcionan madera para la construcción y artesanía (Hoskins 1990).

Considerando que no se dispone de información básica sobre el comportamiento de estos cultivos bajo el efecto de sistemas forestales, esta investigación trata de evaluar la respuesta de tres raíces andinas (zanahoria blanca, miso y jícama), dos pastos y una mezcla forrajera, bajo el efecto de tres sistemas agroforestales.

OBJETIVOS

El objetivo general de la investigación fue el evaluar la respuesta de tres raíces andinas, dos pastos y una mezcla forrajera, bajo efecto de tres sistemas agroforestales.

Los objetivos específicos fueron:

1. Evaluar el comportamiento agronómico de tres raíces andinas: zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*), miso (*Mirabilis expansa*) y jícama (*Polytmia sonchifolia*) bajo el efecto de tres sistemas agroforestales;
2. Evaluar el rendimiento forrajero de los tres pastos bajo el efecto de los sistemas agroforestales;
3. Determinar el efecto de las sombras de las especies forestales sobre las tres raíces andinas y en las características físico-químicas del suelo;
4. Determinar el efecto de la asociación de las especies forestales sobre la incidencia de plagas y enfermedades y sobre la dinámica de población de la nematofauna; y
5. Realizar el análisis económico de los tres sistemas agroforestales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP ubicada en la parroquia Cutuglagua, Cantón Mejía, Provincia de Pichincha, situada a 3 050 msnm, con una temperatura media anual de 11 °C, precipitación anual de 1 400 mm y suelos ligeramente ácidos.

La siembra de las tres raíces andinas se realizó a 1 m de distancia de las líneas de árboles (las mismas que están ubicadas en dirección exacta de norte a sur), en parcelas compuestas por dos surcos de 10 m de largo y 1 m de ancho (20 m²), con una parcela neta de 18 m². El número de unidades experimentales fue de 36; seis por cada sistema agroforestal con 2 repeticiones. Las distancias de siembra para zanahoria blanca fue 1 m entre surcos y 0,5 m entre plantas; para miso y jícama de 1 m entre surcos y 1 m entre plantas. Con el objeto de aprovechar los espacios formados por las interlíneas de las especies forestales se decidió utilizar esta área con tres pastos: alfalfa (*Medicago sativa*), rye-grass (*Lolium perenne*), rye-grass + trébol (*Lolium perenne* + *Trifolium repens*), creando una fuente de alimento para especies menores como cuyes y conejos, las mismas que son propias de la zona andina.

Los factores en estudio para cada raíz constituyen los sistemas forestales A1 = (acacia + quishuar con dos podas a la acacia), A2 = (aliso + retama con dos podas al aliso), A3 = pleno sol (testigo). El otro factor constituyen las sombras: S1 = sombra matutina y S2 = sombra vespertina. Se utilizó un diseño completamente al azar en análisis grupal (jerárquico), donde los grupos constituyeron los sistemas forestales y dentro de cada grupo se encontraron las sombras matutina y vespertina. Para evaluar contenidos nutricionales del suelo, nematodos y rendimiento energético de las RTAs, se incrementó otro factor en estudio como son las raíces andinas y se utilizó el mismo

tipo de diseño donde los grupos constituyeron los sistemas y dentro de cada grupo se encontraron las raíces y las sombras.

Las variables evaluadas en las tres raíces fueron: días a la brotación, días a la cosecha, número de raíces por planta, largo promedio de raíces (en cm), diámetro promedio de la raíces (en cm), rendimiento de raíces (en kg/ha), rendimiento energético en megacalorías/ha, presencia de plagas y enfermedades, índice de cosecha, identificación y cuantificación de malezas y nematodos. Además, se registraron otras variables como vigor de planta en zanahoria blanca y jícama y días a la floración en jícama y miso. En los tres pastos, las variables evaluadas fueron: rendimiento de materia verde en t/ha/año y altura promedio de planta a la cosecha. En los árboles, se evaluaron el crecimiento del árbol, la sombra proyectada por los árboles y la biomasa. En el suelo, las variables fueron la fertilidad, el porcentaje de humedad y la densidad aparente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento Agronómico de las Raíces

• Zanahoria blanca

Bajo el efecto de los tres sistemas agroforestales, se encontró diferencias estadísticas al nivel del 5% entre tratamientos en la variable número de malezas por metro cuadrado. Así mismo, se encontró diferencias estadísticas al nivel del 5% entre sombras (matutina y vespertina) dentro del sistema aliso + retama (DA2), para el número de raíces por planta.

El sistema agroforestal aliso + retama (A2), es el que provee mayor sombra sobre las raíces andinas. Bajo éste se encontró el mayor número promedio de raíces aprovechables por planta con 9,5 en la sombra vespertina, en relación a la sombra matutina que alcanzó un promedio de 7 raíces aprovechables por planta.

El número de malezas por metro cuadrado fue mayor en la sombra matutina dentro de cada uno de los sistemas forestales con relación a la sombra vespertina (Tabla 1). El menor número de malezas se encontró en el sistema acacia + quishuar (A1), en relación a los sistemas aliso + retama (A2) y pleno sol (A3), diferenciándose estadísticamente.

• Jícama

En todas las variables agronómicas estudiadas, en esta especie no se encontraron diferencias estadísticas para ninguna de las fuentes de variación a excepción de sistemas en la variable número de malezas por metro cuadrado.

Es importante indicar que, como en el caso de la zanahoria blanca, el menor número de malezas por metro cuadrado se encontraron en el sistema acacia +

Tabla 1. Promedio de tratamientos para cinco variables agronómicas de zanahoria blanca, bajo el efecto de tres sistemas agroforestales. Quito, Estación Experimental Santa Catalina, 1996.

TRATAMIENTOS	# prom. Raíces/planta	Largo prom. Raíces (cm)	Rendimiento o t/ha	# Malezas/m ²	Rend. energético Mcal/ha
A1ZbS1	8,0	12,7	12,5	149,0 ab	11030,0
A1ZbS2	7,0	11,6	15,9	66,0 b	14065,6
A2ZbS1	7,0	12,7	12,6	313,0 a	11132,4
A2ZbS2	9,5	14,3	17,4	252,0 ab	15429,8
A3ZbS1	8,0	14,2	17,9	364,0 a	15900,3
A3ZbS2	7,5	13,7	15,0	172,0 ab	13288,0
X	7,8	13,2	15,2	219,3	13474,4
C.V (%)	9,0	13,0	22,6	25,1	22,6
F.T.	3,467 ns	0,774 ns	0,932 ns	8,129 *	0,932 ns

A1 = sistema 1 (acacia + quishuar); A2 = sistema 2 (aliso + retama); S1 = sombra matutina; * = significativo al 5% de probabilidad; A3 = sistema 3 (pleno sol); S2 = sombra vespertina; Zb = zanahoria blanca; ns = no significativo

quishuar (A1). Y dentro de las sombras (matutina y vespertina), los mayores rendimientos (t/ha) se presentaron en los tratamientos influenciados por el tipo de sombra vespertina (Tabla 2). Al comparar entre sistemas, el mayor promedio de rendimiento se encontró en el sistema pleno sol (A3), por lo tanto se puede decir que posiblemente la sombra comienza a causar efecto en el rendimiento de esta RTA, aunque estadísticamente son parecidos.

* Miso

El análisis de variancia de cada una de las variables agronómicas en esta RTA no encontró diferencias estadísticas para los tratamientos. Al desdoblar los grados de libertad se encontró diferencias estadísticas al nivel del 5% entre los sistemas agroforestales, en la variable rendimiento de raíces aprovechables en fresco (t/ha), obteniéndose el mayor promedio en el sistema pleno sol (A3) con 25,3 t/ha a diferencia de los sistemas acacia + quishuar (A1) y aliso + retama (A2), que presentaron promedios de 16,4 y 16,9 t/ha, respectivamente (Tabla 3). Por estar el rendimiento energético en función del rendimiento en fresco de raíces aprovechables, igual situación acontece con esta variable.

En la Figura 1 se presenta el rendimiento de zanahoria blanca, jícama y miso bajo el efecto de los tres sistemas agroforestales, donde podemos observar que de las tres RTA's en estudio, el miso es la especie mayormente afectada por efecto de la sombra, al presentar los mayores rendimientos en el sistema pleno sol (A3).

Tabla 2. Promedio de tratamientos para cinco variables agronómicas de jícama, bajo el efecto de tres sistemas agroforestales. Quito, Estación Experimental Santa Catalina 1996.

TRATAMIENTOS	# prom. Raíces/planta	Largo prom. Raíces (cm)	Rendimiento t/ha	# Malezas/m ²	Rend. energético Mcal/ha
A1JS1	9,5	12,20	14,6	109,0	8160,3
A1JS2	8,0	14,30	23,0	127,0	12842,8
A2JS1	7,0	12,20	11,6	219,0	6508,7
A2JS2	8,5	13,2	17,2	171,0	9637,4
A3JS1	9,5	13,0	21,6	192,0	12095,6
A3JS2	8,0	11,8	20,7	195,0	1166,8
X	8,3	12,6	16,1	168,8	9022,2
C.V (%)	31,0	8,7	47,9	18,6	48,0
F.T.	0,387 ns	2,266 ns	1,038 ns	3,682 ns	1,038 ns

A1 = sistema 1 (acacia + quishuar); A2 = sistema 2 (aliso + retama); S1 = sombra matutina; ns = no significativo; A3 = sistema 3 (pleno sol); S2 = sombra vespertina; J = jícama

Con respecto al rendimiento energético (Figura 2), se aprecia claramente que el miso es la especie que presenta una disminución considerable en el rendimiento por efecto de la sombra, no así en zanahoria blanca y jícama donde sus disminuciones son menos marcadas.

Comportamiento Agronómico de los Pastos

Al analizar las variables rendimiento de materia verde por hectárea por año y altura promedio de planta, se encontraron diferencias estadísticas al nivel del 1% en todas las fuentes de variación para la variable rendimiento, mientras que en altura de planta se encontró alta significación estadística para tratamientos, sistemas y pastos dentro del sistema pleno sol (DA3).

En la Figura 3 se puede observar claramente el efecto de los sistemas agroforestales sobre el rendimiento de los tres pastos. La sombra afecta notablemente el rendimiento de la alfalfa y es así que de 109,4 t/ha/año en el sistema pleno sol disminuye a 50,3 y 57,0 t/ha/año en los sistemas acacia + quishuar (A1) y aliso + retama (A2), respectivamente. Por lo tanto, se puede indicar que el efecto de la sombra produce un decremento del rendimiento de alfalfa en un 50%.

La sombra actuó favorablemente sobre el rendimiento de rye-grass, ya que el menor rendimiento se encontró en el sistema pleno sol (A3) con 11,6 t/ha/año, mientras que en los sistemas acacia + quishuar (A1) y aliso + retama (A2) los

Tabla 3. Promedio de sistemas para cinco variables agronómicas de miso, bajo el efecto de tres sistemas agroforestales. Quito, Estación Experimental Santa Catalina 1996.

TRATAMIENTOS	# prom. Raíces/planta	Largo prom. Raíces (cm)	Rendimiento t/ha	# Malezas/m ²	Rend. energético Mcal/ha
A1	11,7	15,7	16,4 b	93,0	26764,6 b
A2	12,7	17,2	16,9 b	168,0	27571,5 b
A3	12,2	19,8	25,3 a	177,0	1292,2 a
X	12,2	17,6	19,5	146,0	31876,1
C.V (%)	11,3	13,2	19,2	46,2	19,2
F.T.	0,496 ns	1,646 ns	3,725 ns	0,855 ns	3,725 ns

A1 = sistema 1 (acacia + quisuar); M = miso; S1 = sombra matutina; ns = no significativo; A3 = sistema 3 (pleno sol); S2 = sombra vespertina; A2 = sistema 2 (aliso + retama).

rendimientos fueron de 22,5 y 22,5 t/ha/año respectivamente. Estos resultados sugieren que este pasto podría ser una alternativa futura para desarrollar sistemas agrosilvopastoriles en el callejón interandino. Con respecto a rye-grass + trébol (mezcla), el efecto del sistema agroforestal sobre su rendimiento no es tan marcado ya que de 36,5 t/ha/año en el sistema pleno sol (A3) disminuye a 34,9 y 31,2 en los sistemas acacia + quisuar (A1) y aliso + retama (A2) respectivamente.

Comportamiento Agronómico de los Árboles y Arbustos

Al iniciar las evaluaciones (enero/96), la acacia presentó una altura promedio de 203,4 cm, y en la última evaluación (diciembre/96) alcanzó a 370,0 cm, por lo tanto presenta un incremento mensual de 16,3 cm, mientras que el aliso presentó un mayor incremento mensual de 17,6 cm, sin embargo no logra alcanzar el promedio presentado por la acacia en la última evaluación. Dentro de los arbustos el quisuar alcanzó el mayor incremento mensual, con 13,7 cm, y la retama presentó el menor incremento con 7,8 cm.

Como es lógico, la altura del árbol guarda mucha relación con la sombra proyectada, encontrando que el mayor incremento mensual de la proyección de sombra correspondió al aliso con 29,4 cm, mientras que en acacia el incremento mensual fue de 22,5 cm.

Es importante indicar que si bien el sistema acacia + quisuar presenta las mayores alturas a la última evaluación, el sistema aliso + retama, especialmente por la conformación del arbusto, presenta una sombra más densa.

Al realizar la poda de las especies forestales en los sistemas A1 (acacia + quisuar) y A2 (aliso + retama), se encontró la mayor cantidad de leña y follaje (base fresca) en el sistema aliso + retama, con 571,6 kg y 594,4 kg, respectivamente, en comparación

Figura 1. Rendimiento de zanahoria blanca, jícama y miso, bajo el efecto de tres sistemas agroforestales. Quito, Estación Experimental Santa Catalina 1996.

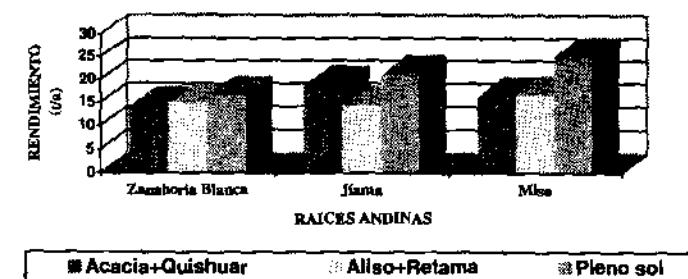


Figura 2. Rendimiento energético (Mcal/ha) de zanahoria blanca, jícama y miso, bajo el efecto de tres sistemas agroforestales. Quito, Estación Experimental Santa Catalina 1996.

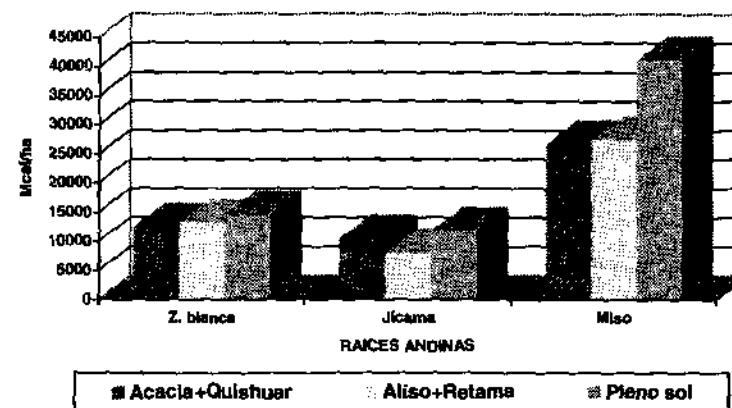


Figura 3. Rendimiento de alfalfa, rye-grass y mezcla forrajera, bajo el efecto de tres sistemas agroforestales. Quito, Estación Experimental Santa Catalina 1996.

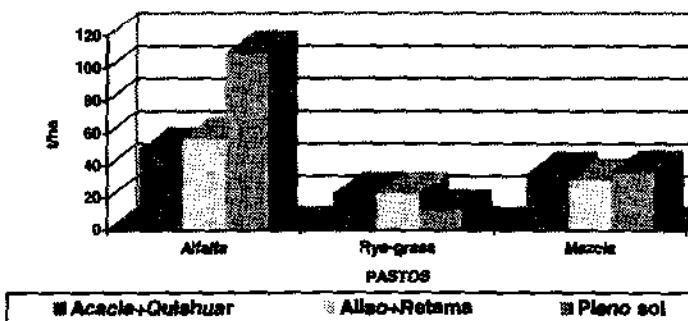


Tabla 4. Prueba de D.M.S. y/o promedios de sistemas para seis variables de dos especies arbóreas y dos arbustivas, bajo el efecto de dos sistemas agroforestales. Quito, Estación Experimental Santa Catalina 1996.

SISTEMAS	ALT. ARBOL (cm)	SOM. ARBOL (cm)	ALT. ARBUSTO (cm)	PODA TOTAL (kg)	PODA LEÑA (kg)	PODA FOLLAJE (kg)
AA1	289,110 a	502,203 a	211,312 a	725,23	284,70	440,53
AA2	238,860 b	402,831 b	222,269 b	1166,02	571,65	594,37

A1 = sistema 1 (acacia + quishuar); A2 = sistema 2 (aliso + retama)

con acacia + quishuar que presentó 284,7 kg y 440,5 kg (Tabla 4). Esto se debe a las características morfológicas de estas especies.

Plagas y Enfermedades

Los sistemas forestales, así como la sombra matutina y vespertina que emiten, no presentaron ninguna influencia en la incidencia de plagas y enfermedades en zanahoria blanca, jícama y miso. Es importante indicar que la presencia de estos patógenos fue muy baja.

Dinámica de los Nutrientes del Suelo

• Raíces

El análisis de variancia para cada uno de los nutrientes del suelo en la evaluación inicial y final no presentó diferencias estadísticas para tratamientos a excepción de P y K, que en la evaluación inicial alcanzaron diferencias estadísticas al nivel de 1 y 5%, respectivamente. Sin embargo, al desdobljar los grados de libertad para tratamientos, se encontró diferencias estadísticas al nivel del 5% en pH, MO, Fe, S, Cu y Mg y al nivel del 1% en P, K y Mn en la evaluación inicial, mientras que en la evaluación final se detectó diferencias estadísticas al nivel del 5% en N, Cu, Fe, K y Mg y al nivel del 1% en pH, P y Mn.

En la Figura 4 se puede apreciar un ligero incremento de los contenidos de nitrógeno del suelo, al comparar la lectura final en relación a la inicial en todos los tratamientos, encontrándose dentro del mismo rango de clasificación catalogado como medio en el laboratorio de suelos de la EESC del INIAP.

El fósforo en el suelo se incrementó al comparar la lectura inicial con la final dentro de cada uno de los tratamientos en los tres sistemas agroforestales. Los mayores contenidos de fósforo se presentaron en el sistema pleno sol (A3), con un promedio de 39,83 ppm, disminuyendo en los sistemas acacia + quishuar (A1) y aliso + retama (A2) a 27,17 y 29,33 respectivamente (Figura 5).

Figura 4. Comportamiento del nitrógeno a la siembra y cosecha de zanahoria blanca, jícama y miso, bajo el efecto de tres sistemas agroforestales. Quito, 1997.

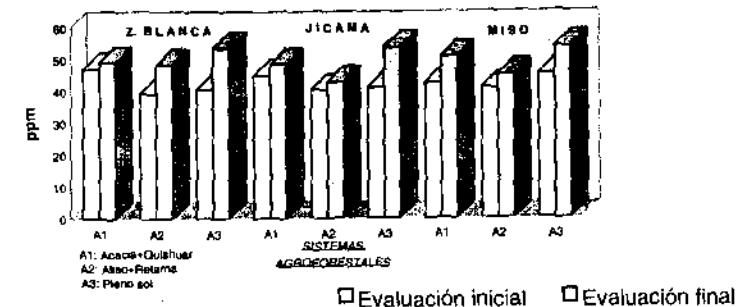


Figura 5. Comportamiento del fósforo a la siembra y cosecha de zanahoria blanca, jícama y miso, bajo efecto de tres sistemas agroforestales. Quito, 1997.

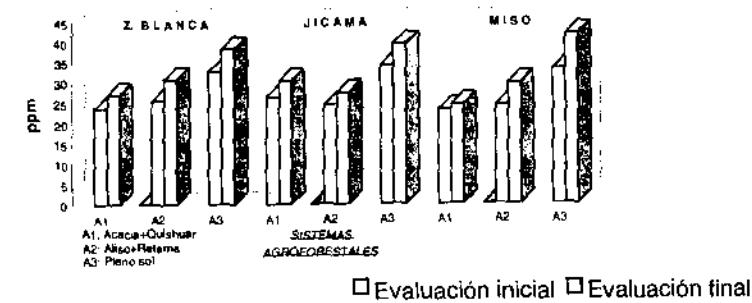
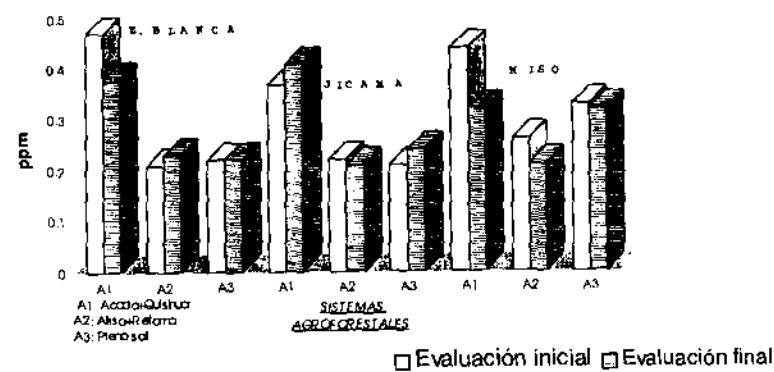


Figura 6. Comportamiento del potasio a la siembra y cosecha de zanahoria blanca, jícama y miso, bajo efecto de tres sistemas agroforestales. Quito, 1997.



El contenido de potasio del suelo disminuyó en zanahoria blanca y miso en el sistema acacia + quishuar, mientras que en jicama hay un ligero incremento. Además, es importante indicar que en el sistema acacia + quishuar (A1) se encontró los mayores contenidos de potasio; los contenidos de este elemento en el sistema pleno sol (A3) y en el sistema aliso + retama (A2) son bajos, únicamente en miso presentó un ligero incremento (Figura 6).

• Pastos

En general, los análisis de variancia para cada uno de los nutrientes del suelo sembrado con pastos, tanto en la evaluación inicial como final, no encontraron diferencias estadísticas para tratamientos a excepción de P en la evaluación inicial. Sin embargo, al desdoblart los grados de libertad para tratamientos se encontró diferencias estadísticas al nivel del 5% en la fuente de variación de los sistemas para pH, P y Fe entre la evaluación inicial y Mn en la evaluación final.

Con respecto al comportamiento del nitrógeno durante este año de evaluación, se observó que disminuye notablemente en todos los tratamientos en estudio, llegando en algunos casos a disminuir hasta en un 50% de su contenido inicial, por efecto de la extracción de los pastos (Figura 7).

El comportamiento del fósforo en el suelo se ve disminuido en todos los tratamientos al comparar la lectura inicial y final, como efecto de la extracción por parte de los tres pastos (Figura 8). Dentro de cada uno de los sistemas agroforestales, los mayores contenidos de este elemento según la lectura final correspondieron a la alfalfa y los menores contenidos en términos generales se encontró en la mezcla rye-grass + trébol.

Con respecto al comportamiento del potasio en el suelo (Figura 9), al relacionar las lecturas inicial y final se puede indicar que el contenido de este elemento disminuye por efecto de la extracción de los pastos, encontrándose los menores promedios en rye-grass y en la mezcla forrajera (rye-grass + trébol) en el sistema pleno sol (A3).

Dinámica de la Nematofauna

• Raíces y Pastos

Las poblaciones iniciales (P_i) de nematodos *Pratylenchus Spp.*, *Paratylenchus Spp.* y saprófitos presentaron una curva de distribución normal, y están distribuidos en forma homogénea en todos los tratamientos. Según los datos consignados en el Tabla 5 y refiriéndose a los incrementos de población ($I = P_f/P_i$), éstos muestran que las tres raíces andinas son hospederas de *Pratylenchus Spp.* y *Paratylenchus Spp.* al presentar un índice de crecimiento mayor a 1.

En relación a *Pratylenchus Spp.*, la zanahoria blanca parece ser el hospedero más eficiente al presentar 2,3 veces de incremento poblacional, seguido de miso con 1,3

Figura 7. Comportamiento del nitrógeno de un año de evaluación en tres pastos, bajo efecto de tres sistemas agroforestales. Quito, Estación Experimental Santa Catalina 1997.

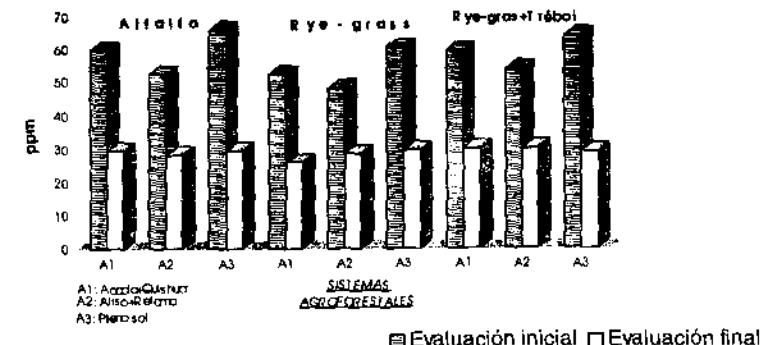


Figura 8. Comportamiento del fósforo de un año de evaluación en tres pastos, bajo efecto de tres sistemas agroforestales. Quito, Estación Experimental Santa Catalina 1997.

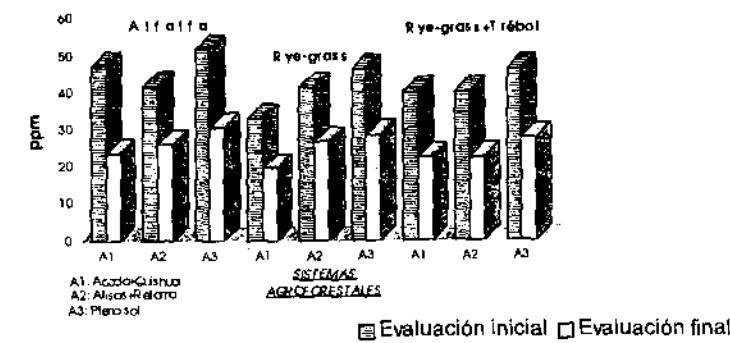


Figura 9. Comportamiento del potasio de un año de evaluación en tres pastos, bajo efecto de tres sistemas agroforestales. Quito, Estación Experimental Santa Catalina 1997.

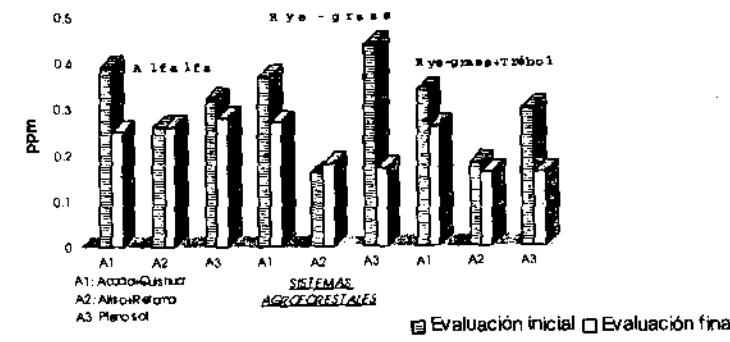


Tabla 5. Promedios de tratamientos para poblaciones inicial (P_i), e incremento ($I = P_f/P_i$) de nematodos saprofitos, *Pratylenchus Spp.* y *Paratylenchus Spp.* en tres raíces andinas (zanahoria blanca, jícama y miso), bajo el efecto de tres sistemas agroforestales. Quito, 1996.

TRATAMIENTOS	Saprofitos Spp.		<i>Pratylenchus Spp.</i>		<i>Paratylenchus Spp.</i>		Rendimiento t/ha
	P_i	I	P_i	I	P_i	I	
A1ZbS1	32,984	0,8	3,162	4,5	7,035	1,0	12,5
A1ZbS2	36,503	0,8	16,432	0,8	14,071	0,8	15,8
A2ZbS1	35,922	1,1	14,454	1,6	20,487	0,7	12,6
A2ZbS2	43,065	0,7	13,367	1,7	10,581	1,3	17,4
A3ZbS1	21,710	0,5	8,873	2,9	7,035	0,7	18,0
A3ZbS2	37,470	1,1	10,916	2,7	7,746	1,8	15,0
X	34,061	0,98	11,15	2,3	11,15	1,05	
A1JS1	46,809	0,4	10,916	1,7	9,078	1,1	14,6
A1JS2	43,094	0,6	18,614	1,0	10,916	0,9	23,0
A2JS1	44,620	0,6	11,619	1,2	16,690	1,1	11,7
A2JS2	47,618	0,8	26,180	0,8	19,553	0,7	17,3
A3JS1	44,343	0,5	10,908	1,4	16,708	1,0	21,7
A3JS2	39,543	0,76	13,620	0,9	15,247	1,2	20,8
X	34,809	0,58	15,31	1,2	14,70	1,0	
A1MS1	31,095	0,9	11,402	1,4	9,982	0,8	15,1
A1MS2	33,094	0,8	18,364	1,0	8,162	1,4	17,7
A2MS1	35,912	0,8	12,071	1,5	9,949	1,6	14,3
A2MS2	39,312	1,0	23,392	1,0	15,916	1,1	19,4
A3MS1	28,806	1,5	8,944	1,1	3,162	4,9	28,0
A3MS2	33,247	1,2	10,797	1,8	9,350	1,8	22,5
X	33,58	1,03	14,18	1,3	9,42	1,9	

A1 = sistema 1 (acacia + quisbuar); A2 = sistema 2 (aliso + retama); A3 = sistema 3 (pleno sol); S1 = sombra matutina; Zb = zanahoria blanca; J = jícama; M = miso; S2 = sombra vespertina.

y jícama con 1,2 veces; mientras que para el caso de *Paratylenchus Spp.*, el hospedero más eficiente de estas tres RTA's en estudio parece ser el miso al presentar un incremento de 9,1 veces, seguido de zanahoria blanca y jícama con menor proporción.

Al relacionar la población inicial de nematodos con los rendimientos de cada RTA en las dos sombras en estudio, a fin de determinar el daño por *Pratylenchus Spp.* y *Paratylenchus Spp.* se determinó que los rendimientos de estas tres raíces fueron estadísticamente similares, lo cual guarda relación con las poblaciones iniciales de los nematodos que también fueron similares estadísticamente.

En cuanto a las especies forrajeras y considerando los datos del Tabla 6, se puede decir que alfalfa y rye-grass + trébol muestran cierto grado de hospedabilidad para el nematodo *Paratylenchus Spp.*, al presentar un incremento de 1,12 y 1,08 veces respectivamente, mientras que rye-grass no presentó ningún tipo de hospedabilidad.

Tabla 6. Promedios de tratamientos para población inicial e incremento ($I = P_f/P_i$) de nematodos saprofitos, *Pratylenchus Spp.* y *Paratylenchus Spp.* en tres especies de pastos, bajo el efecto de tres sistemas agroforestales. Quito, 1996.

TRATAMIENTOS	Saprofitos Spp.		<i>Pratylenchus Spp.</i>		<i>Paratylenchus Spp.</i>		Rendimiento t/ha
	P_i	I	P_i	I	P_i	I	
A1A	38,946	0,65	5,000	0,88	6,000	1,06	50,35
A2A	36,856	0,83	10,437	0,74	7,791	1,28	57,05
A3A	42,092	0,84	11,279	0,89	8,226	1,02	109,45
X	39,298	0,77	8,91	0,84	1,12	1,12	
A1Ry	34,042	0,90	16,844	0,52	7,702	0,92	22,55
A2Ry	39,625	0,98	17,056	0,64	9,842	0,51	22,50
A3Ry	33,329	1,02	7,316	1,36	9,000	0,10	11,65
X	35,66	0,97	13,74	0,84	0,84	0,84	
A1Mz	37,557	0,50	12,287	0,68	7,810	1,05	34,95
A2Mz	39,209	1,18	13,214	0,86	10,964	1,06	31,20
A3Mz	47,634	0,91	13,071	0,86	11,227	1,12	36,50
X	41,47	0,86	12,86	0,80	1,08	1,08	

A1 = sistema 1 (acacia + quisbuar); A2 = sistema 2 (aliso + retama); A3 = sistema 3 (pleno sol)

A = alfalfa; Ry = raygra; Mz = Rye-grass + Trébol

Características Físicas del Suelo

Densidad aparente (raíces y pastos)

Al comparar los datos de las lecturas inicial y final de densidad aparente del suelo en cada uno de los tratamientos de las tres raíces andinas, se aprecia claramente que los valores finales son parecidos a los iniciales, por lo tanto se puede indicar que el sistema agroforestar no ha afectado en el comportamiento de esta variable, posiblemente por el corto período entre las dos evaluaciones (12 meses).

Contenidos de humedad de suelo en las raíces

Al analizar los porcentajes de humedad del suelo a tres profundidades (0-10; 11-30 y 31-50 cm), no se encontró diferencias estadísticas para tratamientos. Sin embargo, al desdoblar los grados de libertad se encontró significación al nivel del 5% entre sistemas, correspondiente a las evaluaciones realizadas en los meses de abril, junio, agosto y septiembre.

A pesar de no presentar diferencias estadísticas se puede indicar que el menor porcentaje de humedad de suelo a estas profundidades se encontró en el sistema pleno sol (A3), mientras que los mayores porcentajes de humedad corresponden al sistema aliso + retama (A2), donde la sombra producida por el sistema forestal es más densa.

Es importante indicar que a la tercera profundidad (31-50 cm) no se puede definir el efecto del sistema forestal sobre el porcentaje de humedad del suelo y es así que en algunos casos el sistema a pleno sol (A3) manifiesta un mayor porcentaje de humedad.

• Contenidos de humedad de suelo en los pastos

Al realizar el análisis de variancia para porcentaje de humedad de suelo de las tres profundidades en estudio (0-10; 11-30 y 31-50 cm), no se encontró diferencias estadísticas en ninguna de las fuentes de variación, a excepción de pastos dentro del sistema pleno sol (A3) que presenta significación estadística al 5% de probabilidad.

Analizando los contenidos de humedad de suelo a la primera profundidad (0-10 cm), se observó que el sistema pleno sol (A3), presentó durante siete meses los valores más bajos; esto indica que los sistemas agroforestales favorecen la conservación de la humedad de los suelos.

Análisis Financiero

Los indicadores financieros utilizados para este trabajo fueron la relación beneficio-costo (B/C), y el margen de rentabilidad (%R). La relación B/C, que es el resultado de la comparación entre el valor bruto de producción dividido por el valor neto de producción, muestra una relación positiva cuando es mayor a uno (1), lo que indica que los ingresos son mayores a los costos y gastos del ejercicio. El margen de rentabilidad es igual a valor neto de producción dividido para el costo total de producción, el resultado indica el porcentaje en cuanto es mayor o menor los beneficios netos del costo total de producción.

Al analizar los costos de producción de los tres sistemas agroforestales, podemos observar que el sistema A2 presentó el mayor costo de producción con S/. 320 528, seguido por el sistema A1 con S/. 287 888 y el A3 con S/. 248 448. Esto se debe a que en los dos primeros sistemas agroforestales se utilizó mayor cantidad de mano de obra para realizar las podas de las especies forestales, especialmente en el sistema aliso + retama que fue el que presentó mayor cantidad de material de poda (Tabla 4).

Al comparar el total de beneficios brutos de cada uno de los sistemas agroforestales, se observó que el sistema A3 presentó el mayor beneficio con S/. 865 040, seguido por el sistema A2 con S/. 814 774 y en último lugar el sistema A1 con S/. 712 993 (Tabla 7). Esto se debe a la menor producción de alfalfa en los dos sistemas por influencia de sombra de las especies forestales; en el sistema A3 la producción de esta especie duplica a la de los otros sistemas. Igualmente, se debe mencionar que el precio de venta de la alfalfa es alto, y genera el 51% de los beneficios brutos en el sistema A3, en tanto en los sistemas A1 y A2 los ingresos provenientes de la alfalfa son de alrededor del 28%. Lo contrario sucede en el caso de el rye-grass, puesto que en el sistema A3 genera el 4,3% de los beneficios; este pasto presenta un menor desarrollo en comparación a los sistemas A1 y A2, en los cuales genera el 10% de beneficios. Estos resultados corroboran con lo indicado en la Figura 3, donde decimos que la alfalfa es una especie que en presencia de mucha sombra comienza a tener problemas en su desarrollo y el rye-grass por presentar un incremento de su producción en aproximadamente el 100% en los sistemas con especies forestales (A1 y A2), sería una buena alternativa dentro de los sistemas silvopastoriles de la zona.

Tabla 7. Resumen de costos y beneficios de tres raíces andinas, dos pastos y una mezcla forrajera, bajo el efecto de tres sistemas agroforestales. Quito, Ecuador Quito, Estación Experimental Santa Catalina 1996.

RUBROS	COSTOS Y BENEFICIOS					
	Sucres			%		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
ZANAHORIA BLANCA	113 600,0	119 200,0	132 000,0	15,93	14,63	15,26
JÍCAMA	45 120,0	34 560,0	50 880,0	6,33	4,24	5,88
MISO	39 360,0	40 560,0	60 720,0	5,52	4,98	7,02
ALFALFA	201 600,0	228 400,0	438 000,0	28,28	28,03	50,63
RYE-GRASS	72 320,0	81 600,0	37 400,0	10,14	10,02	4,33
MEZCLA FORRAJERA	140,000,0	124 800,0	146 000,0	19,64	15,32	16,88
LEÑA	56 940,0	114 300,0	-----	7,99	14,03	-----
FORRAJE	44 053,0	71 324,4	-----	6,18	8,75	-----
TOTAL BENEFICIOS	712 993,0	814 774,4	865 040,0	100,00	100,00	100,00
COSTO DE PRODUCCIÓN	287 888,0	320 528,0	248 448,0			
BENEFICIO NETO	425 105,0	494 246,4	616 592,0			
RENTABILIDAD				147,6	154,2	248,2

A1 = acacia + quishuar; A2 = aliso + retama; A3 = pleno sol

En el caso de leña existe diferencia entre los dos sistemas agroforestales (A1 y A2). Esto se debe a que la especie arbustiva del sistema aliso + retama (A2), por sus características morfológicas, presentó mayor ramificación y por esta razón mayor cantidad de leña que la especie arbustiva del sistema acacia + quishuar (A1).

Es importante indicar que en este análisis no se ha tomado en cuenta lo que se refiere a los beneficios ecológicos y económicos producidos por las especies forestales dentro del sistema de producción, y la cantidad de madera en pie presente en los sistemas acacia + quishuar (A1) y aliso + retama (A2).

CONCLUSIONES

Los sistemas agroforestales no influyeron en los rendimientos de zanahoria blanca y jícama, mientras que en miso el efecto de la sombra producido por las especies forestales es marcado ya que disminuye su rendimiento hasta un 64% en los sistemas acacia + quishuar (A1) y aliso + retama (A2), en relación al sistema pleno sol (A3).

Dentro de los dos tipos de sombra en estudio, los tratamientos influenciados por el tipo de sombra vespertina produjeron al mayor número promedio de raíces aprovechables por planta de zanahoria blanca y el mayor largo promedio de raíces aprovechables por planta en jícama. En contraste, el tipo de sombra matutina presentó los menores promedios, esto posiblemente se debe a que la sombra vespertina por estar ubicada a la parte oriental tiene la posibilidad de recibir una mayor cantidad de energía solar, lo que le favorece una mayor fotosíntesis y por ende una mayor producción.

En general, los sistemas agroforestales y los tipos de sombra influyeron sobre el número de malezas por metro cuadrado en las tres RTA, encontrándose en el sistema acacia + quishuar el menor número de malezas en relación al sistema aliso + retama. El mayor promedio en esta variable se encontró en los tratamientos que están influenciados por el tipo de sombra matutina. Esto posiblemente se deba a que cierta condición de humedad favorece el desarrollo de las malezas.

Los sistemas forestales y las sombras en estudio (matutina y vespertina), no afectaron la incidencia de plagas y enfermedades en las tres RTA.

El efecto de la sombra generada por la presencia de árboles y arbustos de los sistemas agroforestales es marcado, ya que disminuye el rendimiento de alfalfa en aproximadamente el 50%.

El rye-grass presentó una característica muy importante para los estudios silvopastoriles que se pueden llevar a cabo dentro del callejón interandino, debido a que presentó mayores rendimientos de materia verde en los sistemas acacia + quishuar (A1) y aliso + retama (A2), en relación al sistema pleno sol (A3).

La mezcla forrajera (rye-grass + trébol) prácticamente no es afectada por la sombra generada por los sistemas agroforestales, pues presenta rendimientos casi parecidos en los tres sistemas agroforestales.

La acacia manifiesta un incremento mensual de 16,3 cm, mientras que el aliso presentó un mayor incremento mensual con 17,8 cm. Dentro de los arbustos el quishuar presentó un mayor incremento en relación a la retama. Esto posiblemente se debe a las características morfológicas particulares para cada especie. Como es lógico a mayor altura hay una mayor proyección de la sombra, es así que los mayores promedios de sombra los encontramos en el sistema acacia + quishuar (A1), por ser la acacia la especie de mayor altura.

En el caso de leña existe diferencia entre los dos sistemas agroforestales (A1 y A2). Esto se debe a que la especie arbustiva del sistema aliso + retama (A2), por sus características morfológicas, presentó mayor ramificación y por esta razón mayor cantidad de leña que la especie arbustiva del sistema acacia + quishuar (A1).

El nitrógeno y fósforo en el suelo de las parcelas bajo las raíces andinas en estudio presentaron un leve incremento de sus contenidos al relacionar la lectura inicial con la final en todos los tratamientos, manteniéndose la fertilidad del suelo dentro de los mismos niveles iniciales.

El contenido de potasio en las parcelas de zanahoria blanca y miso disminuye al relacionar las dos lecturas realizadas a la siembra y cosecha de las RTA, mientras que en jícama se produjo un ligero incremento. Esto posiblemente se deba a que la zanahoria blanca y el miso sean más exigentes en este elemento para su normal desarrollo.

El nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo sembrado con pastos disminuyeron notablemente en todos los tratamientos, sistemas y pastos, llegando en algunos casos a disminuir en un 50% de sus contenidos iniciales. Esto posiblemente se debe a que estas especies utilizaron las cantidades que necesitan de este nutriente para su normal desarrollo.

Los dos tipos de sombra (matutina y vespertina) no influenciaron sobre la dinámica poblacional de la nematofauna.

El efecto de la sombra es notorio sobre el contenido de humedad del suelo entre 0-10 cm de profundidad, ya que los mayores porcentajes de humedad se encontró en el sistema aliso + retama donde la sombra producida por este sistema es más densa; en cambio, menor contenido de humedad se encontró en el sistema pleno sol (A3). Cierta efecto también se manifestó a la profundidad de 11-30 cm y no así a la profundidad de 31-50 cm donde no se determina ningún efecto.

Con respecto a los contenidos de humedad de los suelos sembrados con pastos, se puede indicar que es casi similar al encontrado en las tres raíces andinas, donde en la primera profundidad 0-10 cm se manifiesta un efecto de sombra sobre el porcentaje de humedad del suelo, no siendo tan notorio en la segunda profundidad 11-30 cm y prácticamente desaparece el efecto a la tercera profundidad.

Los tres sistemas agroforestales son rentables, por cuanto están generando rentabilidades de 248,2% en el sistema A3 (pleno sol), 154,2% en el A2 (aliso + retama) y 147,6% en el A1 (acacia + quishuar). Todos estos porcentajes demuestran que la rentabilidad obtenida es mayor al costo de oportunidad del capital que fue considerado (36%).

El Sistema A3 (pleno sol) fue el de mayor rentabilidad por cuanto la producción de alfalfa fue mayor, e igualmente porque el costo de venta es elevado, lo cual hace que el valor bruto de producción sea mayor que en los otros sistemas y genera el mayor porcentaje de ingresos.

BIBLIOGRAFÍA

Castillo Torres, R.

1989 Proyecto de creación del Departamento de Recursos Fitogenéticos del INIAP. Quito, Instituto Nacional de Investigación Agropecuarias

Dove, M. R.

1992 "Forester's beliefs about farmers: a priority for social science research". *Agroforestry System* 17: 13-41.

Gutiérrez, N.

1986 "Sistemas pecuarios andinos". En: V Congreso Internacional de Sistemas Agropecuarios Andinos. Puno, CIID/ACDI/PISA

- Hernández Bermejo, J. E. y J. León (editores)
1992 *Cultivos marginados; otra perspectiva de 1492*. Roma, FAO.
- Hoskins, M.
1990 "Las actividades forestales y la alimentación". *Unasylva* 41 (160): 3-13.
- National Council Research
1989 *Lost Crop of the Incas: Known Plans of the Andes With Promise for Worldwide Cultivation*. Washington, DC., National Academy Press.
- Seminario, J.
1988 "El chago o mauca (*Mirabilis expansa* R y P) en Cajamarca". En: *Memorias del VI Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos* (Santa Catalina, Ecuador, 30 de mayo - 2 junio 1988), págs. 257-264. Quito, INIAP/CIID/LATINRECO.

REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS POR ALMACENAMIENTO PARA CONSUMO DE OCA (*OXALIS TUBEROSA*), ULLUCO (*ULLUCUS TUBEROSUS*) Y MASHUA (*TROPAEOLUM TUBEROSUM*)

Alberto L. Túpac Yupanqui

RESUMEN

Durante los años de 1993 y 1994 se realizaron pruebas de almacenamiento para cuantificar y reducir las pérdidas de oca (*Oxalis tuberosa*), ulluco (*Ullucus tuberosus*) y mashua (*Tropaeolum tuberosum*). Las pruebas se realizaron en los almacenes de las casas de agricultores de la zona alto andina de las provincias de Concepción, Huancayo y Jauja en el departamento de Junín, Perú. Las pruebas con oca duraron 5 meses y las con ulluco y mashua 6 meses. En todos los casos se comparó el sistema tradicional de almacenamiento con un sistema propuesto. En 1993 se realizaron 28 pruebas (8 con oca, 10 con ulluco y 10 con mashua). Con el sistema propuesto la pérdida total promedio en oca disminuyó de 57 a 41%, en ulluco de 36 a 19% y en mashua de 48 a 44%. En 1994 se realizaron 30 pruebas, 10 en cada cultivo o producto con los mismos sistemas y la pérdida total promedio disminuyó de 58 a 29% en oca, de 37 a 16% en ulluco y de 40 a 29% en mashua. Los precios a nivel de acopiator en 1994, al inicio y al final de las pruebas de almacenamiento, fueron de S/ 0,25 y S/ 1,0 en ulluco, de S/ 0,20 y S/ 0,50 en oca y de S/ 0,20 y S/ 0,25 en mashua.

Durante 1995 y 1996 se probó el sistema propuesto modificado para 500 kg de capacidad. En 1995 la pérdida por almacenamiento en oca fue de 28,8%, en ulluco

RAÍCES Y TUBércULOS ANDINOS. AVANCES DE INVESTIGACIÓN I, Tommy Fairlie, Marciano Morales Bermúdez y Miguel Holle, editores, págs. 213-222. Lima, Centro Internacional de la Papa (CIP) y Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), 1999.

10,6 y 18,8%, y en mashua 31,6%, y en 1996 la pérdida por almacenamiento en oca fue 29,1%; y en ulluco fue de 12,8 y 19,7%. Se han obtenido en 1995 tasas de retorno de 123% y 103% en ulluco y de -21% y -43% en oca y mashua respectivamente y en 1996 de 118 y 104% en ulluco y de -12% en oca.

INTRODUCCIÓN

Las ocas, ullucos y mashuas se cultivan en toda la sierra del Perú a partir de los 3300 msnm (Hermann 1992). En la zona del Centro del Perú, estos cultivos han alcanzado un gran grado de desarrollo, especialmente el ulluco (Chávez 1993), y en menor grado la oca. Pero, la cosecha es estacional y generalmente los precios son muy bajos. La práctica de almacenar por más de cuatro meses para luego vender es poco frecuente por problemas de deshidratación y pudrición en los tres productos, y especialmente por la infestación de gorgojo en la oca. La poca literatura existente está orientada a la descripción de sistemas tradicionales y ninguna a propuestas de sistemas que puedan reducir las pérdidas por almacenamiento. Así, Zvietcovich (1985) distingue problemas mayores y menores durante el almacenamiento, como se observa en la Tabla 1.

Por otra parte, Cortez (1987) manifiesta que la oca tiene un proceso de almacenamiento más difícil que la papa y puede resultar en 42 a 48% de merma total y entre 6,15% a 6,65% de pérdidas por pudrición. Además, menciona que el principal microrganismo causante de la pudrición pertenece al género *Rhizopus spp*. No se ha encontrado referencias específicas y datos concretos sobre pérdidas por almacenamiento en ulluco y mashua. Así, Tineo (1993) sólo indica que el ulluco debe almacenarse en lugares fríos donde la temperatura se encuentre por debajo de los 6 °C.

El objetivo de los experimentos que acá se describen fue el de evaluar los problemas y las pérdidas por almacenamiento de oca, ulluco y mashua en los sistemas tradicionales y evaluar las posibilidades de reducir estas pérdidas mediante un sistema alternativo de almacenamiento para consumo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En 1993 se instalaron 28 experimentos de almacenamiento con agricultores (8 con oca, 10 con ulluco y 10 con mashua). En 1994 se instalaron 30 experimentos más, 10 en cada producto. Los experimentos estuvieron ubicados en las provincias de Huancayo, Concepción y Jauja en el departamento de Junín, en la sierra central del Perú. Los lugares donde se han instalado los experimentos están ubicados en la zona alto andina, sobre los 3500 msnm. Los experimentos con oca se instalaron entre abril y mayo y estuvieron almacenados por cinco meses hasta setiembre y octubre. Los experimentos de ulluco y mashua fueron instalados en mayo por seis meses hasta noviembre.

A cada agricultor se le compraron 140 kg de su producto, de los cuales 64 kg se almacenaron como consumo y 64 kg como semilla. En algunos casos se almacenó un solo

Tabla 1. Problemas mayores y menores en almacenamiento, según Zvietcovich (1985)

PRODUCTO	PROBLEMA MAYOR	PROBLEMA MENOR
Oca	Pudriciones, roedores	Deshidratación
Ulluco	Pudriciones, deshidratación	Roedores
Mashua	Pudriciones, roedores	Deshidratación

producto o cultivo y en otros 2 ó 3 productos a la vez por agricultor. Una vez disponibles los productos se procedió a la selección. El tipo de selección realizado fue el resultado de un acuerdo entre el investigador y el agricultor y en donde se resaltan básicamente dos aspectos. Primero, la calidad sanitaria, y se desecharon aquellos tubérculos con insectos, daños mecánicos y enfermedades; y segundo, el tamaño, usándose los tubérculos más grandes de primera y segunda, que son los que normalmente el agricultor vende. Una vez seleccionado el material, se prepararon 8 muestras de 8 kg por bolsa de malla de plástico. Estas 8 muestras se distribuyeron al azar y se almacenaron 4 muestras en el sistema tradicional y 4 muestras en el sistema alternativo.

• Sistema tradicional

Se siguió el patrón del agricultor tanto en la ubicación del producto como en la manera de realizarlo. Se trata de montones o trojas del producto sobre una capa de paja o eucalipto sobre el piso de tierra en cuartos comunes sin luz ni sistemas de ventilación y en la mayoría de los casos sin ser tapados. Las cuatro muestras se pusieron unas sobre las otras al lado de los demás productos almacenados por el agricultor.

• Sistema propuesto

Para mejorar la distribución del aire y limitar la excesiva pérdida de peso por evaporación de los tubérculos de oca, ulluco y mashua, se diseñó un cajón rústico de madera de eucalipto con un falso piso a manera de ducto de ventilación. El piso tenía aberturas para dejar que el aire circule. Las paredes del cajón no tenían aberturas. Las dimensiones del cajón fueron de 0,5 m por 0,4 m y 0,6 de altura con capacidad de hasta 50 kg. Se colocó una capa de ramas frescas de eucalipto sobre el piso y otra capa encima de las cuatro muestras del producto seguido de una capa de tela de yute. Al mes de almacenado se aplicó un inhibidor de brotamiento. No brotan (1% CIPC) a la dosis de 2 g por kg del producto. Durante las pruebas de 1994 se agregó una capa de costal de plástico a las paredes del cajón para reducir la deshidratación. El diseño del cajón es una idea personal del investigador.

Durante el período de almacenamiento del año 1993, las temperaturas máximas ambientales oscilaron entre 22 y 25 °C y las mínimas entre 1 y 5 °C. Dentro de los almacenes el promedio de temperatura osciló entre 9 y 12 °C. Durante 1994 las temperaturas máximas ambientales oscilaron entre 20 y 26 °C y las mínimas entre -1 y 4 °C. Dentro de los almacenes el promedio de temperatura osciló entre 8 y 12 °C. En 1995 la temperatura dentro del almacén osciló entre 8 y 11 °C y en 1996 entre 9 y 13 °C.

Tabla 2. Precios por kg a nivel de acopiador en Concepción de ulluco, oca, mashua, papa Huayro y papa blanca para consumo (Precio en Nuevos soles ¹⁾)

Mes	Ulluco	Oca	Mashua Huayro	Papa blanca	Papa
Mayo 94	0,25 ²⁾	0,25 ²⁾	0,20 ²⁾	0,70	0,30
Junio	0,25	0,25	0,20	0,50	0,30
Julio	0,25	0,30	0,20	0,50	0,30
Agosto	0,25	0,35	0,20	0,60	0,40
Setiembre	0,30	0,40	0,20	0,80	0,50
Octubre	0,50	0,50 ³⁾	0,20	1,00	0,50
Noviembre	1,00 ³⁾	no hay	0,25 ³⁾	no hay	0,30
Diciembre	1,20	no hay	no hay	no hay	0,30
Enero 95	1,20	no hay	no hay	no hay	0,20
Febrero	1,00	no hay	no hay	1,00	0,20
Marzo	0,60	0,70	no hay	1,00	0,20
Abil	0,50	0,50	no hay	0,60	0,15

1/ Un Nuevo Sol = \$ 0,48; 2/ Precio al inicio del experimento; 3/ Precio al final del experimento.

Las evaluaciones al final del almacenamiento constituyeron en: porcentaje de brotación, porcentaje de pudrición, pérdida total (diferencia de peso entre el peso inicial y el peso final de las muestras que puedan ser comercializadas). El porcentaje de pérdida por evaporación o deshidratación fue obtenido de la diferencia de la pérdida total menos la pérdida de brotación y la de pudrición (ver Tablas 6 y 7).

Durante 1994 se recopilaron los precios de ulluco, oca, mashua, papa huayro y papa blanca a nivel de acopiador en Concepción. Los precios mensuales que se presentan en la Tabla 2 resultan de los promedios de los precios de los productos durante los cuatro domingos de cada mes. Adicionalmente, se incluye en este informe el ingreso mensual de ulluco al Mercado Mayorista de Lima (Tabla 3).

En 1995 se diseñaron cajones rústicos de almacenamiento para 500 kg de capacidad. Estos cajones tienen el mismo diseño que los cajones chicos, variando solamente las dimensiones. El falso piso es de 0,4 m y el cajón tiene 1 m por 1 m y 1 m de altura. Se han usado cinco cajones, dos para ulluco, y uno para oca, mashua y papa blanca respectivamente. En cada caso se ha obtenido el producto y luego de la selección rigurosa se han llenado éstos en mallas de 15 kg hasta completar los 500 kg. Uno de los cajones fue llenado con ulluco que provenía de un campo con problemas de gorgojo y fue almacenado en mayo por 6 meses. El otro cajón se llenó con ulluco proveniente de un campo sin problemas de gorgojo y fue almacenado en junio por 5 meses. El cajón con oca fue almacenado por 5 meses y el de mashua y papa blanca por 6 meses. Al final del periodo de almacenamiento se pesó el producto apto para la venta y por diferencia del peso inicial se obtuvo el porcentaje de pérdida total. También se obtuvo el peso de los tubérculos podridos, transformando este peso a porcentaje del peso inicial. En el caso de la oca hubo daño de roedores (Tabla 4).

Tabla 3. Ingreso de ulluco en el Mercado Mayorista N° 1 de Lima durante 1992, 1993, 1994 y 1995.

Mes	1992	1993	1994	1995
Enero	1,021	1,960	1,692	519
Febrero	2,068	2,631	1,850	842
Marzo	2,677	2,804	3,386	1,219
Abril	3,021	3,095	3,176	1,066
Mayo	2,493	2,576	2,405	1,016
Junio	2,173	2,611	1,509	879
Julio	1,593	2,469	1,076	739
Agosto	799	1,594	773	
Setiembre	395	1,336	630	
Octubre	218	1,093	459	
Noviembre	321	741	235	
Diciembre	1,063	783	208	

En 1996 se usaron nuevamente los cajones grandes para almacenar ulluco de las variedades Tarmena y Canario, oca de la variedad Amarillo Zapallo, papa blanca de la variedad Yungay y papa nativa de la variedad Muruhuayro. Con los datos de pérdidas, se han calculado el beneficio neto y la tasa de retorno por almacenamiento (Tabla 5).

RESULTADOS

En las pruebas del año 1993, con el sistema propuesto se ha logrado reducir la pérdida total en oca de 57% a 41%. En ulluco se redujo de 36 a 17% y en mashua de 48 a 44% (Tabla 6). Además, con el sistema propuesto se redujo el brotamiento en 5% en oca, 7% en ulluco y 2% en mashua. Igualmente, la deshidratación se redujo en 8% en oca, 7% en ulluco y 1% en mashua.

En el año de 1994, la reducción de pérdidas por el sistema propuesto fue mayor. Así, tenemos que la pérdida total de ulluco se redujo de 37 a 16%, en oca de 58 a 29% y en mashua de 40 a 29% (Tabla 7). La pérdida por brotación se redujo en 6% en ulluco, 6% en oca y 2% en mashua. Igualmente, la deshidratación se redujo apreciablemente por la adición del costal de plástico en los cajones, observándose una reducción de 15% en ulluco, 29% en oca y 11% en mashua.

Los precios de los productos se incrementaron de S/ 0,25 a S/ 1,0 en ulluco, de S/ 0,25 a S/ 0,50 en oca y tan solo de S/ 0,20 a S/ 0,25 en mashua (Tabla 5). En el caso de ulluco esta información se complementa con los registros de entrada al Mercado Mayorista No. 1 de Lima (Tabla 3), donde se observa una gran afluencia de ulluco en los meses de mayo, junio y julio, declinando progresivamente hasta hacerse crítico de octubre a diciembre.

Tabla 4. Porcentaje de pérdida total y por pudrición en cajones rústicos de almacenamiento de 500 kg de capacidad.

PRODUCTO	PÉRDIDA TOTAL	PUDRICIÓN
1995		
Ulluco 1 var. Tarmeña ^{1/}	10,6	0,9
Ulluco 2 var. Tarmeña ^{2/}	18,8	9,5
Oca var. Zapallo ^{3/}	28,8	8,0
Mashua var. Jergona amarilla	31,6	8,8
Papa blanca var. Yungay	10,4	1,5
1996		
Ulluco 1 var. Tarmeña ^{4/}	12,8	0,9
Ulluco 2 var. Canario	19,7	9,5
Oca var. Zapallo	29,1	8,0
Papa blanca var. Yungay	8,4	1,5
Papa Nativa Var. Huayro	12,3	

^{1/} Ulluco 1 almacenado por 5 meses de junio a noviembre de 1995; y era proveniente de un campo sin problemas de gorgojo.

^{2/} Ulluco almacenado por 6 meses de mayo a noviembre de 1995 y era proveniente de un campo con problemas de gorgojo.

^{3/} Oca se almacenó por 5 meses y mashua y papa por 6 meses.

^{4/} Ulluco y papa Muruhuayro se almacenó por 6 meses, oca y papa Yungay por 5 meses.

En 1995 (Tabla 4), usando los cajones grandes se ha logrado tener una pérdida total de tan sólo 10,6% y pudrición de 0,9% en ulluco proveniente de un campo donde no había problemas de gorgojo. Con ulluco proveniente de un campo con problemas de gorgojo se tuvo 18,8% de pérdida total y 9,5% de tubérculos podridos. Con oca se obtuvo 28,8% de pérdida y 8,0% de podridos, aunque en este cajón hubo problemas de roedores. En mashua hubo 31,6% de pérdidas y 8,8% de tubérculos podridos. Con papa blanca tan sólo hubo 10,4% de pérdidas y 1,5% de pudrición.

En 1996 (Tabla 4), se obtuvo 12,8 y 19,7% de perdidas con las variedades de ulluco Tarmeña y Canario respectivamente. Con oca se obtuvo 29,1% de pérdidas y con papa se tuvo 8,4 y 12,3% con la variedad Yungay y Muruhuayro respectivamente. Con estos datos de pérdidas físicas por almacenamiento se han obtenido en 1995 tasas de retorno de 123% y 103% en ulluco, -21% en oca y -43% en mashua y de 79% en papa blanca.

En 1996 se obtuvo 118 y 104% en ulluco, -12% en oca y de 129 y 75% en papa Yungay y Muruhuayro respectivamente (Tabla 5).

Tabla 5. Precio por kg a nivel de acopiador al inicio y final del periodo de almacenamiento, incluyendo costos y beneficios, de ulluco, oca, mashua y papa blanca para consumo.

Producto	Precio Inicio kg ^{1/}	Precio Final kg ^{2/}	Costo Almac. kg ^{3/}	Costo Total Soles ^{4/}	Beneficio Bruto Soles	Beneficio Neto Soles	Tasa Retorno %
1995							
Ulluco 1	0,30	1,00	0,1	200	447	247	123%
Ulluco 2	0,30	1,00	0,1	200	406	206	103%
Oca	0,30	0,50	0,1	200	178	-22	-11%
Mashua	0,20	0,25	0,1	150	86	-64	-42%
Papa blanca	0,15	0,50	0,1	125	224	99	79%
1996							
Ulluco Tarmeña	0,30	1,00	0,1	200	436	236	118%
Ulluco Canario	0,30	1,00	0,1	200	409	209	104%
Oca	0,30	0,50	0,1	200	176	-24	-12%
Papa blanca	0,30	1,00	0,1	200	458	258	129%
Papa Muruhuayro	0,50	1,20	0,1	300	526	226	75%

^{1/} Costo total: (Peso inicial x Precio Inicial) + costo de almacenamiento

^{2/} Beneficio Bruto: Peso final x Precio final

^{3/} Beneficio Neto: Beneficio Bruto - Costo Total

^{4/} Tasa de Retorno: (Beneficio Neto / Costo total) x 100

DISCUSIÓN

Cuando uno se refiere al almacenamiento de tubérculos andinos, casi todos coinciden en que las pérdidas son relativamente altas. Así, en nuestros experimentos se ha observado en oca pérdidas del 58%, en ulluco 37% y en mashua 48% bajo condiciones tradicionales, mientras que con papa blanca se puede tener un 25% de pérdidas (Túpac Yupanqui 1981).

Los factores que inciden en mayores pérdidas por almacenamiento son la pérdida de peso por evaporación, pudriciones agravadas cuando hay tubérculos con daño mecánico, infestación por insectos y finalmente por brotamientos. Estos factores están influenciados por el medio ambiente del almacén, especialmente la temperatura y humedad. Cualquier sistema que tenga por objetivo disminuir las pérdidas durante el almacenamiento deberá tener en cuenta estos factores. Así, en estos experimentos para disminuir la excesiva pérdida de peso por evaporación se diseñó el cajón rústico de almacenamiento, con cubiertas de ramas frescas de eucalipto y tela yute además de una capa de costal de plástico en las paredes del cajón. Una adecuada y rigurosa selección permitió eliminar los tubérculos con daños mecánicos, enfermos y con ataques de insectos, disminuyéndose por tanto

Tabla 6. Efecto del sistema propuesto en el porcentaje de pérdida total, pudrición, brotamiento y evaporación durante el almacenamiento de oca, ulluco y mashua para consumo, experimento realizado en 1993 ^{1/}

Pérdidas	Sistema Tradicional			Sistema Propuesto			Reducción		
	Ull.	Oca	Mas	Ull.	Oca	Mas.	Ull.	Oca	Mas.
Pudrición	5	10	3	2	7	2	3 **	3 **	1 NS
Brotamiento	7	5	2	0	0	0	7 **	5 **	2 **
Evaporación	24	42	43	17	34	42	7 **	8 **	1 NS ^{2/}
Pérdida Total	36	57	48	19	41	44	17 **	16 **	4 NS

1/ La oca se almacenó por 5 meses (mayo-octubre de 1993) y el ulluco y la mashua por 6 meses (mayo a noviembre de 1993).

2/ Se obtuvo por diferencia de la pérdida total menos la pérdida por pudrición y brotación.

los riesgos de pudrición y finalmente con el inhibidor de brotes se eliminó la pérdida por brotamiento y las consiguientes pérdidas de humedad y de materia seca que se producen cuando los tubérculos empiezan a brotar. Los datos obtenidos en esta serie de experimentos nos indican haber logrado reducir significativamente las pérdidas por almacenamiento en oca, ulluco y mashua al usar el sistema propuesto.

En estos experimentos se ha trabajado con cantidades relativamente chicas de 50 y 500 kg de producto y es necesario iniciar experimentos de almacenamiento con volúmenes mayores. Por eso, el autor ha elaborado un proyecto para la construcción y evaluación de un almacén para 20 toneladas de capacidad para ulluco. Una vez comprobado a este nivel podremos hablar de una tecnología de almacenamiento de ulluco para consumo por más de 5 meses. Con el régimen de precios de ulluco y los registros de entrada al Mercado Mayorista de Lima (Tabla 3), se puede concluir que existe un gran potencial para la adopción de esta tecnología por parte de los productores, sea en forma individual o en forma asociativa.

En cuanto a oca, aún controlando la infestación del gorgojo todavía hay problemas de pudrición y aparición de manchas negras en la piel durante el almacenamiento. Trabajos futuros deberían incluir tratamientos de desinfección de los tubérculos antes del almacenamiento. Con mashua no hay mayores perspectivas de trabajos futuros por su poca demanda en el mercado.

Por último, para mejorar los sistemas de poscosecha de los agricultores de la parte alto andina y mejorar sus ingresos, los estudios de poscosecha deberán incluir un sistema integrado que incluya no solamente ulluco y oca sino también papa y especialmente las papas nativas, ya que es sabido que los sistemas de producción en estas zonas empiezan con papa continuando uno o dos años con ulluco y/o oca, seguidos por un cereal y finalmente un descanso por tres años.

Tabla 7. Efecto del sistema propuesto en el porcentaje de pérdida total, de pudrición, brotación y evaporación durante el almacenamiento de oca, ulluco y mashua para consumo, experimento realizado en 1994 ^{1/}

Pérdidas	Sistema Tradicional			Sistema Propuesto			Reducción		
	Ull.	Oca	Mas	Ull.	Oca	Mas	Ull.	Oca	Mas
Pudrición	6	6	4	6	6	7	0 NS	0 NS	-3 *
Brotación	6	6	2	0	0	0	6 **	6 **	2 *
Evaporación	25	46	34	10	23	22	15 **	23 **	12 ** ^{2/}
Pérdidas Totales	37	58	40	16	29	29	21 **	29 **	11 **

1/ La oca fue almacenada por 5 meses (mayo-octubre de 1994) y el ulluco y la mashua por 6 meses (mayo-noviembre, 1994).

2/ Se obtuvo por diferencia de la pérdida total menos la pérdida por pudrición y brotación.

BIBLIOGRAFÍA

Chávez, A.

1993 Potencial comercial de algunos cultivos andinos representativos y conclusiones aplicables a los cultivos andinos en general. Programa Colaborativo de Raíces y Tubérculos. Lima, Centro Internacional de la Papa.

Cortez, H.

1987 "Alcances de la investigación en tres tubérculos andinos: oca, ulluco y mashua". En: *Avances en las Investigaciones sobre tubérculos alimenticios de los Andes*, Mario Tapia, editor. Lima, INIAA-CIID-ACDI-PISA.

Hermann, M.

1992 *Andean roots and tubers: Research priorities for a neglected food resource*. Lima, International Potato Center.

Tineo, J.

1993 *Cultivo del ulluco*. Serie Folleto No 7-93. Lima, Instituto Nacional de Investigación Agraria.

Túpac Yupanqui, A.

1981 "Almacenamiento de papas en condiciones ambientales en Huancayo". En: Primer Seminario Nacional sobre Tecnologías Adecuadas (Ayacucho, 8-11 Nov. de 1978). Lima, CONACYTA.

Zvietcovich, G.

1985 *Inventario tecnológico de los sistemas de postcosecha en la sierra del Perú*. Lima, IICA. Oficina en Perú. Proyecto de Investigación de Poscosecha en Cultivos Andinos. Convenio IICA/CID. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

OBTENCIÓN DE HARINAS DE RAÍCES Y TUBÉRCULOS ANDINOS

Gonzalo Alfaro
Walker Illanes
Blasco Vera
Edwin Torrez
Yvan Larondelle

RESUMEN

En el ámbito andino de hoy y en una gran parte de su población están presentes la pobreza y todas sus secuelas, hechos que deben encararse. Uno de los frentes constituye el uso y aprovechamiento adecuado de sus recursos naturales, entre ellos el de los recursos agroalimentarios. El mundo andino posee una agricultura diversificada y provee suficiente material para seleccionar granos, raíces, tubérculos, legumbres y frutas. En el caso particular de Bolivia, las raíces y los tubérculos andinos nativos son consumidos mayormente en estado fresco. Sin embargo, antes de la llegada de Colón a América en el siglo XV, la conservación de alimentos en el mundo andino jugaba un rol muy importante. Deshidratación, cocción/congelación, tostado/pulverización y obtención de líquidos conservables, eran algunos de los procesos que se utilizaban en forma habitual. Hoy, el procesamiento y la elaboración de subproductos de una gran parte de los productos andinos son actividades reducidas, pero resulta factible restablecer y mejorar esto que ha sido olvidado en los últimos siglos. Para ello es necesario: formar recursos humanos; desarrollar infraestructura; generar políticas y realizar estudios para impulsar la producción, el consumo (preferencias y hábitos), las tecnologías de procesamiento y los mecanismos de comercialización. En esa dirección, este trabajo ha encarado dentro del procesamiento, el estudio de la obtención de harinas de papa (*Solanum tuberosum*),

RAÍCES Y TUBÉRCULOS ANDINOS. AVANCES DE INVESTIGACIÓN I, Tommy Fairlie, Marciano Morales Bermúdez y Miguel Holle, editores, págs. 223-241. Lima, Centro Internacional de la Papa (CIP) y Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), 1999.

oca (*Oxalis tuberosa*), papalisa (*Ullucus tuberosus*), isaño (*Tropaeolum tuberosum*), arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), ajipa (*Pachyrhizus ahipa*), yacón (*Polytmnia sonchifolia*), achira (*Canna edulis*), gualusa (*Xanthosoma sagittifolium*) y de mauka (*Mirabilis expansa*) por medio del secado convencional. Las harinas obtenidas han sido evaluadas en términos de composición química, contenido microbiológico y los valores técnico-económicos para su producción.

INTRODUCCIÓN

Los Andes se encuentran al sur del continente americano, en un territorio joven y vigoroso que todavía no ha despertado (Alfaro et al. 1995). Andes deriva de las montañas de los Antis, palabra originaria de la tribu de los indígenas antis y de la provincia del Anti, situada al este de Cusco (Perú). En sí, la ecorregión andina está constituida a lo largo de sus cordilleras por toboganes hacia la costa, montañas, quebradas, valles, altiplanos, páramos, punas, cejas de selva y pendientes diversas hacia la selva. Este escenario de alta diversidad fue el sitio para la evolución de la civilización andina, que emergió hace más o menos unos 4500 años y que a partir de ello, como dice Bollinger (1993): "se puede hablar de un mundo andino como una marcha sucesiva de pueblos que se superponen en el tiempo y espacio, añadiendo cada cual un bagaje de conocimientos, técnicas, habilidades, pensamientos, costumbres y percepciones. Sus raíces son diversas como diversos son los ambientes ecológicos en los que el hombre convivió con la naturaleza y a los que le dio un valor justo".

Todavía hoy los Andes son uno de los pocos espacios en el planeta que comprenden terrenos habitados desde los 1500 hasta los 4500 msnm y que además son utilizados en una agricultura altamente diversificada (Cárdenas 1969, NRC 1989, Holle y Risi 1993, Alfaro 1996). Los ciclos diferentes de los cultivos a diferentes elevaciones también permitieron el trabajo escalonado y el uso de un área mayor de tierra. De esta manera y debido a sus contrastes geográficos impresionantes, la región andina llegó a ser uno de los ocho centros importantes del mundo de domesticación de especies en cultivos y hoy provee suficiente material para seleccionar granos, raíces, tubérculos, legumbres y frutas (Tapia 1993). En la época precolombina, la diversidad de cultivos resultante sirvió como una forma de seguro agrícola y por lo tanto también una garantía para la seguridad alimentaria de los pueblos andinos. Sin embargo, actualmente en el mundo andino existen contrastes sorprendentes, como por ejemplo: ricas ciudades con rascacielos y al mismo tiempo cinturones periféricos de pobreza, campos con una biodiversidad agrícola espectacular y al mismo tiempo malnutrición, territorios con recursos naturales amplios y al mismo tiempo falta de trabajo para la generación de ingresos, los mejores lujos en las élites urbanas y al mismo tiempo la inseguridad humana más humillante en el ámbito rural.

El tema de la pobreza y todas sus consecuencias es complejo, pero necesario de ser encarado en cada uno de sus factores. Uno de éstos constituye el aprovechamiento adecuado de los recursos naturales propios y concretamente, en este caso, el de los recursos agrícolas para la alimentación, primero para el autoconsumo y luego para la generación de ingresos que permitan al campesino pobre participar de la actual

economía de mercado. Con ese fin es necesario considerar el olvido de ciertos cultivos andinos nativos, que hoy comienzan a ser reconocidos como portadores de un potencial nutricional que podría ser una contribución muy importante al mercado mundial de alimentos. Para ello, se requiere una valorización e investigación en las mismas zonas de origen, una gran voluntad internacional y también se requiere una estrategia para la incorporación de los productos andinos en el mundo desarrollado.

Algunos de estos cultivos, como la papa, la yuca, el camote y el frijol, han recibido un especial interés científico. Una clara evidencia de ello son tres centros internacionales de investigación, dedicados a estas especies: el CIMMYT en México para el maíz, el CIP en el Perú para la papa y el camote, y el CIAT en Colombia para el frijol y la yuca. En la actualidad también se inician numerosos esfuerzos por recuperar para la alimentación mundial algunas especies relegadas como las raíces y tubérculos andinos (RTAs).

Según el investigador peruano Mario Tapia (1990), las principales especies alimenticias andinas y silvestres en el grupo de las raíces son la arracacha, el yacón, la mauka, la ajipa y la maca; y dentro del de los tubérculos la papa, la oca, la papalisa y el isaño. Algunas especies, como la papa, tuvieron una gran expansión, otras permanecieron relegadas y sólo cultivadas en pequeñas parcelas por los campesinos. Estas últimas constituyen los denominados cultivos andinos subexploitados, como lo son la oca y la papalisa. En Bolivia, podemos indicar que el esfuerzo por la valorización de los productos andinos ha comenzado hace algunos años atrás, y en esta oportunidad se trata de realizar un aporte más al caso particular de las raíces y tubérculos andinos (RTAs). Al igual que todos los cultivos andinos, los RTAs reciben diversas denominaciones según los países e incluso dentro de éstos, tal como se puede ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Nomenclatura científica y común de las raíces y tubérculos andinos.

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRES COMUNES			
	Bolivia	Ecuador	Perú	Otros
TUBÉRCULOS:				
<i>Oxalis tuberosa</i>	Oca	oca	oca	Colombia: ibis, Venezuela: cuba
<i>Solanum andigenum</i>	Papa	papa	papa	
<i>Solanum juzepczukii</i>	papa amarga, papa luki		papa amarga, papa luki	
<i>Tropaeolum tuberosum</i>	isaño, aña		isaño, aña, mashwa	Colombia: cubio
<i>Ullucus tuberosus</i>	papalisa, ulluco	melloco	ulluco, papalisa	Quechua y aymara: ulluku
RAÍCES:				
<i>Arracacia xanthorrhiza</i>	racacha, arracacha		arracacha, racacha	Colombia: arracacha
<i>Canna edulis</i>	achira	zahoríta blanca	achira	
<i>Pachyrhizus tuberosus</i>	ajipa		Jicema	
<i>Polytmnia sonchifolia</i>	yacón, aricoma		yacón, aricoma	
<i>Mirabilis expansa</i>	mauka		chago	
<i>Ipomoea batatas</i>	camote, apichu	miso	camote, apichu	Colombia: jiquima
<i>Lepidium meyenii</i>			mace	

Fuente: Cuadro elaborado mayormente en base a los datos de Tapia (1990).

Sin embargo, los cultivos del mundo andino son estacionales, es decir que durante un periodo del año se acumula su producción y en otro periodo, normalmente más prolongado, no existe producción. En estos casos, el almacenamiento y la transformación de los productos agrícolas cosechados son una necesidad. La deshidratación o el secado es un medio útil para este objetivo. Se han realizado varios estudios en ese campo (Cortés et al. 1982, Shaw y Booth 1982, Ganther 1990), pero sin embargo hace falta uno más completo. Por ello, los objetivos del presente trabajo son el estudio de las condiciones técnico-económicas de la producción de harinas de raíces y tubérculos andinos, la determinación de las características químicas, físico-químicas y microbiológicas de las harinas elaboradas y aquí se presentan los resultados obtenidos en cuanto a la producción, por secado convencional, de harinas de: papa, oca, papalisa, isaño, arracacha, ajipa, yacón, achira, gualusa y la mauka.

MATERIALES Y MÉTODOS

En una primera etapa se han realizado viajes a algunas localidades del departamento de Cochabamba, a zonas conocidas como productoras importantes de raíces y tubérculos. Los fines de las visitas han estado orientados, primero, hacia el levantamiento de datos sobre las condiciones agroecológicas de las comunidades productoras de RTAs. Segundo, para verificar las condiciones de la infraestructura básica de cada centro productor de RTAs con miras a la posible implementación, en el futuro, de una unidad rural de deshidratación de RTAs.

Luego se han recolectado o solicitado muestras para realizar los estudios tecnológicos y económicos de la producción, a nivel piloto en laboratorio, de las harinas de RTAs. Hasta la fecha se tiene la información técnica y económica a nivel piloto de la producción de las harinas de diez RTAs. Los materiales vegetales utilizados para el estudio de deshidratación están identificados tanto por la variedad como por su procedencia, según los datos que se encuentran en la Tabla 2.

Con la finalidad de obtener la técnica del procesamiento adecuado y realizar las evaluaciones económicas correspondientes de la obtención de harinas, se ha habilitado un equipo piloto para el tratamiento de aproximadamente 10 kg de material. La unidad piloto consiste básicamente de un secador convencional a gas licuado, balanza, molino a martillos, selladora de bolsas de plástico, procesadora de alimentos (doméstico), cocina a gas, ollas de aluminio y accesorios de cocina. El secador empleado es del tipo de bandejas con calentamiento indirecto por llama de gas licuado que usa un intercambiador de tubos donde los gases de combustión no tienen contacto con el material vegetal. Posee un sistema de control automático de temperatura y recirculación, ventiladores para el ingreso de aire fresco y expulsión del aire húmedo, una cámara de secado de 0,25 m³ con doce bandejas y una superficie de secado de 0,18 m² cada una, haciendo un total de 2,16 m². Posee termómetros e higrómetros al ingreso del aire de secado como a la salida del mismo. El secador está además aislado térmicamente mediante plastoform de una pulgada de espesor y recubierto con una plancha metálica de 1 mm de espesor. La velocidad promedio del aire en la cámara de secado es de 2 m/s.

Tabla 2. Variedad y procedencia de los materiales utilizados en el estudio de deshidratado.

RAÍZ O TUBÉRCULO	VARIEDAD Y PROCEDENCIA
Papa	Variedad "Waych'a", procedencia Colomi (Cochabamba).
Papalisa	Variedad "Holandesa", procedencia Sapanani (Cochabamba).
Oca	Variedad "Puka ñawi", procedencia Colomi (Cochabamba).
Arracacha	Variedad "Amajaya amarilla", procedencia San Juan de la Mie (La Paz, gentil colaboración de Julio Rea).
Ajipa	Procedencia Luribay (La Paz)
Isaño	Variedad "Amarillo", procedencia Colomi (Cochabamba)
Yacón	Variedad "K'ellu yacón" proveniente de Chulina (La Paz, gentileza de Alvaro Torrico).
Achira	Variedad "Achira papa" cultivada en un jardín en la ciudad de Cochabamba (semilla proporcionada por Alvaro Torrico).
Gualusa	Variedad "Papa gualusa", procedencia Santa Isabel, (Cochabamba).
Mauk'a	Proveniente de Chulina (La Paz, gentileza de Lidia Paz).

Las pruebas en el equipo piloto han estado dirigidas para obtener información correspondiente al pretratamiento, al secado y a la evolución de las características del producto seco y envasado.

Durante la operación del secado se han controlado las siguientes variables: contenidos de humedad en el aire de entrada y salida, temperaturas de entrada y salida para el aire de secado, consumo de combustible, horas hombre utilizadas, tiempos de secado y humedad del producto en proceso. Parte de tal información ha permitido obtener las curvas y la velocidad de secado de los productos. La información resultante en las pruebas ha sido utilizada para evaluar el proceso y los costos de producción de las harinas bajo las condiciones de trabajo.

Las harinas de RTAs obtenidas han sido sometidas a los análisis químico y microbiológico. Humedad, cenizas, nitrógeno, fibra alimentaria total y grasa cruda fueron determinadas siguiendo procedimientos de AOAC. Se ha utilizado el factor N x 6,25 para convertir el nitrógeno en proteína cruda. El contenido de aminoácidos fue determinado por cromatografía de intercambio iónico usando el método descrito por Spindler y colaboradores (1984). La sacarosa, la fructosa y la glucosa fueron determinadas usando cromatografía líquida de alta presión. El almidón fue separado previamente y luego de ser hidrolizado enzimáticamente fue también analizado por cromatografía líquida de alta presión. El valor energético ha sido determinado por bomba calorimétrica. Los minerales fueron determinados por espectroscopía de emisión de plasma inducido. En los análisis microbiológicos se hicieron los siguientes recuentos (Refaï 1981): enumeración de bacterias aerobias mesófilas, realizado en Plate

Count Agar, incubándose a 30 °C de 24 a 72 horas con las respectivas diluciones; enumeración de hongos y levaduras (YMSC), se cultivó en Agar Patata Dextrosa y Agar Malta incubándose por 5 a 7 días a temperatura ambiente; enumeración de bacterias coliformes (NMPCT), método del número más probable (NMP) en sus dos etapas: presuntiva y confirmativa; prueba de coliformes fecales (NMPCF), se realizó en medio E. coli a una temperatura de 45,5 °C por 24 a 48 horas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el objeto de recolectar muestras significativas se ha establecido contactos con otros investigadores del área y con ellos se han realizado viajes a algunos centros productivos de RTAs en la región.

No existe una información completa, precisa y actualizada sobre la producción de RTAs en Bolivia ni en el departamento de Cochabamba. Tomando la información oficial existente, se encuentra que la producción de RTAs en el país y en el departamento es como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3. Superficie, rendimiento y producción de RTA's en Bolivia y en Cochabamba.

Años	PAPA			OCA			GUALUSA(*)			ARRACACHA(*)			PAPALISA(*)		
	Sup. Ha	Rend. kg/ha	Prod. tm	Sup. ha	Rend. kg/ha	Prod. tm	Sup. ha	Rend. kg/ha	Prod. tm	Sup. ha	Rend. kg/ha	Prod. tm	Sup. ha	Rend. kg/ha	Prod. tm
EN BOLIVIA															
1988	143695	5747	825800	15230	3086	47000									
1989	128045	4987	638615	15900	3001	47710									
1990	119683	5178	619759	15000	3000	45000	3165	3633	11500	2550	4353	11100	5610	2934	16480
1991	125190	8830	855046	15230	3086	47000	3420	3413	11672	2560	5500	14080	5840	3021	17840
1992	114531	5670	649413	14720	3068	45160	2570	4113	10570	2180	5147	11220	5375	2863	15380
1993	126300	5982	755537	15110	3248	49050	2300	4326	9950	2300	5174	11900	5795	2985	17300
EN EL DEPARTAMENTO DE COCHABAMBA															
1988	30347	6405	194360	4800	3750	18000									
1989	25500	5600	142800	5014	3636	18229									
1990	21827	6600	144044	4750	3751	17819	950	3577	3398	250	5400	1350	2860	3196	9140
1991	22285	8012	178542	4800	3750	18000	1000	3430	3430	260	6000	1500	2875	3304	9500
1992	20500	6400	131200	4600	3696	17000	600	4667	2800	180	5867	1020	2600	3000	7800
1993	23400	7218	168900	4750	3895	18500	550	4818	2650	200	5500	1100	2800	3071	8600

(*) No existen datos de 1988 y 1989.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Anuario Estadístico del Sector Rural (1994), y para el departamento de Cochabamba elaboración propia en base a datos del Anuario Estadístico del Sector Rural (1994).

Tabla 4. Algunas condiciones agroeconómicas de zonas productoras de RTAs de Cochabamba.

FACTORES	Colomi	Cocapata	Lope Mendoza	Santa Isabel
Distancia promedio a la ciudad (km)	50	140	120	90
Estado de la carretera principal	Excelente	Regular	Buena	Excelente
Estado de caminos vecinales	Regular	Pésimo	Regular	Pésimo
Número de comunidades circundantes	20	18	25	12
Altitud de comunidad principal (msnm)	3220	3150	3100	2200
Energía eléctrica	Tiene	No tiene	No tiene	Tiene
Agua potable	Tiene	Tiene	Tienen algunas comunidades	Algunas comunidades
Alcantarillado	Tiene	No tiene	No tiene	No tiene
¿Cultivan tubérculos andinos?	Si	Si	Si	No
¿Cultivan raíces andinas?	No	No	No	Si
Tiempo viaje a la ciudad (en camión)	2 horas	12 horas	4 horas	2,5 horas
Zona ecológica	Valle puna	Valle puna	Valle puna	Valle húmedo

Analizando la información mencionada, en general no se puede indicar que exista una tendencia temporal clara y objetiva de la producción, del rendimiento y de la superficie cultivada. Sin embargo, en el caso de la superficie cultivada de la papa, de la gualusa y de la arracacha, existe una leve tendencia a la disminución. Por otra parte, hay un ligero incremento en el rendimiento de todos los RTAs (Tabla 3). Para el caso de los demás RTAs no existen datos oficiales, lo cual prueba el grado de subutilización y olvido en el que se encuentran.

En el departamento de Cochabamba existen varias zonas productoras de RTAs y las condiciones agroeconómicas de las que han sido visitadas se resumen en la Tabla 4.

La zona de Santa Isabel es netamente raicera y por el contrario, las zonas de Colomi, Cocapata y Lope Mendoza son más bien de cultivo de tubérculos. Analizando comparativamente las condiciones de las diferentes zonas de la Tabla 4, se establece que la localidad más propicia para considerar una probable planta de secado de RTAs es la región de Colomi. Además, la zona de Santa Isabel se encuentra a una distancia relativamente corta y ello puede contribuir a la justificación de una planta procesadora de RTAs en Colomi.

A continuación se resumen las operaciones básicas en la producción de harinas de RTAs. Estas operaciones han sido establecidas como recomendables luego de las diferentes experiencias piloto. Es importante mencionar que en cada una de las etapas deben tenerse los cuidados necesarios en cuanto a higiene y limpieza:

1. **Selección.** La operación de selección está destinada a escoger la materia prima fresca, sana y que no debe presentar magulladuras ni principios de descomposición por efectos microbianos.
2. **Lavado.** Los RTAs se lavan para eliminar la tierra adherida a su superficie y otros residuos indeseables.

- 3. Pelado y rectificado.** Esta operación se realiza en los casos en que sea necesario (en oca, papalisa, isña y arracacha sólo se los rectifica) y se puede realizar manualmente cuando se tienen que pelar pequeñas cantidades y mecánicamente por frotamiento (abrasión) cuando se vaya a procesar cantidades importantes. Debido a las cantidades de procesamiento, en este caso se ha realizado el pelado y el rectificado manualmente con cuchillos punzocortantes de acero inoxidable. El rectificado tiene como objetivo el eliminar los ojos profundos y las partes dañadas.
- 4. Rodajado.** En este caso y según las experiencias que se han realizado, es conveniente rodajar los productos con un espesor aproximado de 2 mm. De esta manera se reduce el tiempo de secado y, además, se facilita la molienda. Esta operación se ha realizado en una procesadora de alimentos domésticos de marca Rowenta.
- 5. Escaldado o blanqueado.** Esta operación consiste en someter la materia prima a un baño de agua hirviendo (92 °C) con la finalidad de: a) terminar la limpieza del producto; b) provocar la destrucción de enzimas (oxidases), que pardean a los productos, principalmente a la papa; c) fijar y conservar el color; d) mejorar las condiciones del material para la desecación puesto que con esta operación se rompen las paredes celulares del material vegetal, lo que facilita el proceso de evaporación; y e) eliminar olores y sabores desagradables. Por otra parte, el proceso de escaldado contribuye a una esterilización parcial, puesto que la elevada temperatura que se alcanza destruye los microorganismos. De acuerdo a las experiencias realizadas y dependiendo del producto a tratar (papa, oca, papalisa, isña, arracacha y ajipa), son suficientes de 2,5 a 4 minutos de escaldado en agua a ebullición. La achira y el yacón no se escaldan, porque bajo esta operación estos productos se vuelven demasiado flexibles y cambian de color desfavorablemente.
- 6. Carga en bandejas.** Para que la desecación resulte uniforme y rápida es esencial que el material se encuentre bien repartido en las bandejas. La densidad de carga óptima para los RTAs estudiados se encuentra en el rango de 4,5 - 5 kg por metro cuadrado.
- 7. Deshidratado.** En esta operación se elimina la mayor parte del agua contenida en el vegetal. El proceso de secado concluye, en la mayoría de los casos, a las ocho horas de funcionamiento del equipo (2 horas a 4 °C y 6 horas a 60 °C). La presente operación se detiene normalmente cuando el producto se torna duro y/o quebradizo. En ese tiempo y en esas características de producto final se llega normalmente a una humedad residual inferior a 10%, humedad que es controlada igualmente.
- 8. Molienda.** Una vez obtenido el deshidratado, se procede al molido. En nuestro caso se ha utilizado un molino a martillos que posee un tamiz de 0,5 mm de malla. La finura de las harinas es variable, tal es el caso de la harina de oca, donde el 1,6% tiene una finura mayor a 315 micras, el 64,2% comprendido entre 125 - 315 micras, el 8% entre 100 y 125 micras y finalmente el 26,2% menor a 100 micras. Es necesario mencionar que prácticamente no existen pérdidas entre el secado y el molido, ya que no existe afrecho.
- 9. Pesado y embolsado.** Las harinas obtenidas se han pesado en fracciones de 0,5 kg y se han envasado en bolsas plásticas, las que han sido selladas térmicamente.

Los datos técnicos registrados durante las experiencias de secado han permitido elaborar las curvas de secado para cada producto específico. La Figura 1 muestra las curvas de secado de los tubérculos y las raíces andinas estudiadas.

La información obtenida en los procesos ilustrados por la Figura 1 muestra que el secado de los RTAs estudiados sigue aproximadamente la misma velocidad de secado, pese a que las humedades iniciales de cada material son diferentes. También se puede observar que al cabo de 8 horas de secado, los deshidratados de los RTAs estudiados han llegado prácticamente a una humedad inferior al 10%. En el caso de la mauka no fue posible construir la curva de secado debido a que la cantidad de materia prima fue muy poca, material que aún en tal cantidad fue difícil de conseguir. En todos los demás casos la cantidad de material de inicio fue de 10 kg.

Por otra parte, en la Tabla 5 se muestran los resultados del balance del flujo másico y la mano de obra utilizada durante las distintas operaciones experimentales de producción de las harinas de RTAs.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el rendimiento en harinas a partir de los RTAs es variable y desde luego estrechamente ligado a la humedad que presenta cada materia prima. Tal como se indicó anteriormente, todos los datos de la Tabla 5 están basados a 10 kg de materia y, considerando ello, el rendimiento en la obtención de harinas de RTAs fluctúa entre aproximadamente el 30 y el 7%. También es necesario aclarar que la humedad inicial de cada tipo de RTA es altamente variable, tal como se puede observar en la Tabla 6. Efectivamente, la humedad de yacón es la más alta y corresponde a 93,9% y la humedad de la mauka es la más baja y corresponde a 56,5%.

Por otra parte, e incluyendo las ocho horas necesarias para el secado, se requieren para el proceso completo de obtención de las harinas de RTAs un total aproximado de 12 horas de trabajo.

El costo de mano de obra adoptado es de 0,75 \$us/hora por mano de obra no calificada, valor que se paga normalmente en la ciudad de Cochabamba. El mayor costo de mano de obra lo registra el procesamiento de la papa y ello es debido al proceso de pelado (67% del costo de producción). En los demás casos, el costo de mano de obra es prácticamente del mismo nivel. Una mecanización del pelado de la papa podría reducir este costo de manera significativa. Por otra parte, el costo de mano de obra por kilo de harina resulta ser diferente en todos los casos, y ello porque las mermas por las diferentes operaciones, en cada harina, son diferentes. El costo de mano de obra por kilo de harina de yacón es el más elevado. Como se puede observar también, estos costos de la mano de obra son bastante significativos y deberán tomarse muy en cuenta en operaciones a mayor escala.

En las Tablas 6 y 7 se muestran los resultados técnicos y económicos de la producción de harinas de RTAs con el deshidratador piloto y siguiendo las operaciones anteriormente descritas. Tal como se observa en la Tabla 6, el porcentaje de desperdicios (en las operaciones de pelado y rectificado) es alto en los casos de la

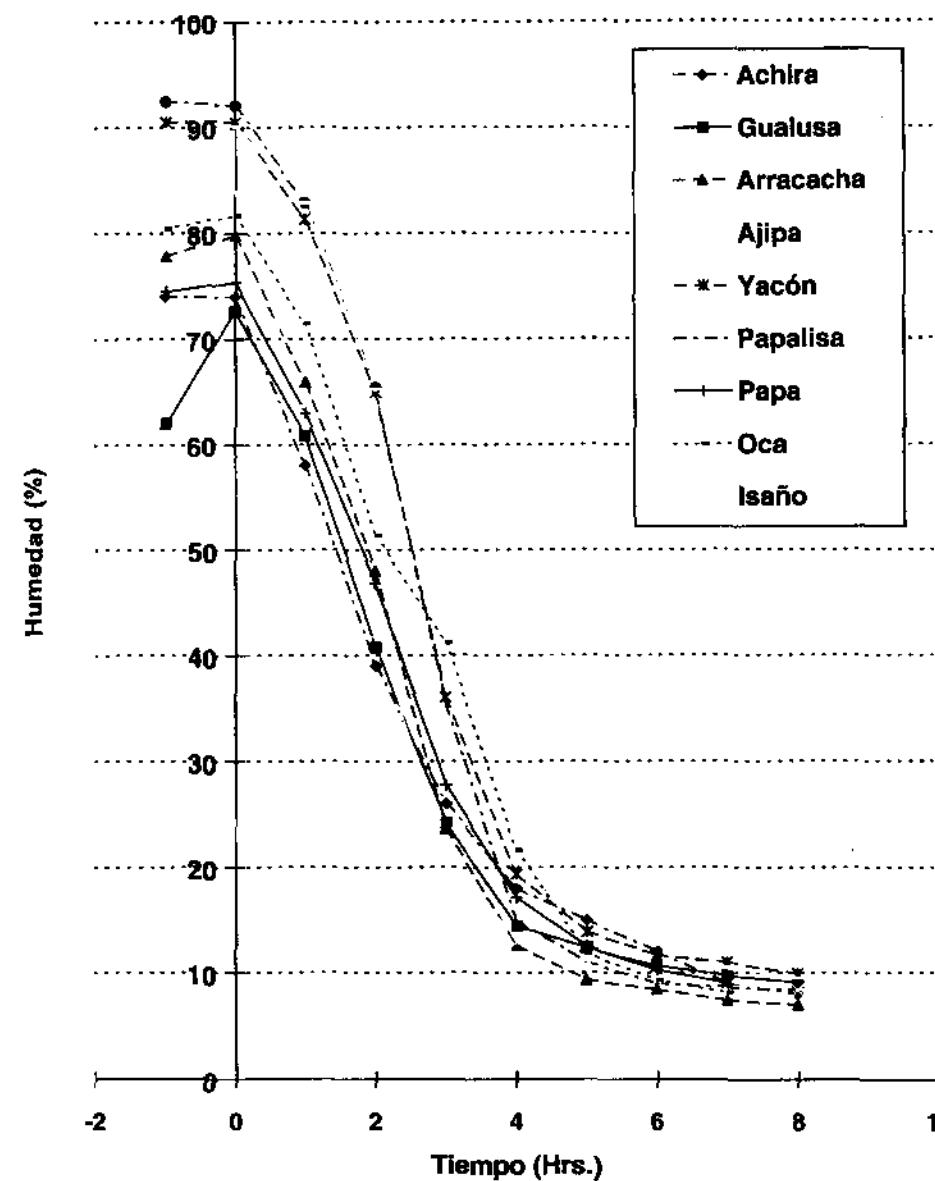


Figura 1. Curvas de secado de papa, oca, papalisa, isaño, arracacha, ajipa, yacón, achira y gualusa

Tabla 5. Balances de flujo másico y estimación del costo de mano de obra en la obtención de harinas de RTAs.

OPERACIONES	PAPA			OCA			PAPALISA			ISAÑO			ARRACACHA		
	BM	TP	HH	BM	TP	HH	BM	TP	HH	BM	TP	HH	BM	TP	HH
Adquisición	10,0	0,00	0,00	10,0	0,00	0,00	10,0	0,00	0,00	10,0	0,00	0,00	10,0	0,00	0,00
Lavado	9,80	0,17	0,17	9,95	0,17	0,17	9,96	0,20	0,20	9,85	0,17	0,17	9,70	0,25	0,25
Pelado/rectific.	7,89	3,43	3,43	9,40	0,33	0,33	9,71	0,25	0,25	9,40	0,33	0,33	9,33	0,50	0,50
Rodajado	7,89	0,47	0,47	9,40	0,55	0,55	9,71	0,52	0,52	9,40	0,55	0,55	9,13	0,55	0,55
Escaldado	8,25	0,15	0,25	9,52	0,15	0,25	8,46	0,15	0,25	8,82	0,15	0,25	9,13	0,15	0,25
Secado	1,76	8,00	1,33	1,65	8,00	1,33	1,02	9,00	1,50	1,14	8,00	1,33	1,95	8,00	1,33
Molido	1,76	0,06	0,25	1,65	0,08	0,25	1,02	0,07	0,25	1,14	0,07	0,25	1,95	0,10	0,33
Envasado	1,76	0,13	0,13	1,65	0,13	0,13	1,02	0,07	0,07	1,14	0,10	0,10	1,95	0,13	0,13
Total	12,4	8,03		9,41	3,01		10,0	3,04		9,37	2,98		9,68	3,34	
Costo de M.O. (\$us)			4,52			2,26			2,28			2,24			2,51
Costo de M.O/kg harina (\$us)			2,57			1,37			2,24			1,96			1,28

OPERACIONES	AJIPA			YACÓN			ACHIRA			GUALUSA			MAUKA		
	BM	TP	HH	BM	TP	HH	BM	TP	HH	BM	TP	HH	BM	TP	HH
Adquisición	10,0	0,00	0,00	10,0	0,00	0,00	10,0	0,00	0,00	10,0	0,00	0,00	10,0	0,00	0,00
Lavado	10,0	0,20	0,20	10,0	0,17	0,17	10,0	0,17	0,17	10,0	0,17	0,17	10,0	0,17	0,17
Pelado/rectific.	9,23	0,67	0,67	8,56	0,67	0,67	6,67	0,83	0,83	7,33	0,92	0,92	7,40	0,75	0,75
Rodajado	9,23	0,55	0,55	8,56	0,55	0,55	6,67	0,33	0,33	7,33	0,33	0,33	7,40	0,33	0,33
Escaldado	9,26	0,15	0,26	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	7,89	0,15	0,25	7,91	0,15	0,25
Secado	2,06	8,00	1,33	0,86	9,99	1,87	2,15	8,00	1,33	2,73	8,00	1,33	3,33	8,00	1,33
Molido	2,06	0,10	0,33	0,66	0,07	0,25	2,15	0,10	0,33	2,73	0,17	0,33	3,33	0,25	0,33
Envasado	2,06	0,13	0,13	0,86	0,03	0,03	2,15	0,15	0,15	2,73	0,18	0,18	3,33	0,22	0,22
Total	9,80	3,46		11,5	3,34		9,58	3,14		9,92	3,51		9,87	3,38	
Costo de M.O. (\$us)			2,60			2,51			2,36			2,63			2,54
Costo de M.O/kg harina (\$us)			1,26			3,80			1,10			0,96			0,76

Leyenda: BM = Balance de masa (kg); TP = Tiempo de procesamiento u operación (Hrs); HH = Horas - hombre.

achira, gualusa y mauka, de 32,3; 26,7 y 26,3% respectivamente. Este resultado está originado en la necesidad de separar un espesor importante de sus cáscaras y los lugares donde hay daños físicos y fisiológicos en los RTAs. En el caso de la papa, se observa un 19,5 % de desperdicios, el mismo se debe principalmente a las cáscara y los ojos profundos de la variedad de papa con la que se ha trabajado.

Tabla 6. Resultados técnicos en la obtención de harinas de RTAs.

CONCEPTO	PAPA	OCA	PAPA-LISA	ISAÑO	ARRA-CACHA	AJIPA	YA-CON	ACHI-RA	GUA-LUSA	MAU-KA
Humedad m. Prima (%)	78,0	83,0	89,0	84,5	80,0	78,0	93,9	75,0	58,0	56,5
Desperdicios (%)	19,5	5,5	2,5	5,5	3,7	7,7	14,4	32,3	26,7	26,3
Rendimiento (%)	17,6	16,5	10,2	11,3	19,5	20,6	6,6	21,5	27,3	33,3
Tiempo escaldad (min)	4	3	3	2,5	3	2,5	0	0	3	3
Tiempo secado (h)	8	8	9	8	8	8	10	8	8	8
Materia prima (kg)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Energ. eléctrica (kwh)	1,52	1,52	1,65	1,60	1,52	1,52	1,83	1,52	1,52	1,52
Gas lic. petróleo (kg)	1,25	1,30	1,42	1,40	1,26	1,25	1,79	1,25	1,25	1,22

Los costos relativos a la materia prima de los tubérculos, utilizados en la Tabla 7, corresponden a los registrados en el mercado de la feria regional de Colomi y el de las raíces a los precios en finca de la comunidad de Santa Isabel. La determinación de los costos de producción agrícola de los distintos RTAs utilizados está fuera de nuestros objetivos. Los mayoristas tienen un margen de ganancia entre 10 y 15% y el minorista entre un 15 y 25%. El isaño no es producto comercial y lo mismo sucede con la achira y la mauka, en consecuencia, estos productos solamente se adquieren en finca y se trata de cultivares exclusivamente para el autoconsumo.

En la Tabla 7 se muestran dos resultados, uno que es el relativo al costo de producción de harina para los 10 kg de materia prima y otro que se refiere al costo de producción por kg de harina obtenida. Observando estos últimos resultados se puede encontrar que los costos de producción más bajos corresponden a la achira, a la gualusa y a la mauka. Se hace notar que en todos los casos, el costo relativo a mano de obra es el más significativo (en el caso de papa alcanza al 67% del costo de producción). Sin embargo, el rango de los costos de producción está entre 1,27 y 6,37 dólares por kilo de harina obtenida.

La Figura 2 muestra el diagrama de proceso y el balance de masa para obtener harina de papa, se hace notar que la elaboración de harinas de los otros RTAs tiene un proceso muy similar al de la papa.

Finalmente, muestras de las harinas de RTAs obtenidas (papa, oca, papalisa, isaño, yacón, ajipa y arracacha), han sido enviadas a los laboratorios, donde han sido sometidas a análisis bromatológico cuyos resultados se muestran en la Tabla 8. Por otra parte, las muestras han sido analizadas microbiológicamente, cuyos resultados se muestran en la Tabla 9.

Tabla 7. Resultados económicos en la obtención de harinas de RTAs.

CONCEPTO	PAPA	OCA	PAPA-LISA	ISAÑO	ARRA-CACHA	AJIPA	YA-CON	ACHI-RA	GUA-LUSA	MAU-KA
Costo mat. prima (\$us)	1,48	0,88	1,00	0,72	1,75	1,85	0,83	1,01	1,15	1,00
Costo Gas L Petr (\$us)	0,33	0,35	0,38	0,37	0,34	0,33	0,48	0,33	0,33	0,32
Costo E. eléctrica (\$us)	0,13	0,13	0,14	0,13	0,13	0,13	0,15	0,13	0,13	0,13
Costo Mano obra (\$us)	4,52	2,26	2,28	2,24	2,51	2,60	2,51	2,36	2,63	2,54
Otros costos (\$us)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,25	0,25	0,25
Costo de producción (\$us/10 kg mat. prima)	6,71	3,85	4,05	3,72	4,97	5,16	4,22	4,08	4,49	4,24
Costo de producción (\$us/kg harina)	3,81	2,33	3,97	3,29	2,55	2,50	6,37	1,90	1,64	1,27

Al eliminar el agua de los RTAs, todos sus nutrientes se concentran, lo cual mejora su potencial nutricional. Sin embargo, el análisis de las características nutricionales individuales de las harinas de RTAs, sobre todo en lo que refiere a micronutrientes, se realizará en la próxima etapa, una vez completado los análisis en las harinas de RTAs faltantes y también completado las determinaciones de aminoácidos. Los contenidos microbiológicos de las harinas obtenidas están en valores permisibles para consumo humano, y sabemos también que estas harinas no serán consumidas directamente sino más bien procesadas. Sin embargo, el contenido de microbios en las harinas debe ser el menor para permitir una buena conservación de las mismas y una vida útil mayor y un almacenamiento prolongado.

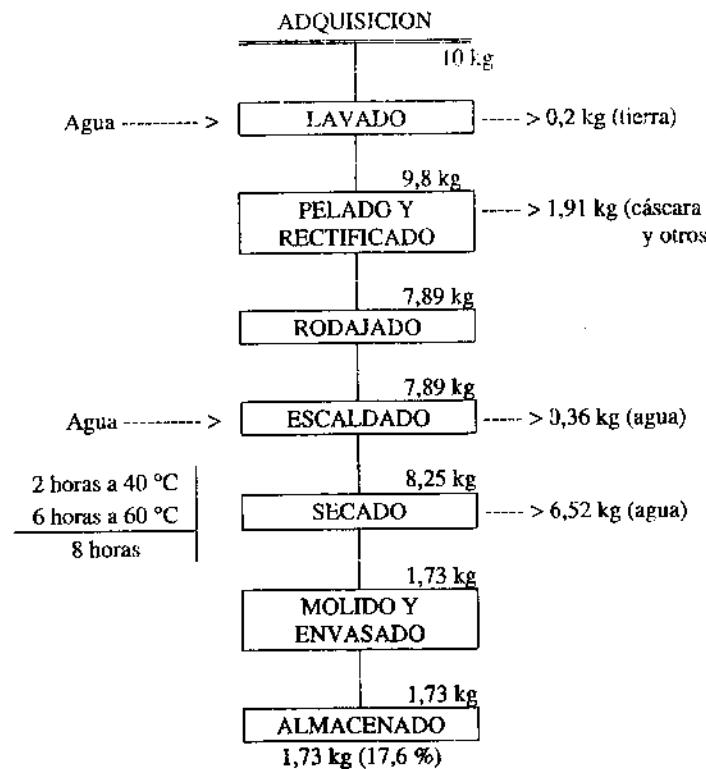
La información bromatológica, microbiológica, técnica y económica en la obtención de las harinas y deshidratados de RTAs es útil, por una parte para ingresar al desarrollo de nuevos productos y en este caso se ha iniciado el trabajo de investigación del uso de los deshidratados en repostería, sopas, sideos, productos snack y otros derivados. Todos estos productos serán considerados generalmente para tres destinos: el autoconsumo rural, el mercado urbano y el mercado internacional de productos orgánicos, exóticos, naturales y vegetarianos, cada cual con sus características especiales. Por otra parte la información obtenida es también útil para las consideraciones de obtención de harinas de RTAs a escala industrial. Estos aspectos están siendo ejecutados en la segunda fase del proyecto. Sin embargo, está claro que las harinas de RTAs no son para competir con la harina de trigo existente en el mercado, no sólo por razones de precio, sino también porque se trata de un producto de naturaleza distinta y los hábitos de consumo son totalmente diferentes.

La escala piloto establecida ha permitido estudiar la forma de reducir costos de operación y combustible, y permite sacar información para operaciones de mayor escala. La región de Colomi presenta condiciones agro-económicas favorables para considerarla como posible beneficiaria modelo y directa del presente trabajo. Es así que actualmente se prepara un estudio de factibilidad para el funcionamiento de una planta procesadora de RTAs en esa localidad. El enfoque inicial para ello está

orientado en una producción de harinas de RTAs destinadas al auto consumo, donde la materia prima y la mano de obra sea invertida por cada productor al mismo tiempo que éste recoge su harina de RTAs y la almacena para su consumo.

Un potencial importante para la agroindustria rural con carácter empresarial constituye la elaboración de hojuelas deshidratadas para sopas y quisos, especialmente de papalisa. Una situación similar presenta el deshidratado de oca. Los fideos de arracacha y las galletas con achira son también interesantes. En general, los productos deshidratados son parte de las necesidades del campesino productor de RTAs, ya que él elabora su deshidratado de papa (*chuño*) y en menor proporción el deshidratado de oca (*chuño oka*) y papalisa (*llinqui*). Sin embargo, las condiciones de elaboración tradicional de estos productos presentan una frecuente contaminación microbiana y la presencia de partículas extrañas, una pérdida de sabor y color, y sobre todo una eliminación importante de nutrientes durante el proceso para obtener el deshidratado. Visitas y demostraciones, de las harinas y hojuelas obtenidas y de productos elaborados con las harinas, en las ferias campesinas de las zonas productoras de RTAs, han despertado un marcado interés de los productores de RTAs.

Figura 2. Flujograma de proceso y balance de materiales en la obtención de harina de papa



Finalmente, el factor limitante más importante en la producción de harinas de RTAs resulta ser el costo de la mano de obra, aspecto que puede ser superado en una operación a mayor escala y con destino a la obtención de harinas de RTAs para el caso del autoconsumo, lo cual se conocerá específicamente y para un caso particular, en un proyecto de factibilidad en plena elaboración. Al margen de las ventajas mencionadas, la obtención de hojuelas de RTAs es efectivamente un producto de menor costo que las harinas y de un uso mucho más fácil en la preparación de sopas. Todos estos productos dirigidos al autoconsumo o a los mercados de los productores agrarios, permitirán reducir las pérdidas poscosecha y un aporte directo o indirecto a la

Tabla 8. Composición química y valor energético de las harinas de RTAs.

CONSTITUYENTE	OCA	PAPA	ISAÑO	PAPA-LISA	ARRACACHA	AJIPA	YACÓN
En 100 g materia fresca							
Humedad (g)	8,30	8,70	9,80	9,20	7,60	8,10	8,70
En 100 g materia seca							
Cerizas (g)	3,30	2,60	3,67	4,27	2,10	2,08	3,27
Grasa cruda (g)	0,59	0,47	0,89	1,40	0,84	0,39	1,06
Proteína cruda (g)	5,39	7,71	8,59	10,17	3,60	6,30	2,49
Fibra alimentaria total (g)	8,26	8,27	15,43	18,08	13,24	13,23	12,01
Almidón (g)	70,43	82,00	49,77	49,02	68,47	55,86	1,89
Sacarosa (g)	7,03	0,61	9,94	2,79	4,87	9,84	8,83
Glucosa (g)	2,61	0,26	7,75	8,79	4,35	3,00	10,88
Fructosa (g)	2,97	0,13	7,10	9,93	2,76	9,58	39,34
Valor energético (kcal)	407	409	416	421	390	401	403
Potasio (mg)	1466,0	1171,99	1484,00	1700,06	857,03	842,86	1395,9
Sodio (mg)	18,57	22,66	34,64	36,36	14,03	39,50	12,70
Calcio (mg)	19,05	20,11	42,28	64,89	102,84	61,05	123,17
Magnesio (mg)	73,84	63,43	112,94	85,27	101,77	101,58	59,67
Fósforo (mg)	215,09	202,23	351,36	257,42	108,74	170,19	127,01
Hierro (mg)	4,33	7,43	6,49	12,39	3,04	2,12	4,55
Cobre (mg)	2,41	8,13	1,96	6,01	5,16	1,38	19,93
Zinc (mg)	0,77	1,03	2,06	2,02	0,94	0,64	0,86
Manganese(mg)	1,11	1,54	1,55	3,18	1,81	0,98	1,48
His (mg)	108,82	148,65	182,11	304,49	76,10	128,33	38,92
Lys (mg)	257,91	473,09	390,07	426,00	113,69	242,42	98,45
Met (mg)	88,99	81,73	107,20	107,29	40,28	42,53	15,49
Thr (mg)	181,64	298,38	293,78	296,96	91,44	115,29	66,73
Vai (mg)	236,94	400,53	665,30	478,40	103,14	208,28	90,44
Leu (mg)	226,33	481,95	435,26	461,92	11052	153,53	88,32
Phe (mg)	192,75	362,68	322,04	439,45	90,07	140,74	71,78
Ile (mg)	194,20	304,55	382,17	348,12	76,32	137,66	67,88
Arg (mg)	372,29	463,29	347,55	732,44	470,38	366,47	269,32
Tyr (mg)	127,15	285,04	241,89	382,36	77,22	119,64	54,61
Ala (mg)	181,48	277,71	286,22	311,00	116,96	136,96	81,30
Asp + Asn (mg)	375,63	1209,16	1898,22	909,80	434,70	1768,1	178,16
Glu + Gln (mg)	1591,2	1294,12	765,88	1253,88	449,75	331,70	286,20
Gly (mg)	148,60	257,2	294,55	346,80	80,17	89,84	62,25
Pro (mg)	106,18	260,0	215,78	288,13	56,52	135,01	127,71
Ser (mg)	53,40	304,8	291,72	362,87	91,37	158,26	69,00

Tabla 9. Resultados de los análisis microbiológicos de las harinas de RTAs.

HARINA de:	RTBAM	NMP-CT	NMP-CF	H. y L.
Papa	$2 \cdot 10^3$	menor a 3	Ausencia	$2 \cdot 10^1$
Oca	$2 \cdot 10^3$	9	Ausencia	$2 \cdot 10^1$
Papalisa	$4 \cdot 10^1$	menor a 3	Ausencia	Ausencia
Isaño	$5 \cdot 10^3$	menor a 3	Ausencia	Ausencia
Arracacha	$1 \cdot 10^1$	menor a 3	Ausencia	Ausencia
Ajipa	$2 \cdot 10^2$	menor a 3	Ausencia	Ausencia
Achira	$1 \cdot 10^3$	menor a 3	Ausencia	$3 \cdot 10^1$
Gualusa	$1 \cdot 10^3$	menor a 3	Ausencia	$2 \cdot 10^1$

RTBAM = Recuento total de bacterias aerobias mesófilas

NMP-CT = Número más probable de coliformes totales

NMP-CF = Número más probable de coliformes fecales

H. y L. = Enumeración de hongos y levaduras

seguridad alimentaria del área rural. El interés de los campesinos productores de RTAs por las harinas de RTAs demostrado en las ferias campesinas y la permanente elaboración para el autoconsumo de chuños de oca y papa en el área rural, son indicadores que el campesino podrá adoptar mejores tecnologías para conservar y almacenar sus recursos alimenticios naturales propios.

Es también interesante mencionar que el establecimiento, al interior de una universidad, de una unidad piloto de secado convencional permite combinar la enseñanza práctica, la investigación y extensión técnica a la región y al país. Así mismo, contribuye a los esfuerzos de valorización de los alimentos andinos y la formación de recursos humanos en esta área.

CONCLUSIONES

El presente trabajo ha permitido, a nivel laboratorio piloto y por secado convencional, cuantificar las condiciones técnico-económicas de la producción y la determinación de las características fisicoquímicas y microbiológicas de deshidratados a partir de raíces o tubérculos de papa, oca, papalisa, isaño, arracacha, ajipa, yacón, achira, gualusa y mauka, alcanzando los objetivos planteados en el inicio. En base a los resultados experimentales obtenidos se puede llegar a algunas indicaciones más precisas.

La gualusa y la mauka tienen los rendimientos más altos en harina, siendo 27,3% para la primera y 33,3% para la segunda; y ello está estrechamente relacionado a su baja humedad como materia prima.

Con un valor más importante que en los productos sin procesar, el contenido en hidratos de carbono de las harinas de RTAs es notable, lo cual permite subrayarlas como alimentos básicamente energéticos. Es notable observar el contenido de fibra alimentaria en los RTAs y muy especialmente el contenido de almidón en las harinas de papa, oca y ajipa. Es lógico que una vez eliminada el agua, los RTAs comienzan a cobrar más importancia aún, por ejemplo en su contenido de proteína. La harina de yacón contiene considerable cantidad de azúcares diferentes a la sacarosa. Es necesario realizar un estudio más cuidadoso de la composición de hidratos de carbono del yacón, ya que revisiones bibliográficas revelan la presencia de oligosacáridos, aspecto que sería único en el caso de los RTAs. El yacón, por su bajísimo rendimiento, alto costo de producción y la aglutinación en grumos por su elevado contenido de azúcares, merece ser descartado de futuras consideraciones como harina o deshidratado. Por el contrario la papalisa, principalmente por sus características organolépticas como harina, su alto costo de producción, considera más viable procesarla como hojuelas deshidratadas y lanzar al mercado en épocas donde es difícil conseguir en el mercado material fresco o en épocas donde el precio del producto fresco es elevado.

El contenido de humedad residual de las harinas es inferior al 10%, muy apropiado para su conservación. El análisis microbiológico sobre las harinas permite concluir, igualmente, que las harinas no presentan contaminación de flora microbiana patógena y que una mayor cuidado higiénico en su procesamiento incrementará aún más su capacidad de almacenaje en el tiempo.

La información botánica, microbiológica, técnica y económica en la obtención de las harinas y deshidratados de RTAs es útil, por una parte para ingresar al desarrollo de nuevos productos y en este caso se ha iniciado el trabajo de investigación del uso en repostería, sopas, fideos, productos snack y otros derivados. Por otra parte, la información obtenida es también útil para considerar la obtención de deshidratados de RTAs a escala industrial o agroindustrial. Estos dos aspectos están siendo ejecutados en la segunda fase del proyecto. Sin embargo, está claro que las harinas de RTAs no son para competir con la harina de trigo existente en el mercado, no sólo por razones de precio, sino también porque son materiales de distinta naturaleza.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado dentro del Proyecto Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos del Centro Internacional de la Papa (CIP), del Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN) y de la Cooperación Suiza al Desarrollo (COSUDE), instituciones a las que se agradece por el apoyo prestado.

Un agradecimiento especial al Sr. Edwin Ureña por la síntesis de información sobre la producción, rendimiento y superficie cultivada de RTAs en Bolivia y el departamento de Cochabamba. Un agradecimiento también al Ing. Julio Rea y a la Ing. Lidia Paz por la provisión de algunas materias primas de RTAs utilizadas en el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Alfaro, G.

- 1996 "El mundo andino y sus alimentos". En: *Memorias del Ciclo de Conferencias sobre Alimentos Andinos* (Cochabamba, 8 al 11 de abril de 1996), G. Alfaro y S. Salas, editores, págs. 1-8. Lima, Centro Internacional de la Papa, Universidad Nacional de San Simón y CONDESAN.

Alfaro, G., Y. Larondelle y A. Deswysen

- 1995 Valorización de los alimentos andinos tradicionales. Trabajo presentado en el 1er Congreso de Ciencia y Tecnología BOLIVIA 2000, Cochabamba.

AOAC

- 1990 *Official Methods of Analysis*. (12th ed.). Washington, DC., Association of Official Analytical Chemists.

Bollinger, A.

- 1993 *Así se alimentaban los Inkas*. La Paz, Editorial Los Amigos del Libro.

Bukasov, S. M.

- 1933 "The potatoes of South America and their breeding possibilities". *Bulletin of Applied Botany, of Genetics and Plant Breeding*, Suppl. 58: 154-192. Lenin Academy of Agricultural Sciences (USSR).

Cárdenas, M.

- 1969 *Manual de plantas económicas de Bolivia*. Cochabamba, Imprenta ICHUS.

Cortés Bravo, H., Q. F. Deza y S. Jiménez

- 1982 Obtención y evaluación de harina de Maswa (*Tropaeolum Tuberosum*). Trabajo presentado en el III Congreso Internacional de Cultivos Andinos. La Paz, Bolivia.

Ganther, J.

- 1990 *Experiencias en elaboración de papa seca con secadores solar y viento. Estancias de San Pedro y Canafisto - Cbota*. Chota-Perú, Instituto de Investigación y Capacitación Profesional 'Jorge Basadre' (IINCAP) y Servicio Alemán de Cooperación Social Técnica (D.E.D.).

Holle, Miguel y Juan Risi

- 1993 "Diverse crops for regional diets and cultural survival: A program for Andean crops". En: *International Crop Science I. International Crop Science Congress* (Ames, Alwa, 14-22 julio 1992), D. R. Buxton, R. Shibles, R. A. Forsberg, B. L. Blad, K. H. Asay, G. M. Paulsen y R. F. Wilson, editores, págs. 453-458. Madison, Wisconsin (USA), Crop Science Society of America.

National Research Council

- 1989 *Lost Crops of the Incas: Little-Known Plants of the Andes with Promise for Worldwide Cultivation*. Washington, D.C., National Academy Press.

Refaï, M. K.

- 1981 *Manuales para el control de calidad de alimentos. 4. Análisis microbiológico*. FAO, Roma.

Shaw, R. y R. Booth

- 1982 *Simple Processing of Dehydrated Potatoes and Potato Starch*. Lima, Centro Internacional de la Papa.

Tapia, Mario

- 1990 *Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación*. Santiago, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

- 1993 "Visión general y características del agroecosistema andino". En: *El agroecosistema andino: Problemas, limitaciones, perspectivas* (Taller Internacional sobre el Agroecosistema Andino, Lima 30 marzo a 2 de abril de 1992), págs. 51-61. Lima, Centro Internacional de la Papa.