

# EL YACON

FUNDAMENTOS PARA EL  
APROVECHAMIENTO DE UN  
RECURSO PROMISORIO



JUAN SEMINARIO  
MIGUEL VALDERRAMA  
IVAN MANRIQUE



# **EL YACON**

**FUNDAMENTOS PARA EL  
APROVECHAMIENTO DE UN  
RECURSO PROMISORIO**

**JUAN SEMINARIO**

**MIGUEL VALDERRAMA**

**IVAN MANRIQUE**

## **Dedicatoria**

A Julio Rea

Citación correcta:

Seminario J, Valderrama M & I Manrique. 2003. El yacón: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio. Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), Lima, Perú, 60 p.

## **Agradecimientos**

---

Los autores expresan su agradecimiento a la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) por el apoyo económico recibido a través del "Proyecto Colaborativo de Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos", que ha hecho posible la realización de varios trabajos de investigación contenidos en el presente libro.

De igual manera, agradecemos al gobierno japonés, por la ayuda económica recibida para la producción e impresión de esta publicación.

Finalmente, los autores desean reconocer el aporte del Dr. Michael Hermann, científico investigador del Centro Internacional de la Papa (CIP), por su aporte a la producción y edición, así como por su revisión crítica del manuscrito.

# Contenido

---

<b>Presentación</b> .....	6
<b>Introducción</b> .....	7
<b>1. Etnobotánica</b> .....	8
<b>2. Botánica</b> .....	10
2.1. La planta .....	10
2.2. La raíz reservante .....	10
2.3. La cepa o corona .....	13
2.4. La hoja .....	13
2.5. La inflorescencia .....	13
2.6. La flor femenina .....	13
2.7. La flor masculina .....	13
2.8. El fruto .....	18
2.9. Biología reproductiva .....	18
<b>3. Ecología</b> .....	20
<b>4. Distribución geográfica y zonas de cultivo</b> .....	20
4.1. Distribución geográfica .....	20
4.2. Zonas de cultivo en el Perú .....	20
4.3. Estadísticas de áreas de cultivo en el Perú .....	21
4.4. El yacón fuera de los Andes .....	21
<b>5. Germoplasma</b> .....	22
5.1. Variabilidad genética .....	22
5.2. Parientes silvestres .....	24
5.3. Citogenética .....	24
<b>6. Composición química y propiedades</b> .....	24
6.1. Composición química de las raíces .....	24
6.2. Fructooligosacáridos .....	25
6.3. Efecto de los fructooligosacáridos sobre la salud .....	27
6.3.1. Salud gastrointestinal .....	28
6.3.2. Triglicéridos y colesterol .....	30
6.3.3. Asimilación de calcio y otros minerales .....	30
6.3.4. Cáncer de colon .....	30
6.3.5. Sistema inmunológico .....	31
6.3.6. Estreñimiento .....	31
6.3.7. Obesidad .....	31
6.3.8. Diabetes .....	32
6.4. Composición química y propiedades de las hojas .....	33

<b>7. Agronomía</b> .....	33
7.1. Propagación .....	33
7.1.1. Por porciones de cepa .....	33
7.1.2. Por brotes enraizados en la cepa .....	33
7.1.3. Por porciones de tallo o estacas .....	33
7.1.4. Por nudos individuales .....	34
7.1.5. Por tallos enteros .....	34
7.1.6. In vitro .....	34
7.2. Siembra .....	34
7.3. Crecimiento y desarrollo de la planta .....	36
7.4. Labores culturales .....	36
7.4.1. Deshierbe y aporque .....	36
7.4.2. Riego .....	36
7.4.3. Abonamiento .....	37
7.4.4. Sanidad .....	37
7.5. Cosecha .....	38
7.5.1. Cosecha de raíces .....	38
7.5.2. Cosecha de hojas .....	38
7.6. Rendimiento .....	38
7.6.1. Rendimiento de raíces .....	38
7.6.2. Rendimiento de hojas .....	40
7.7. Respuesta del yacón a la asociación con otras especies .....	40
<b>8. Poscosecha de raíces</b> .....	42
8.1. Metabolismo de fructooligosacáridos .....	42
8.2. Variación en el contenido de azúcares .....	44
8.3. Manejo poscosecha .....	44
8.3.1. Selección y clasificación .....	44
8.3.2. Limpieza .....	44
8.3.3. Embalaje .....	46
8.3.4. Almacenamiento .....	46
<b>9. Costos de producción</b> .....	47
<b>10. Formas de consumo y procesamiento</b> .....	48
10.1. Pasas de yacón .....	49
10.2. Hojuelas de yacón .....	49
10.3. Jarabe de yacón .....	49
10.4. Jarabe de yacón de alta fructosa .....	49
10.5. Té de yacón .....	50
<b>11. Referencias bibliográficas</b> .....	50

## Presentación

---

La región andina es conocida por ser cuna de algunos cultivos de importancia mundial como la papa, el camote y los ajíes. Sin embargo, gran parte de las plantas alimenticias domesticadas por los pueblos andinos en tiempos remotos son poco conocidas internacionalmente, incluso en los mismos países andinos. Entre estas plantas se encuentran las raíces y tubérculos andinos (RTA), un grupo de nueve especies que incluye la achira, la ahípa, la arracacha, la maca, la mauka, la mashua, la oca, el ulluco, y el yacón. Todos ellos son importantes en la alimentación y cultura del poblador andino rural, pero su aprovechamiento muchas veces se restringe a la subsistencia de los agricultores más pobres.

Desde inicios de la década de 1990, la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), ha venido apoyando diferentes esfuerzos para rescatar y promover las RTA a través de un programa colaborativo que ha involucrado a numerosas instituciones en varios países andinos. Enfocando inicialmente la preservación de los recursos genéticos de las RTA y su manejo por parte de los agricultores, el programa ha puesto en los últimos años un creciente énfasis en la identificación de mercados para estos cultivos y en la forma cómo los agricultores de las zonas marginales se vinculan a ellos. Para la COSUDE constituye un desafío vincular los requerimientos de la conservación y regeneración de la biodiversidad con una perspectiva de desarrollo rural que permita abrir nuevas oportunidades de mercado y generar un valor agregado importante para zonas rurales de la sierra.

Una lección aprendida de los últimos años ha sido que la investigación y la difusión de las propiedades de las RTA, en especial de sus atributos nutricionales, son fundamentales para destacarlas de otros productos y promocionarlas. Quizás en ningún otro caso esto es tan evidente como en el yacón, cuya producción y consumo se ha expandido significativamente en el Perú en los últimos dos años. Hasta hace poco relegado a un papel marginal en las chacras de la sierra, y prácticamente desconocida en las ciudades, esta raíz hoy está presente en cantidades importantes en los mercados nacionales y se ha convertido en una fuente de ingresos económicos para muchos agricultores. El ascenso del yacón se debe en gran parte a la divulgación de los beneficios nutricionales de los azúcares dietéticos presentes en grandes cantidades en esta raíz y a la percepción de que es un alimento útil para diabéticos.

Aunque son escasos y dispersos los estudios sobre el yacón, su número se ha incrementado últimamente. Sin embargo, hacía falta un texto que pudiera satisfacer de manera clara y responsable la creciente demanda de información sobre su producción y utilización. El presente libro trata de llenar este vacío en la literatura. Reúne nuestro conocimiento del yacón, con especial énfasis en su agronomía, su valor en la alimentación y en la salud humana, sus usos tradicionales y su transformación en productos promisorios. Esperamos que le sea de gran utilidad, estimado lector, sea usted investigador, agricultor, procesador o consumidor de esta maravillosa raíz.

Richard Kohli, COSUDE, Lima.

## Introducción

---

El yacón es una planta domesticada hace varios siglos por los pobladores de las culturas preincaicas. Hasta hace poco tiempo se cultivaba sólo en los jardines y huertos caseros de la serranía para el autoconsumo y para el consumo ocasional en festividades religiosas especiales. Sin embargo, debido a que recientemente se han empezado a descubrir y difundir algunas de sus propiedades promisorias, se ha generado en la población un creciente interés por este producto. Es así cómo, desde hace un par de años, el yacón ha empezado a llegar a los mercados urbanos, incluyendo las principales cadenas de supermercados.

Las plantas de este cultivo producen un tipo especial de raíz (conocida con el nombre de yacón) la cual tiene una característica particular: se come en forma fresca (o sea cruda) a pesar de ser una raíz como el camote o la yuca. El yacón tiene un agradable sabor dulce y deja una sensación refrescante después de consumirlo, razón por la cual el habitante andino lo considera una fruta. Esta cualidad se debe a que el yacón, a diferencia de la mayoría de tubérculos y raíces que almacenan sus carbohidratos en forma de almidón, almacena principalmente fructooligosacáridos (FOS), un tipo especial de azúcares con atributos enormemente beneficiosos para la salud humana. Los FOS no pueden ser digeridos directamente por el organismo humano debido a que carecemos de las enzimas necesarias para su metabolismo. Esto significa que los FOS son azúcares que tienen pocas calorías y no elevan el nivel de glucosa en la sangre. Estas propiedades han convertido al yacón en un recurso potencialmente importante para el mercado de productos dietéticos y de personas que padecen diabetes.

La mayoría de las propiedades que se asignan al yacón han sido identificadas de manera indirecta. Casi toda la evidencia proviene de estudios realizados con FOS purificados de la achicoria, una planta emparentada con el yacón que contiene inulina (un polímero de moléculas de fructosa) y a partir de la cual se producen los FOS. La evidencia científica de los últimos quince años ha demostrado que los FOS pueden tener propiedades beneficiosas para la salud. Así, se ha reportado que pueden reducir el nivel de lípidos en la sangre, incrementar la asimilación de calcio en los huesos, reducir el riesgo de desarrollar cáncer de colon, fortalecer

la respuesta del sistema inmunológico y contribuir a generar un balance saludable de la microflora intestinal. Sin embargo, estas propiedades hasta el momento sólo han sido demostradas fehacientemente con animales de laboratorio, faltando aún corroborarlas con estudios en humanos.

Un tema que despierta particular interés es el efecto del yacón sobre la diabetes mellitus. En numerosos medios de comunicación se publicita de manera irresponsable que el yacón cura la diabetes. Nada puede ocasionar más daño al prestigio y al futuro promisorio de una planta que recién incursiona en el mercado que el manejo de una imagen falsa de sus bondades y propiedades. Por este motivo, en el presente libro se ha puesto especial cuidado y énfasis en el tema de las propiedades promisorias del yacón y en especial en aquellas relacionadas a la diabetes.

Fuera de los Andes se cultivan dos plantas emparentadas con el yacón: la achicoria (*Cichorium intybus*) y el topinambur (*Helianthus tuberosus*) -pertenecientes a la familia Asteraceae- de las que se extraen industrialmente los FOS para su comercialización como insumo en la industria alimentaria de varios países de Europa y Estados Unidos. Los FOS se emplean en la elaboración de alimentos nutracéuticos o funcionales, es decir aquellos alimentos que independientemente de su valor nutritivo, ejercen un efecto favorable sobre la salud del consumidor. El mercado para este tipo de productos está en expansión y el yacón podría tener posibilidades para posicionarse dentro de esta línea de productos. Pero ésta no es la única forma en la que se le puede encontrar un mercado importante. También se puede obtener una gama de productos procesados que permitirían generar valor agregado al yacón, tales como hojuelas, conservas, jarabe y té de yacón, que fácilmente pueden llegar a desarrollarse y tener aceptación en el mercado.

Hasta hace menos de una década existía la idea de que el valor nutricional del yacón era muy bajo. Por este motivo existe muy poca investigación realizada hasta la fecha acerca de su forma de cultivo y de las tecnologías de procesamiento y transformación que se requieren desarrollar para lograr su mejor aprovechamiento. Esta carencia de información y la enorme demanda actual de la población por conocer aspectos básicos del yacón,



motivó nuestro interés por compilar en un texto único toda la información relevante y útil relacionada al manejo y uso del yacón. El libro ha sido dividido en diez capítulos, en los que se tratan temas tan diversos como la botánica, la ecología y el germoplasma del yacón, así como su composición química, sus propiedades y alternativas de procesamiento. Una parte importante del contenido del libro, en especial la relacionada a la agronomía del cultivo, ha sido enriquecida con la experiencia acumulada por casi una década por la Universidad Nacional de Cajamarca y el Centro Internacional de la Papa.

Los autores esperan que la lectura de la presente publicación contribuya a un mejor entendimiento del yacón y de su potencial, para un mejor aprovechamiento del mismo.

## 1. Etnobotánica

---

Existen evidencias arqueológicas (cerámica, textiles y restos de raíces) sobre el uso del yacón en las culturas Nazca (500 aC-700 dC), Paracas (1500-500 aC) y Mochica (500 aC-700 dC) desarrolladas en la costa peruana (Safford 1917, Yacovleff 1933, O'Neal & Whitaker 1947, Towle 1961). En los vestigios de la cultura Candelaria (1-1000 dC) del noroeste argentino se han encontrado también restos arqueológicos de raíces (Zardini 1991).

En 1615, el cronista peruano Guamán Poma de Ayala, dentro de una descripción de 55 plantas cultivadas en los Andes, citó por primera vez al yacón, usando el término *llacum*. Zardini (1991) menciona que en 1653 el cronista español Bernabé Cobo, refiriéndose a las raíces del yacón, escribió: “*Cómense crudas por frutas y tienen muy buen sabor, y mucho mejor si se pasan un poco al sol, suélese cortar en ruedas y preparar de la misma suerte que el cardo con su pimienta y naranja, y desta manera se parecen algo en el sabor al cardo. Es maravillosa fruta para embarcarla, porque dura mucho tiempo. Yo la he visto llevar por la mar y durar más de veinte días, y respecto de ser tan zumosa, se ponía más dulce y refrescaba mucho en tiempo de calor...*”

El yacón recibe varios nombres. En el norte del Perú también se denomina *llacón* y *llakwash*. Con este último nombre se le conoce en Incawasi (Ferreñafe, Lambayeque), los nativos bilingües dicen que significa

alimento aguanoso. En aymara se le conoce como *aricoma* o *aricumay* en quechua, *llaqón*, *llacúny* *llacuma*. Lo más probable es que estas denominaciones se transformaran en *yacón* o *llacón*, después de la llegada de los españoles. Una modificación de este nombre es *racón*, con el cual se le conoce en Ancash y otra, *yacumi*, con el cual se le conoce en algunas partes del centro del Perú. Rea (1998) indica que en idioma chiriguano se le conoce como *ipio*, en la frontera de Bolivia con Brasil, Argentina y Paraguay. En Ecuador, el nombre común es *jicama*, con derivaciones como *chicama*, *shicama*, *jiquima* y *jiquimilla*. Se considera que estos términos son una derivación de *xicama*, palabra mexicana aplicada a especies del género *Pachyrhizus* (Grau & Rea 1997). En Colombia y Venezuela se le conoce como *jiquima* y *jiquimilla*.

En los sistemas agrícolas tradicionales, el yacón es una planta de huerto familiar que crece junto a hierbas, arbustos y árboles. También se le encuentra en el borde de las chacras de maíz, camote, hortalizas o en pequeñas parcelas en monocultivo, o asociado con maíz, frijol, papa, repollo, arracacha, café y frutales. En Cajamarca la siembra se realiza, por lo general, entre junio y agosto en parcelas bajo riego y entre octubre a diciembre bajo sistema de lluvias. En otros casos no se realiza siembra propiamente dicha, sino que al término del ciclo y cuando los tallos se han muerto, se extraen los yacones maduros (capado) y se deja la cepa en el mismo lugar. Las labores culturales (deshierbe, aporque y riego) por lo general son las mismas que recibe el cultivo principal o las plantas de huerto.

El yacón tradicionalmente se consume como fruta fresca o deshidratada en diferentes grados. En estado fresco es consumido especialmente por los niños (Fig. 1A). También se consume, aunque de manera ocasional y sólo en algunas localidades, en forma de jalea y de chicha. Como fruta fresca es un buen rehidratante debido a su alto contenido de agua. Además, puede prevenir la fatiga y los calambres por su alto contenido de potasio. Tal vez por ello, los campesinos lo consumen durante caminatas largas, pudiendo llegar a consumir cada persona entre 500 a 1000 g diarios de yacón fresco. Este nivel de consumo no produce efectos tóxicos o nocivos, excepto –de manera ocasional– un mayor grado de flatulencia.

Si bien el yacón es un alimento, esporádicamente se ha reportado su uso para fines medicinales. En Contumazá (Cajamarca), se le considera antirraquítico. En la medicina folclórica andina las raíces son consideradas elementos



**Figura 1.** El yacón en el Perú. **A.** Niños sentados sobre plantas de yacón cosechadas (Oxapampa, febrero 2002. Selva alta, 1814 m.s.n.m., 10°35 latitud sur, 75°24' longitud oeste). **B.** Comercialización de yacón (raíces y semillas-propágulo) en el mercado municipal de la ciudad de Huánuco (setiembre 2001, cortesía M. Hermann). **C.** Campo de cultivo perteneciente a un agricultor de Oxapampa (febrero 2002).

frescos y empleadas desde épocas muy antiguas como remedio para afecciones renales y hepáticas. En Bolivia, la raíz es consumida por personas con diabetes y con problemas digestivos, aunque se desconoce con certeza si este uso es una práctica reciente o es una tradición arraigada desde hace mucho tiempo. Los campesinos andinos lo consideran también un rejuvenecedor de la piel. Concordante con esta opinión, en Cajamarca se recogió una versión según la cual antiguamente los pobladores comían yacón antes de dormir para retardar el envejecimiento.

El yacón se usa como elemento de ofrenda y adorno en las festividades de Las Cruces y de San Isidro Labrador (patrono de las cosechas) que se celebran en varias localidades del norte peruano durante el mes de mayo. También es consumido como fruta en estas festividades. En el Cusco se consume especialmente en la festividad del Corpus Cristi (junio) y en algunas localidades del Ecuador se consume como “fruta preferida” en la festividad de Todos los Santos (noviembre). Es componente de los cercos vivos y del conjunto de vegetación de los huertos familiares. Las raíces tienen uso veterinario, efectivo en caso de trastornos digestivos del ganado vacuno en cuyo caso se usa acompañado con las semillas de chichayo (*Cucurbita ficifolia*) y linaza (*Linum usitatissimum*). La planta completa se usa como forraje para vacunos, ovinos y cuyes. Los campesinos de San Miguel (Cajamarca) consideran que mejora el pelo de los animales.

En Jaén (Cajamarca), los campesinos queman las hojas de yacón para producir humo y ahuyentar así a los zancudos (insectos que transmiten el protozoario *Plasmodium* sp., que produce el paludismo). Finalmente, Hilgert (2000) informa que en el norte de la provincia de Salta (Argentina), los tallos del yacón y del yacón de campo, un pariente cercano (*S. macroscyphus*), se usan para elaborar la “yista”, “llicta” o “llicta”, preparado sólido que se hace con las cenizas de éstas u otras plantas y que se utiliza en el proceso de coqueo o insalivación de la coca.

## 2. Botánica

El yacón es una especie de la familia Asteraceae (también llamada Compositae) y su nombre científico es

*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. En la literatura científica se ha usado también *Polymnia sonchifolia* Poepp. & Endl. y *Polymnia edulis* Wedd. para referirse al yacón. Originalmente el yacón había sido clasificado dentro del género *Polymnia* (Wells, 1965). Sin embargo, algunos años más tarde Robinson (1978) determinó que muchas de las especies del género *Polymnia*, entre las cuales se encontraba el yacón, en realidad pertenecían a un género que Mackensie (1933) había propuesto hacía algunos años: el género *Smallanthus*. Las diferencias entre los dos géneros se refieren al patrón de estrías en la superficie del fruto (aquenio), la presencia de un verticilo externo de brácteas involucrales, la ausencia de glándulas en el apéndice de la antera, entre otros. En la actualidad el género *Smallanthus* es el más usado entre los taxónomos para identificar al yacón (Grau & Rea 1997).

El género *Smallanthus* comprende 21 especies, de las cuales siete han sido encontradas en el Perú según Brako & Zarucchi (1993). Estas son: *S. fruticosus* (Benth.) H. Robinson, *S. glabratus* (DC.) H. Robinson, *S. jelksii* (Hieron.) H. Robinson, *S. parviceps* (Blake) H. Robinson, *S. riparius* (H.B.K.) H. Robinson, *S. siegesbeckius* (DC.) H. Robinson, *S. sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson.

### 2.1. La planta

La planta de yacón es herbácea perenne, mide de 1 a 2.5 m de alto (Fig. 2 y Figs. 3A y 3B). Si proviene de semilla, consta de un solo tallo principal, a veces ramificado desde la base, otras veces, sólo con ramas pequeñas en la parte superior. Si la planta proviene de propágulo o semilla vegetativa, consta de varios tallos. Los tallos son cilíndricos, pilosos y huecos, de color verde a púrpura. El yacón tiene dos tipos de raíces: fibrosas y reservantes. Las raíces fibrosas son muy delgadas y su función es la fijación de la planta al suelo y la absorción de agua y nutrientes. Las raíces reservantes son engrosadas, fusiformes u ovadas, de color blanco, crema o púrpura, principalmente (Figs. 3C y 3D).

### 2.2. La raíz reservante

Las raíces reservantes tienen una apariencia bastante semejante a las raíces reservantes del camote (Fig. 4A). Diferentes factores –como la variedad, el tipo de suelo, la localidad, entre otros– pueden influenciar en la forma y el tamaño de las raíces. Su peso puede fluctuar fácilmente entre los 50 y 1000 gramos, pero



Figura 2. Planta entera de yacón.



**Figura 3.** Partes aéreas y subterráneas de la planta de yacón (La Molina, Lima, 255 m.s.n.m, 12°15' latitud sur, 76°57' longitud oeste). **A.** Plantas mantenidas en invernadero. **B.** Plantas de yacón de ocho meses de edad. **C.** Parte subterránea de la planta: corona (cepa) y raíces. **D.** Cortes longitudinal y transversal de las raíces de una entrada de yacón originaria de Ancash, Carhuaz, cultivada en La Molina.

mayormente lo hacen entre los 300 y 600 gramos. Bajo un sistema de producción poco tecnificado, una planta produce entre 2 y 4 Kg de raíces reservantes. Sin embargo, con abonamiento y un adecuado manejo agronómico, el peso por planta puede llegar cerca a los 6 Kg (Amaya 2002).

El patrón de crecimiento secundario de la raíz, el cual determina su engrosamiento, es muy similar al de las plantas dicotiledóneas. Se produce por un incremento en la actividad del cambium vascular que se ubica entre el xilema y el floema. Este cambium vascular consiste inicialmente de franjas separadas, formadas por la división de células entre el xilema primario y el floema primario. Posteriormente, las franjas se juntan y encierran al xilema primario. Las células producidas por este cambium se dividen y expanden simultáneamente durante todo su desarrollo, a la vez que almacenan reservas (Esau 1959, Benjamín *et al.* 1997). Las células que más se dividen y crecen son las del parénquima del xilema. Por ello, el tejido xilemático ocupa la mayor parte de la raíz. Hacia el exterior, se encuentran el anillo cambial, la corteza y la epidermis (Fig. 4B).

### 2.3. La cepa o corona

La cepa es un órgano subterráneo sobre el cual se desarrollan abundantes yemas vegetativas (Fig. 4C y Figs. 5A y 5B). Se forma por el engrosamiento de la parte del tallo que está dentro de la tierra y que está unida a las raíces. Sus tejidos almacenan sustancias de reserva en forma de carbohidratos simples y fructooligosacáridos, los cuales posiblemente sirven de alimento a las yemas cuando éstas van a brotar.

### 2.4. La hoja

Las hojas son opuestas (Fig. 4D), de lámina triangular, de base trunca, hastada o cordada (acorazonada). (Fig. 5C y Figs. 6A, 6B, 6C y 6D.) Hasta la floración en cada tallo se producen entre 13 a 16 pares de hojas. Después de la floración la planta sólo produce hojas pequeñas.

### 2.5. La inflorescencia

La rama floral es terminal de ramificación dicásica, compuesta de inflorescencias llamadas capítulos o cabezuelas (Fig. 4E). Cada rama floral puede presentar entre 20 a 40 capítulos. Una planta puede producir 20 a 80 capítulos. Cada capítulo está formado por flores femeninas y masculinas. Las flores femeninas se ubican

en el verticilo externo, cuya parte más vistosa y coloreada de amarillo es la lígula. Las flores masculinas son tubulares y más pequeñas, se ubican en los verticilos internos del receptáculo. El involucreo es acampanado y hemisférico, con brácteas involucrales (5 a 6) en una sola serie envolviendo al receptáculo. Uniendo al capítulo está el pedúnculo que mide unos 35 a 37 mm.

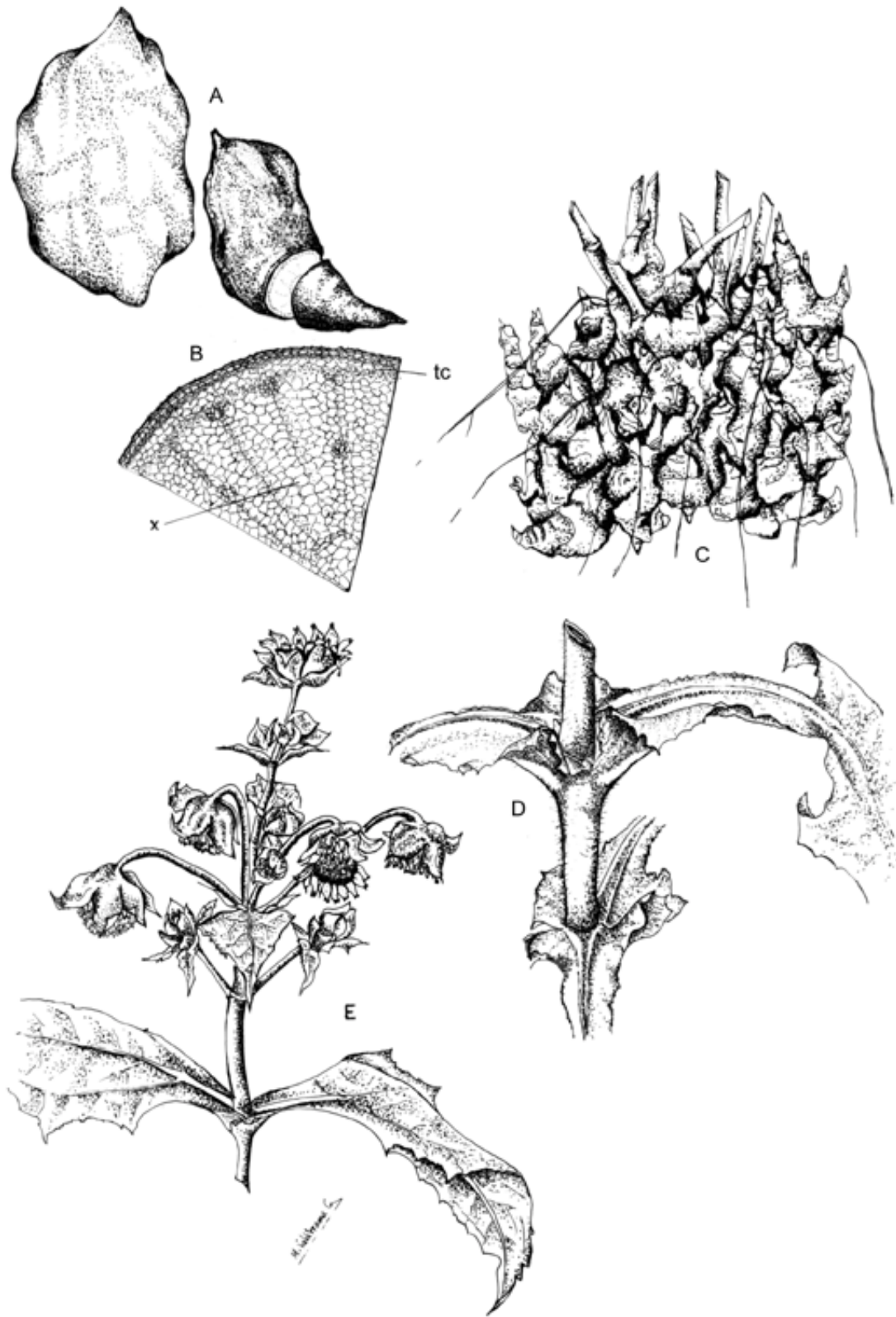
Cada capítulo (Fig. 5D y Fig. 7A), presenta entre 14 a 16 flores femeninas y entre 80 a 90 flores masculinas. Las flores femeninas (zigomorfas), al abrirse el botón floral, aparecen como puntos amarillos; abren antes que las flores masculinas y por lo general se marchitan antes que las últimas flores masculinas.

### 2.6. La flor femenina

La corola de la flor femenina está formada por la fusión de cinco pétalos (corola simpétala). Tres de estos pétalos forman la lígula, que es ensanchada en la parte media y bi o tridentada en el ápice, a veces con dientes apenas visibles (Fig. 7B). Los otros dos pétalos están reducidos, formando un pequeño tubo en la parte basal de la lígula. Rodeando a la rama estigmática, en su parte externa y por encima del ovario, se inserta el papus o vilano, que son brácteas modificadas en pequeñas cerditas o pelos de color blanquecino (Fig. 7B). La lígula mide entre 11 a 14 mm. Puede ser oblonga, ovado-elíptica y elíptica (Figs. 6E, 6F y 6G). La forma de la lígula es un carácter que se toma en cuenta para la caracterización de germoplasma de yacón. El estilo es recto en los dos tercios inferiores, en el tercio superior se abre formando un estigma bilabiado (Fig. 7C). El ovario es fusiforme a troncocónico, de color púrpura.

### 2.7. La flor masculina

Las flores masculinas (Fig. 7D) se abren por series, partiendo desde la periferia. La flor masculina posee gineceo no funcional. La corola está formada por cinco pétalos soldados formando un tubo pentadentado (5-lobular), con una densa pilosidad en la cara externa. Presenta cinco estambres (Fig. 7E) de filamentos libres y anteras connadas a la parte apical del estilo (estigma). En la antesis, las anteras se rompen dejando visible el estilo, de color amarillo, que sobresale de la corola tubular. Las anteras son de color negro, con finas líneas amarillentas en la connación. El grano de polen (Fig. 7F) es esférico y aculeado (espinoso) y a veces, tripolado. Es de color amarillo brillante y tiene consistencia pegajosa, con un diámetro promedio de  $27\mu$  (rango de 20 a  $30\mu$ ).

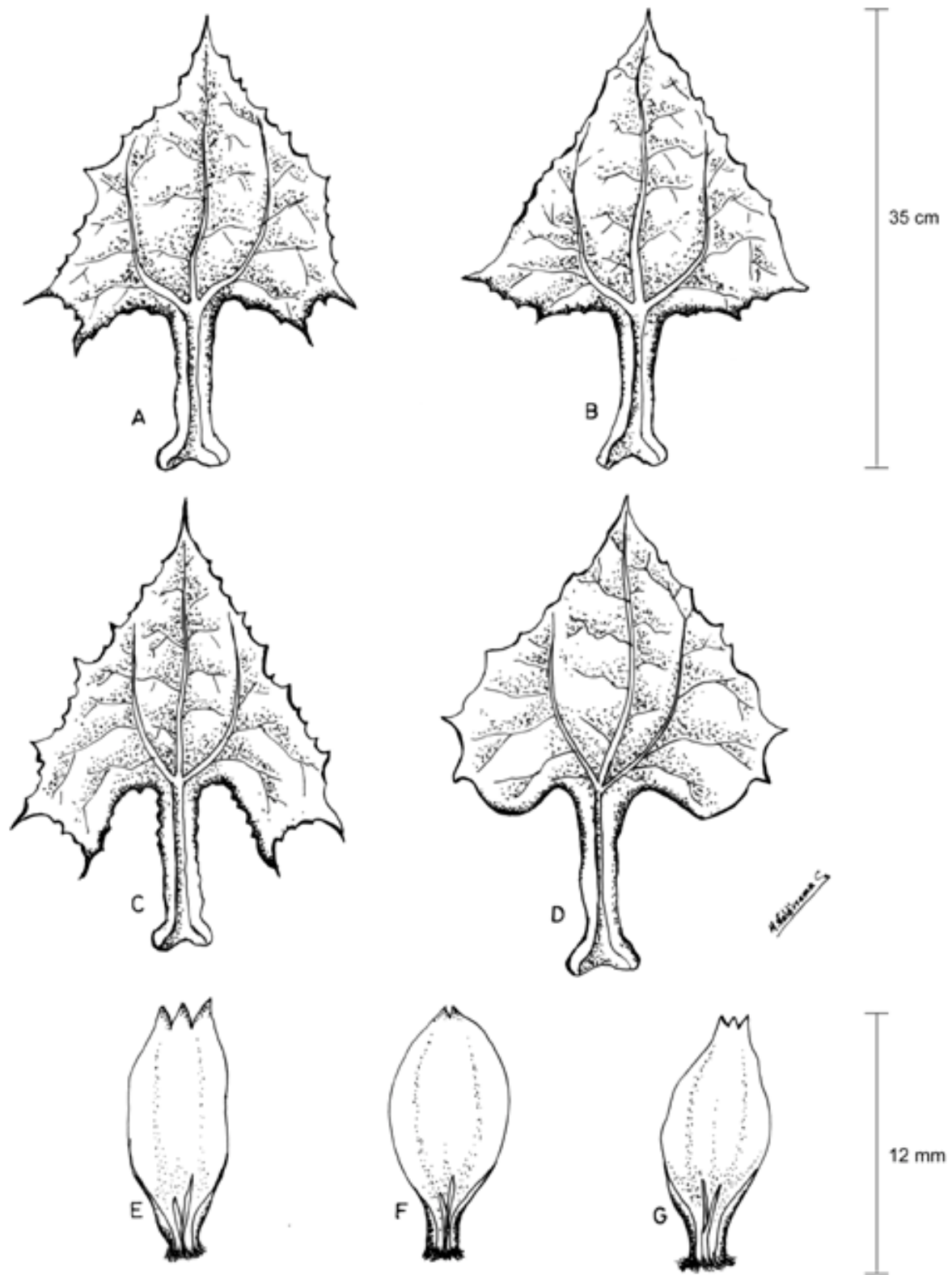


**Figura 4.** Organos del yacón. **A.** Raíces reservantes. **B.** Detalle histológico de la raíz reservante en corte transversal: **x**, tejido xilemático; **tc**, tejidos corticales. **C.** Cepa o corona. **D.** Rama de la inflorescencia. **E.** Disposición de las hojas en el tallo.

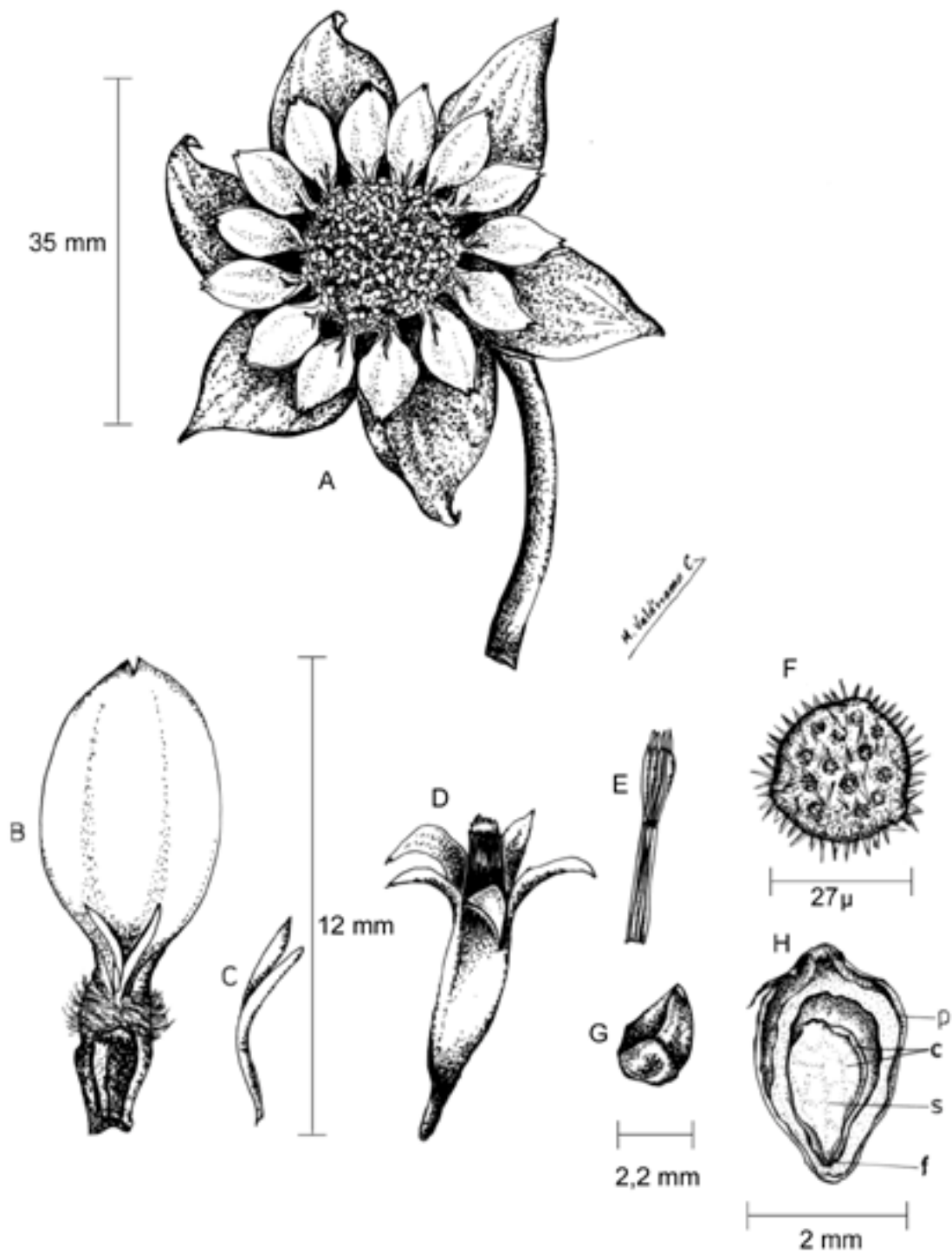


**Figura 5.** Detalles de la planta de yacón. **A.** Parte subterránea de la planta. Obsérvese que en el tallo nacen las raíces adventicias, justo encima de la corona, mientras que las raíces reservantes se insertan directamente en la corona. Sobre la superficie de la corona se forman múltiples brotes, los cuales se emplean como semilla para la propagación vegetativa del yacón. **B.** Corte transversal de la corona. Los tejidos internos de la corona son muy parecidos a los de las raíces reservantes, aunque un poco fibrosos. **C.** Hojas de una planta de yacón de ocho meses de edad. **D.** Inflorescencia típica de una planta de yacón.





**Figura 6.** Principales formas de lámina de hoja (A-D) y de la lígula en la flor femenina de yacón (E-G). **A** y **C.** Triangular hastada. **B.** Triangular truncada. **D.** Cordada. **E.** Oblonga. **F.** Ovada elíptica. **G.** Elíptica.



**Figura 7.** Inflorescencia y flores del yacón. **A.** Inflorescencia (capítulo). **B.** Flor ligulada o femenina. **C.** Pistilo y estigma. **D.** Flor tubular o masculina. **E.** Estambres. **F.** Grano de polen. **G.** Fruto. **H.** Estructura del fruto: p, pericarpio; s, semilla; f, funículo; c, cotiledones.

## 2.8. El fruto

El fruto es un aquenio, que procede de un ovario ínfero con más de un carpelo (Font Quer 1970). El pericarpio es delgado y seco a la madurez, externamente presenta estrías longitudinales que forman surcos paralelos. La semilla se encuentra unida al pericarpio solamente por el funículo (unión del saco embrionario con el ovario). El aquenio (Fig. 7G) es piramidal con ángulos no bien definidos y redondeados, de ápice truncado y base ensanchada, en la cual lleva una pequeña cicatriz (en la unión con el receptáculo floral). En promedio, mide alrededor de 3.7 mm de largo y 2.2 mm de ancho. Cien aquenios pesan entre 0.6 a 1.2 g. La semilla es exalbuminosa, en ella, el albumen o endospermo ha desaparecido y todas las sustancias de reserva se concentran en los cotiledones. Por ello, éstos son más prominentes y ocupan el mayor espacio en la semilla, en cambio el embrión es una masa de células no diferenciadas. La semilla está cubierta por una testa de capa simple, al interior está recorrida por tejido vascular muy ramificado, de células irregulares, compactas, donde no se notan los espacios intercelulares (Fig. 7H).

## 2.9. Biología reproductiva

El funcionamiento de las flores y la producción de semillas son aspectos que permanecen sin conocerse plenamente. Una característica del yacón es la protoginia, es decir, la apertura y receptividad de las flores femeninas antes que las masculinas liberen el polen. Esto implica que probablemente el yacón es de polinización cruzada y que necesita de agentes polinizadores. La posibilidad de que el yacón sea de polinización cruzada fue sugerida por Grau & Rea (1997), quienes argumentan que este comportamiento está presente en el girasol (*Helianthus annuus*) y el topinambur (*Helianthus tuberosus*), dos especies que pertenecen a la misma tribu que el yacón. Pero el argumento más contundente para sostener que el yacón es de polinización cruzada es la presencia de acúleos o espinas en la superficie y la viscosidad del grano de polen, la vistosidad de las flores femeninas y la secreción de sustancias azucaradas, especialmente en las flores tubulares, que hacen que los capítulos sean visitados por varias especies de insectos (Tabla 1).

Uno de los problemas de la propagación sexual del yacón es la baja fertilidad del polen. Grau (1993; citado por Grau & Rea 1997) probó la polinización artificial, pero el

**Tabla 1.** Probables insectos polinizadores observados en las inflorescencias del yacón.

Nombre común	Género/especie	Familia	Orden	Frecuencia
Astilus (gusano negro)	<i>Astylus</i> sp.	Dasytidae	Coleoptera	Alta
Abeja	<i>Apis mellifera</i>	Apidae	Hymenoptera	
Mosca	<i>Syrphus</i> sp.	Syrphidae	Diptera	
Falsa abeja (mosca)	<i>Syrphus</i> sp.	Syrphidae	Diptera	
Chinche marrón	Nd	Miridae	Hemiptera	Media
Zumbadora	<i>Allograpta</i> sp.	Syrphidae	Diptera	
Chinche	Nd	Lygaeidae	Hemiptera	Baja
Mariposas blancas	Nd	Pieridae	Lepidoptera	(ocasional)
Nd	<i>Leptophobia</i> sp.	Pieridae	Lepidoptera	
Mariposa colorada	Nd	Nymphalidae	Lepidoptera	
Lorito	<i>Diabrotica</i> sp.	Chrysomelidae	Coleoptera	
Ushun	<i>Bombus</i> sp.	Andrenidae	Hymenoptera	

Observaciones realizadas en una colección de campo de yacón en Cajamarca (7°17' latitud sur, 2400 m.s.n.m.).  
Nd = no determinado.

polen fue altamente estéril y no logró obtener frutos llenos. El autor informa también que no logró obtener semilla viable en invernadero de un clon cultivado comercialmente en Nueva Zelanda. Igualmente, Grau & Slanis (1996; citados por Grau & Rea 1997) encontraron en Argentina que la fertilidad del polen varió entre 0 y 30%. Similares resultados habrían obtenido en clones ecuatorianos Grau & Rea (1997). Sin embargo, en Cajamarca, Soto (1998) hizo pruebas de viabilidad del polen en tres morfotipos mediante la técnica de tinción con aceto carmín y encontró promedios de 94 y 99% de viabilidad, en pre-antesis y en antesis, respectivamente. Por otro lado, las pruebas de viabilidad de polen, con la misma técnica, en el mismo germoplasma, dieron rangos de 56 a 78% en pre-antesis y de 55 a 85% en antesis. Estos resultados indican que la viabilidad del polen no es el problema y que hay que buscar la explicación de la baja producción de semilla en otros factores.

El hecho de haberse observado granos de polen aberrantes en otras especies de *Smallanthus* sugiere que tal vez este problema también esté presente en el yacón (Fisher & Wells 1962, Wells 1979; citados por Grau & Rea 1997). El desarrollo anormal del polen, en muchos casos, es consecuencia de una meiosis anormal; sin embargo, en el yacón la meiosis parece ser normal, a pesar de su ploidía y de su posible origen híbrido (Frías *et al.* 1997; citados por Grau & Rea 1997). Por otra parte, el polen de los clones cajamarquinos se muestra normal en tamaño y forma, no presenta deformaciones. Se podría especular que la alta producción de capítulos y de flores por planta (20 a 80 capítulos, 310 a 1240 flores femeninas y 1700 a 6800 flores masculinas), induzcan a un desbalance nutricional de las partes reproductivas, acentuado porque

el flujo de metabolitos en esta etapa está dirigido principalmente hacia las raíces en activo crecimiento. La mayor proporción de semillas llenas, encontradas en los primeros capítulos, así lo sugieren.

El yacón produce poca semilla sexual. La que se llega a formar sólo alcanza entre el 15 al 32% de germinabilidad (Chicata 1998, Soto 1998). En una plantación se cosechan semillas llenas, parcialmente llenas y vanas, con predominancia de las dos últimas. Chicata (1998) utilizó semillas llenas de 67 entradas, las sometió a la prueba de tetrazolio y obtuvo 38 entradas coloreadas al 100%, 17 entradas coloreadas parcialmente (entre el 17 al 80%) y 12 entradas que no se colorearon. Por otro lado, tomando semillas llenas de 67 entradas, sólo logró obtener plántulas en 54 de ellas. Estos resultados sugieren que no sólo hay problemas en la polinización y fecundación, sino probablemente también en el desarrollo de las semillas y su germinación. Por otro lado, al comparar las plantas de 51 entradas, producidas mediante semilla y mediante porciones de cepa (Chicata 1998), se comprobó que las primeras tenían tallos más débiles, hojas más pequeñas y 44% menos peso de raíces por planta (Tabla 2).

Se ha sugerido que la falta de germinación de las semillas podría deberse a la dormancia o presencia de cubiertas duras o impermeables. Esta última característica se observa en *S. macroscyphus*, una especie silvestre que tiene alta fertilidad de polen y alta producción de semillas (Grau & Slanis 1996; citados por Grau & Rea 1997). Finalmente, debemos indicar que en semillas llenas, la parte más prominente son los cotiledones, pero no se observa con claridad el resto del embrión. Esto podría

**Tabla 2.** Diferencias entre plantas de yacón propagadas por semilla botánica y vegetativamente (por cepa). Evaluación realizada en la cosecha.

Propagación	Vigor tallo	Largo hoja (cm)	Ancho hoja (cm)	Número raíces/planta	Peso raíces/planta (kg)
Por semilla botánica	Delgado	19.7 (2.2)	16.7 (2.8)	11.8 (3.8)	0.30 (0.28)
Vegetativa	Vigoroso	22.5 (2.9)	25.1 (4.3)	12.9 (6.4)	0.680 (0.37)

Adaptado de Chicata (1998). Los números entre paréntesis indican la desviación estándar.

estar indicando que existen problemas en la formación del fruto y la semilla y que podría tratarse de frutos partenocárpicos, en los cuales falló la fecundación y si se forma semilla, ésta es estéril (Font Quer 1970).

### 3. Ecología

---

Las mejores condiciones para el desarrollo del yacón se encuentran entre el piso alto de la región yunga y el piso medio de la región quechua, según la clasificación de Pulgar Vidal (1996), en el rango altitudinal de 1100 a 2500 m.s.n.m. Sin embargo, el yacón ha demostrado ser un cultivo con bastante adaptación, pudiendo sembrarse en varios lugares de la costa y la selva del Perú. En el norte peruano, no soporta ambientes arriba de los 3000 m.s.n.m, pero su cultivo se extiende hacia la ceja de selva de los departamentos de Cajamarca, Amazonas y San Martín.

Preferentemente se cultiva en los valles interandinos mesotérmicos, en los huertos familiares (huerto casero tropical), como planta de borde o en pequeñas parcelas, asociado con otros cultivos. El cultivo desciende hasta la costa peruana sin mayor problema, como lo confirman las reintroducciones hechas en los últimos años en Lima, Trujillo y otros lugares de la costa, y las evidencias arqueológicas y etnobotánicas del Perú prehispánico. Yacovleff (1933) dice refiriéndose al yacón y a la jícama: *"...las raíces del primero, actualmente planta serrana, se encuentran casi en cada fardo funerario de la cultura Paracas, y no hay razones para creer que habían sido cada vez traídas a la costa. Si los antiguos habitantes han podido cultivar allí la Polymnia sonchifolia (yacón), podrían haber logrado lo propio con el Pachyrhizus..."*. De otro lado, Towle (1961), indica que el yacón fue una de las plantas alimenticias cultivadas en el ámbito de la cultura Mochica (costa norte del Perú).

Los requerimientos de agua están entre los 650 y 1000 mm de lluvia anuales. No soporta las heladas, pero si hay daños, éstos se compensan con una excelente capacidad de rebrote. Se comporta mejor en suelos sueltos, francos a franco arenosos, con pH desde ligeramente ácido hasta el neutro. Los suelos de bosque son excelentes para el yacón. Muestra respuesta positiva a la provisión de materia orgánica, lo que coincide con el medio en el cual probablemente evolucionó, bajo domesticación en

basurales, junto a los asentamientos humanos (Hawkes 1989). Crece bien bajo sombra de árboles y arbustos, pero también crece bien a pleno sol.

### 4. Distribución geográfica y zonas de cultivo

---

#### 4.1. Distribución geográfica

León (1964) y Cárdenas (1989), basados en sus propias observaciones y en la de exploradores antiguos como Bukasov, indican que el yacón se encuentra en estado cultivado y silvestre desde Venezuela y Colombia, hasta el norte de Argentina (Salta, Jujuy). En los últimos años, no se tiene ninguna información de su cultivo en los dos primeros países, pero sí se ha hecho más evidente su distribución y variabilidad en Argentina, Bolivia, Ecuador y Perú. En Argentina se cultiva escasamente en las provincias de Salta y Jujuy (Zardini 1991). En Bolivia se cultiva en los departamentos de Tarija, Chuquisaca, Cochabamba y La Paz (Grau & Rea 1997). En Ecuador, se ha colectado germoplasma en las provincias de Carchi, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar, Chimborazo, Cañar, Azuay y Loja (Tapia *et al.* 1996). En el Perú confirmamos su cultivo en el área alto andina de 18 departamentos (de un total de 24 que tiene el país): Piura, Cajamarca, Amazonas, Lambayeque, La Libertad, San Martín, Ancash, Huánuco, Lima, Pasco, Junín, Huancavelica, Ayacucho, Pasco, Apurímac, Arequipa, Cusco y Puno.

#### 4.2. Zonas de cultivo en el Perú

Los principales nichos de producción en el Perú se encuentran en: Amazonas (Utcubamba, Bongará, Chachapoyas); Ancash (Huaraz, Caraz, Yungay); Apurímac (Andahuaylas y Abancay); Arequipa (Arequipa); Ayacucho (Huamanga, Huanta); Cajamarca (Cajamarca, Contumazá, San Marcos, San Ignacio y Jaén); Cerro de Pasco (Oxapampa); Cusco (Urubamba, Cusco, Calca, Paucartambo, La Convención); Huánuco (Huánuco); Junín (Huancayo, Concepción, Jauja y Tarma); La Libertad (Otuzco, Santiago de Chuco, Sánchez Carrión); Lambayeque (Incahuasi); Lima (Pachacamac y Yauyos); Piura (Ayabaca y Huancabamba) y, Puno (Sandía y Carabaya). De todos estos nichos de producción, los que

más destacan son Cajamarca, Puno, Oxapampa, Huánuco, Ancash y Junín (Fig. 1B y 1C).

En Cajamarca existe una larga tradición de cultivo, consumo y comercialización de yacón. Por ejemplo, en Contumazá los nichos más antiguos son: Socchedón y Chapolán (junto al bosque Cachil), Silacot, Ishcayacu, y San Antonio. Hace aproximadamente 25 a 30 años, las comunidades de Socchedón y Chapolán usaban el yacón como cultivo comercial y existían agricultores-comercializadores que lo vendían en los meses de verano a las ex haciendas (Roma, Laredo, Cartavio, Casa Grande) y a Trujillo. Cuando surge el auge de la uva en Cascas, el yacón deja de ser importante.

En la comunidad de Hualqui (distrito de Jesús, provincia de Cajamarca), el cultivo, comercialización y trueque del yacón (con productos de la zona alta), son muy antiguos y persisten hasta hoy. Parte de la producción sirve para abastecer el mercado de Jesús y Cajamarca. En el distrito de Asunción de la provincia de Cajamarca destacan los poblados de Pachaní, Sapuc y El Tomate, con vieja tradición de cultivo y comercialización hacia la costa, los días jueves y domingos. Otros nichos son Namora, Matara y San Marcos. En Otuzco (La Libertad), es notoria la producción de yacones en Usquil. En Ayabaca (Piura), en los alrededores de la capital de la provincia, se producía yacones para autoconsumo y para un pequeño mercado.

La experiencia más reciente en el norte es el caso de San Ignacio, Bagua y Jaén. Estos lugares están formados por poblaciones de migrantes de Chota y Cutervo (Cajamarca) y Huancabamba y Ayabaca (Piura). Siempre sembraron en pequeña escala, pero en los últimos dos años, debido a la expansión del mercado, registran las mayores áreas sembradas. Debido al clima de estas provincias se puede sembrar yacón casi todo el año y obtener cosecha a los siete meses y medio u ocho meses. Al sur del Perú, en los departamentos de Cusco, Apurímac y Puno, destacan varias provincias que tienen una antigua tradición del cultivo y aprovechamiento del yacón.

En general, en los dos últimos años se ha incrementado su consumo y comercialización en todo el país. Ahora es posible conseguir yacón fresco con facilidad en las ciudades. También empieza a venderse en las ferias en forma de pasa, jugo, jarabe y mermelada. Lo más reciente y que tomó por sorpresa a los investigadores y campesinos, fue la apertura del mercado para las hojas

del yacón, las cuales son consumidas como té filtrante, en infusión. Esto hizo variar el objetivo de la cosecha y crea la necesidad de investigar sobre la producción, cosecha y poscosecha de las hojas.

### **4.3. Estadísticas de áreas de cultivo en Perú**

Las estadísticas oficiales de áreas de siembra de yacón en el Perú son muy escasas. En las últimas tres décadas el área de siembra anual de yacón fue mucho menor a 100 ha en todo el país, según las estadísticas oficiales del ministerio de agricultura. Es a partir del año 2000 que la siembra comercial de yacón comienza a incrementarse en diferentes regiones del Perú. En el Primer Curso Nacional de Yacón celebrado en Cajamarca en agosto del 2002, se estimó en no menos de 600 ha la superficie sembrada de yacón en las principales zonas de producción. Probablemente dicha cifra se multiplique rápidamente en muy poco tiempo debido a la enorme expectativa que existe entre los productores.

### **4.4. El yacón fuera de los Andes**

En la actualidad el yacón ya se siembra en muchos países fuera de los Andes. La ruta migratoria que siguió ha sido plenamente identificada. En la década de los 60 el yacón salió por primera vez desde Ecuador hacia Nueva Zelanda, país en el que se adaptó bien y donde hoy se siembra en pequeña escala para comercializar sus raíces frescas. En 1985 fue llevado desde Nueva Zelanda al Japón. Tal vez éste constituya el paso más importante de la migración del yacón por el mundo pues es en Japón donde se realizaron los primeros estudios científicos que permitieron determinar su composición química y sus efectos favorables sobre la salud. Japón ha sido el centro de dispersión del yacón hacia otros países como Corea y Brasil.

Países tan diferentes como Checoslovaquia, China, Corea, Estados Unidos, Paraguay y Taiwán (National Research Council 1989, Ohyama *et al.* 1990, Grau & Rea 1997, Yan *et al.* 1999) siembran actualmente yacón. Sin embargo, es en Japón donde se ha realizado la mayor cantidad de investigaciones científicas relacionadas al manejo agronómico, composición química, propiedades sobre la salud y desarrollo de productos procesados. En Brasil, adonde el yacón llegó en 1991 desde Japón, también se han logrado ciertos avances en la investigación de estos temas.

## 5. Germoplasma

### 5.1. Variabilidad genética

Desde el año 1993, varias instituciones de los países andinos retomaron o iniciaron un trabajo sostenido de conservación de germoplasma de yacón y otras raíces y tuberosas. El número de entradas de las principales colecciones se muestra en la Tabla 3. Otras instituciones que conservan germoplasma de yacón son las universidades de Huánuco, Huancayo, Ayacucho, Cerro de Pasco y La Molina (Mansilla *et al.* 2001).

La Universidad Nacional de Cajamarca (UNC) ha colectado 119 entradas de yacón, 91% de las cuales corresponden a los departamentos de Cajamarca, Amazonas, Piura, Lambayeque y La Libertad, en el norte peruano. La exploración no fue exhaustiva, se dirigió preferentemente a las localidades de mayor tradición de cultivo y, como es evidente, no cubrió toda el área. No se exploró, por ejemplo, el departamento de San Martín, ni la provincia de Huancabamba en Piura y varias provincias de la Libertad. La colección se realizó con orientación etnobotánica, es decir, a la vez que se recogía

material de propagación, se recopilaba el conocimiento tradicional sobre su cultivo, usos y aprovechamiento. Cada entrada cuenta con datos de pasaporte, además de los datos de caracterización y evaluación. La caracterización morfológica permitió agrupar el germoplasma en morfotipos. El morfotipo se define como un grupo de muestras o entradas de una especie con caracteres cualitativos que los diferencian de otros grupos (grupo intraespecífico). Para el caso de plantas cultivadas, un morfotipo es sinónimo de un cultivar, el cual es plenamente descrito e identificado por los agricultores (Seminario *et al.* 1999).

La caracterización documentada indica que la mayor variabilidad, en términos de formas cultivadas o morfotipos, está tanto en el norte (Cajamarca, Amazonas, Piura, Lambayeque y La Libertad), como en el sur (Cusco, Apurímac y Puno) del Perú. En el primer caso, los informes del Programa Colaborativo Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos (2000), consignan ocho morfotipos de un total de 98 entradas caracterizadas. Sin embargo, una reciente recaracterización del germoplasma, hecha con 20 descriptores morfológicos estandarizados, permitió definir sólo siete morfotipos (Tabla 4). Cuatro morfotipos son de mayor distribución y cultivo, nombrados como: "morado" por el color externo

**Tabla 3.** Número de entradas<sup>1</sup> de las principales colecciones de yacón en Sudamérica.

País	Institución	Número entradas	Fuente
Ecuador	INIAP <sup>2</sup>	32	Tapia <i>et al.</i> (1996)
Bolivia	PROINPA <sup>3</sup>	5	María L. Ugarte (com. per. 2001)
Perú	INIA <sup>4</sup>	85	Tulio Medina (com. per. 2001)
	CICA <sup>5</sup>	46	Programa Colaborativo Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos (1996)
	CRIBA <sup>6</sup>	86	Chicata (1998)
	CIP <sup>7</sup>	47	Carlos Arbizu (com. per. 2001)
	UNC <sup>8</sup>	98	Programa Colaborativo Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos (2000)
Total		399	

<sup>1</sup>Una entrada es el término técnico que se emplea para referirse a un determinado clon colectado en el campo y luego mantenido en bancos de germoplasma.

Toda entrada tiene asignado un código, el cual facilita su identificación y hace posible caracterizar el material para su posterior uso.

INIAP<sup>2</sup> (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias), PROINPA<sup>3</sup> (Programa de Investigación de la Papa, Promoción e Investigación de Productos Andinos), INIA<sup>4</sup> (Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias), CICA<sup>5</sup> (Centro de Investigación en Cultivos Andinos), CRIBA<sup>6</sup> (Centro Regional de Investigación en Biodiversidad Andina) CIP<sup>7</sup> (Centro Internacional de la Papa), UNC<sup>8</sup> (Universidad Nacional de Cajamarca).

**Tabla 4.** Caracteres distintivos de siete morfotipos de yacón cultivados en el norte peruano, y de un pariente silvestre (PS) procedente del Cusco.

Carácter	Morfotipo <sup>2</sup>							
	I	II	III	V	V	VI	VII	PS <sup>3</sup>
Color de tallo <sup>1</sup>	Rojo púrpura	Verde púrpura	Verde	Rojo púrpura	Verde púrpura	Verde	Marrón	Verde oscuro
Ramificación del tallo	En todo el tallo	Apical	Apical	En todo el tallo	En todo el tallo	Ausente	Apical	En todo el tallo
Color de lámina	Verde oscuro	Verde	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde	Verde	Verde oscuro	Verde
Traslape de aurículas	Ausente	Presente	Presente	Ausente	Presente	Ausente	Ausente	Presente
Forma de lámina	Triangular	Triangular	Triangular hastada	Cordada	Triangular	Triangular hastada	Triangular	Triangular sub hastada
Base de lámina	Hastada	Truncada	Hastada	Cordada	Truncada	Hastada	Truncada	Sub hastada
Borde de lámina	Aserrado	Crenado	Doblemente aserrado	Crenado	Crenado	Aserrado	Aserrado	Crenado
Color de lígula	Amarillo anaranjado	Amarillo anaranjado	Amarillo anaranjado	Amarillo oscuro	Amarillo oscuro	Amarillo anaranjado	Amarillo oscuro	Amarillo anaranjado
Forma de lígulas	Oblonga	Ovada	Elíptico	Ovada	Ovada elíptico	Ovada	Ovada	Ovada
Número dientes de la lígula	3	2	3	3	2	3	3	3
Color externo de raíz	Púrpura grisáceo	Anaranjado grisáceo	Anaranjado grisáceo	Púrpura grisáceo	Púrpura grisáceo	Púrpura grisáceo	Anaranjado grisáceo	Rojo púrpura
Color pulpa de raíz	Anaranjado	Anaranjado grisáceo	Anaranjado	Amarillo	Anaranjado	Anaranjado	Amarillo	Amarillo
Hendiduras en la raíz	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente	Ausente	Presente	Ausente
Color de propágulo	Rojo púrpura	Blanco	Blanco con rojo púrpura	Rojo púrpura	Rojo púrpura	Blanco con rojo púrpura	Rojo púrpura	Verdoso
Número flores masculinas	86 (0.9)	87 (0.8)	84 (0.9)	Nd	Nd	Nd	Nd	98.5 (1.7)
Número flores femeninas	15 (0.9)	16 (0.8)	15 (0.8)	Nd	Nd	Nd	Nd	16.5 (1.8)

Los números entre paréntesis corresponden a la desviación estándar.  
Nd: no determinado.  
<sup>1</sup> Los colores fueron determinados utilizando la Royal Horticultural Society Colour Chart.  
<sup>2</sup> Los morfotipos I, II y III corresponden a cultivares comúnmente denominados púrpura, verde y verde oscuro, respectivamente.  
<sup>3</sup> PS = Pariente silvestres (*Smallanthus jelski*).



de la raíz; "amarillo" y "blanco", por el color de la pulpa de la raíz; y, "verde púrpura", por el color del follaje. De este grupo, al parecer, los tres primeros están distribuidos en toda la región andina. En el norte peruano, además existen cinco especies silvestres, de un total de siete registradas para Perú (*S. fruticosus*, *S. glabratus*, *S. jelksii*, *S. parviceps*, *S. siegesbeckius*). En el segundo caso, las colecciones de CICA y CRIBA, proceden de los departamentos de Cusco, Apurímac y Puno (Programa Colaborativo Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos 1996, Chicata 1998). En este germoplasma, Meza (1995) identificó cinco morfotipos ("q'ello lakjun", "ch'ecche llakjun", "yurac ch'ecche", "yurac llakjun" y "culli llakjun"). Además, en la misma área existen tres especies silvestres taxonómicamente muy cercanas a *S. sonchifolius* (*S. glabratus*, *S. parviceps* y *S. siegesbeckius*).

En Ecuador se han identificado cuatro morfotipos: morado, verde claro, verde oscuro pulpa blanca y verde oscuro pulpa amarilla (Morillo *et al.* 2002). En Bolivia, aunque no ha habido un trabajo específico sobre morfotipos, de la información de Grau & Rea (1997) y Rea (1998) se deduce que existen tres morfotipos principales (amarillo, púrpura y blanco). No se descarta la existencia de otros morfotipos en estos países.

## 5.2. Parientes silvestres

El pariente silvestre más cercano del yacón cultivado al parecer es *Smallanthus siegesbeckius* (DC.) H. Robinson, conocido en algunos lugares como "yarita", con el cual guarda bastante similitud morfológica (Tabla 4). Los registros de distribución de esta especie en el Perú se circunscriben al Cusco (Ahuabamba, cuenca del río Vilcanota), donde crece en estado silvestre o como arvense, invadiendo los campos de cultivo en descanso y dentro del cultivo de café (Wells 1965, Grau & Rea 1997), y Junín y San Martín (Wells 1965, Brako & Zarucchi 1993). También se distribuye en Bolivia (Santa Cruz), Brasil (Minas Gerais, Paraná, Río de Janeiro) y Paraguay (Guairá) (Wells 1965).

Otro pariente cercanamente relacionado con *S. sonchifolius*, sería *S. macroscyphus*, especie silvestre que se encuentra en bosques y selvas de Bolivia y el noreste de Argentina (400 a 1800 m.s.n.m.). Se diferencia con el primero porque la parte subterránea es menos desarrollada, de raíces largas y delgadas (15 a 30 cm de largo y 1 a 3 cm de diámetro) y tiene menor número de tallos (Grau & Slanis 1997).

## 5.3. Citogenética

Las informaciones sobre el número cromosómico todavía son contradictorias. Heiser (1963) con germoplasma ecuatoriano y Talledo & Escobar (1998) con material peruano, encontraron  $2n=60$  cromosomas. León (1964) informa haber encontrado  $2n=32$  cromosomas en material peruano. Sin embargo, más consistentes parecen ser los resultados reportados por Salgado Moreno (1996), quien contó los cromosomas de 15 clones procedentes de Ecuador, Perú, Bolivia y Argentina, y encontró 14 clones con  $2n=58$  y uno con  $2n=87$ . Similares resultados han sido obtenidos recientemente por Frias *et al.* (1997) en material argentino y por Araujo (1998) en tres morfotipos de Cajamarca.

Ishiki *et al.* (1997, citados por Grau & Rea 1997) han sugerido que el yacón es un alopoliploide que se originó a partir de cruzamientos complejos entre *S. macroscyphus* o algún pariente silvestre parecido ( $2n=28$ ,  $A=7$ ) y *S. riparius* ( $2n=32$ ,  $B=8$ ). Este origen híbrido del yacón podría explicar fácilmente la naturaleza octoploide ( $2n=6A+2B=58$ ) y dodecaploide ( $2n=9A+3B=87$ ) del yacón.

## 6. Composición química y propiedades

### 6.1. Composición química de las raíces

El yacón es una de las raíces reservantes comestibles con mayor contenido de agua. Según diversos autores, entre 83 y 90% del peso fresco de las raíces es agua. En términos generales, los carbohidratos representan alrededor del 90% del peso seco de las raíces recién cosechadas, de los cuales entre 50 y 70% son fructooligosacáridos (FOS). El resto de carbohidratos lo conforman la sacarosa, fructosa y glucosa (Ohyama *et al.* 1990, Asami *et al.* 1991, Nieto 1991, Collazos *et al.* 1993, Hermann *et al.* 1999). Sin embargo, la composición relativa de los diferentes azúcares varía significativamente debido a diferentes factores como el cultivar, la época de siembra y cosecha, tiempo y temperatura en poscosecha, entre otros.

Las raíces reservantes acumulan, además, cantidades importantes de potasio, compuestos polifenólicos

**Tabla 5.** Composición química promedio de 10 entradas de yacón procedentes de Perú, Bolivia, Ecuador y Argentina (en relación a 1 Kg de materia comestible de raíz fresca).

Variable	Promedio	Rango
Materia seca (g)	115	98-136
Carbohidratos totales (g)	106	89-127
Fructanos (g)	62	31-89
Glucosa libre (g)	3.4	2.3-5.9
Fructosa libre (g)	8.5	3.9-21.1
Sacarosa libre (g)	14	10-19
Proteína (g)	3.7	2.7-4.9
Fibra (g)	3.6	3.1-4.1
Lípidos (mg)	244	112-464
Calcio (mg)	87	56-131
Fósforo (mg)	240	182-309
Potasio (mg)	2282	1843-2946

Fuente: Hermann *et al.* (1999).

derivados del ácido cafeico, sustancias antioxidantes como ácido clorogénico y triptófano y varias fitoalexinas con actividad fungicida (Takasugi & Masuda 1996, Yan *et al.* 1999, Takenaka *et al.* 2003). El contenido de proteínas, lípidos, vitaminas y minerales es bastante bajo (Tabla 5).

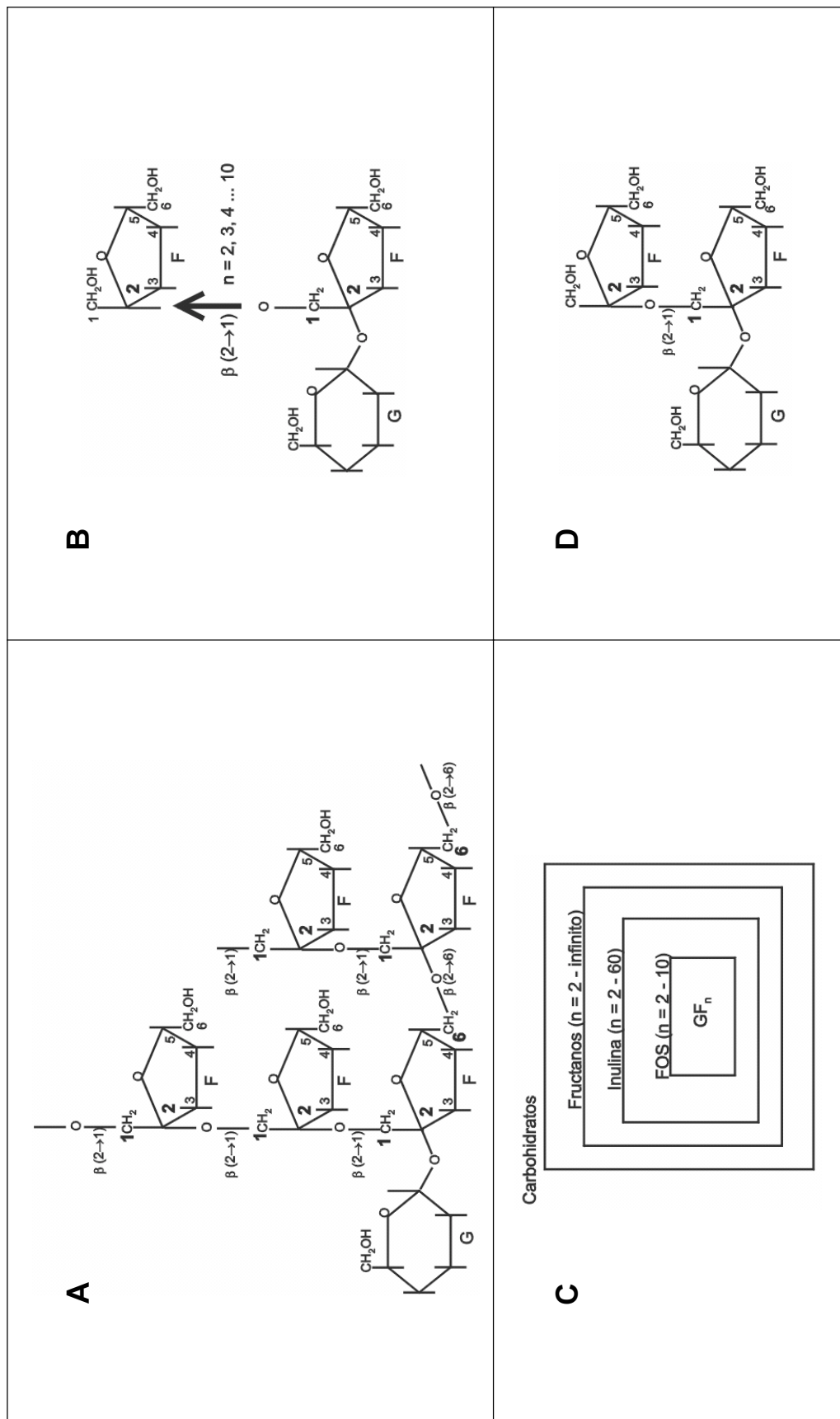
## 6.2. Fructooligosacáridos

Los fructooligosacáridos (FOS), también conocidos como oligofructanos u oligofructosa, pertenecen a una clase particular de azúcares conocidos con el nombre de fructanos. La estructura fundamental de los fructanos es un esqueleto de unidades de fructosa unidas entre sí por enlaces glucosídicos  $\beta$  (2 $\rightarrow$ 1) y/o  $\beta$  (2 $\rightarrow$ 6). Es frecuente encontrar, adicionalmente, una molécula de glucosa al inicio de la cadena de cada fructano (Fig. 8A) (Niness 1999a). Existen diversos tipos de fructanos en la naturaleza, pero desde un punto de vista nutricional y de uso en la industria alimentaria se reconocen a los FOS y a la inulina como los más importantes.

La inulina y los FOS no tienen una composición química definida ya que ambos son, en realidad, una mezcla de fructanos de diferente tamaño. Debido a que las moléculas de fructosa se unen exclusivamente por enlaces  $\beta$  (2 $\rightarrow$ 1), estos fructanos adquieren una conformación espacial semejante a cadenas lineales. La

diferencia entre los FOS y la inulina radica en el número de moléculas de fructosa que tienen estas cadenas. En la inulina, este número varía entre 2 y 60, mientras que en los FOS, que tienen cadenas más pequeñas, el número varía entre 2 y 10 (Fig. 8B) (Niness 1999a). Esto significa que a los FOS se les puede considerar como un subgrupo de la inulina (Fig. 8C). Por este motivo algunos autores prefieren emplear el término fructooligosacáridos del tipo inulina para referirse con mayor precisión a la naturaleza de los azúcares presentes en el yacón (Goto *et al.* 1995).

Existe una confusión de términos cuando se hace referencia al tipo de carbohidrato predominante en las raíces del yacón. En diversos tipos de literatura (periódicos, revistas, páginas web, resúmenes de congresos, tesis e incluso literatura científica) se menciona que las raíces de yacón contienen inulina como componente principal (National Research Council 1989, Fernández *et al.* 1997, Rea 1998, Perazzo 2000). Sin embargo, esta información no es exacta, ya que estrictamente hablando, el yacón tiene sólo fructooligosacáridos (Goto *et al.* 1995). La explicación para esta confusión se debe posiblemente al capítulo dedicado al yacón en el libro *Lost Crops of the Incas* (National Research Council 1989). Este documento fue uno de los primeros que alcanzó prestigio y divulgación



**Figura 8.** Estructura química de los fructanos. **A.** Los fructanos pueden polimerizar miles de moléculas de fructosa (F) utilizando enlaces glucosídicos  $\beta(2 \rightarrow 1)$  y  $\beta(2 \rightarrow 6)$ , lo que permite la conformación espacial de estructuras ramificadas. Obsérvese que al inicio de la cadena del fructano se liga una molécula de glucosa (G). **B.** Información detallada de la composición química de los FOS: Entre 2 a 10 moléculas de F unidas por enlaces  $\beta(2 \rightarrow 1)$ . **C.** La inulina y los FOS tienen en su estructura sólo enlaces  $\beta(2 \rightarrow 1)$ . Se diferencian únicamente en el número de moléculas de F dentro de sus cadenas. En la inulina pueden haber hasta 60 moléculas de F, mientras que los FOS sólo tienen como máximo hasta 10. **D.** Estructura química del oligofructano más sencillo que se conoce (1-kestosa).

internacional al compilar muchos aspectos del yacón que estaban disgregados hasta ese momento. En este documento se menciona que el yacón contiene inulina y ello ha servido de base para citar lo mismo en muchos otros documentos que se han escrito después sobre este cultivo. Un año después de esta publicación se determinó que el yacón tiene en realidad fructooligosacáridos (Ohyama *et al.* 1990). Sin embargo, la confusión persiste aún en la actualidad debido a que el texto de National Research Council (1989) es mucho más difundido que el artículo de Ohyama *et al.* (1990) y otros que se han escrito después.

Es importante distinguir claramente la diferencia que existe entre los conceptos de inulina y FOS ya que las propiedades físicas y sus aplicaciones en procesos de la industria alimentaria son bastante diferentes. Algunos ejemplos pueden ayudar a comprender mejor esta importancia. La inulina casi no tiene sabor dulce, su consistencia especial y su baja solubilidad relativa en agua la convierten en un sustituto excelente de la grasa para la elaboración de varios tipos de alimentos, como helados y postres. Los FOS en cambio son muy solubles en agua, tienen un ligero sabor dulce (entre 30 a 50% del poder edulcorante del azúcar de mesa o sacarosa) y eventualmente pueden ser utilizados como sustitutos hipocalóricos del azúcar común (Tabla 6). A pesar de ello, la inulina y los FOS generan casi el mismo efecto fisiológico en las personas que los consumen: proporcionan tan sólo la cuarta parte del valor calórico de los carbohidratos comunes, son reconocidos como un tipo de fibra dietética y se emplean como insumos

para la elaboración de alimentos funcionales o nutraceuticos (Niness 1999a, Roberfroid 1999a, Roberfroid 2000).

La inulina se encuentra en muchas plantas como la cebolla, el ajo y el plátano, pero en mayores cantidades en especies como el topinambur (*Helianthus tuberosus*), la achicoria (*Cichorium intybus*) y la dalia (*Dahlia* sp.). Los FOS se encuentra también en estas plantas, pero en cantidades pequeñas. En el yacón, en cambio, no existe inulina y el azúcar predominante son los FOS. El yacón es quizás la planta con mayor contenido de FOS (Tabla 7).

### 6.3. Efecto de los fructooligosacáridos sobre la salud

La mayoría de propiedades atribuidas a los FOS han sido comprobadas sólo en roedores (ratas y hamsters). Los estudios realizados en seres humanos son escasos, y frecuentemente dan resultados diferentes y contradictorios. Sin embargo, la evidencia científica disponible sustenta el reconocimiento de los FOS como fibra dietética y como prebióticos. Un prebiótico se define como un alimento no digerible que afecta favorablemente la salud del hospedero (es decir, del consumidor) al estimular selectivamente la proliferación de un grupo de bacterias benéficas en el tracto digestivo, mejorando así el balance intestinal. Se ha realizado muy poca investigación acerca del efecto del yacón sobre la salud humana. Casi toda la evidencia asociada a los efectos promisorios que el yacón puede tener sobre las personas es indirecta, proviene de estudios realizados

**Tabla 6.** Valor calórico y poder edulcorante de los fructooligosacáridos (FOS) en comparación con los azúcares más comunes y algunos edulcorantes sintéticos.

Azúcar	Origen	Contenido calorías (Kcal/g)	Poder edulcorante
FOS	Natural	1-1.5	0.3
Glucosa	Natural	4	0.7
Fructosa	Natural	4	1.7
Sacarosa	Natural	4	1
Esteviosidos	Natural	0	30-320
Aspartame	Sintético	0	200
Sacarina	Sintético	0	300-500
Sucralosa	Sintético	0	600

Con la finalidad de hacer efectiva la comparación, se asigna el valor de 1 al poder edulcorante de la sacarosa o azúcar de mesa.

**Tabla 7.** Relación de plantas con mayor contenido de fructanos.

Nombre común	Nombre científico	Familia	Organo utilizado	Fructano predominante	% en materia comestible
Achicoria	<i>Cichorium intybus</i>	Asteraceae	Raíz	Inulina	16-20
Topinambur	<i>Helianthus tuberosus</i>	Asteraceae	Tubérculo	Inulina	15-20
Dalia	<i>Dahlia</i> sp.	Asteraceae	Rizoma	Inulina	6-14
Yacón	<i>Smallanthus sonchifolius</i>	Asteraceae	Raíz	FOS	9-12
Ajo	<i>Allium sativum</i>	Liliaceae	Bulbo	Inulina	9-11
Cebolla	<i>Allium cepa</i>	Liliaceae	Bulbo	Inulina	2-6
Espárrago	<i>Asparagus officinalis</i>	Liliaceae	Turión	Inulina	2-3
Trigo	<i>Triticum durum</i>	Poaceae	Grano	Inulina	1-6
Plátano	<i>Musa</i> sp.	Musaceae	Fruto	Inulina	0.3-0.7

Nótese que el yacón es la única planta que contiene altas concentraciones de fructooligosacáridos (FOS), el resto de plantas contiene principalmente inulina.

con fructanos (FOS e inulina) purificados de la achicoria. Lamentablemente a veces se exagera el tema y se le atribuyen al yacón propiedades que ni siquiera han sido estudiadas. De todos modos, si se toma la información de manera responsable y cuidadosa, se podría inferir que el yacón comparte las mismas propiedades promisorias descritas en los estudios realizados con los FOS de la achicoria.

A continuación detallamos los efectos fisiológicos del consumo de fructanos en animales y en humanos. Se han incluido las citas bibliográficas originales con el fin de que el lector interesado pueda tener acceso a los detalles de las evidencias que se señalan en el texto. La Tabla 8 contiene toda esta información resumida.

### 6.3.1. Salud gastrointestinal

Como todo fructano, los FOS no pueden ser metabolizados directamente por el tracto digestivo humano debido a que éste carece de las enzimas necesarias para degradar los enlaces glucosídicos  $\beta(2 \rightarrow 1)$  que mantienen unidas las moléculas de fructosa. De esta forma, cuando una persona ingiere FOS, éstos se desplazan en casi todo su recorrido por el tracto digestivo sin ser modificados. Cuando los FOS alcanzan la última porción del intestino grueso (el colon), son fermentados por un grupo especializado de bacterias que forman parte de la microflora intestinal. Estas

bacterias son conocidas con el nombre de probióticos y son asociadas con una serie de efectos benéficos sobre la salud humana.

En el colon habitan también un grupo de bacterias putrefactivas de los alimentos (bacteroides, fusobacterias, clostridios, etc.), las cuales al multiplicarse propician el desarrollo de hongos, levaduras y otro grupo de bacterias patógenas (*Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*, *Campylobacter jejuni*, entre las principales), responsables de la producción de toxinas y compuestos potencialmente cancerígenos. Estas bacterias dañinas generan comúnmente cuadros de diarrea y diferentes desórdenes gastrointestinales.

Debido a que las bacterias putrefactivas y los probióticos comparten el mismo hábitat, ambos grupos están permanentemente en competencia por poblar en mayor número la microflora del colon. El balance en favor de los probióticos o de las bacterias putrefactivas estará dado en gran medida por el tipo de alimentos que se ingieren diariamente, pues según de los que se trate serán mejor asimilados por uno u otro grupo.

A diferencia de las bacterias putrefactivas, los probióticos (especialmente *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*) poseen las enzimas que se requieren para romper los enlaces  $\beta(2 \rightarrow 1)$  de los fructanos. De esta manera pueden

**Tabla 8.** Efecto de los fructanos en el mejoramiento de las funciones fisiológicas y en la disminución de riesgo de algunas enfermedades.

Tipo de evidencia	Sujeto de análisis	Fortaleza de la evidencia	Referencia
<b>Efecto funcional</b>			
Disminución de colesterol	Ratas	Promisoria	Fiordaliso <i>et al.</i> (1995), Djouzi & Andrieux (1997) Yamashita <i>et al.</i> (1984), Davidson <i>et al.</i> (1998)
	Humanos	Preliminar	
Disminución de triglicéridos	Ratas	Preliminar	Delzenne <i>et al.</i> (1993), Delzenne <i>et al.</i> (1995), Fiordaliso <i>et al.</i> (1995), Kok <i>et al.</i> (1996), Delzenne & Kok (1999) Jackson <i>et al.</i> (1999)
	Humanos	Preliminar	
Mejor función gastrointestinal	Roedores	Fuerte	Buddington <i>et al.</i> (2002)
	Humanos	Fuerte	Gibson & Roberfroid (1995)
Mejor absorción de calcio	Ratas	Fuerte	Delzenne <i>et al.</i> (1995), Ohta <i>et al.</i> (1995), Ohta <i>et al.</i> (1998), Takahara <i>et al.</i> (2000) Coudray <i>et al.</i> (1997), Van den Heuvel <i>et al.</i> (1999)
	Humanos	Promisoria	
Aumento de función inmune	Ratones	Promisoria	Buddington <i>et al.</i> (2002)
<b>Disminución riesgo enfermedad</b>			
Estreñimiento	Humanos	Promisoria	Kleessen <i>et al.</i> (1997)
Cáncer de colon	Roedores	Promisoria	Koo & Rao (1991), Reddy <i>et al.</i> (1997), Pierre <i>et al.</i> (1997), Rowland <i>et al.</i> (1998), Reddy (1999), Buddington <i>et al.</i> (2002)
Osteoporosis	Roedores	Preliminar	Ohta <i>et al.</i> (1998), Takahara <i>et al.</i> (2000)

fermentar los FOS y utilizar esta energía para su multiplicación y proliferación (Roberfroid 2000). La fermentación de los FOS produce ácido láctico y ácidos grasos de cadena corta (butirato, propionato y acetato principalmente), los cuales bajan el pH del colon e impiden así la proliferación de las bacterias putrefactivas y nocivas del colon. Los ácidos grasos de cadena corta han sido asociados con varias de las propiedades asignadas a los fructanos, en especial la de mejorar la asimilación de calcio y el metabolismo de lípidos.

En la microflora intestinal sólo los probióticos pueden fermentar los FOS, ésta es la razón por la cual estos fructanos son considerados reconstituyentes de la microflora intestinal. Los probióticos han sido asociados con una serie de propiedades benéficas como son:

- mejorar la absorción de calcio y otros minerales,
- sintetizar vitaminas del complejo B,
- fortalecer y modular la repuesta del sistema inmunológico,
- prevenir infecciones gastrointestinales,
- reducir el riesgo de desarrollar algunos tipos de cáncer, especialmente el cáncer de colon.

Sin embargo, la mayoría de estos efectos fisiológicos han sido estudiados sólo en animales experimentales, por lo que es necesario validarlos también en humanos con el soporte de estudios clínicos bien definidos (Coussement 1999, Niness 1999b, Roberfroid 1999b, Brady *et al.* 2000, Conway 2001).

En la actualidad los FOS son reconocidos en la mayoría de países de Europa y Japón como prebióticos. Cada vez se reúne mayor evidencia sobre la importancia de un adecuado balance y funcionamiento de la microflora intestinal, ya que ello influye en la respuesta del sistema inmunológico y corrige desórdenes gastrointestinales bastante comunes como acidez estomacal, diarreas repentinas, trastornos gástricos, indigestiones, entre otros. En el mercado mundial de alimentos procesados se emplean la inulina y los FOS como insumos para la elaboración de alimentos funcionales o nutracéuticos. Los alimentos funcionales son aquellos que, independientemente de su capacidad nutritiva, tienen un efecto favorable en la salud de la persona que los consume.

### 6.3.2. Triglicéridos y colesterol

Los resultados de estudios realizados en animales de laboratorio (especialmente roedores) muestran una fuerte evidencia de que los FOS reducen el nivel de lípidos en la sangre (Delzenne *et al.* 1993, Delzenne *et al.* 1995, Fiordaliso *et al.* 1995, Kok *et al.* 1996, Delzenne & Kok 1999, Andersson *et al.* 2001). Sin embargo, cuando se ha querido identificar este efecto en humanos, los resultados han sido un poco contradictorios. Algunos estudios revelan que el consumo de FOS (Yamashita *et al.* 1984) y de inulina (Davidson *et al.* 1998, Brighenti *et al.* 1999, Jackson *et al.* 1999) reducen de modo significativo el nivel de colesterol y triglicéridos en sangre. Sin embargo otros estudios (Luo *et al.* 1996, Ellegård *et al.* 1997, Pedersen *et al.* 1997, Alles *et al.* 1999) sugieren que el consumo de fructanos no tiene ningún efecto en la reducción de estos lípidos.

Un factor que puede haber afectado dichos resultados es que el nivel de tolerancia a los FOS es mucho más bajo en los humanos que en los roedores, por lo que las dosis empleadas en humanos no serían efectivas para conseguir el efecto deseado (Andersson *et al.* 2001). Lo cierto es que se requiere mucha investigación adicional para determinar el verdadero efecto de los FOS en la reducción de triglicéridos y colesterol en los humanos (Andersson *et al.* 2001). Tal vez estudios planificados a largo plazo conduzcan a mejores resultados.

### 6.3.3. Asimilación de calcio y otros minerales

Se ha demostrado que el consumo de fructanos (FOS e inulina) mejora la asimilación de calcio en roedores (Delzenne *et al.* 1995, Ohta *et al.* 1995, Ohta *et al.* 1998, Takahara *et al.* 2000). Sin embargo, en los estudios realizados hasta ahora en humanos se han obtenido respuestas variables. Los estudios hechos por Coudray *et al.* (1997) reportaron un incremento en la absorción de calcio de 21 a 34% cuando se incluyó simultáneamente 40 g de inulina en la dieta de nueve hombres sanos, pero en los estudios realizados por Ellegård *et al.* (1997) no se encontraron diferencias. Van der Heuvel *et al.* (1998) tampoco obtuvieron una respuesta positiva cuando realizaron un estudio en hombres de 20 a 26 años, alimentados con un suplemento de 15g de FOS/día. Sin embargo, un año después Van der Heuvel *et al.* (1999) realizaron un ensayo similar en adolescentes de 14 a 16 años, pero esta vez ampliaron el tiempo de medición de 24 a 36 horas para detectar los niveles de absorción de calcio, con lo que los estudios arrojaron un incremento significativo en dicha absorción. Estos resultados han servido para que se reconozca que los FOS podrían incrementar la absorción de calcio en humanos (Andersson *et al.* 2001).

Estudios realizados en ratas de laboratorio evidencian que el consumo de FOS produce un incremento en la densidad mineral ósea y en la absorción de calcio en los huesos (Takahara *et al.* 2000). También se ha reportado que el consumo crónico (periodo de tiempo largo) de FOS reduce la pérdida de masa ósea y del calcio y fósforo de los huesos en ratas de laboratorio (Ohta *et al.* 1998). Estas evidencias están ligadas a parámetros asociados a la osteoporosis en ratas, por lo que se tiene la esperanza de encontrar pronto evidencias similares en humanos.

### 6.3.4. Cáncer de colon

Los probióticos tienen la capacidad de inhibir la proliferación de bacterias dañinas en el colon, estas bacterias producen toxinas y sustancias potencialmente cancerígenas (compuestos nitrosos, aminos y amoniaco). Por ello, es probable que un adecuado consumo suplementario de FOS en la dieta genere un efecto favorable en la salud del colon.

Investigaciones hechas en animales de laboratorio han demostrado que el consumo de FOS reduce el riesgo de desarrollar lesiones precancerosas en el colon.

Diferentes estudios han revelado que ciertas bacterias del colon, productoras de los metabolitos asociados al cáncer de colon, son producidas en menor cantidad cuando se incluye FOS en la dieta de las ratas (Koo & Rao 1991, Reddy *et al.* 1997, Rowland *et al.* 1998, Buddington *et al.* 2002). Reddy *et al.* (1997) observaron que después de usar un químico mutagénico específico, la formación de focos de colonias aberrantes ligadas al cáncer de colon, se producía en menor cantidad en las ratas que habían sido alimentadas con FOS. Pierre *et al.* (1995) reportaron una reducción en la tasa de formación de tumores en el intestino delgado y en el colon, después de añadir FOS en la dieta de los roedores. Similares resultados han sido confirmados recientemente por Buddington *et al.* (2002).

No existen estudios científicos concretos en humanos que evidencien que el consumo de FOS esté asociado con un menor riesgo de incidencia de cáncer de colon, probablemente porque este tipo de estudios es mucho más difícil de realizar en humanos que en animales de laboratorio. Sin embargo, en Estados Unidos existe mucho interés por investigar este tema ya que según el National Cancer Institute, el cáncer de colon es el segundo tipo de cáncer que mayor cantidad de muertes ocasiona en la población (Brady *et al.* 2000).

### 6.3.5. Sistema inmunológico

Existen pruebas experimentales que evidencian que los probióticos pueden tener un efecto regulador en el sistema inmunológico de algunos animales, y se tiene sospechas que en humanos ocurra lo mismo (Erickson & Hubbard 2000, Wold 2001).

Aparentemente, el efecto de los fructanos sobre el sistema inmunológico es indirecto, es decir, a través de la estimulación de los probióticos. Buddington *et al.* (2002) hallaron evidencias de este tipo. Ellos encontraron que los ratones alimentados con un suplemento de FOS o inulina en la dieta eran mucho más resistentes, e incluso inmunes, a la infección sistémica con ciertos patógenos (*Candida albicans* y *Listeria monocytogenes*). Estudios realizados con cerdos han demostrado que los FOS tienen un efecto fortalecedor en su sistema inmunológico. Se ha sugerido el uso de FOS en las raciones alimenticias de cerdos recién destetados, con el fin de fortalecer la respuesta del sistema inmunológico y con ello crear las condiciones necesarias para maximizar la expresión del potencial genético de los caracteres de rendimiento cuando lleguen a la edad

adulto (Baynes & Varley 2001). Ello disminuiría en gran medida el uso de vacunas en la crianza de cerdos, con lo que se lograría un ahorro importante de dinero para el criador y un producto más sano para el consumidor.

### 6.3.6. Estreñimiento

Desde un punto de vista fisiológico, los FOS son considerados como un tipo de fibra alimentaria debido a que no pueden ser digeridos directamente por el aparato digestivo humano y deben ser fermentados completamente en el colon (Cummings *et al.* 2001). Algunos estudios realizados en humanos han demostrado que el consumo de fructanos incrementa la frecuencia de deposiciones y el volumen de la masa fecal, ambos parámetros ligados a una disminución del estreñimiento (Alles *et al.* 1996, Kleessen *et al.* 1997). En la actualidad, con la evidencia científica disponible, se ha reconocido que los FOS pueden generar un efecto laxante que podría ayudar a las personas con estreñimiento (Andersson *et al.* 2001).

Es probable que el yacón genere un efecto positivo sobre el estreñimiento ya que su contenido de agua y fibra (en forma de FOS) es abundante. A pesar de que no existe un documento que certifique el uso de yacón contra el estreñimiento, es cada vez más frecuente su uso para aliviar esta dolencia.

### 6.3.7. Obesidad

El segundo problema de salud pública en los Estados Unidos después del tabaquismo es la obesidad. Esta es una enfermedad crónica originada por muchas causas y con numerosas complicaciones. La obesidad es considerada un factor de riesgo para el desarrollo de diabetes y enfermedades cardiovasculares. Una de las causas de la obesidad, aparte del sedentarismo y el factor genético, es la calidad en la alimentación. Las personas que consumen más calorías de las que su organismo realmente necesita, almacenan el excedente principalmente en forma de grasa. Frecuentemente resulta difícil corregir este mal hábito alimenticio, sin embargo, una forma de prevenir y revertir el sobrepeso es sustituir en las comidas aquellos alimentos de alto contenido calórico por otros de menor contenido. Como se puede ver en la Tabla 9, el yacón tiene mucho menos calorías que la mayoría de alimentos que se conocen, por lo que puede considerarse un alimento alternativo para el control del sobrepeso y la obesidad.



**Tabla 9.** Contenido calórico de las raíces de yacón en comparación con otros alimentos.

Alimento	Contenido calorías (Kcal/100 g alimento)
Yacón	15-20*
Piña	40
Naranja	50
Manzana	60
Plátano	80
Papa	120
Carne de pollo	120
Arroz cocido	135
Carne de res	160
Pan	250
Helado	400
Chocolate	500

\* Valor calórico del Yacón según Hermann *et al.* (1999).  
Según Collazos *et al.* (1993), el yacón tiene 54 Kcal/100 g. Es probable que este valor esté sobrestimado debido a que el valor calórico de los FOS ha sido considerado como el de los azúcares comunes.

### 6.3.8. Diabetes

La diabetes es una enfermedad que afecta entre el 2 al 12% de la población mundial. Sólo la diabetes tipo 2 es la responsable del 95% de los casos. Esta diabetes se caracteriza porque el nivel de glucosa en la sangre tiende a subir fácilmente por encima de los niveles normales debido a que la hormona insulina se produce en cantidades menores a lo normal o porque ésta no actúa bien. Lo realmente peligroso para un diabético son las complicaciones que se derivan de la enfermedad (infartos de miocardio, accidentes cerebro vasculares, hipertensión, ceguera, insuficiencia renal crónica y amputación de miembros). Para reducir el riesgo de desarrollar estas complicaciones, los pacientes deben evitar el sobrepeso y mantener un estricto control de sus niveles de glucosa, colesterol y triglicéridos. Por lo general, las dietas de las personas diabéticas son altas en calorías, por lo tanto, un factor importante para el manejo de la enfermedad es reducir la ingesta de calorías y tratar de evitar subidas elevadas y duraderas de los niveles de glucosa en la sangre (Seclén 2000). El yacón podría representar una excelente alternativa en el diseño de dietas hipocalóricas para diabéticos por su reducido contenido calórico.

Yamashita *et al.* (1984) han reportado que los FOS podrían tener efecto positivo en personas diabéticas del tipo 2: los parámetros sanguíneos en cuanto a nivel de colesterol e índice glicémico mejoraron significativamente después que sujetos con diabetes incluyeron FOS en su dieta por varios días. Estos resultados, sin embargo, han sido cuestionados posteriormente por Roberfroid (1993) y otros investigadores (Alles *et al.* 1999, Luo *et al.* 2000) quienes han reportado que el consumo de FOS no afecta el nivel de glucosa ni el nivel de lípidos en pacientes con diabetes tipo 2.

A diferencia de los azúcares comunes que se absorben en el intestino delgado en forma de glucosa, los FOS pasan directamente al colon y se fermentan completamente hasta formar ácidos grasos de cadena corta (Andersson *et al.* 1999, Cummings *et al.* 2000). Por esta razón los FOS no tienen incidencia en la elevación de los niveles de glucosa en la sangre. Debido a esto, y a su reducido contenido calórico, el consumo de FOS es recomendado por diversas empresas en el mundo como sustituto del azúcar común o sacarosa.

Recientemente, Mayta *et al.* (2001) reportaron que el consumo de raíces de yacón frescas tiene un efecto hipoglicémico en sujetos clínicamente sanos. Esto

significaría que las raíces de yacón tendrían un principio activo que ocasionaría que el nivel de glucosa postprandial (nivel de glucosa en la sangre después de la comida) descienda significativamente. De corroborarse estos resultados iniciales con sujetos diabéticos, se abriría una posibilidad para el control de dicha enfermedad pues el paciente diabético necesita controlar, entre otras cosas, que sus niveles de glucosa en la sangre no suban demasiado después de las comidas. Sin embargo, hace falta aún mucha investigación en este campo y sería irresponsable a estas alturas dar una recomendación acerca del uso del yacón como factor hipoglicemiante. Por ahora la recomendación más prudente que se puede dar acerca del yacón es que los diabéticos pueden consumirlo en sustitución de otro tipo de alimentos, en especial de aquellos que son dulces e hipercalóricos.

#### **6.4. Composición química y propiedades de las hojas**

A diferencia de las raíces de yacón, que tienen fructooligosacáridos como principal componente químico, sus hojas tienen tan sólo trazas de ellos (Fukai *et al.* 1993). La composición química de las hojas de yacón es poco conocida. Se sabe que contienen sesquiterpenos, lactonas, flavonoides y un grupo de sustancias aún no identificadas. Varios de estos compuestos tienen actividad fungicida y antioxidante, por lo que es factible esperar el desarrollo futuro de bioinsecticidas y nuevos productos en la industria farmacológica (Inoue *et al.* 1995, Daðková *et al.* 2001). Aybar *et al.* (2001) demostraron que el té de yacón (infusión de las hojas), administrado a ratas diabéticas en forma crónica (intensiva) durante 30 días, tenía un efecto hipoglicemiante, es decir, redujo los niveles de glucosa en la sangre. El principio activo no ha sido identificado aún, sin embargo, los autores sugieren que éste actúa mejorando la concentración de insulina en la sangre. No existen reportes científicos del efecto del té de yacón en humanos con diabetes.

## **7. Agronomía**

### **7.1. Propagación**

La propagación del yacón con fines de producción es únicamente vegetativa o asexual. La forma tradicional

de propagación (por cepa o corona) limita mucho la multiplicación rápida de semillas de yacón, por lo que se hace necesario desarrollar métodos alternativos y complementarios de propagación. A continuación describimos algunos tipos de propagación vegetativa que se han estudiado recientemente en la Universidad Nacional de Cajamarca y el Centro Internacional de la Papa.

#### **7.1.1. Por porciones de cepa**

Es la forma más común y tradicional de propagación (Fig. 9A). La cepa o corona se obtiene después de la cosecha. Esta se divide en porciones (propágulos), cada una de las cuales tiene un peso aproximado de 60 a 80 g y un mínimo de tres a cuatro yemas vegetativas. En los morfotipos de Cajamarca, la cepa de una planta de 11 a 12 meses de edad, puede ser dividida en 15 a 35 propágulos.

#### **7.1.2. Por brotes enraizados en la cepa**

Las cepas completas de las plantas cosechadas son enterradas en el suelo durante 25 a 40 días, después de las cuales se han generado muchos brotes de entre 8 a 15 cm, con sus respectivas raíces. Estos brotes son desgajados o cortados cuidadosamente, desinfectados y plantados en el campo definitivo (en horas de la tarde y en suelo húmedo). Para lograr un buen enraizamiento es necesario un manejo adecuado del riego, sobre todo los primeros días. Esta técnica permite ganar tiempo mientras se prepara el terreno para la siembra.

#### **7.1.3. Por porciones de tallo o estacas**

Es una técnica fácil y eficiente. Consiste en utilizar tallos de plantas que todavía no han entrado en floración (en Cajamarca de 5.5 a 6 meses de edad, según el morfotipo). A los tallos se les quita las hojas y luego se cortan en trozos o estacas. Cada estaca debe tener un mínimo de dos nudos (Fig. 9B). Las estacas son plantadas enterrando por lo menos un nudo en una cama de enraizamiento de 1 m de ancho y largo variable. El sustrato es arena de río lavada y desinfectada con formaldehído al 10%. Los distanciamientos son de 10 cm entre líneas y 5 cm entre estacas (200 estacas/m<sup>2</sup>). El enraizamiento en estas condiciones alcanza un 98 a 100% a los 45 días, pudiendo iniciarse el trasplante al campo definitivo, donde alcanza hasta el 98% de prendimiento. Esta técnica permite tener propágulos o estacas en la mitad del tiempo necesario para obtener las cepas (Seminario *et al.* 2001). El rendimiento de raíces

de plantas generadas mediante esta técnica, comparado con el rendimiento de plantas obtenidas de cepa es similar, con la ventaja de que las primeras producen raíces reservantes más sueltas, con menos entrecruces y deformaciones.

#### 7.1.4. Por nudos individuales

La propagación por nudos individuales requiere de mayor cuidado que la propagación por estacas. Para obtener los nudos individuales se toman los tallos antes de la floración y se separan los nudos con una pequeña porción de entrenudo a cada lado. Estos nudos son colocados en sustrato de enraizamiento, limpio y desinfectado. La eficiencia depende de la limpieza al obtener los nudos y de los cuidados durante el enraizamiento. Esta técnica funciona mejor si se realiza en invernadero (Fig. 9B). En un ensayo en invernadero realizado con tres morfotipos de yacón, se usó como sustrato arena de río y a los 60 días se obtuvo entre el 43 y 97% de nudos enraizados y con brotes (con un promedio de 61%), los cuales tenían en promedio 4 pares de hojas. El morfotipo verde claro resultó estadísticamente superior a los otros dos morfotipos, 81% de nudos de dicho morfotipo produjeron plantas. Se recomienda probar sustratos diferentes a la arena para tratar de mejorar la proporción de plántulas obtenidas a través de nudos (Seminario & Valderrama 2002).

#### 7.1.5. Por tallos enteros

Tallos enteros obtenidos antes de la floración (1 m ó más de largo y entre 12 a 15 pares de hojas), se colocan en sustrato de enraizamiento, en posición horizontal. Entre los 45 a 60 días, cada nudo ha generado raíces y 1 a 2 brotes y está listo para ser trasplantado al campo definitivo. Para ello se separan las plántulas, cortando en el entrenudo del tallo madre.

#### 7.1.6. In vitro

Esta técnica ha sido probada especialmente con fines de conservación de germoplasma y limpieza de virus, pero dado que la planta responde bien, puede usarse también para propagación comercial.

El proceso comienza con la introducción *in vitro*, que consiste en sembrar un explante (por lo general una yema apical o axilar de una planta en campo) dentro de un tubo de ensayo que contiene un medio de cultivo

que ayuda al desarrollo y crecimiento del explante. Estrella (1994) ha obtenido buenos resultados con el siguiente medio de cultivo: 5 ml de la solución Murashige y Skoog (MS), 4.4 mM de 6-benzilaminopurina (BAP), 0.49 mM de ácido indol-3 butírico (IBA), 3% de sacarosa, y 0.8% de difco bacto agar. Además, el pH del medio debe ser ajustado a 5.7 y la temperatura de incubación debe ser 20±2 °C.

Velásquez & Ortega (1997) ensayaron el crecimiento de explantes de yacón obtenidos de ápices meristemáticos de ramas laterales y lograron un mayor crecimiento con medio MS suplementado con 25 g/L de agar. A los 45 días, las plántulas habían enraizado, tenían 2.7 cm de altura y cuatro nudos. Por otro lado, la micropropagación *in vitro* resultó mejor con la solución de MS, más 30 g/L de sacarosa, 2 mg/L de pantetonato de calcio, 0.4 mg/L de ácido giberélico, 0.1 mg/L de bencilaminopurina y 7 g/L de agar. Túpac Yupanqui (1995), ensayó la introducción y la micropropagación *in vitro* del yacón y encontró que los mejores medios para introducción fueron: MS + 0.1 mg/L de ácido giberélico (AG3) + 0.3 mg/L de BAP + sacarosa al 3% + agar al 0.9% y MS + 0.3 mg/L de AG3 + sacarosa al 3% + agar al 0.9% y; para micropropagación: MS + 0.3 mg/L de AG3 + sacarosa al 3% + agar al 0.9%. El pH del medio, en ambos casos se mantuvo a 5.7.

## 7.2. Siembra

En las condiciones que ofrece el Perú, el yacón puede sembrarse todo el año; sin embargo, la estacionalidad de las lluvias restringe el cultivo a los meses de lluvias (septiembre a abril, con variaciones regionales). En terrenos bajo riego las siembras se realizan entre mayo y agosto (después de la cosecha), debido principalmente a la disponibilidad de semilla; y en terrenos al seco, desde septiembre a noviembre. Lo importante es que dada la mayor demanda de yacón, ambos sistemas (bajo seco y bajo riego) se pueden aprovechar de forma que se complementen para realizar siembras escalonadas durante todo el año.

Es preferible sembrar en suelos francos, profundos y sueltos, con buen contenido de materia orgánica y buen drenaje. Estas condiciones facilitan el desarrollo de las raíces sin deformaciones y sin riesgo de pudriciones, para las cuales el yacón se muestra susceptible. Los distanciamientos de siembra pueden fluctuar entre 0.50 a 0.70 m entre plantas y 0.8 a 1.0 m entre surcos. Por lo general la plantación se hace en líneas, colocando un



**Figura 9.** Propagación y cosecha de yacón. **A.** Porción de cepa recién sembrada en un sustrato de arena. Esta es la semilla que tradicionalmente se emplea en la producción del yacón. Nótese en la foto que el propágulo tiene tres pequeños brotes. **B.** Propagación por nudos y por estacas, dos alternativas nuevas que se han desarrollado con buen éxito para la propagación del yacón. **C.** Cosecha de yacón (Centro Internacional de la Papa, La Molina, enero 2003). **D.** Embalaje de raíces en cajas livianas de madera (Oxapampa, marzo 2002).

propágulo por golpe. Si se usa riego, en el primer deshierbe se forma el surco, dejando las plantas en el lomo del mismo. Previamente a la siembra, y sea cual fuera el tipo de propágulo, se recomienda realizar una desinfección de los propágulos en una solución de hipoclorito de sodio (lejía), la cual consiste en diluir un cojín de lejía comercial (125 ml) en 25 litros de agua. La semilla se coloca en una bolsa de malla y se introduce en esta solución por 3 minutos aproximadamente. Se puede utilizar también ceniza, aplicándola en la zona de corte del propágulo.

### 7.3. Crecimiento y desarrollo de la planta

Dada la ubicación geográfica de Cajamarca (7°17' latitud sur, 2400 m.s.n.m.), cuando se emplean porciones de cepa como semilla, la emergencia de los brotes se produce entre los 30 a 50 días. El crecimiento de los brotes es lento durante los primeros cuatro meses, luego el alargamiento del tallo y la producción de hojas se incrementa, alcanzando su máximo a los 170 días. A esta edad se acelera también la formación y engrosamiento de las raíces.

El inicio de la floración y la cosecha varía de acuerdo a la localidad. En Cajamarca la floración se produce seis u ocho meses después de la siembra y el ciclo total del cultivo puede durar de 10 a 12 meses (Tabla 10). En lugares de menor altitud y con climas más templados, estos tiempos se acortan. En la serranía del distrito de La Peca (05°38' latitud sur, 1500-1600 m.s.n.m, provincia de Bagua del departamento de Amazonas), la floración se inicia a los cuatro meses y la cosecha de raíces a los siete u ocho meses. En la provincia de Oxapampa (10°34' latitud sur, 1800 m.s.n.m, provincia del departamento de Pasco, clima templado de ceja de selva) la cosecha se hace a los 6 meses.

Al completar su ciclo, la parte aérea de la planta muere, pero las raíces reservantes pueden permanecer en el

suelo por algún tiempo más antes de realizar la cosecha. En Cajamarca, las raíces pueden permanecer en el suelo después que la planta ha cumplido 14 meses de edad y no existen follaje ni tallos. Este tiempo adicional en campo, sin que las raíces se malogren, depende principalmente de la humedad del suelo. En Oxapampa, la alta precipitación impide que las raíces permanezcan por mucho tiempo en el suelo.

### 7.4. Labores culturales

#### 7.4.1. Deshierbos y aporque

Con frecuencia se realizan dos deshierbos como máximo: el primero 2 meses después de la siembra y el segundo, conforme reaparecen las arvenses o malezas. Una vez que las plantas han entrado en crecimiento acelerado se produce el "cierre del surco", es decir, el follaje de surcos contiguos se junta y restringe la entrada de luz a los estratos bajos. Ello impide el desarrollo de arvenses, por lo que a partir de ese momento ya no es necesario hacer más deshierbe. Se recomienda hacer ligeros aporques en el primer y segundo deshierbe, para dar mayor fortaleza a los tallos y estimular su desarrollo. No existe información experimental acerca del efecto del aporque sobre el rendimiento y costos de producción.

#### 7.4.2. Riego

Con respecto al suministro de agua, en la zona alto andina donde se ubica el yacón (2000 a 2800 m.s.n.m.) conviene usar un sistema mixto, es decir, sembrar en los meses de septiembre a noviembre, para aprovechar las lluvias de la temporada, pero tener una fuente de agua que permita aplicar riegos ligeros, en los meses o períodos en que las lluvias escasean, lo que ocurre por lo general, al inicio y al final del ciclo. De igual modo, las siembras bajo riego se realizan de mayo a agosto, pudiendo complementar sus necesidades de agua con las lluvias de la temporada. El yacón requiere riegos

**Tabla 10.** Fenología de tres morfotipos de yacón de Cajamarca.

Morfotipo	Días a botón floral	Días a floración	Período total de crecimiento (días)
Púrpura	195	228	303
Verde claro	202	240	320
Verde	223	258	348

ligeros y frecuentes. Cuando se siembra asociado con maíz la cantidad de riegos se rige por las necesidades de dicho cultivo, todo lo cual a su vez está en función del tipo de suelo y condiciones climáticas.

### 7.4.3. Abonamiento

Existen pocos trabajos publicados sobre el tipo y el nivel de abonamiento requerido para producir comercialmente yacón. Amaya (2000) evaluó el efecto de diferentes dosis combinadas de nitrógeno (0, 80, 160 y 240 Kg/ha) y potasio (0, 100 y 200 Kg/ha) y encontró que el mayor rendimiento de raíces reservantes (51.4 t/ha) se consiguió con el tratamiento de 160 Kg/ha de nitrógeno y 100 Kg/ha de potasio. En contraste, el tratamiento que no recibió ningún tipo de abonamiento produjo tan sólo 14.4 t/ha, lo cual demuestra la importancia que tiene el abonamiento sobre el rendimiento. Los valores reportados por Amaya deben ser tomados sólo como referenciales ya que los resultados del experimento se obtuvieron para un solo cultivar de yacón y para una única localidad en Brasil: Botucatu (22°52' latitud sur y 48°22' longitud oeste, 800 m.s.n.m, clima húmedo subtropical) en el estado de Sao Paulo.

En la Universidad Nacional de Cajamarca se ha probado el efecto del abonamiento orgánico con humus de lombriz. Los resultados preliminares sugieren que una aplicación de 5 a 10 t/ha es suficiente para producir yacón de manera regular. Otros tipos de abonamiento que deben estudiarse son el estiércol de ganado, el compost, el guano de islas y la fertilización mineral. Es necesario implementar estas alternativas de fertilización si se quiere acceder al mercado creciente de productos orgánicos.

### 7.4.4. Sanidad

En las áreas pequeñas donde se cultiva yacón las plantas se muestran sanas, pero se presentan ciertos problemas sanitarios que seguramente se acrecentarán conforme las áreas de cultivo se incrementen. Como plagas, se presentan algunos insectos que se alimentan de la parte foliar, incluyendo hojas, brotes tiernos y flores: *Liriomyza* sp. (mosca minadora), *Diabrotica undecimpunctata* y *D. speciosa*, *Agrotis ipsilon*, *Copitarsia turbata*, *Schistocerca* sp. y dos insectos de las familias Acrididae y Trypidae. También hay ataque del molusco llamado babosa (*Agriolimax* sp.). Atacando las partes subterráneas se

presentan los insectos *Golofa aegeon* y *Passalus* sp. De menor importancia son los insectos picadores chupadores como *Empoasca* sp., *Aphis* sp. y *Myzus persicae*. En la campaña 2001-2002, en el germoplasma de Cajamarca se presentó la araña roja (*Tetranychus* sp.), que atacó básicamente la hoja, con mayor intensidad en el morfotipo púrpura (hasta 13 individuos/ 6.25 cm<sup>2</sup>). Debido a la succión de los jugos de la planta, ésta presenta amarillamiento de las hojas por sectores y finalmente, muerte total de las mismas. El ataque fue más intenso al momento de la floración.

Dentro de las enfermedades, se han registrado: manchas foliares, causadas por *Alternaria* sp. y *Nigrospora* sp., cuyos efectos se acentúan por la alta humedad ambiental y las lluvias frecuentes. Esta enfermedad produce necrosis progresiva de las nervaduras y de la lámina, con la consiguiente defoliación de la planta. En el caso de *Alternaria* sp., la necrosis empieza por el borde de la lámina, afectando sobre todo las hojas del tercio medio e inferior. El tejido necrótico se seca, se vuelve frágil y se desprende fácilmente. El morfotipo verde presenta una mayor susceptibilidad a estos hongos, los que a veces atacan simultáneamente formando un complejo (Ortiz et al. 2001). También se ha detectado ataque del hongo *Bipolaris* sp., el cual se presenta en lugares cálidos de valles interandinos. El síntoma es una necrosis marrón en cualquier parte de la lámina, por lo general en las hojas del tercio inferior (Barrantes 1998).

En las raíces es común la pudrición ocasionada por hongos de los géneros *Fusarium* y *Rhizoctonia*, cuyo ataque está relacionado con el exceso de humedad en el suelo. Estas enfermedades pueden ser prevenidas con un manejo adecuado del riego y un buen drenaje del suelo. En Japón, Sato et al. (1999) informan del ataque severo de podredumbre por carbón ("charcoal rot"), producido por *Macrophomina phaseolina*. Con cierta frecuencia, en campo se observa clorosis y mosaicos en las hojas, de aparente origen viral, sin embargo, no se han detectado virus, aunque se conoce que existen virus en los géneros *Helianthus* y *Galinsoga*, que pertenecen a la misma tribu Heliantheae, subfamilia Asteroideae, a la cual pertenece el yacón (Lizárraga 1998). Debido a que el yacón no se ha sembrado hasta ahora en los Andes con un sentido comercial a gran escala, por ahora las enfermedades y plagas no son económicamente importantes. Es difícil prever cuáles serán en el futuro las enfermedades que tendrán un impacto importante en su rendimiento.

La poca incidencia de plagas y enfermedades en el yacón, tal vez se explique porque sus hojas poseen dos tipos de barrera que las previenen del ataque de plagas y enfermedades (Grau *et al.* 2001). La primera barrera es de tipo mecánico y está formada por una espesa capa de pelos que dificulta la adhesión de los insectos en la superficie. La segunda barrera es de tipo químico y está conformada por la presencia de unas glándulas especiales que contienen algún tipo de sustancia tóxica. Inoue *et al.* (1995) han reportado la presencia del sonchifolin en las hojas de yacón, un tipo de sesquiterpenos con actividad fungicida.

## **7.5. Cosecha**

Tradicionalmente el yacón se cultiva para cosechar las raíces; sin embargo, ahora existe también interés por cosechar las hojas. Entonces, es factible hacer en el futuro plantaciones exclusivas para raíces, exclusivas para hojas o para los dos propósitos. No existen aún comparaciones experimentales entre estas tres modalidades.

### **7.5.1. Cosecha de raíces**

En Cajamarca la cosecha se realiza entre los 7.5 y 12 meses después de la siembra, dependiendo de la zona geográfica y del cultivar empleado. En términos generales se puede afirmar que la cosecha en las zonas bajas y templadas es temprana y en las zonas altas es tardía. Los indicadores para saber si ha llegado el momento de la cosecha son el amarillamiento de las hojas y el cese de la floración. En Oxapampa y algunas zonas de Huánuco, la cosecha se hace a los 6 meses. La cosecha es manual usando barreta o pico (Fig. 9C). En el Perú no se conoce un sistema mecanizado de cosecha.

El yacón es un producto mucho más quebradizo y sensible al daño físico que la zanahoria, la yuca, el camote, la papa u otros cultivos. Además puede ser altamente perecible si no se toman en cuenta algunas precauciones y cuidados durante la cosecha. Para cosechar las raíces se deben cortar primero todos los tallos de la planta. Luego se debe remover suficiente cantidad de tierra alrededor de la planta, de tal manera que al momento de retirar la corona con las raíces se haga utilizando el mínimo esfuerzo posible. Esto garantiza que el daño a las raíces sea mínimo. Después, las raíces se deben desgajar de la corona con mucho cuidado, tratando que se produzca la menor herida posible en la zona de unión con la cepa. Las raíces se colocan inmediatamente en las jabas, teniendo cuidado de no tirarlas al piso o golpearlas entre sí ya que se quiebran fácilmente o

sufren algún tipo de daño físico que las predispone a pudriciones o a contaminación microbiológica de diverso tipo.

### **7.5.2. Cosecha de hojas**

Si el objetivo es producir hoja, la cosecha se puede hacer conforme éstas van formándose, empezando entre los 2 y 2.5 meses después de la siembra o cuando las plantas tienen entre 4 a 5 pares de hojas. Es importante cosechar las hojas cuando se han expandido totalmente y han llegado a la madurez, porque es el momento en que alcanzan el máximo peso seco. Un indicador de que las hojas están maduras, es que los peciolo con el tallo forman un ángulo aproximadamente recto. Las hojas sobremaduras se muestran cloróticas y el peciolo inclinado (forma con el tallo un ángulo de más de 90 grados).

Al cosechar las hojas se reduce el área foliar, lo que repercute en la capacidad fotosintética de la planta, a su vez ello afecta la formación de nuevas hojas y la acumulación de materia seca en las raíces. Sin embargo, no existen estudios sobre el grado de repercusión que la cosecha de hojas pueda tener en la planta en su conjunto. Es conveniente estudiar cuál es el efecto de la intensidad de la cosecha de hojas sobre la producción total de hojas y de raíces tuberosas, en función al morfotipo, a las condiciones climáticas y al manejo del cultivo. La información experimental permitirá establecer recomendaciones para la siembra con fines de producción de hojas, de raíces y para ambos propósitos. Pruebas preliminares realizadas en la provincia de San Ignacio (departamento de Cajamarca), indican que las hojas se pueden cosechar cada 30 días aproximadamente, dejando un par de hojas en cada tallo luego de cada cosecha. En cambio, en la provincia de Cajamarca, el crecimiento de las hojas es más lento y el intervalo de cosecha de hojas supera los 30 días.

Para la cosecha se puede usar tijera y cortar la hoja en el peciolo, cerca de la unión con el tallo. Con la otra mano se va formando un manojo de hojas, el cual se coloca luego en un costal para ser trasladado al sitio de secado.

## **7.6. Rendimiento**

### **7.6.1. Rendimiento de raíces**

El yacón es una planta que se caracteriza por su rusticidad y altos rendimientos. El rendimiento de raíces, registrado

**Tabla 11.** Rendimiento de raíces de yacón en diferentes localidades.

Localidad	Promedio (t/ha)	Rango (t/ha)	Fuente
Los Eucaliptos, Cajamarca, Perú	31 <sup>1</sup>	Nd	León (1983)
Santa Catalina, Quito, Ecuador	42 <sup>2</sup>	30-74	Nieto (1991)
Baños del Inca, Cajamarca, Perú	27 <sup>3</sup>	7-55	Huamán (1991)
Capão Bonito, Sao Paulo, Brasil	100	Nd	Kakihara <i>et al.</i> (1996, cit. Grau & Rea 1997)
Baños del Inca, Cajamarca, Perú	52	Nd	Franco & Rodríguez (1997)
Ahuabamba, Cusco, Perú	28	Nd	Lizárraga <i>et al.</i> (1997)
Santa Catalina, Quito, Ecuador	16 <sup>4</sup>	Nd	Ramos <i>et al.</i> (1999)
Oxapampa, Pasco, Perú	48 <sup>5</sup>	10-107	Melgarejo (1999)
Hualqui, Cajamarca, Perú	51 <sup>6</sup>	Nd	Seminario <i>et al.</i> (2001)
Hualqui, Cajamarca, Perú	27 <sup>7</sup>	Nd	Seminario <i>et al.</i> (2002)
Botucatu, Sao Paulo, Brasil	32 <sup>8</sup>	15-56	Amaya (2000)
Botucatu, Sao Paulo, Brasil	54 <sup>9</sup>	44-66	Amaya (2002)
Ibaraki, Japón	49 <sup>10</sup>	42-52	Tsukihashi <i>et al.</i> (1989)
Japón	40 <sup>11</sup>	35-45	Ogiso <i>et al.</i> (1990)
Chonju, Corea	28 <sup>12</sup>	25-31	Doo <i>et al.</i> (2001)

Nd: Datos no disponibles.  
<sup>1</sup> Cinco cultivares de Cajamarca.  
<sup>2</sup> Diez cultivares de Ecuador.  
<sup>3</sup> Cuarenta y cinco entradas del Banco de Germoplasma del Programa Nacional de Recursos Genéticos de la Estación Experimental Baños del Inca.  
<sup>4</sup> En asocio con diferentes especies arbóreas.  
<sup>5</sup> Veinticuatro entradas del banco de germoplasma del Centro Internacional de la Papa.  
<sup>6</sup> Tres cultivares de Cajamarca producidos por esquejes de tallo.  
<sup>7</sup> Dos cultivares de Cajamarca producidos por esquejes de tallo.  
<sup>8</sup> Un cultivar de yacón sometida a 12 tratamientos diferentes de fertilización de nitrógeno y potasio.  
<sup>9</sup> Un cultivar de yacón evaluado bajo seis densidades de siembra.  
<sup>10</sup> Un cultivar de yacón evaluado bajo tres densidades de siembra.  
<sup>11</sup> Un cultivar de yacón evaluado bajo tres densidades de siembra.  
<sup>12</sup> Un cultivar de yacón evaluado bajo seis densidades de siembra.

en diferentes lugares y países, se presenta en la Tabla 11. Estos varían de 10 a 100 t/ha. En el caso particular de Cajamarca, el rendimiento promedio evaluado durante varias campañas y en cuatro sitios (Los Eucaliptos, Universidad Nacional de Cajamarca, Baños del Inca y Hualqui) es alrededor de 40 a 50 t/ha.

Amaya (2002) ha reportado que la densidad de siembra tiene un efecto grande sobre el rendimiento de raíces y sobre su tamaño. Así, en un experimento en el que evaluó el efecto combinado de diferentes distanciamientos entre plantas (0.8 y 1.0 m) y entre surcos

(1.0, 1.2 y 1.4 m), encontró que el mayor rendimiento de raíces (65.8 t/ha) se obtuvo con la combinación de los menores distanciamientos (0.8 mx1.0 m). La combinación de los mayores distanciamientos (1.0x1.4 m) produjo tan sólo 45.3 t/ha, pero en compensación produjo raíces mucho más grandes. Tsukihashi *et al.* (1989) y Doo *et al.* (2001) han reportado que con distanciamientos menores de 0.50x0.70 la proporción de raíces pequeñas (menos de 200 gramos) se incrementa significativamente. Estos trabajos demuestran que a una mayor densidad de siembra se puede conseguir un mayor rendimiento de raíces, pero



**Tabla 12.** Variables de producción de hoja en tres morfotipos de yacón de la colección de germoplasma de la Universidad Nacional de Cajamarca. Los datos mostrados corresponden a un muestreo de 5 plantas por entrada y 15 entradas por morfotipo.

Morfotipo	Número tallos/planta <sup>a</sup>	Número hojas/tallo <sup>b</sup>	Longitud de lámina (cm)	Ancho mayor de lámina (cm)	Peso fresco de hoja/planta (g) <sup>c</sup>	Area foliar/planta dm <sup>2</sup>
Púrpura	11 (6.1)	26.0 (2.1)	18.87 (4.3)	14.2 (1.2)	1830	508.3
Verde claro	10 (4.1)	29.5 (0.9)	20.1 (2.2)	14.3 (1.6)	2153	538.2
Verde	8 (1.3)	33.1 (1.3)	20.3 (3.2)	16.8 (1.1)	1642	410.5
Promedio	9.6	29.8	19.7	15.1	1897	485.7

Los números entre paréntesis corresponden a la desviación estándar.

<sup>a</sup> Evaluación realizada 10 meses después de la siembra.

<sup>b</sup> Se refiere al número de hojas hasta el momento de la floración. Cada tallo produjo en promedio 13, 15 y 16 pares hojas, en los morfotipos púrpura, verde claro y verde, respectivamente.

<sup>c</sup> Se refiere sólo a las láminas de las hojas. El peso fresco de las hojas fluctuó entre 6.2 g (morfotipo verde) y 7.3 g (morfotipo verde claro).

ello significa también que las raíces serán de menor tamaño.

La fertilización de yacón, especialmente en nitrógeno y potasio, tiene una fuerte incidencia en el rendimiento de las raíces reservantes (ver capítulo 7.4.3).

### 7.6.2. Rendimiento de hojas

Es escasa la información que existe sobre el rendimiento de hojas, pero algunos datos obtenidos con materiales de Cajamarca, son (Tabla 12): cada tallo produce entre 13 a 16 pares de hojas hasta el momento de la floración. Los tres a cuatro primeros pares son hojas pequeñas y los siguientes son más grandes. Luego de la floración la planta sigue produciendo hojas pequeñas, que tienen poca repercusión en el rendimiento de hojas. En plantaciones con densidad de siembra de 0.90x0.60 m, cada planta produce entre 8 a 11 tallos; por lo tanto, una planta produce entre 200 a 350 hojas hasta la floración. Por otro lado, el rendimiento aproximado de hoja secada al ambiente (estado en el cual se vende), en relación a la hoja verde es de 10%, aproximadamente. Considerando una densidad de plantación de 18,500 plantas/ha, el

rendimiento de hoja seca al ambiente se estima de 3 a 4 t de hoja seca/ha.

### 7.7. Respuesta del yacón al asocio con otras especies

El yacón se comporta bien cuando se asocia con especies herbáceas, arbustivas y arbóreas; demostrando así que es un buen componente agroforestal. Una de las formas tradicionales de siembra en la provincia de Contumazá del departamento de Cajamarca, es el asocio con maíz bajo riego. Se siembran intercalados en cada surco, con un distanciamiento de 0.80 a 0.90 metros entre surcos y 0.50 a 0.60 metros entre plantas. Se hizo un ensayo preliminar para evaluar esta práctica campesina, asociando tres morfotipos de yacón y una variedad de maíz precoz (cv. "Cajamarca 101") para choclo (resultados no publicados). La siembra de las dos especies fue simultánea, en forma intercalada y a distanciamientos de 0.9 m entre surcos y 0.60 m entre plantas. Es decir, primero se sembró el maíz colocando 3 semillas por golpe, con el propósito de dejar dos plántulas por golpe después del desahije. Enseguida se sembró el yacón en forma intercalada entre los golpes de maíz. El ensayo se

**Tabla 13.** Rendimiento de yacón sembrado en asocio con maíz en Cajamarca. Se evaluaron 10 plantas por tratamiento y se estimó el rendimiento por unidad de hectárea.

Tratamiento	Componentes de rendimiento						
	Yacón				Maíz		
	Número raíces/planta	Peso total raíces (t/ha)	Peso raíces comerciales (t/ha)	Peso cepa (kg/planta)	Número mazorcas/planta	Rendimiento mazorcas (t/ha)	Rendimiento forraje verde (t/ha)
Ym <sub>1</sub> + Maíz	26	82.1	69.7	4.7	2.5	6.5	26.04
Ym <sub>2</sub> + Maíz	29.3	83.3	70.8	4.3	1.5	8.2	40.4
Ym <sub>3</sub> + Maíz	29.3	88.5	75.2	4.1	1.5	9.3	30.8
Promedio	28.2	84.6	72.0	4.4	1.8	8.0	32.4
DS	1.9	3.4	2.9	0.3	0.5	1.4	7.3
Ym <sub>1</sub>	34.3	97.3	82.7	5.56			
Ym <sub>2</sub>	37.3	119.1	101.2	5.26			
Ym <sub>3</sub>	29.6	115.4	98.1	4.46			
Promedio	33.7	110.4	94.0	5.0			
DS	3.8	11.6	9.9	0.5			
<b>Maíz (solo)</b>							
Promedio					2.0	7.5	35.4
DS					0.5	1.8	8.1

Ym<sub>1</sub> (yacón morfotipo púrpura), Ym<sub>2</sub> (yacón morfotipo verde claro), Ym<sub>3</sub> (yacón morfotipo verde).  
DS: desviación estándar.

realizó en el valle de Cajamarca (2560 m.s.n.m, 14°C de temperatura promedio y 650 mm de lluvia anual), en suelo de fertilidad media y sin aplicación alguna de fertilizante.

El maíz creció rápidamente y a los 100 días alcanzó su máxima altura de planta, había expuesto todas sus hojas y había formado choclo. A los 150 días se cosechó el choclo y el forraje verde para el ganado. Por su parte, el yacón en los primeros tres meses creció lentamente, teniendo suficiente espacio y luz. A los cinco meses, se cosechó el choclo y el forraje del maíz, y el yacón quedó solo en el campo. Este momento coincidió con la etapa de crecimiento acelerado del yacón y el cierre del surco por el abundante follaje. La cosecha del yacón se realizó a los 300 días.

Los resultados de la cosecha se detallan en la Tabla 13. En primer lugar, el rendimiento de raíces de yacón en todos los tratamientos fue muy bueno (82 a 119 t/ha), con alto rendimiento de raíces comerciales (85%). En segundo lugar, si bien el yacón en monocultivo rindió 23% más que en asocio; en el sistema asociado, en la misma parcela, se obtuvo un rendimiento adicional de 8 t/ha de choclo (con 1.8 choclos por planta), más 32.4 t/ha de forraje verde. Hay que resaltar que el maíz en monocultivo produjo prácticamente la misma cantidad de choclo (7.5 t/ha, con 2 choclos/planta), que en el sistema asociado (8 t/ha) y solamente tuvo una ligera ventaja (8.6%) en cuanto a forraje verde. Debe destacarse también que el peso de la cepa (semilla) en los dos casos fue alto (4.4 y 5 kg/planta, respectivamente), con una ventaja de 12% en el monocultivo. Este sistema

**Tabla 14.** Rendimiento de raíces de yacón, en siembra asociada con cuatro especies forestales y dos modalidades de sombra.

Tratamiento	Rendimiento t/ha
Yacón asociado con acacia + quishuar, con sombra matutina	14.6
Yacón asociado con acacia + quishuar, con sombra vespertina	23.0
Yacón asociado con aliso + retama, con sombra matutina	11.6
Yacón asociado con aliso + retama, con sombra vespertina	17.2
Yacón a pleno sol, con sombra matutina	21.6
Yacón a pleno sol, con sombra vespertina	20.7
Promedio	16.1

Fuente: Ramos *et al.* (1999). Acacia (*Acacia* sp.), quishuar (*Buddleja* sp.), aliso (*Alnus* sp.), retama (*Spartium junceum*).

debe ser evaluado con detalle, por sus repercusiones sobre la fertilidad del suelo.

En un ensayo realizado en Ecuador (Ramos *et al.* 1999), se incluyó al yacón bajo un sistema agroforestal con cuatro componentes arbóreos y con diferente orientación de las parcelas, de manera que unas tenían sombra matutina y otras sombra vespertina. Los tratamientos y los resultados del rendimiento del yacón se presentan en la Tabla 14. Los autores no encontraron diferencias significativas para los tratamientos y las variables evaluadas, inclusive hasta los 4-7 años de crecimiento de árboles, a menos que hubiera sequía y un pobre establecimiento de las plantas, lo que indica que el rendimiento del yacón no fue afectado por el asocio, como se podría esperar, pero sí se nota un efecto positivo de la sombra vespertina en relación a la sombra matutina.

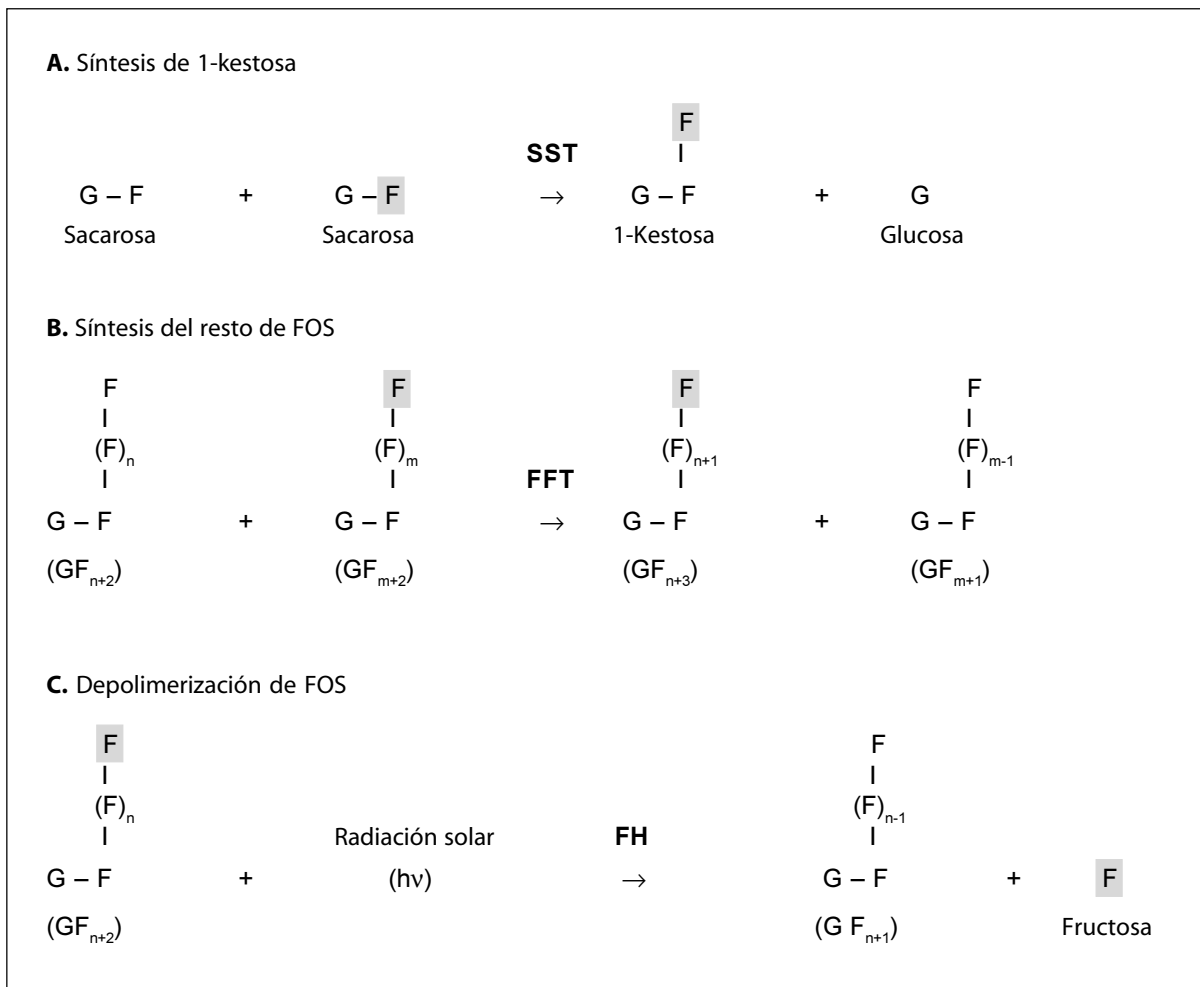
## 8. Poscosecha de raíces

### 8.1. Metabolismo de fructooligosacáridos

Debido a que la mayoría de las propiedades del yacón han sido atribuidas a su contenido de fructooligosacáridos (FOS), es importante conocer de qué manera la

composición química de las raíces cambia en sus principales estados de desarrollo. En términos generales se puede considerar que la concentración de FOS en las raíces aumenta a medida que la planta madura y posiblemente alcance su máximo valor en el estado senescente o un poco antes. Después de la cosecha ocurrirá lo contrario, es decir, la concentración de FOS disminuirá progresivamente mientras que la de los azúcares simples (glucosa, fructosa y sacarosa) se incrementará. Estos dos procesos, la síntesis y la degradación de FOS, están bajo control enzimático (Fukai *et al.* 1997).

En los primeros días de desarrollo de las raíces, la concentración de azúcares simples en las raíces es muy alta y la de los FOS es muy baja. A medida que transcurren los días, intervienen dos enzimas que son las responsables de la síntesis de FOS (Figs. 10A y 10B). La primera enzima es la sacarosa: sacarosa fructosil transferasa (SST), la cual cataliza la unión de dos moléculas de sacarosa para producir 1-kestosa, el fructooligosacárido más sencillo que existe (Fig. 8D) y que sirve de intermediario para la síntesis de FOS de mayor tamaño (mayor grado de polimerización). La segunda enzima es la fructano: fructano fructosil transferasa (FFT) y su función es catalizar la unión de dos oligofruktanos para producir otro de mayor grado de polimerización (Fukai *et al.* 1993). De esta manera se llegan a formar todos los tipos de FOS que existen en las raíces de yacón.



**Figura 10.** Metabolismo de los fructooligosacáridos (FOS). Todos los FOS se sintetizan en dos pasos. **A.** El primer paso consiste en la síntesis de 1-kestosa (el fructooligosacárido más pequeño que existe): la enzima sacarosa: sacarosa fructosil transferasa (SST) cataliza la unión de dos moléculas de sacarosa para producir una molécula de 1-kestosa más una molécula de glucosa. **B.** En el segundo paso se sintetizan los FOS con más de dos unidades de fructosa. La enzima fructano: fructano fructosil transferasa (FFT) cataliza la unión de dos moléculas de 1-kestosa o la unión de otros dos FOS preexistentes, el resultado de esta reacción es la síntesis de un fructooligosacárido más grande. **C.** Cuando la planta adulta empieza a formar nuevos brotes, los FOS, que han sido previamente sintetizados, son empleados como carbohidratos de reserva: la enzima fructano hidrolasa (FH) libera selectivamente la molécula de fructosa que se encuentra en posición terminal y va dejando las moléculas de fructosa y glucosa libres, las que luego serán usadas como fuente de energía para el crecimiento de los nuevos brotes. Probablemente, este mismo mecanismo enzimático se active en las raíces luego que éstas son cosechadas.

Cuando las plantas han terminado el estado de senescencia comienzan a emerger los nuevos brotes y los FOS comienzan también su conversión en azúcares simples. Este proceso es activado por la enzima fructano hidrolasa (FH), la cual actúa liberando sucesivamente las moléculas de fructosa que se encuentran en posición terminal dentro de la cadena de los fructooligosacáridos

(Fig. 10C). Posiblemente este mecanismo enzimático es “encendido” dentro de la planta con la finalidad de emplear los fructanos como fuente de energía para el rebrote (Fukai *et al.* 1997). También podría explicar la razón por la cual el contenido de FOS disminuye en las raíces después que éstas han sido cosechadas.

## 8.2. Variación en el contenido de azúcares

La hidrólisis de FOS en azúcares simples (glucosa, fructosa y sacarosa) puede llegar a tener enorme importancia para la comercialización del yacón. Aparentemente, la conversión de FOS en azúcares simples tiene lugar inmediatamente después de la cosecha. Los trabajos de Graefe *et al.* (2002) indican que la velocidad de esta conversión es especialmente rápida en los primeros días de poscosecha (Tabla 15).

Asami *et al.* (1991) reportaron que el contenido de FOS en raíces almacenadas a una temperatura de 5°C fue significativamente mayor al de las raíces almacenadas a 25°C (Tabla 16). Estos resultados sugieren que la velocidad de conversión puede ser más lenta cuando las raíces son almacenadas a temperaturas de refrigeración. Sin embargo, aun cuando las raíces sean almacenadas a 5°C, existe una tasa importante de conversión de FOS en azúcares simples que no puede ser controlada. Es necesario realizar diferentes estudios en poscosecha para identificar diversas alternativas de almacenamiento del yacón.

El soleado es una costumbre tradicional que consiste en exponer las raíces al sol por unos pocos días con la finalidad de que se hagan más dulces para el consumo. Probablemente las raíces se vuelven más dulces porque se deshidratan (pierden alrededor del 40% de su peso fresco) y porque una parte importante de los FOS se convierten en azúcares simples. Esto sugiere que para obtener el máximo beneficio de los FOS, la mejor forma de consumir yacón sería en forma fresca. Sin embargo, Graefe (2002) ha determinado que la concentración de FOS en las raíces soleadas es la misma, e incluso ligeramente superior, que en las raíces frescas. Ello se debe a que la proporción de FOS que se convierte en azúcares simples es compensada por la deshidratación de las raíces (Tabla 17). Esto significa que una persona consumiría la misma cantidad de FOS (o incluso un poco más) en 100 g de yacón soleado que en 100 g de yacón fresco. Algunos productos procesados basados en la deshidratación y el soleado (como las pasas y las hojuelas de yacón) pueden ser una alternativa viable para el desarrollo de productos que requieran de una tecnología no muy sofisticada y de fácil implementación en zonas rurales.

## 8.3. Manejo poscosecha

Las raíces de yacón son bastante susceptibles a la deshidratación cuando son expuestas directamente al

sol. Como consecuencia de la deshidratación, las raíces pierden peso y adquieren una apariencia rugosa que las hace menos atractivas para el consumidor. Lo más recomendable para evitar una deshidratación rápida es cosechar las raíces y ponerlas inmediatamente en un lugar fresco y con sombra. Si las raíces no se van a comercializar directamente después de la cosecha y se van a almacenar por un periodo corto de tiempo, es preferible hacer el embalaje con las raíces sucias (con tierra). De esta manera, la tierra adherida a las raíces puede ayudar a que la deshidratación sea más lenta y a que se produzca un menor daño en la cáscara de las raíces durante el transporte.

### 8.3.1 Selección y clasificación

Después de la cosecha se separan las raíces malogradas, cortadas y deformes. Por ahora no existe en el mercado nacional un estándar oficial para clasificar las raíces de acuerdo a un calibre o tamaño. Con fines de estimar el tipo de raíces producidas y su proporción relativa en la cosecha, en Cajamarca se han clasificado las raíces en tres categorías:

- Raíces de primera. Son las más grandes, superan los 20 cm de largo, tienen entre 7 y 10 cm de diámetro mayor y un peso no menor de 300 gramos.
- Raíces de segunda. Son las que tienen entre 12 a 20 cm de largo y 5 a 6 cm de diámetro mayor, con un peso que varía de 120 a 300 gramos.
- Raíces de tercera. Consideradas no comerciales, su longitud es menor a los 12 cm, su diámetro mayor es menor a 5 cm y su peso es menor a 120 g.

Tomando en cuenta estas categorías, una planta produce en peso aproximadamente 60% de raíces de primera, 25 a 30% de raíces de segunda y 10 a 15% de raíces de tercera. Estas proporciones relativas son influenciadas por diferentes factores como duración del cultivo, variedad, condiciones de cultivo (fertilizantes, riego, densidad de siembra, tipo de propágulos usados), entre otros. La localidad puede jugar un factor importante en la modificación de estas proporciones. Según los resultados de Doo *et al.* (2001), 75 a 85% de las raíces cosechadas en un experimento realizado en Corea, tienen un peso menor a 400 gramos, mientras que sólo 15 a 25% tienen un peso mayor. Probablemente en otras localidades se tengan valores diferentes a los que se han conseguido hasta ahora en Cajamarca y Corea, al parecer éste es un carácter que es muy influenciado por el medio ambiente.

**Tabla 15.** Contenido de azúcares en las raíces de yacón durante el soleado (valores expresados en % de materia seca). Estudio realizado con un cultivar de Huánuco conocido localmente con el nombre de "variedad blanca".

Tipo de azúcar	Duración del soleado (días)			
	0	2	4	6
Fructooligosacáridos	62.1	53.8	46.3	43.8
Glucosa	1.1	2	1.9	2.2
Fructosa	10.5	14.2	17.1	20.2
Sacarosa	16.9	19.2	22.1	22.3

Fuente: Graefe *et al.* (2002).

**Tabla 16.** Influencia de la temperatura y el tiempo de almacenamiento sobre el contenido de azúcares y el grado de polimerización (GP) de los fructooligosacáridos (valores expresados en % de materia seca).

Fecha de evaluación	Fructooligosacáridos	Fructosa	Glucosa	Sacarosa	GP
11 noviembre (cosecha)	67	1.2	1.3	4.4	4.3
<b>Almacenamiento poscosecha (5°C): material cosechado el 11 de noviembre</b>					
09 diciembre	45	21	8.3	5.9	4.0
27 diciembre	43	26	8.8	6.2	4.1
25 enero	36	29	10.5	6.7	4.0
27 febrero	30	42	12.4	5.5	3.8
26 marzo	28	34	12.1	9.8	3.3
24 abril	13	36	16.6	6.4	3.2
<b>Almacenamiento poscosecha (25°C): material cosechado el 11 de noviembre</b>					
12 diciembre	39	30	10.2	8.2	3.7
26 diciembre	32	26	11.6	11.2	3.4
24 enero	23	28	14.5	11.8	3.4

Adaptado de Asami *et al.* (1991).

**Tabla 17.** Contenido de materia seca y concentración de azúcares en las raíces de yacón durante el soleado (valores expresados en % de materia seca). Estudio realizado con un cultivar de Huánuco conocido localmente con el nombre de "variedad blanca".

Tipo de azúcar	Duración del soleado (días)			
	0	2	4	6
Materia seca	13.8	21.4	22.7	24.2
Fructooligosacáridos	8.6	11.5	10.5	10.6
Glucosa	0.2	0.4	0.4	0.5
Fructosa	1.5	3.0	3.9	4.9
Sacarosa	2.3	4.1	5.0	5.4

Fuente: Graefe (2002)

### 8.3.2. Limpieza

Para conseguir una mejor presentación del yacón en el momento de la comercialización, se recomienda un simple lavado con agua potable y el uso de un abrasivo suave que permita retirar la tierra adherida a la cáscara. Si se quiere hacer una limpieza más exhaustiva, antes del consumo o del procesamiento de las raíces, es recomendable complementar la labor del lavado con una desinfección en hipoclorito de sodio. El proceso consiste en sumergir las raíces durante cinco minutos en una solución diluida de hipoclorito de sodio a una concentración de 200 p.p.m. La mayoría de lejías comerciales tienen una concentración de hipoclorito de sodio al 5.25%, por lo que podría usarse este producto si se diluye 3.8 ml de lejía por cada litro de agua.

### 8.3.3. Embalaje

Se deben tener cuidado con algunas formas tradicionales de embalaje utilizadas para otras raíces y tubérculos como la papa, el camote o la yuca, ya que las raíces de yacón son muy quebradizas y no resisten grandes pesos en costales o bolsas grandes.

Una forma común de embalaje en los países andinos es el uso de cajas de madera liviana, las mismas que se usan para embalar artesanalmente mangos, manzanas o tomates. Las raíces se deben colocar horizontalmente, en estratos, las grandes en el fondo y las pequeñas

encima, cuidando que las cajas no sobrepasen los 20 Kg de peso (Fig. 9D). Para evitar el daño en la piel de las raíces durante el transporte se puede usar las hojas del yacón dentro de las cajas, de manera que las raíces no ejerzan una fricción directa sobre la superficie áspera de las cajas. De todos modos, aun con estos cuidados, las mermas durante el transporte pueden ser grandes ya que normalmente las cajas son frágiles y se rompen con cierta facilidad.

Una alternativa recomendable es el uso de jabas de plástico. Son resistentes, se usan muchas veces (a diferencia de las cajas de madera que se usan una sola vez) y se pueden apilar fácilmente sin deteriorar las raíces. El uso de este tipo de embalaje ha demostrado ser más seguro para transportar las raíces con mínimo daño posible.

### 8.3.4. Almacenamiento

No hay muchos estudios realizados sobre métodos de almacenamiento en yacón. Sin embargo, se sabe que el yacón es perecible debido a dos factores principales: la temperatura y la humedad relativa. La humedad atmosférica alta ayuda a minimizar la pérdida de peso, sobre todo en combinación con el frío, pero puede acelerar la pudrición a temperaturas altas. Graefe (2002) ha determinado que la pérdida de peso y la perecibilidad de las raíces disminuye significativamente si se usan temperaturas de refrigeración (5 a 6°C) durante el

almacenamiento. Si además de ello se empacan las raíces en bolsas de papel y plástico (perforadas con pequeños agujeros), entonces se obtienen resultados mucho mejores. Bajo este sistema, las raíces casi no pierden agua y la perecibilidad apenas llega al 15% después de 90 días de almacenamiento. En la Tabla 18 se pueden ver detalles adicionales de los resultados de Graefe.

## 9. Costos de producción

En las pequeñas parcelas campesinas, la mayor parte del trabajo que implica el cultivo de yacón es de tipo familiar. Del mismo modo, los insumos y otros recursos necesarios proceden en su mayor parte de la autoproducción, es decir, constituyen costos no monetarios. Pocos son los gastos que implican desembolso de dinero. Sin embargo, al elaborar los costos es necesario tomar en cuenta tanto los gastos monetarios como los no monetarios, transformando estos últimos a su equivalente en dinero. La sumatoria de ambos tipos de gasto constituye el costo total.

El ejemplo que se presentan en la Tabla 19, corresponde a evaluaciones realizadas en pequeñas parcelas campesinas en Cajamarca. Los datos han sido transformados para una hectárea y todos los costos han sido transformados al equivalente en nuevos soles. En estos costos se han considerado los siguientes índices: una dosis de abonamiento de 5 t/ha de humus de lombriz o compost y distanciamientos de 0.90 m entre surcos y 0.60 m entre plantas (18500 plantas/ha). Se han considerado aproximadamente 1480 Kg de semilla por hectárea (cada semilla pesa en promedio 80 g) y un costo de 1.5 nuevos soles por cada kilogramo de semilla preparada. El costo de producción estimado para una hectárea de cultivo en Cajamarca es alrededor de S/.6000. Este valor es equivalente a los costos de producción estimados en Sao Paulo, Brasil (R\$5000) (Amaya 2002).

Se asume que algunos de estos costos se puedan reducir en el futuro. Ahora la semilla es escasa y grande (80 g por propágulo), pero podría reducirse hasta 50 g o menos. Otros rubros pueden aumentar, por ejemplo, la dosis de abonamiento. En el futuro podrían aparecer nuevos costos, como el control de plagas y enfermedades, que por ahora no son importantes.

**Tabla 18.** Porcentaje de raíces sin síntomas de pudrición después de varios días de almacenamiento utilizando diferentes tipo de empaque y dos temperaturas de conservación. Estudio realizado con tres cultivares de Huánuco conocidos localmente con los nombres de “variedad morada”, “variedad blanca” y variedad amarilla”

Temperatura (°C)	Tipo de empaque (bolsa)	Cultivar	Días transcurridos en almacenamiento		
			30	60	90
6	Papel y plástico	Morado	89	89	84
6	Papel y plástico	Blanco	95	89	84
6	Papel y plástico	Amarillo	100	100	98
6	Papel	Morado	98	81	79
6	Papel	Blanco	99	84	74
6	Papel	Amarillo	100	94	87
20	Papel	Morado	89	64	52
20	Papel	Blanco	89	63	59
20	Papel	Amarillo	89	87	53

Fuente: Graefe (2002)



**Tabla 19.** Costos de producción para 1 hectárea de yacón comercial en Cajamarca.

Rubro	Unidad	Cantidad	Costo unitario (S./)*	Total (S./)
<b>Preparación Terreno</b>				
Arado y surcado	Yunta	6	30	180
<b>Siembra</b>				
Semilla	Saco	38	48	2280
Aplicación abono	Jornal	6	10	60
Distribución semilla	Jornal	6	10	60
Tapado	Jornal	10	10	100
<b>Deshierbe</b>				
Primer deshierbe	Jornal	30	10	300
Segundo deshierbe	Jornal	25	10	250
<b>Abono</b>				
Humus lombriz	Sacos	100	15	1500
	Jornal	10	10	100
<b>Riego</b>				
Primer riego	Jornal	4	10	40
Segundo riego	Jornal	4	10	40
<b>Cosecha</b>				
Corte tallo	Jornal	6	10	60
Cava	Jornal	15	10	150
Arrancado	Jornal	5	10	50
Limpieza	Jornal	5	10	50
Embalaje	Jornal	5	10	50
Transporte	Flete	36	7	252
Imprevistos (10%)				522
<b>Total de gastos</b>				<b>6044.00</b>

\* Tasa de cambio: 1 US \$ = S/. 3.50

## 10. Formas de consumo y procesamiento

Existe poca diversidad en las formas actuales de consumo del yacón. La forma tradicional es el consumo

en forma cruda o como fruta fresca. Para ello las raíces se lavan, se pelan y se consumen directamente o combinadas con otras frutas. Recientemente se ha empezado a difundir su consumo en las juguerías de los mercados, en donde el jugo de yacón obtenido es mezclado con unas gotas de limón o de naranja con el fin de controlar su rápido pardeamiento. También se está

difundiendo su consumo en forma de puré, cuya preparación resulta muy fácil: las raíces se sancochan, se pelan y luego se aplastan, no hay necesidad de agregar otro ingrediente, su sabor es muy parecido al puré de manzanas.

Hay un interés reciente por diversificar e inventar nuevas formas de consumo del yacón. En la gastronomía novoandina existen ya algunos platos y postres que usan el yacón como ingrediente principal. Simultáneamente, en varias instituciones del país se están desarrollando diferentes productos procesados sobre la base del yacón. A continuación describimos de manera general algunos de estos productos.

### **10.1. Pasas de yacón**

Las pasas de yacón son resultado de un proceso de deshidratación de las raíces al medio ambiente. Las pasas tienen un agradable sabor dulce y pueden consumirse directamente como golosina o usarse en repostería. En Bolivia a este producto se le denomina "k'isa de yacón". La tecnología para su elaboración ha sido desarrollada en las universidades de San Simón (Cochabamba-Bolivia) y Cajamarca (Perú). El proceso consta de dos etapas de deshidratación al medio ambiente. La primera deshidratación se hace con las raíces enteras, las cuales se extienden en el piso y se dejan por seis días. Después, las raíces se pelan, se trozan, se extienden sobre un secador de malla tipo bandeja y se dejan secar hasta que la humedad del producto se mantenga constante entre 14 a 16%, momento en el cual se considera que las pasas están listas para ser envasadas. La eficiencia de conversión fluctúa entre 13 y 15% (en base al peso fresco de las raíces). Es decir que de 10 kg de yacón fresco se obtiene entre 1.3 y 1.5 kg de pasas de yacón.

### **10.2. Hojuelas de yacón**

Las hojuelas son rodajas de yacón deshidratadas en un horno a temperatura controlada. El procedimiento para su elaboración consiste en cortar transversalmente rodajas delgadas de yacón (aproximadamente de 0.5 cm de espesor) y extenderlas sobre mallas tipo bandeja, las cuales se colocan luego dentro de un horno o estufa hasta completar el secado. Para evitar el pardeamiento de las hojuelas durante el secado, se recomienda sumergir las rodajas de yacón recién cortadas en una solución de jugo de limón o algún tipo de antioxidante (ácido ascórbico preferentemente). La temperatura del horno debe estar alrededor de los 60-70°C, con el fin de

disminuir la carga microbiana sin alterar mucho la calidad del producto final. El tiempo efectivo para el secado es alrededor de 24 horas, tiempo que será mayor o menor dependiendo del tipo de horno que se emplee para el secado (con o sin aire recirculante), del contenido inicial de agua en la materia prima, de la variedad de yacón empleada, entre otros. Cuando las hojuelas salen del horno tienen una textura semicrocante, que se pierde rápidamente si no son embolsadas de inmediato.

Las hojuelas de yacón pueden ser orientadas hacia el mercado de consumo de bocaditos o snacks. Tienen un agradable sabor, similar al de una manzana deshidratada.

### **10.3. Jarabe de yacón**

El jarabe de yacón es un concentrado denso y dulce que se obtiene al evaporar suficiente agua del jugo de yacón, de tal modo que la concentración de sólidos solubles (azúcar) se eleve hasta un valor aproximado de 70%. Para evaporar el agua del jugo se debe usar un recipiente de superficie amplia en el que se vierte el jugo de yacón. Este recipiente es puesto en una fuente de calor (puede ser la llama de una cocina) y se deja evaporar el agua hasta conseguir la concentración de azúcares indicada. Es preferible contar con un refractómetro para tener un control permanente del contenido de azúcares en el jarabe a medida que se va preparando. Durante el proceso de evaporación se deben realizar varios filtrados con la finalidad de eliminar los sólidos insolubles en el jarabe y obtener finalmente un producto de mejor apariencia y calidad. Para prevenir el desarrollo de microorganismos en el producto envasado, éste debe hacerse a una temperatura superior a 85°C. La eficiencia de conversión de raíces a jarabe es alrededor de 12:1 (peso de raíces: peso de jarabe).

Debido a que el jarabe de yacón tiene principalmente fructooligosacáridos, su contenido calórico es menor al de otros edulcorantes similares, como el jarabe de maple, la miel de chancaca, la miel de abejas y la leche condensada. De este modo, el jarabe de yacón puede ser un sustituto hipocalórico de estos edulcorantes, con la ventaja adicional de ser un producto con propiedades nutraceuticas.

### **10.4. Jarabe de yacón de alta fructosa**

El jarabe de alta fructosa se obtiene por la hidrólisis completa de los fructooligosacáridos hasta convertirlos en fructosa y glucosa. La hidrólisis de los FOS puede ser

ácida o enzimática. La hidrólisis ácida es más sencilla de manejar, pero genera contaminantes difíciles de eliminar. La tecnología para la hidrólisis enzimática es más sofisticada y costosa de implementar, pero genera menos residuos. García (2000) ha reportado un procedimiento de hidrólisis enzimática de los FOS del yacón para la producción industrial de jarabe de fructosa. Su trabajo describe los microorganismos que pueden usarse para purificar las enzimas que harán la hidrólisis de los FOS, y las condiciones de fermentación necesarias (temperatura, tiempo de incubación, pH) para obtener el jarabe de fructosa. Este documento puede servir de referencia para la elaboración de un protocolo para la preparación de jarabe de alta fructosa a nivel industrial.

De acuerdo a Hermann *et al.* (1999), al hacer una hidrólisis total de los azúcares del yacón (que incluye a la sacarosa y a los FOS) se obtiene un producto nuevo, compuesto exclusivamente por fructosa y glucosa, en el que la relación final de fructosa a glucosa (F/G) es alrededor de 12/5. Así, se podría elaborar un jarabe de alta fructosa que contenga aproximadamente 70% de fructosa y 30% de glucosa en relación con el peso de los sólidos solubles del jarabe (azúcares totales). Un jarabe de este tipo es similar a los jarabes de alta fructosa de maíz.

Los jarabes de alta fructosa son los edulcorantes que mayormente se emplean en el mercado de bebidas refrescantes en los Estados Unidos, habiendo sustituido casi totalmente a la sacarosa o azúcar de mesa. En la actualidad se elaboran principalmente a partir del maíz, por isomerización de la glucosa en fructosa. Probablemente la limitación más grande que podría enfrentar el jarabe de yacón de alta fructosa en el futuro es la competencia del jarabe de maíz de alta fructosa, cuyos costos de producción son muy bajos.

### 10.5. Té de yacón

El té de yacón se inventó en Japón hace aproximadamente una década. A pesar de que no existe evidencia científica sobre su efecto en humanos, se recomienda el consumo de la infusión para el tratamiento de la diabetes. En la actualidad Japón y Brasil son los países que producen mayor cantidad de té de yacón.

Para las condiciones de Cajamarca, la mejor forma de secado artesanal de las hojas es la que emplea el secador o galpón y que es la misma que se usa para secar tabaco. Este secador es una construcción de madera a dos aguas, cuya altura en la cumbre es de 4.5 a 5 m, de largo y

ancho variable. El techo puede ser de calamina o paja y con los lados laterales cubiertos con paja suelta (esto evita, en cierto modo, la entrada de neblina). Al interior se divide en estratos o tendales separados a 75 cm aproximadamente (para tabaco). En cada estrato van colocadas varas de caña brava o madera, sueltas. Estas son las llamadas cujes, de donde se cuelgan las hojas. Estas varas tienen un largo aproximado de 2.5 m y en un extremo llevan amarrado un pabito de aproximadamente 7.5 m, el cual servirá para amarrar las hojas. En un galpón pueden colocarse dos a más hileras de cujes, de acuerdo al ancho del galpón. Para amarrar las hojas se toman dos hojas a la vez, se pasa un ligero lazo por el peciolo, y se van dejando colgar de la cuje. De esta manera, al momento de sacar las hojas secas sólo se jala el pabito y se van cogiendo las hojas por el peciolo, formando manojos, que son colocados en bolsas o costales. Al inicio se colocan las cujes entre 15 y 20 cm uno de otro y conforme van secando las hojas se van juntando, para ganar espacio. Al estado ideal de secado los agricultores lo llaman "zarazo": la hoja está dócil y suave, no muy seca ni quebradiza, se debe procurar que el peciolo esté igual de seco. Se recomienda recoger por las mañanas, para evitar mayores pérdidas. El embalaje para el traslado de las hojas secas se hace en bolsas de rafia o de yute.

El secado se puede realizar al medio ambiente siempre y cuando la humedad relativa sea baja. Si esto no es posible, entonces se puede usar hornos secadores. Según Espinoza (2001), la temperatura adecuada para secar eficientemente las hojas de yacón es de 60°C. El contenido de humedad de las hojas secas debe ser de alrededor de 5%. Las labores siguientes al secado son el molido, el tamizado y el envasado en papel filtro.

## 11. Referencias bibliográficas

---

Alles MS, Hautvast JG, Nagengast FM, Hartemink R, van Laere KM & JB Jansen. 1996. Fate of fructooligosaccharides in the human intestine. *British Journal of Nutrition* 76: 211-221.

Alles MS, de Roos NM, Bakx JC, van de Lisdonk E, Zock PL & JG Hautvast. 1999. Consumption of fructooligosaccharides does not favorably affect blood glucose and serum lipid concentrations in patients with

- type 2 diabetes. *American Journal of Clinical Nutrition* 69: 64-69.
- Amaya J. 2000. Efeitos de doses crescentes de nitrogênio e potássio na produtividade de yacon (*Polymnia sonchifolia* Poep. & Endl.). Tese do título de Mestre em Agronomia – Area de concentração em horticultura Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Brasil, 58 p.
- Amaya J. 2002. Desenvolvimento de yacón (*Polymnia sonchifolia* Poep & Endl) a partir de rizóforos e de gemas axilares, em diferentes espaçamentos. Tese do título de Doutor em Agronomia – Area de concentração em horticultura, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Brasil, 89 p.
- Andersson HB, Ellegård LH & IG Bosaeus. 1999. Nondigestibility characteristics of inulin and oligofructose in humans. *Journal of Nutrition* 129: 1428S-1430S.
- Andersson H, Asp NG, Bruce Å, Roos S, Wadström T & AE Wold. 2001. Health effects of probiotics and prebiotics. A literature review on human studies. *Scandinavian Journal of Nutrition* 45: 58-75.
- Araujo H. 1998. Determinación del método para el conteo del número cromosómico en nueve cultivares de tres especies tuberosas andinas. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, 45 p.
- Asami T, Minamisawa K, Tsuchiya T, Kano K, Hori I, Ohyama T, Kubota M & T Tsukihashi. 1991. Fluctuation of oligofructan contents in tubers of yacon (*Polymnia sonchifolia*) during growth and storage. *Soil Science and Plant Nutrition* 62(6): 621-627.
- Aybar MJ, Sánchez Riera AN, Grau A & SS Sánchez. 2001. Hypoglycemic effect of the water extract of *Smalanthus sonchifolius* (yacon) leaves in normal and diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology* 74: 125-132.
- Barrantes F. 1998. Fascículo 17: Patología de las raíces y cormos andinos. En: Seminario, J. (comp.). Producción de raíces andinas: Fascículos. Manuales de capacitación CIP. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú, p. 1-10.
- Baynes P & M Varley. 2001. Gut health, practical considerations. In: Varley M & J Wiseman (eds.): *The weaner pig: Nutrition and management*. CAB International, Washington, DC. USA, p. 249-257.
- Benjamín LR, McGarry A & D Garay. 1997. The root vegetables: beet, carrot, parsnip and turnip. In: Wien HC (ed.): *The physiology of vegetable crops*. CAB International, Washington, DC. USA, p. 553-573.
- Brady L, Gallaher D & F Busta. 2000. The role of probiotic cultures in the prevention of colon cancer. *Journal of Nutrition* 130: 410S-414S.
- Brako L & J Zarucchi. 1993. Catalogue of the flowering plants and gymnosperms of Peru. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden 45: I-XI: 1286 p.
- Brighenti F, Casiraghi MC, Canzi & A Ferrari. 1999. Effect of consumption of a ready to eat breakfast cereal containing inulin on the intestinal milieu and blood lipids in healthy male volunteers. *European Journal of Clinical Nutrition*. 53:726-733.
- Buddington KK, Jillian BD & RK Buddington. 2002. Dietary oligofructose and inulin protect mice from enteric and systemic pathogens and tumor inducers. *Journal of Nutrition* 132: 472-477.
- Cárdenas M. 1969. Manual de plantas económicas de Bolivia. Imprenta Icthus, Cochabamba, Bolivia, 333 p.
- Chicata N. 1998. Variabilidad de la semilla botánica y comparación de progenies y clones provenientes del germoplasma de yacón (*Polymnia sonchifolia*). Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú, np.
- Collazos C, White P, White H, Viñas E, Alvistur E, Urquieta R, Vásquez J, Diaz C, Quiroz A, Roca A, Hegsted M, Bradfield R, Herrera N, Faching A, Robles N, Hernández E & M Arias. 1993. La composición de alimentos de mayor consumo en el Perú. Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Nutrición, Lima, Perú, 63 p.
- Conway PL. 2001. Prebiotics and human health: The state of the art and future perspectives. *Scandinavian Journal of Nutrition* 45: 13-21.
- Coudray C, Bellanger J, Castiglia-Delavaud C, Rémesy C, Vermorel M & Y Rayssiguier. 1997. Effect of soluble and partly soluble dietary fibres supplementation on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men. *European Journal of Clinical Nutrition* 51: 375-380.

- Coussement P. 1999. Inulin and oligofructose: Safe intakes and legal status. *Journal of Nutrition* 129: 1412S-1417S.
- Cummings JH, Macfarlane GT & HN Englyst. 2001. Prebiotic digestion and fermentation. *American Journal of Clinical Nutrition* 73: 415S-420S.
- Daòková K, Frèek J, Cvak L, Šimánek V & J Ulrichová. 2001. Extracts from *Smallanthus sonchifolius* leaves-characterization and biological activity. II Simposio Latinoamericano de Raíces y Tubérculos: Guía del participante, 28-30 de noviembre 2001. Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú, np (resumen).
- Davidson MH, Synecki C, Maki KC & KB Drenan. 1998. Effects of dietary inulin in serum lipids in men and women with hypercholesterolemia. *Nutrition Research* 3: 503-517.
- Delzenne NM, Kok N, Fiordaliso M, Deboyser D, Goethals F & M Roberfroid. 1993. Dietary fructooligosaccharides modifies lipid metabolism in rats. *American Journal of Clinical Nutrition* 57: 820S (abstract).
- Delzenne NM, Aertssens J, Verplaetse H, Roccaro M & M Roberfroid. 1995. Effect of fermentable fructooligosaccharides on mineral, nitrogen and energy digestive balance in the rats. *Life Sciences* 57: 1579-1587.
- Delzenne NM & NN Kok. 1999. Biochemical basis of oligofructose-induced hypolipidemia in animal models. *Journal of Nutrition* 129: 1467S-1470S.
- Djouzi A & C Andrieux. 1997. Compared effects of three oligosaccharides on metabolism of intestinal microflora in rats inoculated with a human faecal flora. *British Journal of Nutrition* 78: 313-324.
- Doo HS, Ryu JH, Lee KS & SY Choi. 2001. Effect of plant density on growth responses and yield in yacon. *Korean Journal of Crop Science* 46 (5): 407-410.
- Ellegård L, Andersson H & I Bosaeus. 1997. Inulin and oligofructose do not influence the absorption of cholesterol, or excretion of cholesterol, Ca, Mg, Zn, Fe, or bile acids but increases energy excretion in ileostomy subjects. *European Journal of Clinical Nutrition*. 51: 1-5.
- Erickson KL & NE Hubbard. 2000. Probiotic immunomodulation in health and disease. *Journal of Nutrition* 130: 403S-409S.
- Esau K. 1959. Anatomía vegetal. Editorial Omega, Barcelona, España, 729 p.
- Espinoza CR. 2001. Elaboración de filtrantes de la hoja de yacón. II Simposio Latinoamericano de Raíces y Tubérculos: Guía del participante, 28-30 de noviembre 2001. Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú, np (resumen).
- Estrella JE. 1994. *In vitro* propagation of jicama (*Polymnia sonchifolia* Poeppig & Endlicher): A neglected Andean crop. *HortScience* 29(4): 331.
- Fernández CE, Lipavská H & J Michl. 1997. Determination of saccharides content in different ecotypes of yacon (*Polymnia sonchifolia* Poeppig and Endlicher) cultivated under conditions of Czech Republic. *Agricultura Tropica et Subtropica* 30: 79-87.
- Fiordaliso M, Kok N, Desager J, Goethals F, Deboyser D, Roberfroid M & NM Delzenne. 1995. Dietary oligofructose lowers serum and VLDL concentrations of triglycerides, phospholipids and cholesterol in rats. *Lipids* 30: 163-167.
- Font Quer P. 1970. Diccionario de botánica. Editorial Labor, Barcelona, España, 1236 p.
- Franco PS & CJ Rodríguez. 1997. Caracterización y evaluación del germoplasma de llacón (*Polymnia sonchifolia* Poepp. & Endl.) del INIA en el valle de Cajamarca. IX Congreso Internacional de Cultivos Andinos: Libro de resúmenes, 22-25 de abril 1997. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), Centro de Investigación en Cultivos Andinos (CICA), Asociación ARARIWA, Cusco, Perú, p. 55.
- Fukai K, Miyazaki S, Nanjo F & Y Hara. 1993. Distribution of carbohydrates and related enzyme activities in yacon (*Polymnia sonchifolia*). *Soil Science and Plant Nutrition* 39(3): 567-571.
- Fukai K, Ohno S, Goto K, Nanjo F & Y Hara. 1997. Seasonal fluctuations in fructan content and related enzyme activities in yacon (*Polymnia sonchifolia*). *Soil Science and Plant Nutrition* 43(1): 171-177.
- García P. 2000. Producción de jarabe de fructosa del yacón (*Smallanthus sonchifolia* Poepp. & Endl.) por fermentación con una cepa nativa (*Bacillus* sp.). Tesis de Grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú, 81 p.

- Gibson GR & MB Roberfroid. 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota, introducing the concept of prebiotics. *Journal of Nutrition* 125: 1401-1412.
- Goto K, Fukai K, Hikida J, Nanjo F & Y Hara. 1995. Isolation and structural analysis of oligosaccharides from yacon (*Polymnia sonchifolia*). *Biosci. Biotech. Biochem.* 59(12): 2346-2347.
- Graefe S, Manrique I, Hermann M & A Burkert. 2002. Post-harvest compositional changes of yacon roots (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.) as affected by storage conditions and cultivar. Challenges to Organic Farming and Sustainable Land Use in the Tropics and Subtropics. Deutscher Tropentag, 9-11 Oct. 2002. Kassel-Witzenhausen, 1 p. (poster).
- Graefe S. 2002. Post-harvest compositional changes of yacon roots (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.) as affected by storage conditions and cultivar. MSc thesis, University of Kassel, Germany, 63 p.
- Grau A & A Slanis. 1997. Estudio comparativo del yacón (*Polymnia sonchifolia*) y el yakón del campo (*Polymnia macroscypha*) un pariente silvestre del noroeste de Argentina y sur de Bolivia. IX Congreso Internacional de Cultivos Andinos: Libro de resúmenes, 22-25 de abril 1997. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), Centro de Investigación en Cultivos Andinos (CICA), Asociación ARARIWA, Cusco, Perú, p. 53-54.
- Grau A & J Rea. 1997. Yacon, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. In: Hermann M & J Heller (eds.): Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca yacon. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 21. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research. Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute. Rome, Italy, p. 199-242. <http://www.cipotato.org/market/ARTChermann/yacon.pdf>
- Grau A, Kortsarz AM, Aybar MJ, Sánchez Riera AN & SS Sánchez. 2001. El retorno del yacón. *Ciencia Hoy* 11(63): np. <http://www.cienciahoy.org/hoy63/yacon.htm>
- Guamán Poma de Ayala F. 1585, 1615. La nueva crónica y buen gobierno. En: Bustios L (ed.). Lima, Editorial Cultura. Dirección de Cultura, Arqueología e Historia del Ministerio de Educación Pública del Perú. 1956 (reimpresa en 1966). Transcripción y traducción del original en español de *El primer nueva coronica i buen gobierno*.
- Hawkes JG. 1989. The domestication of roots and tubers in the American Tropics. In: Harris DC & BC Hillman (eds.): Foraging and farming. Unwin, Hyman, London, p. 481-503.
- Heiser C. 1963. Numeración cromosómica de plantas ecuatorianas. *Ciencia y Naturaleza* 6: 2-6.
- Hermann M, Freire I & C Pazos. 1999. Compositional diversity of the yacon storage root. In: Impact on a changing world: Program report 1997-98. International Potato Center (CIP), Lima (Perú), p. 425-432. <http://www.cipotato.org/market/PgmRrpts/pr97-98/51yacon.pdf>
- Hilgert NI. 2000. Especies vegetales empleadas en la insalivación de hojas de coca (*Erythroxylum coca* var. *coca*, Erythroxylaceae). *Darwiniana* 38(3-4): 241-252.
- Huamán W. 1991. Caracterización y evaluación de 45 entradas de germoplasma de llacón (*Smallanthus sonchifolius*, H. Robinson) en Cajamarca. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, 70 p.
- Inoue A, Tamogami S, Kato H, Nakazato Y, Akiyama M, Kodama O, Akatsuka T & Y Hashidoko. 1995. Antifungal melampolides from leaf extracts of *Smallanthus sonchifolius*. *Phytochemistry* 39(4): 845-849.
- Jackson KG, Taylor GRJ, Clohessy AM & CM Williams. 1999. The effect of the daily intake of inulin on fasting lipid, insulin and glucose concentrations in middle-aged men and women. *British Journal of Nutrition* 82: 23-30.
- Kleessen B, Sykura B, Zunft HJ & M Blaut. 1997. Effects of inulin and lactose on fecal microflora, microbial activity, and bowel habit in elderly constipated persons. *American Journal of Clinical Nutrition* 65: 1397-1402.
- Kok N, Roberfroid M & N Delzenne. 1996. Involvement of lipogenesis in the lower VLDL secretion induced by oligofructose in rats. *British Journal of Nutrition* 76: 881-890.
- Koo M & V Rao. 1991. Long term effect of bifidobacteria and neosugar on precursor lesions of colonic cancer in mice. *Nutrition and Cancer* 16: 249-257.
- León J. 1964. Plantas alimenticias andinas. Boletín técnico número 6. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas Zona Andina, Lima, Perú, 112 p.

- León H. 1983. Caracteres agronómicos de cinco cultivares de llacón (*Polymnia sonchifolia*) bajo las condiciones de la campiña de Cajamarca. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, 82 p.
- Lizárraga L, Ortega R, Vargas W & A Vidal. 1997. Cultivo de yacón (*Polymnia sonchifolia*). IX Congreso Internacional de Cultivos Andinos: Resúmenes curso precongreso, 21 de abril 1997. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), Centro de Investigación en Cultivos Andinos (CICA), Asociación ARARIWA, Cusco, Perú, p. 55-70.
- Lizárraga C. 1998. Virus en Raíces Andinas. Taller internacional sobre raíces andinas, 16-21 Noviembre 1998 (versión preliminar). Centro Internacional de la Papa (CIP), Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), Lima, Perú, np. <http://www.cipotato.org/library/pdfdocs/RTA57024v1.pdf>
- Luo J, Rizkalla SW, Alamowitch C, Boussairi A, Blayo A, Barry JL, Laffitte A, Guyon F, Bornet FRJ & G Slama. 1996. Chronic consumption of short-chain fructooligosaccharides by healthy subjects decreased basal hepatic glucose production but had no effect on insulin-stimulated glucose metabolism 1-3. *American Journal of Clinical Nutrition* 63: 939-945.
- Luo J, Van Yperselle M, Rizkalla S, Rossi F, Bornet F & G Slama. 2000. Chronic consumption of short-chain fructooligosaccharides does not affect basal hepatic glucose production or insulin resistance in type 2 diabetics. *Journal of Nutrition* 130: 1572-1577.
- Mackensie KK. 1933. Carduaceae 56. *Smallanthus*. In: Small JK (ed.). *Manual of the southeastern flora*, 1307, 1406. New York, USA. Reprinted 1972, Hafner, New York, USA.
- Mansilla R, López C, Blas R & C Arbizu. 2001. Caracterización de yacones, *Smallanthus sonchifolius*, cultivados del Perú. II Simposio Latinoamericano de Raíces y Tubérculos: Guía del participante, 28-30 de noviembre 2001. Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú, np (resumen).
- Mayta P, Payano J, Peláez J, Pérez M, Pichardo L & L Pucán. 2001. En: II Simposio Latinoamericano de Raíces y Tubérculos: Guía del participante, 28-30 de noviembre 2001. Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú, np. (resumen).
- Melgarejo D. 1999. Potencial productivo de la colección nacional de yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poeppig & Endlicher), bajo condiciones de Oxapampa. Tesis de Grado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Perú, 96 p.
- Meza G. 1995. Variedades nativas de yacón (*Polymnia sonchifolia*) en Cusco. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), Centro de Investigación en Cultivos Andinos (CICA), Cusco, Perú, 6p.
- Morillo E, Tapia C, Estrella J & R Castillo. 2002. Caracterización agromorfológica de la colección de jícama (*Smallanthus sonchifolius* P.&E.) del banco de germoplasma del INIAP-Ecuador (en impresión).
- National Research Council. 1989. Yacón. In: *Lost crops of the Incas: Little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation*. National Academy Press, Washington DC, p. 114-147. <http://books.nap.edu/books/030904264X/html/115.html>
- Nieto C. 1991. Estudios agronómicos y bromatológicos en jícama (*Polymnia sonchifolia* Poepp. et Endl.). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 41(2): 213-21.
- Niness KR. 1999a. Inulin and oligofructose: What are they? *Journal of Nutrition* 129: 1402S-1406S.
- Niness KR. 1999b. Breakfast foods and the health benefits of inulin and oligofructose. *Cereal Foods World* 44(2): 79-81.
- Ogiso M, Naito H & H Kurasima. 1990. Planting density, harvesting time and storage temperature of Yercum. *Research Bulletin of the Aichi Ken Agricultural Research Center* 22: 161-164.
- Ohta A, Ohtsuki M, Baba S, Adachi T, Sakata T & E Sakaguchi. 1995. Calcium and magnesium absorption from the colon and rectum are increased in rats fed fructooligosaccharides. *Journal of Nutrition* 125: 2417-2424.
- Ohta A, Ohtsuki M, Hosono A, Adachi T, Hara H & T Sakata. 1998. Dietary fructooligosaccharides prevent osteopenia after gastrectomy in rats. *Journal of Nutrition* 128: 106-110.

- Ohyama T, Ito O, Yasuyoshi S, Ikarashi T, Minamisawa K, Kubota M, Tsukihashi T & T Asami. 1990. Composition of storage carbohydrate in tubers of yacón (*Polymnia sonchifolia*). *Soil Science and Plant Nutrition* 36(1): 167-171.
- O'Neal L & TW Whitaker. 1947. Embroideries of the early Nazca period and the crops depicted on them. *Southwestern Journal of Anthropology* 3(4): 294-321.
- Ortiz JL, Seminario J & M Roncal. 2001. Enfermedades foliares en la colección ex situ de achira (*Canna edulis*) y llacón (*Smallanthus sonchifolius*) de Cajamarca. *Caxamarca* 9(1): 45-49.
- Pedersen AB, Sandström B & JMM van Amelsvoort. 1997. The effect of ingestion of inulin on blood lipids and gastrointestinal symptoms in healthy females. *British Journal of Nutrition* 78: 215-222.
- Perazzo G. 2000. Retardo del crecimiento *in vitro* de yacón *Smallanthus sonchifolius* (Poeppig & Endlicher) por efecto del uso de manitol y sorbitol como estresantes osmóticos. Tesis de Grado, Universidad Particular Ricardo Palma, Perú, 77 p.
- Pierre F, Perrin P, Champ M, Bornet F, Meflah K & J Menanteau. 1997. Short-chain fructo-oligosaccharides reduce the occurrence of colon tumours and develop gut-associated lymphoid tissue in Min mice. *Cancer Research* 57: 225-228.
- Programa Colaborativo Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos. 1996. Memorias 1994-1995. Centro Internacional de la Papa (CIP), Cooperación Técnica Suiza (COTESU), Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), Lima, Perú, 370 p.
- Programa Colaborativo Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos. 2000. Informe anual 1999. Centro Internacional de la Papa (CIP), Cooperación Técnica Suiza (COTESU), Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), Lima, Perú, 114 p.
- Pulgar Vidal J. 1996. Geografía del Perú: Las ocho regiones naturales, la regionalización transversal, la sabiduría ecológica tradicional. Editorial Peisa, Lima, Perú, 302 p.
- Ramos R, Galarza J, Castillo R & C Nieto. 1999. Respuesta de tres raíces andinas: zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) miso (*Mirabilis expansa*) y jícama (*Polymnia sonchifolia*); dos pastos y una mezcla forrajera al efecto de tres sistemas agroforestales, en Santa Catalina, Quito. En: Fairlie T, Morales Bermúdez M & M Holle (eds.). Raíces y tubérculos andinos: Avances de investigación. Centro Internacional de la Papa (CIP), Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), Lima, Perú, p. 193-212. <http://www.cipotato.org/library/pdfdocs/RTA59120.pdf>
- Rea J. 1998. Fascículo 18: Recursos genéticos del yacón. En: Seminario, J. (comp.). Producción de raíces andinas: Fascículos. Manuales de capacitación CIP. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú, p. 1-27.
- Reddy BS, Hamid R & CV Rao. 1997. Effect of dietary oligofructose and inulin on colonic preneoplastic aberrant crypt foci inhibition. *Carcinogenesis* 18: 1371-1374.
- Reddy BS. 1999. Possible mechanisms by which pro- and prebiotics influence colon carcinogenesis and tumor growth. 1999. *Journal of Nutrition* 129: 1478S-1482S.
- Roberfroid MB. 1993. Dietary fibre, inulin and oligofructose. A review comparing their physiological effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 33(2): 103-148.
- Roberfroid MB. 1999a. Caloric value of inulin and oligofructose. *Journal of Nutrition* 129: 1436S-1437S.
- Roberfroid MB. 1999b. Concepts in functional foods: The case of inulin and oligofructose. *Journal of Nutrition* 129: 1398S-1401S.
- Roberfroid MB. 2000. Chicory fructooligosaccharides and the gastrointestinal tract. *Nutrition* 16(7/8): 677-679.
- Robinson H. 1978. Studies in the Heliantheae (Asteraceae). XII. Re-establishment of the genus *Smallanthus*. *Phytologia* 39(1): 47-53.
- Rowland IR, Rumney CJ, Coutts JT & LC Lievens. 1998. Effect of *Bifidobacterium longum* and inulin on gut bacterial metabolism and carcinogen-induced aberrant crypt foci in rats. *Carcinogenesis* 19: 281-285.
- Safford WE. 1917. Food plants and textiles of ancient America. Proceedings Second Pan- American Scientific Congress, p. 146-159.



- Salgado Moreno V. 1996. Evaluación y caracterización citogenética de 16 entradas de jicama (*Polymnia sonchifolia* Poep. & Endl.) de Sudamérica. Tesis de Grado, Universidad Central del Ecuador, Ecuador, np.
- Sato T, Tomioka K, Nakanishi T & H Koganezawa. 1999. Charcoal rot of yacon (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.) H. Robinson), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and pearl lupin (Tarwi, *Lupinus mutabilis* Sweet), caused by *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. *Bulletin - Shikoku National Agricultural Experiment Station* 64: 1-8.
- Seclén, S. 2000. La diabetes mellitus: Problema de salud pública en el Perú. Universidad Peruana Cayetano Heredia, Instituto de Gerontología. Editorial New Graff, Lima, Perú, np.
- Seminario J, Granados C & J Ruiz. 1999. Recursos genéticos de raíces andinas: I Exploración para chago, yacón, achira y arracacha, en el norte del Perú. En: Fairlie T, Morales Bermúdez M & M Holle (eds.). Raíces y tubérculos andinos. Avances de investigación. Centro Internacional de la Papa (CIP), Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), Lima, Perú, p. 38-59. <http://www.cipotato.org/library/pdfdocs/RTA59120.pdf>
- Seminario J, Valderrama M & H Honorio. 2001. Propagación por esquejes de tres morfotipos de yacón, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. *Agronomía XLVII*: 12-20.
- Seminario J, Valderrama M & A Seminario. 2002. Prueba de rendimiento de dos morfotipos de yacón, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson, propagados por esqueje y cepas. *Caxamarca*. 10(1): 99-108.
- Seminario J & M Valderrama. 2002. Propagación de tres morfotipos de yacón, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson, mediante nudos de tallo (en impresión).
- Soto Fernández R. 1998. Estudio de la biología floral del germoplasma regional de yacón. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, 51 p.
- Takahara S, Morohashi T, Sano T, Ohta A, Yamada S & R Sasa. 2000. Fructooligosaccharide consumption enhances femoral bone volume and mineral concentrations in rats (research communication). *Journal of Nutrition* 130: 1792-1795.
- Takasugi M & T Masuda. 1996. Three 4'-hydroxyacetophenone-related phytoalexins from *Polymnia sonchifolia*. *Phytochemistry* 43(5): 1019-1021.
- Takenaka M, Yan X, Ono H, Yoshida M, Nagata T & T Nakanishi. 2003. Caffeic acid derivatives in the roots of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 793-796.
- Talledo D & C Escobar. 1998. Fascículo 19: Genética de las células somáticas de raíces y tuberosas andinas. En: Seminario J (comp.). Producción de raíces andinas: Fascículos. Manuales de capacitación CIP. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú, p. 1-24.
- Tapia C, Castillo R & N Mazón. 1996. Catálogo de recursos genéticos de raíces y tubérculos andinos en el Ecuador. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Quito, Ecuador, 180 p.
- Towle M. 1961. The ethnobotany of pre-columbian Peru. Aldine Publishing Company, Chicago, 180 p.
- Tsukihashi T, Yoshida T, Miyamoto M & N Suzuki. 1989. Studies on the cultivation of yacon. I. Influence of different planting densities on the tuber yield. *Japan J. Farm Work Res.* 24: 32-38.
- Túpac Yupanqui Bl. 1995. Preparación de un medio de cultivo para la micropropagación *in vitro* de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson, "Ilacon". Asteraceae. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, 48 p.
- Van den Heuvel EG, Schaafsma G, Muys T & W Van Dokkum. 1998. Nondigestible oligosaccharides do not interfere with calcium and nonheme-iron absorption in young, healthy men. *American Journal of Clinical Nutrition* 67: 445-451.
- Van den Heuvel EG, Muys T, Van Dokkum W & G Schaafsma. 1999. Oligofructose stimulates calcium absorption in adolescents. *American Journal of Clinical Nutrition* 69: 544-548.
- Velásquez HN & R Ortega. 1997. Establecimiento, micropropagación y conservación *in vitro* de yacón. IX Congreso Internacional de Cultivos Andinos: Libro de resúmenes, 22-25 de abril 1997. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), Centro de

- Investigación en Cultivos Andinos (CICA), Asociación ARARIWA, Cusco, Perú, p.54-55.
- Wells JR. 1965. A taxonomic study of *Polymnia* (Compositae). *Brittonia* 17: 144-159.
- Williams CM. 1999. Effects of inulin on lipid parameters in humans. *Journal of Nutrition* 129: 1471S-1473S.
- Wold AE. 2001. Immune effects of probiotics. *Scandinavian Journal of Nutrition* 45: 76-85.
- Yacovleff E. 1933. La jíquima, raíz comestible extinguida en el Perú. *Revista del Museo Nacional* (Lima) 3: 376-406.
- Yamashita K, Kawai K & M Itakura. 1984. Effect of fructo-oligosaccharides on blood glucose and serum lipids in diabetic subjects. *Nutrition Research* 4: 961-966.
- Yan X, Suzuki M, Ohnishi-Kameyama M, Sada Y, Nakanishi T & T Nagata. 1999. Extraction and identification of antioxidants in the root of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47: 4711-4713.
- Zardini E. 1991. Ethnobotanical notes on "yacon", *Polymnia sonchifolia* (Asteraceae). *Economic Botany* 45 (1): 72-85.



## **Créditos**

Edición: Zoraida Portillo/Michael Hermann  
Coordinación: Cecilia Lafosse  
Carátula y Diseño: Milton Hidalgo  
Diagramación: Alfredo Puccini  
Fotografías: Iván Manrique  
Dibujos: Miguel Valderrama

Elaborado en el Departamento de Comunicación y  
Difusión del Centro Internacional de la Papa

Julio 2003

Tiraje: 1000 ejemplares

