

Salta

Rescate y promoción de cultivos tradicionales de la región andina y conservación de la biodiversidad: el Yacón.



Salta

Rescate y promoción de cultivos tradicionales de la Región Andina y conservación de la biodiversidad: el Yacón

**Autoridades del Consejo Federal
de Inversiones**

Asamblea de Gobernadores

Secretario General
Ing. Juan José Ciácerá

Salta

Rescate y promoción de cultivos tradicionales de la Región Andina y conservación de la biodiversidad: el Yacón

Consultora

Ing. Silvia Elisa Ebber, a solicitud de la provincia de Salta

Revisión de textos Convenio USAL-CFI

ABRIL DE 2011

**Rescate y promoción de cultivos tradicionales de la
Región Andina y conservación de la biodiversidad:
el yacón**

Autora: Ing. Silvia Elisa Ebber

1ª Edición

500 ejemplares

Consejo Federal de Inversiones

Consejo Federal de Inversiones,

San Martín 871 – (C1004AAQ)

Buenos Aires – Argentina

54 11 4317 0700

www.cfred.org.ar

ISBN XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

• 2011 CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723

Impreso en Argentina - Derechos reservados.

No se permite la reproducción parcial o total, el almacenamiento, el alquiler, la transmisión o la transformación de este libro, en cualquier forma o por cualquier medio, sea electrónico o mecánico, mediante fotocopias, digitalización u otros métodos, sin el permiso previo y escrito de los editores. Su infracción está penada por las leyes 11.723 y 25.446.

NOMBRE Y DOMICILIO IMPRESOR

LUGAR Y FECHA IMPRESIÓN

Al lector

El Consejo Federal de Inversiones es una institución federal dedicada a promover el desarrollo armónico e integral del país.

Su creación, hace ya cinco décadas, provino de la iniciativa de un grupo de gobernadores provinciales democráticos y visionarios, quienes, mediante un auténtico Pacto Federal, sentaron las bases de una institución que fuera, a la vez, portadora de las tradiciones históricas del federalismo y hacedora de proyectos e iniciativas capaces de asumir los desafíos para el futuro.

El camino recorrido, en el marco de los profundos cambios sociales de fin y principio de siglo, motivó al Consejo a reinterpretar las claves del desarrollo regional, buscando instrumentos innovadores e identificando ejes temáticos estratégicos para el logro de sus objetivos.

Así fueron surgiendo en su momento el crédito a la micro, pequeña y mediana empresa, la planificación estratégica participativa, la difusión de las nuevas tecnologías de información y comunicaciones, las acciones de vinculación comercial y los proyectos de infraestructura para al mejoramiento de la competitividad de las producciones regionales en el comercio internacional. Todo ello, con una apuesta creciente a las capacidades sociales asociadas a la cooperación y al fortalecimiento de la identidad local.

Entre los instrumentos utilizados por el Consejo, el libro fue siempre un protagonista privilegiado, el vehículo entre el conocimiento y la sociedad; entre el saber y la aplicación práctica. No creemos en el libro como "isla", principio y fin del conocimiento. Entendemos a este –a la palabra escrita y también a su extensión digital– como una llave para generar redes de conocimiento, comunidades de aprendizaje.

Esta noción del libro como medio, y no como un fin, parte de una convicción: estamos inmersos en un nuevo

paradigma donde solo tiene lugar la construcción del conocimiento colectivo y de las redes. En esta concepción, los libros son insumos y a la vez productos de la tarea cotidiana.

En un proceso virtuoso, en estos últimos años, el CFI se abocó a esa construcción social del conocimiento, mediante el trabajo conjunto y coordinado con los funcionarios y técnicos provinciales, con profesionales, productores, empresarios, dirigentes locales, estudiantes, todos aquellos interesados en encontrar soluciones a los problemas y en asumir desafíos en el ámbito territorial de las regiones argentinas.

Con estas ideas hoy estamos presentes con un conjunto de publicaciones que, conformando la **Colección "Estudios y proyectos provinciales"**, están referidas a las acciones de la cooperación técnica. brindada por nuestra institución a cada uno de sus Estados Miembro.

Este título: **"Rescate y promoción de cultivos tradicionales de la Región Andina y conservación de la biodiversidad: el yacón"**, que hoy, como Secretario General del Consejo Federal de Inversiones, tengo la satisfacción de presentar, responde a esta línea y fue realizado por solicitud de la provincia de Salta.

Damos así un paso más en esta tarea permanente de promoción del desarrollo de las regiones argentinas, ese desarrollo destinado a brindar mayores oportunidades y bienestar a su gente. Porque, para nosotros, "CFI, DESARROLLO PARA TODOS" no es una "frase hecha", un eslogan, es la manifestación de la vocación federal de nuestro país y el compromiso con el futuro de grandeza y equidad social que anhelamos todos los argentinos.

Ing. Juan José Ciáccera
Secretario General
Consejo Federal de Inversiones

Agradecimientos

Gracias... lo único que acierto a decir es gracias por todo el apoyo que me han brindado en el transcurso de esta experiencia de trabajo, por toda la ayuda recibida, ya que han hecho más ligero mi camino, por las palabras de aliento escuchadas, por todas las cosas... por la vida misma y ahora que hago realidad uno de mis más caros anhelos quiero agradecer todo el amor, paciencia y comprensión para conmigo, por todo y por mucho más a mis seres queridos, amigos y colaboradores, gracias.

Agradezco en forma especial al Gobierno de la provincia de Salta, al Consejo Federal de Inversiones y a las instituciones que posibilitaron el desarrollo de este trabajo, a la Universidad Nacional de Salta, al INTA de Cerrillos – Salta y a la Universidad de Buenos Aires.

A los pobladores rurales de la zona de trabajo, a los técnicos y peones de campo que sin su valiosa colaboración no se podría haber realizado el estudio.

Equipo de trabajo

Los estudios realizados contaron con la asistencia de profesionales técnicos de la Universidad Nacional de Salta –UNSa– y la Universidad de Buenos Aires –UBA–.

- Ing. Silvia Elisa Ebber Elías: Coordinación y Dirección Técnica. UNSa. Facultad de Ciencias Naturales. Cátedra de Diseño experimental. Profesional Adscrita.
- Lic. Silvia Susana Shüring: UNSa. Facultad de Ciencias Naturales. Cátedra de Diseño experimental.
- Dra. Rosana Alarcón: UNSa. Facultad de Ciencias Naturales. Cátedra de Química.
- Lic. Soledad Natalia Ocampos: UNSa. Facultad de Ciencias Naturales. Integrante del Proyecto N° 1540 del CIUNSa.
- Ing. Norma Beatriz Vecchietti Villegas: UNSa. Facultad de Ciencias Naturales. Cátedra de Fitopatología Agrícola.
- Dra. Cristina Acebedo: UBA. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Cátedra de Farmacología.
- Dra. Susana Gorzalczany: UBA. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Cátedra de Farmacología.
- Dr. Jorge Miño: UBA. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Cátedra de Farmacología.

Índice

11	1. Introducción	49	Conclusiones finales
17	2. Descripción y análisis de la situación actual del cultivo de yacón Descripción botánica Las hojas La inflorescencia Parientes silvestres Características químicas Propiedades medicinales El cultivo	55	Referencias bibliográficas
27	3. Sanidad del cultivo Suelo. Metodología Resultados en las muestras a. Resultados en las muestras previas al cultivo b. Resultados en las muestras posteriores al cultivo Plantas. Metodología Resultados finales Conclusiones		
31	4. Análisis químico de las hojas de yacón Análisis químico cualitativo por cromatografía en capa delgada Estudio biodirigido a. Obtención de extractos y estudio de actividad antioxidante b. Fraccionamiento del extracto de hojas c. Estudios espectroscópicos de las fracciones obtenidas Estudios de actividad hipoglucemiante Conclusión		
41	5. Evaluación del rendimiento de la planta Descripción del sitio del ensayo experimental Ensayo experimental Resultados		

1. Introducción

La región andina es considerada uno de los grandes centros de origen y domesticación de numerosas plantas cultivadas. Los factores fisiográficos, geológicos y climáticos le confirieron características peculiares a la Cordillera de los Andes, lo que ha posibilitado el desarrollo de una alta diversidad natural (Soriano 1995, Ponce 1996). Esta gran variación proveyó de suficiente material para seleccionar granos, frutas, raíces y tubérculos adaptados a las condiciones particulares asociadas a altitudes de hasta 4000 msnm.

Este proceso de domesticación, que debió iniciarse hace unos 6000 años, surgió por la necesidad de las poblaciones precolombinas de asegurarse alimentos para los períodos de escasez de productos silvestres, y evolucionó hacia el desarrollo de un gran número de cultivos con diferentes prácticas tradicionales (Tapia, 1990; Ponce, 1996). Se considera que en el imperio Incaico se cultivó casi la misma cantidad de plantas que en toda Europa y Asia, estimando que se domesticaron alrededor de 70 especies (Ponce, 1996).

Aprovechamiento de	Especies
Tubérculos	Papa (<i>Solanum andigenum</i> , Solanácea) Papa amarga (<i>S. juzepczuki</i>) Oca (<i>Oxalis tuberosa</i> , Oxalédácea) Papalisa u olluco (<i>Ullucus tuberosus</i> , Basellaceae) Mashwa o isaño (<i>Tropaeolum tuberosum</i> , Tropeolácea)
Raíces	Arracacha (<i>Arracacia xanthorrhiza</i> , Umbelífera) Achira (<i>Canna edulis</i> , Cannácea) Ahipa o jícama (<i>Pachyrizus tuberosus</i> , Leguminosa) Yacón (<i>Smallantus sonchifolius</i> , Asterácea) Chago, mauka o aricoma (<i>Mirabilis expansa</i> , Nyctaginácea) Camote o apichu (<i>Ipomea batata</i> , Convolvulácea) Maca (<i>Lepidium meyenii</i> , Crucífera)
Frutos o semillas	Maíz (<i>Zea mais</i> , Gramínea) Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> , Chuenopodiácea) Kañawa (<i>Ch. pallidicaule</i>) Amaranto o coyo (<i>Amaranthus caudatus</i> , Amarantácea), Tarwi (<i>Lupinus mutabis</i> , Leguminosa) Frijol o poroto (<i>Phaseolus vulgaris</i> , Leguminosa) Pallar o cachas (<i>P. lunatus</i>) Pajuro o balu (<i>Erythrina edulis</i> , Leguminosa) Zapallo (<i>Cucurbita máxima</i> , Cucurbitácea) Achoscha (<i>Ciclantera pedata</i> , Cucurbitácea) Tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i> , Solanácea)

Los cultivos de origen andino forman parte de una amplia diversidad de especies y familias de plantas de las cuales se aprovechan distintas partes, principalmente frutos, semillas, tubérculos y raíces (Tapia, 1990; Reboratti, 1993; Grau & Rea, 1997; Hunter, 1997; Hermann y Heller, 1997; Rozzi et al., 2001).

Dada la diversidad cultural en la región andina, las prácticas tradicionales de cultivo evolucionaron de manera diferente (policultivos, recolección y plantación de especies de selva, agricultura migratoria, terrazas en zonas de montaña, entre otras), y todas tienden a mantener, o inclusive aumentar, la diversidad. Esto contrasta con la agricultura comercial que promueve los monocultivos en grandes extensiones disminuyendo la biodiversidad; además, promueve la utilización de agroquímicos y fertilizantes y la maquinización de las prácticas (Reboratti, 1993; Ponce, 1996; Hunter, 1999; Ochoa, 1998; Rozzi et al., 2001).

Algunos de los cultivos andinos como el maíz (*Zea mays*), el tomate (*Lycopersicon esculentum*) y la papa (*Solanum tuberosum*), están difundidos en todo el mundo y son ampliamente explotados, pero muchos otros no son conocidos fuera de los Andes y no son aprovechados de manera conveniente (Tapia, 1990; Brown y Grau, 1993; Ponce, 1996).

Estas especies andinas, que son cultivadas por las familias campesinas y forman parte de sus hábitos alimentarios, han sido y están siendo desplazadas por otros alimentos que no son producidos localmente y que responden a patrones de consumo urbano y foráneo (Tapia et al., 1992; Carabia et al., 1995; Gragson, 1997; Landa et al., 1997; Zapater, 2002). Por esta razón, existe en la agricultura moderna una fuerte tendencia de conversión de ecosistemas diversos en praderas de pastoreo o terrenos agrícolas con baja diversidad (Ponce, 1996; Ochoa, 1998; Rozzi et al., 2001).

De acuerdo con un estudio realizado por la FAO sobre los vegetales que alimentan al mundo, basado en información acerca de los cultivos que inciden en el PBI de 146 países, se determinó que solo 24 cultivos básicos de producción anual son comunes a todos ellos, y, además, que los cultivos tradicionales de cada región no tienen incidencia en el PBI (Prescott Allen, 1990). Como consecuencia de esta economía de mercado, los pobladores

eligieron las especies más consumidas en los centros urbanos, y con el paso del tiempo, las variedades andinas originales fueron dejadas de lado, llevando al borde de la extinción a estos recursos genéticos únicos.

Las razones para promover el desarrollo de los cultivos andinos subexplotados están basadas en fundamentos nutricionales, ecológicos y económicos (Ehrlich y Ceballos, 1995; CONDESAN IDRC, 1998; Lehman, 1998; Castro y Barrantes, 1999).

Desde el punto de vista nutricional, estos cultivos juegan un papel importante en el suministro de energía, de nutrientes esenciales, y en proveer una composición balanceada en la dieta, particularmente en las poblaciones de bajos ingresos, tanto rurales como urbanas (Tapia, 1990).

La seguridad alimentaria no debería priorizar solamente la producción de algunos pocos cultivos comerciales para asegurar el abastecimiento de alimentos a estas poblaciones, sino que debería basarse en la diversidad y en el aprovechamiento de los recursos disponibles localmente (Tapia et al., 1992; Rozzi et al., 2001). Prescott Allen (1990), así como muchos de los autores citados, concluye en que la diversidad de especies de plantas permanece como un factor significativo para el abastecimiento de alimentos en el mundo, y una prioridad de conservación es mantener tanto la amplia diversidad de especies como la diversidad de las variables genéticas que se enumeran dentro de cada especie.

Los cultivos andinos también son valiosos desde el punto de vista ecológico; están adaptados a zonas de origen; son resistentes a plagas y sequías, y al ser producidos en pequeñas extensiones de tierra con el trabajo familiar, causan menor impacto ambiental. Donde otros cultivos exóticos del lugar prosperan con la ayuda de costosos agroquímicos, generando contaminación e importantes problemas ambientales, estos cultivos contribuyen a mantener la biodiversidad, a proteger los suelos y retener sus nutrientes (Yaness et al., 1989; Brown y Grau, 1993; Reboratti, 1993; Carabias, 1995).

Desde el punto de vista económico, los valores que se les asigna a los cultivos andinos son tanto de uso directo como indirecto; son proveedores de productos alimenticios, medicinales y aromáticos; de materia prima en la

industria, en la producción de material genético; de alimentos y de energía, y contribuyen a la diversidad biológica y cultural (Mendoza, 1995; CONDESAN IDRC, 1998; Lehman, 1998; Castro y Barrantes, 1999).

Por otro lado, los cultivos andinos permiten utilizar mano de obra y generar fuentes de ingresos para personas del área rural a quienes les resulta difícil encontrar trabajo, principalmente pequeños agricultores y mujeres, que son los responsables habituales de estos cultivos (Tapia et al., 1992; Reboratti, 1993; Carabias et al., 1995).

Algunas especies andinas han sido utilizadas con fines medicinales por prácticos y curanderos, que por siglos han transitado y transmitido sus conocimientos; ellos aprovechaban sus componentes químicos para aplicaciones medicinales adecuadas a las necesidades específicas de la zona. Actualmente, algunas especies andinas son utilizadas debido a que sus múltiples aplicaciones mantienen su vigencia, pues en muchos casos se ha comprobado que las cualidades que se les atribuyen por tradición coinciden con las pruebas químicas realizadas en investigaciones científicas (Muñoz, 1987; Font Quer, 1988; Fernández Chiti, 1995; Castro, 1998; Zapater, 2002).

El yacón (*Smallanthus sonchifolius*) es un cultivo andino que ha sido domesticado desde épocas preincaicas y se cultivaba en jardines y huertos caseros. Existen registros de su cultivo en Perú, Bolivia, Colombia, Venezuela, Ecuador y la Argentina (Zardini, 1990; Grau y Rea, 1997; Seminario et al., 2003). Produce una raíz reservante de sabor dulce que puede consumirse cruda, por lo que es apreciada como fruta en las dietas rurales. Tiene atributos nutricionales destacables, es un alimento de bajo contenido calórico, y contiene un alto porcentaje de minerales esenciales importantes en la dieta humana.

Al igual que otros productos de origen andino, el cultivo tradicional del yacón se estaba perdiendo (Tapia et al., 1996). Sin embargo, el interés en esta especie ha sido estimulado por el descubrimiento de la presencia de hidratos de carbono almacenados en sus raíces, como la inulina y los fosfo-oligofruktanos (FOS), así como los principios activos que le otorgan propiedades medicinales hipoglucemiantes (Seminario et al., 2003). El interés en sus propiedades medicinales ha llevado a que el cultivo del yacón aumente significativamente en la región andi-

na, principalmente en Perú, aunque también en Bolivia, Colombia y Ecuador. Además, actualmente se cultiva en otros países como Japón, Nueva Zelanda, Corea, Brasil y países de Europa central (Angulo, 1994; Zosimo Hauman, 1999; Coveña, 2002; Valentova y Ulrichova, 2003; Valentova, Sersen, Ulrichova, 2005).

Tradicionalmente, el yacón se consumía y se consume como fruta fresca o deshidratada en diferentes grados; como fruta fresca es un buen rehidratante por su alto contenido de agua, y además puede prevenir la fatiga y los calambres por su alto contenido de potasio, por lo que los campesinos lo consumían en largas caminatas. Una persona puede consumir entre 500 y 1000 g de yacón por día ya que este nivel de consumo no produce efectos tóxicos o nocivos. En la medicina folclórica andina el yacón es utilizado como remedio para afecciones digestivas, hepáticas, renales y como un antirraquítico (Lavaque, 1983; Tapia, 1990).

El Centro Internacional de la Papa (CIP), en Perú, y el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN) han desarrollado estudios sobre el yacón para mejorar su manejo, difusión y elaboración de diversos productos derivados, tanto alimenticios como medicinales (Tapia et al., 2000; Coveña, 2002; Seminario et al., 2003).

En la Argentina se menciona el noroeste como área productora de *Smallanthus sonchifolius*, en particular las provincias de Salta y Jujuy (Parodi, 1980; Zardini, 1991; Boelcke, 1992; Grau y Rea, 1997; Grau y Kortsarz, 2001). En la provincia de Salta, el cultivo de yacón fue de trascendencia hasta hace unos 30 años; algunos autores hacen referencia al Departamento La Caldera como la zona de producción (Lavaque, 1983; Tapia, 1990; Zardini, 1991; Brown y Grau, 1993; Grau y Rea, 1997; Neuman, 2000; Grau y Kortsarz, 2001; Tobar, 2001). En el norte del Valle de Lerma dio lugar a la toponimia "Los Yacones", una localidad ubicada en esta zona (Lavaque, 1983; Novara, 1984). De acuerdo con algunos autores, en el norte del Valle de Lerma el yacón solo es conocido por algunos campesinos que lo cultivan en sus huertos caseros para su autoconsumo estacional y consumo ocasional durante la festividad religiosa de *Corpus Christi* (Lavaque, 1983; Zardini, 1991; Brown y Grau, 1993; Grau y Kortsarz, 2001).

Esta zona citada como de producción del yacón posee una riqueza de recursos naturales que le otorgan importantes potencialidades, aunque muchos de estos recursos están deteriorados. Los niveles productivos de esta zona son bajos; la ganadería extensiva es una actividad común y es practicada sin manejo adecuado por lo que no se aprovechan las potencialidades del ambiente (Mosa, 1981; Pérez Mulki, 1989; García Bes, 1999). La aparición de nuevas especies de cultivo con mayor demanda en el mercado, así como de nuevas técnicas y formas de uso de la tierra, conducen al deterioro ambiental. Por un lado, existe una alta migración de la población campesina hacia centros urbanos; por otro lado, la inmigración es creciente debido a que esta área, como otras cercanas a la ciudad de Salta, está convirtiéndose en una zona residencial en la que los nuevos pobladores no desarrollan actividades productivas (García Bes, 1999; INDEC 2001).

La reversión del proceso de declinación que atraviesa el norte del Valle de Lerma, así como otras zonas rurales, depende de una presencia eficaz de sus pobladores a partir de una ocupación distinta del espacio, que implique un aprovechamiento racional de los recursos naturales. La agroindustria rural que agregue y deje valor en los sitios de producción, insertándose en ciertos nichos de mercado con productos naturales, orgánicos, ecológicos, etc., es una alternativa viable en la búsqueda de opciones que permitan contribuir a mejorar los ingresos de los habitantes rurales y que al mismo tiempo permitan contribuir en la disminución de los niveles de erosión de la biodiversidad. El yacón, por su rusticidad y por sus propiedades medicinales, puede ser considerado un producto promisorio.

2. Descripción y análisis de la situación actual del cultivo de yacón

Descripción botánica¹

El género *Smallanthus*, perteneciente al Orden Asterales, Familia *Compositae*, comprende 21 especies, distribuidas en la zona andina, desde el norte de Ecuador hasta el noreste de la Argentina. Dos especies se encuentran en Salta, *Smallanthus sonchifolius* (yacón, yacuma, jicama) y *S. macroscyphus* (yacón del campo) (Wells, 1965; Novara, 1984; Tapia, 1990; Zardini, 1991; Grau y Rea, 1997; Herman y Heller, 1997; Neuman, 2000; Seminario et al., 2003).

Smallanthus sonchifolius (Poepp y Endel) H. Robinsosn, fue originalmente clasificada por Wells dentro del género *Polymnia*. Años más tarde, Robinson (1978) determinó que muchas especies del género *Polymnia* en realidad pertenecían a un género descrito por Mackensie en 1933, el género *Smallanthus* (Grau y Rea, 1997).

Los nombres comunes que presenta el yacón en distintos idiomas son los que se detallan a continuación:

Quechua:	yacón yakuma.
Aymara:	aricoma, ancona.
Puhe:	jicama (no es la jicama comercial), jiquima, jikima, jiquimilla.
Español:	yacón, jacón, llacón, arboloco.
Inglés:	yacon – Strawbeir – Jiquima.
Alemán:	Erebirme.

Algunos creen que el término “yacón” es español, pero según el diccionario quechua Lira, *yakku* significa insípido y *unu* es agua; con estos datos se deduce que yacón es una palabra de origen quechua y significa “aguanoso, insípido” (Cárdenas et al., 1969).

¹ Fuente: las fotos presentadas de 1 a 10, igual que la foto de carátula, fueron tomadas por la autora y el equipo de trabajo, durante el desarrollo del estudio.

La planta

El *Smallanthus sonchifolius* es una planta herbácea-perenne, mide de 1 a 2,5 m de altura, presenta uno o varios tallos principales, que son cilíndricos y huecos pilosos, de color verde a púrpura, como se observa en las fotos 1 y 2.



Foto 1. Planta adulta de yacón (*Smallanthus sonchifolius*).



Foto 2. Planta de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) con varios tallos principales.

Las hojas

Son opuestas; de lámina triangular con base truncada; tienen una longitud de 33 cm por 22 cm de ancho; son connatas, auriculadas en la base y presentan bordes dentados; tienen tres venas principales; su superficie es pilosa en la cara superior y pubescente en la cara inferior (Wells, 1965; foto 3).

El número de hojas varía entre 13 y 16 pares por tallo hasta la floración; luego de la floración, la planta solo produce hojas pequeñas, como se observa en la foto 4.

En sus hojas, el yacón posee al menos dos sistemas que lo protegen de los depredadores. Por un lado, existen pelos que les dificultan mecánicamente el acceso a muchos insectos; por otro lado, poseen una elevada densidad de glándulas, probablemente con sesquiterpenos tóxicos, que complementan la acción disuasiva o antagónica (Bork et al., 1997). Gracias a estos recursos las hojas del yacón son poco atacadas por insectos.



Foto 3. Hojas de yacón (*Smallanthus sonchifolius*).



Foto 4. Plantas de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en fase de floración; derecha: detalle del ápice con botones florales.

La inflorescencia

La rama floral es terminal de ramificación dicásica, compuesta de inflorescencias llamadas capítulos de alrededor de 35 mm de diámetro. El capítulo está formado por flores femeninas liguladas, con corola amarilla, que se ubican en la parte externa, y por flores tubulares más pequeñas, funcionalmente masculinas, que se ubican en la parte interna. El involucreo es acampanado y hemisférico, con 5 a 6 brácteas en una sola serie, que envuelve el receptáculo (Wells, 1965; Cabrera, 1978; Seminario et al., 2003; foto 5).

Cada planta puede producir entre 20 y 80 capítulos; cada capítulo presenta entre 14 y 16 flores femeninas, y entre 80 y 90 flores funcionalmente masculinas (foto 6). Las flores femeninas (zigomorfas) abren antes que las masculinas y por lo general se marchitan antes que estas (Grau y Rea, 1997; Seminario y Valderrama, 2002). La presencia de protoginia en las flores estaría indicando que el yacón tiene polinización cruzada y necesita de agentes polinizadores. De acuerdo con Grau y Rea (1997) esto estaría confirmado por la presencia de acúleos o espinas en la superficie, la viscosidad del grano de polen, la viscosidad de las flores femeninas y la secreción de sustancias azucaradas, especialmente en las flores tubulares, que hacen que los capítulos se vean más vistosos.

El fruto es una cipsella piramidal con ángulos no bien definidos y redondeados, de ápice truncado y base ensanchada, en el cual lleva una pequeña cicatriz; en promedio mide 3,7 mm de largo y 2,2 mm de ancho; cien aquenios pesan entre 0,6 y 1,2 g. Las semillas se encuentran unidas al pericarpio solamente por el funículo; son exalbuminadas; las sustancias reservantes se concentran en los cotiledones, por lo que son prominentes y ocupan el mayor espacio en las semillas; en cambio, el embrión es una masa de células no diferenciadas.



Foto 5. Inflorescencias de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en distintas etapas de maduración.



Foto 6. Ubicación de las inflorescencias de yacón (*Smallanthus sonchifolius*).

El yacón produce pocas semillas con bajo poder germinativo que varía entre 15 y 32%; la baja germinabilidad de las semillas podría deberse a las características protogínicas de las flores, la posible autoincompatibilidad, la baja fertilidad del polen, la dormancia o presencia de cubiertas duras e impenetrables de las semillas (Grau y Rea, 1997; Seminario et al., 2003).

La cepa o corona (un rizoma desde el punto de vista morfológico) es un órgano subterráneo que se forma por el engrosamiento de una parte del tallo unido a las raíces, sobre el cual se desarrollan abundantes yemas vegetativas o propágulos; sus tejidos almacenan sustancias de reserva como hidratos de carbono simples y fructooligosacáridos, que sirven de alimento a las yemas cuando van a brotar. (Seminario et al., 2003, foto 7).

Se reconocen dos tipos de raíces: fibrosas y reservantes. Las raíces fibrosas son delgadas y su función es fijar la planta y absorber agua y nutrientes (foto 8). Las raíces reservantes son engrosadas, ovadas o fusiformes semejantes a las raíces de la batata (Zardini, 1991; foto 9). Diferentes factores pueden influir en la forma y el tamaño de las raíces, principalmente la variedad y el tipo de suelos



Foto 7. Raíces y coronas (rizomas) de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en el momento de la cosecha.



Foto 8. Planta completa de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) y detalle de las raíces antes de la tuberización.



Foto 9. Raíces engrosadas de yacón (*Smallanthus sonchifolius*).



Foto 10. Variedad de tamaños y formas de las raíces comestibles de yacón (*Smallanthus sonchifolius*).

donde se desarrollan. Su peso puede fluctuar entre 50 y 1000 g, y es en promedio de 300 a 600 g (Angulo, 1994; Grau y Rea, 1997; Seminario et al., 2003; foto 10).

La cosecha de yacón se realiza cuando la parte aérea de la planta está seca, después de que ocurrieron las heladas, entre fines de junio y septiembre. En el momento de la cosecha se separan las raíces de la cepa (corona) y estas últimas se conservan en un lugar fresco, seco y oscuro, que puede ser un pozo o una habitación hasta el momento de la siembra.

Las raíces cosechadas que no se consumen en el momento, generalmente y según las costumbres, se seleccionan y se colocan al sol en los techos (asolean) para aumentar el sabor dulce para consumir; los excedentes se venden o se guardan en un pozo (separado de las cepas) de alrededor de 50 cm de profundidad, en el que se coloca paja seca en el fondo y donde se acomodan los yacones, hasta el momento de su consumo.

Parientes silvestres

La especie silvestre más cercana al yacón es *Smallanthus siegesbeckius* (DC) H. Robinson, conocido en algunos lugares como “yarita”, con el que guarda bastante similitud morfológica. Los registros de distribución de esta especie en Perú se circunscriben al Cusco, Junín y San Martín, donde crece en estado silvestre o como arvense, invadiendo los campos de cultivo en descanso y los cultivos de café (Seminario et al., 2003).

En la Argentina, su pariente silvestre es *Smallanthus macrocephalus*, conocida como “yacón del campo”, que se encuentra en el noroeste del país entre los 400 y 1800 msnm (Zoluaga, 1999); también se distribuye en Bolivia, Brasil y Paraguay (Wells, 1965). Se diferencia del *S. sonchifolius* porque la parte subterránea es menos desarrollada, las raíces son largas y delgadas (15 a 30 cm de largo y 1 a 3 cm de diámetro), tiene menor número de tallos y mayor número de semillas por capítulo (Parodi y Dimitri, 1980; Novara, 1984; Boelcke, 1992; Grau y Rea, 1997; Kortsarz y Grau, 2001).

Características químicas

La importancia económica del yacón está determinada, básicamente, por los compuestos químicos presentes en sus raíces y en sus hojas, que tienen uso medicinal y alimenticio.

La raíz reservante comestible tiene un alto contenido de agua, entre el 83 y 90% de su peso fresco. El contenido de proteínas, lípidos, vitaminas y minerales de las raíces del yacón es bastante bajo (Seminario et al., 2003; tabla 1). Estas raíces acumulan cantidades importantes de potasio (2282 mg/kg), además de sustancias antioxidantes como ácido clorogénico, triptofano y varias fitoalexinas con actividad antifúngica (Takasugi y Masuda, 1996; Yan et al., 1999; Takenaka et al., 2003; Simonovska et al., 2003).

Los hidratos de carbono (HC) presentes en estas raíces representan el 90% del peso seco de las raíces recién cosechadas. De estos HC, entre el 50 y 70% corresponde a fructooligosacáridos (FOS), y el resto corresponde a sacarosa, fructosa y glucosa (tabla 1).

Los fructooligosacáridos (FOS) presentes en la raíz del yacón 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 β (2°1) y/o β (2°6). Es frecuente encontrar una molécula de glucosa al inicio de la cadena de cada fructano (Wada, 1997; Ninessk, 1999).

En la naturaleza existen diversos tipos de fructanos, pero para la industria alimentaria y la nutrición se considera que los más importantes son la inulina y los FOS (Kirk et al., 1975; Montes, 1985). La diferencia entre los FOS y la inulina radica en el número de moléculas de fructosa que tienen estas cadenas; en la inulina el número varía entre 2 y 60, mientras que en los FOS son más pequeñas y varían entre 2 y 10 (Goto et al., 1995).

Existen, además, diferencias en las propiedades físicas entre la inulina y los FOS, por lo que la aplicación en la industria es diferente. La inulina casi no tiene sabor dulce; su consistencia especial y su baja solubilidad relativa en agua la convierte en un sustituto excelente de las grasas, para la elaboración de helados y postres. Los FOS,

en cambio, son muy solubles en agua, tienen un ligero sabor dulce (entre un 30 y 50% del sabor de la sacarosa) y pueden ser utilizados como sustitutos hipocalóricos del azúcar común (Seminario et al., 2003).

Cuando son consumidos, los FOS proporcionan solo la cuarta parte del valor calórico de los azúcares comunes; son reconocidos como un tipo de fibra dietética y se emplean como insumos para la elaboración de alimentos funcionales o nutraceuticos (Wada, 1982; Hidaka, 1986; Fukai et al., 1992; Kamada et al., 2001; Pedreschi et al., 2003).

En estudios realizados sobre la composición química del yacón, Ohyama et al. (1990) determinaron que los azúcares que contiene su raíz corresponden a fructooligosacáridos y no a inulina.

La composición química de las raíces de yacón cambia en sus diferentes estados de desarrollo; se puede considerar que la concentración de oligofruktanos aumenta a medida que la planta madura y alcanzan su máximo valor en el estado senescente o un poco antes (Asami et al., 1991; Fukai et al., 1997; Yan et al., 1999; Kamada et al., 2001).

La conversión de los FOS en azúcares simples tiene lugar inmediatamente después de la cosecha, y su velocidad de conversión es especialmente rápida en los primeros días (Graefe et al., 2003). La hidrólisis de FOS en azúcares simples (glucosa, fructosa y sacarosa) puede llegar a tener gran relevancia en el tratamiento posterior a la cosecha y la comercialización de yacón. El soleado es una costumbre tradicional que se practica para lograr que las raíces se tornen más dulces; esto se produce porque se deshidratan y pierden un 40% de su peso fresco y porque una parte importante de los FOS se convierte en azúcares simples. Sin embargo, Graefe (2003) ha determinado que la concentración en las raíces soleadas es la misma, incluso ligeramente superior, que en las raíces frescas.

La raíz de yacón tiene menos calorías que la mayoría de los alimentos que se conocen, entre 15 y 20 kcal/100g, por lo que se lo puede considerar, además, como un alimento alternativo para dietas hipocalóricas (Seminario et al., 2003, tabla 2).

La composición química de las hojas ha sido estudiada en los últimos años; se sabe que tiene sesquiterpenos, lactonas, flavonoides y un grupo de sustancias que han

Tabla 1

Composición química promedio por kg de materia comestible fresca de raíces de yacón (*Smallanthus sonchifolius*), procedentes de Perú, Bolivia, Ecuador y la Argentina.

Variable	Promedio	Mínimo	Máximo
Materia seca (g)	115	98	136
Carbohidratos totales (g)	106	89	127
Fructanos (g)	62	31	89
Fructosa libre (g)	8,5	3,9	21,1
Sacarosa libre (g)	14	10	19
Proteínas (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: extraída de Seminario et al., 2003.

sido estudiadas y descritas recientemente (Takenaka et al., 2003; Simonovska et al., 2003; Valentova y Ulrichova, 2003; Valentova, 2004; Mercado et al., 2006). Varios de estos compuestos tienen actividad fungicida, antibacteriana y antioxidante (Inoue, 1995; Atsushi et al., 1995; Goto et al., 1995; Volpato et al., 1997; Ninessk, 1999; Aybar et al., 2001; Valentova et al., 2003; Lin et al., 2003). Además, se demostró que la infusión de hojas de yacón tiene propiedades hipoglucemiantes. Actualmente se han aislado los principios activos que le confieren esta propiedad aunque no está determinado específicamente cuál es o cuáles son los compuestos de mayor actividad (Pedreschi et al., 2003; Takenaka et al., 2003; Valentova y Ulrichova, 2003; Valentova, 2004).

Propiedades medicinales

A diferencia de los azúcares comunes que se absorben en el intestino delgado en forma de glucosa, los FOS son resistentes a la digestión, pasan directamente al colon donde se fermentan por completo hasta formar ácidos grasos de cadena corta; por esto los FOS no tienen incidencia en la elevación de los niveles de glucosa en la sangre. Esto, sumado al bajo contenido calórico hace que el consumo de FOS sea recomendado como sustituto de la sacarosa (azúcar común). Además, los FOS estimulan el crecimiento de bifidobacterias, reconstituyendo la microflora intestinal, y se considera, por ello, un alimento probiótico asociado a una serie de propiedades benéficas sobre la salud (Asami et al., 1991; Cobeña, 2002; Graefe, 2003).

Algunos autores (Wada, 1982; Hidaka, 1986; Fukai et al., 1992; Kamada et al., 2001; Seminario et al., 2003; Valentova y Ulrichova, 2003) han señalado que los FOS son importantes en la prevención y/o disminución de los riesgos de algunas enfermedades o afecciones tales como: constipación; inhibición de diarreas, relacionada con el efecto inhibitorio de las bifidobacterias sobre las bacterias patógenas grampositivas y gramnegativas; reducción de riesgos de osteoporosis, debido a un incremento en la asimilación de calcio en los huesos; control de diabetes, ya que tiene propiedades hipoglucemiantes; reducción de los riesgos de arteriosclerosis cardiovascular, especialmente la asociada con la hipertrigliceridemia, ya que reduce el nivel de lípidos en la sangre, y reducción de los riesgos de cáncer del colon.

La diabetes es una enfermedad funcional riesgosa por las complicaciones en las que deriva. Para reducir esos riesgos, los pacientes deben evitar el sobrepeso y mantener un estricto control de los niveles de glucosa, colesterol y triglicéridos en la sangre. El yacón podría ser una buena

alternativa en la programación de dietas hipocalóricas por las propiedades antes mencionadas y las hojas de yacón deshidratadas para té son un importante complemento en los tratamientos de control y regulación de esta enfermedad.

El cultivo

Smallanthus sonchifolius se cultiva tradicionalmente con tres sistemas: monocultivo, asociado y huerto familiar. Los cultivos con los que se asocia son poroto arbustivo o semiarbustivo, maíz para choclo, tomate, repollo, entre otros; en el huerto familiar crece junto a hierbas, arbustos y árboles (Levy, Grau y Braun, 1995; Seminario et al., 2003).

Existen diferentes formas hortícolas de yacón, tales como la blanca, anaranjada y morada, y dentro de cada una de las formas habría aún mayor variabilidad (Angulo, 1994; Garu y Rea, 1997; Portillo, 1998; Neuman, 2000; Lebeda, 2002).

El yacón puede cultivarse en altitudes entre los 1100 y 2500 msnm; sin embargo, las altitudes medias entre 1500 y 2000 msnm son mejores para la producción de raíces reservantes. Las zonas bajas serían mejores para la producción de "semillas" (propágulos), pero el rendimiento de raíces es menor (Seminario et al., 2003).

El desarrollo óptimo del yacón ocurre entre los 18 y 25 °C de temperatura. El follaje es capaz de tolerar altas temperaturas sin síntomas de daño si se le proporciona suficiente agua. Sin embargo, las partes aéreas son sensibles a las heladas, por eso se puede cultivar todo el año en sitios donde no hay presencia de heladas, o programar la siembra de manera que las heladas se presenten al final del cultivo (Angulo, 1994). La formación adecuada de raíces reservantes parece estar relacionada con la ocurrencia de amplitudes térmicas diarias pronunciadas (Garu y Rea, 1997; Kortsarz y Grau, 2001).

El yacón tiene una demanda hídrica de entre 650 y 1000 mm de precipitación anuales a lo largo del cultivo. Este requerimiento permite realizar el cultivo en secano, en sitios con este régimen de lluvias, aunque se restringe el período de siembra. En este caso se recomienda sembrar cuando empiezan las precipitaciones pluviales, entre septiembre y octubre.

La planta puede sobrevivir a largos períodos de sequía, sin embargo, la productividad de raíces reservantes es significativamente afectada por estas condiciones. El ex-

ceso de riego también puede afectar las raíces porque se producen rajaduras, y esto puede provocar pudriciones durante el almacenamiento, además de afectar la calidad externa y el valor en el mercado. El yacón se adapta a un rango muy amplio de variedad de suelos, pero responde mejor a suelos ricos, moderadamente profundos a profundos, sueltos (entre francos y arenosos), con buena estructura y bien drenados. En suelos pesados, el crecimiento de las raíces comestibles es pobre. Este cultivo puede tolerar un amplio rango de pH del suelo, desde ácidos hasta ligeramente alcalinos (Angulo, 1994; Ramos et al., 1999).

La siembra se realiza entre septiembre y noviembre. Los propágulos se colocan en líneas, uno por golpe. El distanciamiento entre plantas puede variar entre 0,5 y 0,6 m, y entre surcos se dejan entre 0,8 y 1,2 m, es decir que se pueden disponer aproximadamente de 10 a 12 mil plantas por ha. Se evaluó el rendimiento del yacón sembrado con diferentes densidades y se llegó a la conclusión de que está fuertemente afectado por la densidad de siembra; con el menor distanciamiento (0,8 x 1,0 m) obtuvo mayor rendimiento (Amaya, 2002 citado en Seminario et al., 2003). Sin embargo, el tamaño de las raíces reservantes fue menor que el obtenido con distanciamientos mayores (1,0 x 1,4 m), existiendo una compensación entre rendimiento en peso y tamaño por pieza. Doo et al., (2001) obtuvieron resultados similares; con distanciamientos de 0,50 x 0,70 m la proporción de raíces reservantes pequeñas (menos de 200 g) fue mucho mayor.

El cultivo no requiere de muchas prácticas culturales. Con frecuencia se realiza un desmalezado a los 20 días de la siembra, y si hace falta, se efectúan desmalezados posteriores hasta que el crecimiento de la planta cierre los surcos e impida el desarrollo de malezas. El riego ligero es necesario solo en los casos en que se producen largos períodos de sequía inmediatamente después de la siembra o hacia el final del ciclo, ya que la mayor parte del desarrollo de las plantas se produce en el período de lluvias (Seminario et al., 2003). En general no se utilizan fertilizantes para el cultivo del yacón, pero algunos estudios han evaluado el efecto de diferentes tipos de abonos (diferentes combinaciones de nitrógeno y potasio, humus de lombriz, y concluyen que el rendimiento se incrementa considerablemente (Seminario et al., 2003). El ciclo total del cultivo puede variar entre 8 y 12 meses, dependiendo de la zona donde se cultiva; en zonas más templadas o de menor altitud la maduración de las raíces se adelanta.

La cosecha se realiza cuando termina la floración y el follaje empieza a secarse. En la zona andina esta operación se realiza en forma manual, con pico, barreta o azadón. Primero se procede a cortar la parte aérea, luego se remueve suficiente cantidad de tierra alrededor de las plantas como para evitar realizar esfuerzo al retirar la corona y las raíces, evitando así que se dañen. Las raíces se separan de la cepa con el mayor cuidado posible para evitar heridas que luego pudieran contaminarse o pudrirse. Las cepas se dejan en el campo en pozos de alrededor de 50 cm de profundidad colocando paja entre medio de ellas, o bien se guardan en un cuarto oscuro cubiertas con paja hasta el momento de la siembra.

Para consumo en fresco, las raíces son expuestas al sol durante 3 a 8 días. Para el almacenamiento por períodos largos, las raíces son colocadas en cuartos oscuros, fríos (4 a 12 °C) y secos para evitar la deshidratación y la conversión de los FOS en azúcares simples. En estas condiciones las raíces del yacón pueden ser guardadas durante algunos meses. El yacón tiene una alta productividad; algunos reportes del cultivo en diferentes sitios del mundo indican una variación desde 16 a 100 toneladas por ha, siendo en promedio 41,67 con un error estándar de ± 5.12 (extraído de Seminario et al., 2003).

El yacón puede cultivarse asociado a otras especies tanto herbáceas como arbustivas y arbóreas. En Perú se realiza el cultivo bajo riego asociado al maíz para choclo; la siembra es simultánea intercalando surcos de yacón y maíz. El maíz se cosecha a los 5 meses y el yacón queda solo en el campo en el momento en que este comienza su etapa de crecimiento acelerado. Los estudios preliminares sobre el rendimiento de estos cultivos asociados son promisorios, aunque se requieren más ensayos (Seminario et al., 2003). En un estudio realizado en Ecuador por Ramos et al. (1999), se evaluó el rendimiento en sistemas agroforestales; estos autores indican que el rendimiento del yacón no fue afectado por la asociación, aunque se notó un efecto positivo de la sombra.

La forma más común de propagación que se utilizó y se utiliza tradicionalmente es por siembra directa de trozos (propágulos) de la cepa o corona. Consiste en seccionar la corona en trozos siguiendo las formas naturales en que se encuentran ubicados los propágulos. Estos trozos se dejan airear o bien se cubren con cenizas o lejías (por ejemplo, hipoclorito de sodio), para protegerlos de los patógenos, y luego son sembrados definitivamente en el terreno (Angulo, 1994; Grau y Rea, 1997; Seminario et al., 2003).

3. Sanidad del cultivo

Las condiciones sanitarias del suelo son de vital importancia para la implantación del cultivo, por lo que se efectuaron los análisis correspondientes antes y después de realizada esta. También se realizaron los controles y la recolección del material con alteraciones, que se estudiaron en el laboratorio, de acuerdo con la planificación presentada oportunamente.

Suelo. Metodología

Previo a la implantación del cultivo y una vez cosechado el yacón se extrajeron del predio cinco muestras de suelo de 80 – 100 g cada una. Se descartaron los 5 cm de la capa superior dado que contenían abundantes restos orgánicos. Con todo el material se generó una mezcla compuesta.

En el laboratorio, el suelo se oreó y pulverizó con el fin de acondicionarlo para someterlo al “Método de las diluciones sucesivas”. Los análisis se realizaron utilizando alícuotas de 1 ml de suspensión (10⁻³) por caja de Petri con medio de Martin. Estas se incubaron en estufa a 28 °C durante cinco días.

Se efectuaron cinco repeticiones por dilución.

Resultados en las muestras

a. Resultados en las muestras previas al cultivo

El análisis cuantitativo arrojó una densidad de 180.000 unidades formadoras de colonias por gramo de suelo (ufc/g).

En lo referente a la composición de la microbiota adherida a las partículas de suelo, el mayor número correspondió a los géneros fúngicos *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Cladosporium*, *Fusarium*. Entre estos representantes no se determinaron especies fitopatógenicas.

b. Resultados en las muestras posteriores al cultivo

En este caso, los valores promedios fueron de 106.600 (ufc/g). Los géneros aislados fueron *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Cladosporium*, *Cephalosporium*, *Gonytrichum* y *Trichoderma*. Todos ellos con actividad saprofítica.

Plantas. Metodología

Los monitoreos se realizaron semanalmente. En escasas oportunidades se colectaron hojas que presentaban lesiones necróticas, de forma irregular, de color marrón oscuro, con halo clorótico difuso; estas manchas estaban, en general, delimitadas por nervaduras secundarias. El material se procesó en el laboratorio usando la técnica de desinfección superficial. Los sustratos utilizados para los aislamientos fueron agar papa glucosado y medio enriquecido. Las cajas se mantuvieron a la temperatura del laboratorio, sometidas a 12/12 horas luz/oscuridad, para favorecer la esporulación. Se siguió la evolución de las colonias durante 15 días.

Resultados Finales

Por las características de las colonias desarrolladas y de las evaluaciones morfobiométricas de las estructuras (subículo, estroma, conidióforo y conidios) se determinó que el agente causal de las manchas necróticas es un hongo perteneciente al género *Cercospora*.

Cabe mencionar que durante los monitoreos se observaron, en forma excepcional, hojas con manifestaciones ligeramente edematosas, de naturaleza fisiogénica.

Los insectos colectados en la plantación de yacón durante los sucesivos relevamientos fueron:

Corecoris fuscus (Hemiptera Coreidae)
Edessa meditabunda (Hemiptera Pentatomidae)
Dichroplus vittatus (Orthoptera Acrididae)
Beacris punctulatus (Orthoptera Acrididae)
Staurorhectus longicornis (Orthoptera Acrididae)
Tropicomyia sp. (Diptera Agromyzidae)
Atta sp (Hymenoptera Formicidae)
Camponotus sp. (Hymenoptera Formicidae)
Ephedrus sp. (Hymenoptera Braconidae).

La intensidad de los daños provocada por ellos en la plantación no fue significativa porque la densidad de población fue baja.

Dado que la cosecha de las batatas del yacón se realizó en tres etapas, se tomaron muestras en cada una de ellas. Solo en una oportunidad se colectaron algunas batatas afectadas por una podredumbre bacteriana. Se determinó que la bacteriosis era de naturaleza saprofitica; se desarrolló en el órgano vegetal como consecuencia de lesiones mecánicas, que sirvieron de puerta de entrada a las bacterias para que degradaran el sustrato.

Conclusiones

En base al seguimiento realizado durante todo el ciclo de cultivo 2007, se puede concluir que la sanidad del yacón resultó excelente. No se registraron enfermedades, ni plagas insectiles que afectaran el rendimiento o la calidad del producto final. Esta especie posee rusticidad y está adaptada a las condiciones agroecológicas de la zona.

Se debe tener en cuenta que el cultivo estudiado se desarrolló en un área pequeña, donde las plantas en general se muestran sanas, pero debido a que el yacón no se ha sembrado hasta ahora en nuestra región con un sentido comercial a gran escala, por ahora las enfermedades y plagas no son importantes, y entonces resulta difícil prever cuáles serán las enfermedades que tendrán un impacto importante en su rendimiento.

4. Análisis químico de las hojas de yacón

El uso de hierbas y otras medicinas naturales posee una larga historia; sin embargo, el empleo de una planta completa o partes de ella en infusiones o el material vegetal crudo para usos terapéuticos, está condicionado por:

- La variabilidad de la masa del componente activo en el material vegetal en función del área geográfica donde crece la especie vegetal.
- La estación del año en que es recolectada la planta.
- Las diferentes partes utilizadas de la planta y las condiciones climáticas y ecológicas del medio donde se desarrolla.

Esto puede llevar a la coexistencia de compuestos que pueden producir efectos indeseables como sinergismo, antagonismos e impredecibles modulaciones de la bioactividad.

Pero existe una serie de ventajas al trabajar con los productos naturales aislados y en alto estado de pureza, tales como:

- Pueden ser administrados en dosis reproducibles con claros beneficios desde el punto de vista experimental o terapéutico.
- Permite el desarrollo de ensayos analíticos de compuestos particulares o de un grupo de ellos.
- Permite la determinación estructural de los compuestos bioactivos y así elaborarlos sintéticamente, realizarles modificaciones estructurales y estudiar su mecanismo de acción.

La obtención de un compuesto activo puro se puede realizar por medio de un fraccionamiento biodirigido. Este consiste en la evaluación de una determinada actividad biológica, tanto en el extracto crudo como en cada una de las diferentes fracciones obtenidas luego de cada proceso de purificación. De esta forma solo se estudian aquellas fracciones que presentan mayor actividad biológica.

Análisis químico cualitativo por cromatografía en capa delgada

Las hojas utilizadas para los análisis químicos fueron hojas maduras colectadas en dos oportunidades: la primera a los 134 días, y la segunda a los 164 días a partir de la fecha de siembra. En el laboratorio las hojas fueron secadas de dos maneras: secado natural y secado con aire forzado a una temperatura de 38 °C a 40 °C (tabla 2). Posteriormente se obtuvieron extractos acuosos de las hojas secas. Se aplicaron dos metodologías:

- Obtención de Infusiones: se agregaron 400 ml de H₂O destilada hirviendo a 20 g de hojas secas, se dejó extraer durante 5 minutos mientras se enfriaba a temperatura ambiente.
- Obtención por decocción: se agregaron 20 g de hojas secas a 400 ml de H₂O destilada hirviendo y se dejó hervir durante 5 minutos.

Tabla 2

Extractos acuosos de hojas secadas a temperatura ambiente y con aire forzado.

	Secado a temp. ambiente	Secado a 38 °C - 40 °C				
Hojas	Enteras	Enteras	Lavadas aplastadas	Lavadas trozadas	Cortadas lavadas	Enteras lavadas
Infusión	I1	I2	3	4	5	6
Decocción	D1	D2	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

Después de la obtención de los extractos, se efectuó un análisis químico cualitativo mediante cromatografía en capa delgada de fase reversa C18 (FRCCD). Las placas fueron desarrolladas en tres sistemas de solventes: metanol-agua (2:3) (Sistema A), acetato de etilo-agua-ácido acético (21:4:5) (Sistema B) y n-hexano-acetato de etilo-ácido acético (18:19:3) (Sistema C).

La detección de los diferentes compuestos se realizó por espectroscopia UV-visible con dos longitudes de onda ($\lambda = 254 \text{ nm}$ y $\lambda = 366 \text{ nm}$); y con solución metanólica de α, α - difenil- β -picril hidracilo (DPPH) al 0,1% en metanol.

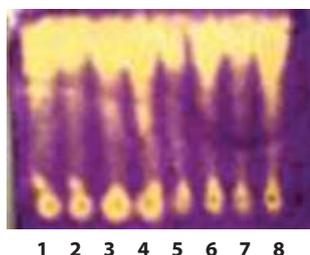


Figura 1. FRCCD de extractos de hojas de yacón, solvente de desarrollo: metanol-agua (2:3), detección con solución de DPPH.

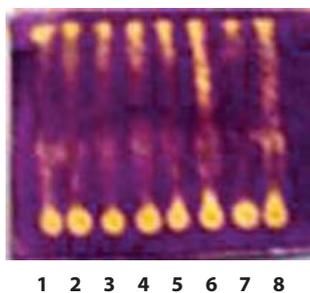


Figura 2. FRCCD de extractos de hojas de yacón, solvente de desarrollo: acetato de etilo-agua-ácido acético (21:4:5), detección con solución de DPPH.

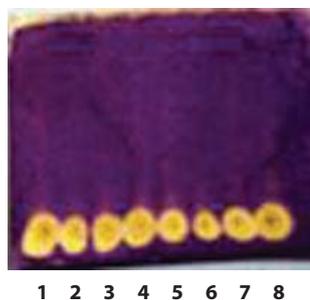


Figura 3. FR CCD de extractos de hojas de yacón, solvente de desarrollo: n-hexano-acetato de etilo-ácido acético (18:19:3), detección con solución de DPPH.
Aplicaciones: 1: I1, 2: D1, 3: I2, 4: D2, 5: I3, 6: I4, 7: I5, 8: I6.

Conclusión

Los resultados obtenidos mediante el análisis cualitativo por cromatografía en placa delgada de fase reversa nos muestra que los diferentes procesos de secado no alteran la composición química de las hojas de yacón. En literatura solo se reportaron estudios químicos con extractos de hojas secadas a temperatura ambiente (Valentova et al., 2005; Simonovska et al., 2003).

Estudio biodirigido

a. Obtención de extractos y estudio de actividad antioxidante.

Se molieron hojas y raíces y posteriormente se efectuó la decocción de ellas durante 15 minutos. Luego se filtró al vacío y después el filtrado obtenido fue llevado a sequedad hasta el peso constante; de esta manera se obtienen los extractos crudos.

Hojas secas (200 g.)

Decocción en H₂O (destilada, 2L)

Reducción del volumen de solvente en liofilizador

Evaporación con sequedad en atmósfera de N₂ a 30 °C

Masa de extracto seco: 20,1050 g.

Raíces secas (200 g.)

Decocción en H₂O (destilada, 2L)

Reducción del volumen de solvente en liofilizador

Evaporación con sequedad en atmósfera de N₂ a 30 °C

Masa de extracto seco: 15,12 g.

Se evaluó la potencial actividad antioxidante de los extractos obtenidos según técnica descripta (Dickson y col., 2007). Análisis cuantitativo por espectroscopia UV-visible: se mide la absorbancia a $\lambda = 516 \text{ nm}$ de una solución blanco (Ab) y las soluciones de las muestras a ensayar (Am). Solución blanco: 2mL de solución metanólica de DPPH (20 mg/mL) se mezclan con 1 mL de metanol; solución muestra: 2mL de solución de DPPH se mezclan con 1 mL de solución del extracto, fracción o compuesto a ensayar.

El porcentaje de actividad antioxidante se calcula como:

$$\% \text{ AAO} = (1 - \text{Am}/\text{Ab}) \times 100$$

Todos los experimentos se realizaron por triplicado y se midieron las absorbancias en tiempo cero y a los 15 minutos.

Los resultados obtenidos revelan que el extracto obtenido por decocción de hojas presenta mayor actividad antioxidante (tablas 3 y 4). Por estos resultados solo continuamos con el estudio del extracto de hojas.

Tabla 3. Actividad antioxidante del extracto acuoso de hojas.

Conc (µg/mL)	t= 0 Abs.± DE ^a	%AAO ^b	t = 15 min. Abs. ± DE ^a	%AAO ^b
0	0,62 ± 0,02		0,62 ± 0,02	
10	0,64 ± 0,01	32,7	0,66 ± 0,01	30,0
50	0,53 ± 0,05	37,7	0,59 ± 0,01	42,6
100	0,49 ± 0,02	39,3	0,47 ± 0,01	50,8
250	0,33 ± 0,01	44,3	0,26 ± 0,01	58,3
500	0,20 ± 0,01	65,2	0,16 ± 4,2.10 ⁻³	74,3

^a Absorbancia ± desviación estándar.
^b Porcentaje de actividad antioxidante.

Tabla 4. Actividad antioxidante del extracto acuoso de raíces.

Conc (µg/mL)	t= 0 Abs.± DE ^a	%AAO ^b	t = 15 min. Abs. ± DE ^a	%AAO ^b
0	0,62 ± 0,02		0,62 ± 0,02	
10	0,81 ± 0,01	-30,0	0,72 ± 3,5.10 ⁻²	-15,6
50	0,69 ± 0,01	-10,8	0,71 ± 0,01	-14,0
100	0,68 ± 0,01	-9,1	0,68 ± 0,01	-9,1
250	0,67 ± 0,01	-7,5	0,65 ± 0,01	-4,3
500	0,65 ± 0,03	-4,3	0,56 ± 0,03	-10,1
1000	0,65 ± 0,03	-4,3	0,40 ± 0,03	35,8

^a Absorbancia ± desviación estándar.
^b Porcentaje de actividad antioxidante.

b. Fraccionamiento del extracto de hojas

Se fraccionaron 10 g del extracto acuoso de hojas por cromatografía en columna flash de fase reversa (silica gel C-18, Merck), eluida con: metanol: H₂O (2:8) (fracción 1), metanol: H₂O (1:1) (fracción 2), metanol: H₂O (8:2) (fracción 3) y metanol (fracción 4).

Se evaluó la potencial actividad antioxidante de las cuatro fracciones obtenidas para determinar cuál de ellas presentaba mayor actividad biológica, y posteriormente abocarnos al aislamiento de los metabolitos secundarios presentes en ella. Los resultados se muestran en las tablas 5, 6, 7 y 8.

Tabla 5. Actividad antioxidante de fracción 1.

Conc (µg/mL)	t= 0 Abs.± DE	%AAO	t = 15 min. Abs. ± DE ^a	%AAO
0	0,61 ± 0,01		0,61 ± 0,01	
10	0,38 ± 0,01	37,7	0,29 ± 4,9.10 ⁻³	52,5
50	0,33 ± 0,01	45,9	0,22 ± 0,02	63,9
250	0,20 ± 0,01	67,2	0,06 ± 3,5.10 ⁻³	90,2
500	0,12 ± 0,03	80,3	0,02 ± 7,1.10 ⁻³	96,7

^a Absorbancia ± desviación estándar.
^b Porcentaje de actividad antioxidante.

Tabla 6. Actividad antioxidante de fracción 2.

Conc (µg/mL)	t= 0 Abs.± DE	%AAO	t = 15 min. Abs. ± DE ^a	%AAO
0	0,61 ± 0,01		0,61 ± 0,01	
10	0,39 ± 0,01	36,0	0,29 ± 4,9.10 ⁻³	36,0
50	0,35 ± 0,01	42,6	0,22 ± 0,02	49,2
250	0,27 ± 0,03	55,7	0,06 ± 3,5.10 ⁻³	95,1
500	0,22 ± 0,01	63,9	0,02 ± 7,1.10 ⁻³	96,7

^a Absorbancia ± desviación estándar.
^b Porcentaje de actividad antioxidante.

Tabla 7. Actividad antioxidante de fracción 3.

Conc (µg/mL)	t = 0 Abs. ± DE	%AAO	t= 15 min. Abs. ± DE ^a	%AAO
0	0,61 ± 0,01		0,61 ± 0,01	
10	0,35 ± 0,05	42,6	0,31 ± 3,5.10 ⁻³	49,2
50	0,28 ± 0,02	54,1	0,27 ± 0,06	55,7
250	0,13 ± 1.4.10 ⁻³	78,7	0,16 ± 0,01	73,8
500	0,09 ± 0,02	85,2	0,04 ± 0,03	93,4

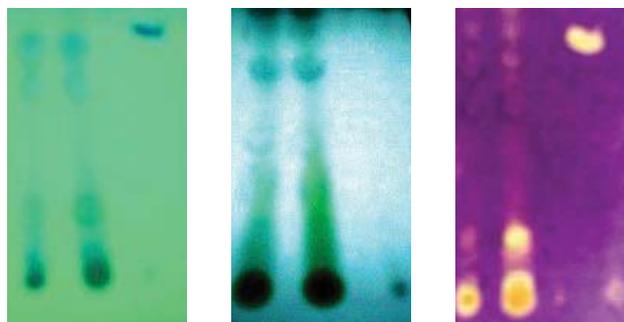
^a Absorbancia ± desviación estándar.^b Porcentaje de actividad antioxidante.**Tabla 8.** Actividad antioxidante de fracción 4.

Conc (µg/mL)	t = 0 Abs. ± DE	%AAO	t= 15 min. Abs. ± DE ^a	%AAO
0	0,61 ± 0,01		0,61 ± 0,01	
10	0,38 ± 3,5.10 ⁻³	37,7	0,39 ± 4,2.10 ⁻³	36,0
50	0,38 ± 0,01	37,7	0,39 ± 0,06	36,0
250	0,37 ± 1.4.10 ⁻³	39,3	0,35 ± 0,01	42,6
500	0,34 ± 0,02	44,3	0,30 ± 0,03	50,8

^a Absorbancia ± desviación estándar.^b Porcentaje de actividad antioxidante.

Las fracciones 1 y 2 exhiben potentes actividades antioxidantes. Además, ambas fracciones muestran comportamientos similares. Fracción 3 también manifiesta actividad antioxidante, pero de menor magnitud que las anteriores. Fracción 4 solo exhibe propiedades antioxidantes a las más altas concentraciones testeadas. Estos resultados sugieren que las dos primeras fracciones podrían contener los mismos metabolitos. Por esta razón se efectuó un análisis químico cualitativo por cromatografía en placa delgada de sílica gel (CCD) y cromatografía en placa delgada de fase reversa (CCDFR). Se utilizó como solvente de elución benceno: acetona: ácido acético (3:2:0,5) y se revelaron con lámpara UV254. También se utilizaron otros reactivos cromogénicos:

- I. Solución de vainillina al 1% en etanol, H₂SO₄ al 20% en etanol, seguida de calentamiento.
- II. Solución metanólica de DPPH al 0,1% m/V.



Referencias: (a) CCD, revelada con lámpara UV254; (b) CCD revelada con vainillina; (c) CCD revelada con DPPH. 1- fracción 1, 2- fracciones 2, 3- fracciones 3 y 4- fracción 4.



Referencias: (d) CCDFR, revelada con lámpara UV254. 1 - fracciones 1, 2, 3, fracciones 2, 3 - fracción 3.

Los resultados obtenidos por cromatografía en placa, confirman que las fracciones 1 y 2 contienen idénticos metabolitos secundarios. Mientras que las fracciones 3 y 4 no contienen los compuestos presentes en las dos primeras fracciones. El cromatograma (c) muestra que la fracción 3 posee un compuesto con actividad antioxidante.

Conclusión

Estos resultados sugieren que los probables metabolitos activos se encuentran en las fracciones 1, 2 y 3.

c. Estudios espectroscópicos de las fracciones obtenidas

Estudios previos en especies del género *Smilax*, recolectadas en la Provincia de Tucumán revelan que *S. sonchifolius* (yacón) contiene diversas lactonas sesqui-

terpénicas: enydrina, uvedalina, polymatina B, fluctuana y sonchifolina (Mercado y col., 2006). La actividad hipoglucemiante de esta especie se atribuye al componente mayoritario enydrina (Patente japonesa N° 2001247461) (Schorr y col., 2005). Sin embargo, no existen reportes en literatura que verifiquen experimentalmente dicha propiedad.

Por otra parte, el estudio de *S. macroscyphus* (yacón del campo) reveló que la decocción de hojas en esta especie tiene actividad hipoglucemiante y se sugiere que el principio activo más importante es la lactona sesquiterpénica polymatina A (Cabrera y col., 2006). Cabe destacar que en esta especie no se detectó la presencia de enydrina, a la que se considera responsable de la actividad hipoglucemiante en yacón.

Estos reportes sugieren que los compuestos responsables de la actividad hipoglucemiante en el género *Smallanthus*, son lactonas sesquiterpénicas. Y como la composición química de las plantas puede variar por la ubicación geográfica del lugar de recolección, nosotros realizamos un estudio por Resonancia Magnética Nuclear de hidrógeno de las distintas fracciones obtenidas, para determinar si existen lactonas sesquiterpénicas en el extracto de yacón.

Los espectros de Resonancia Magnética Nuclear de Hidrógeno de las fracciones se muestran a continuación (figuras 4, 5, 6 y 7).

Este espectro muestra que existe una mezcla de metabolitos secundarios de distintos núcleos; se observan señales de lactonas sesquiterpénicas, compuestos fenólicos y compuestos glicosilados.

También muestra que existe una mezcla de distintos compuestos terpenoides. El espectro ampliado (figura 5) exhibe señales características de lactonas sesquiterpénicas.

El espectro de la fracción 4 exhibe señales de hidrocarburos y ceras. No se detecta la presencia de lactonas sesquiterpénicas.

Conclusión

El análisis de los espectros de RMN de hidrógeno nos revela que existen diversas lactonas sesquiterpénicas. Además, este estudio confirma que las fracciones 1 y 2 contienen los mismos metabolitos secundarios y que la composición química de la fracción 3 difiere de las anteriores.

Estudios de actividad hipoglucemiante

Se obtuvo el extracto crudo de hojas de yacón (secado en estufa), para realizar la evaluación de la probable actividad hipoglucemiante. Los estudios de actividad biológica se realizaron en la Facultad de Bioquímica y Farmacia de la Universidad de Buenos Aires en la cátedra de Farmacología, bajo la dirección de la Dra. Cristina Acevedo, quien informa:

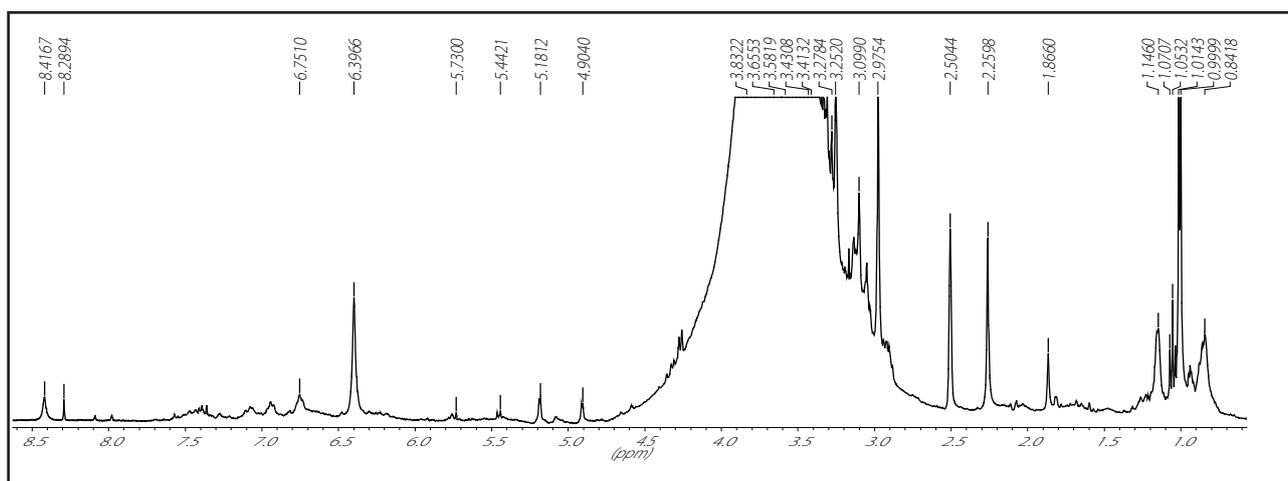


Figura 4. Espectro de 1H RMN de fracción 1 (400 MHz, CDCl3, TMS).

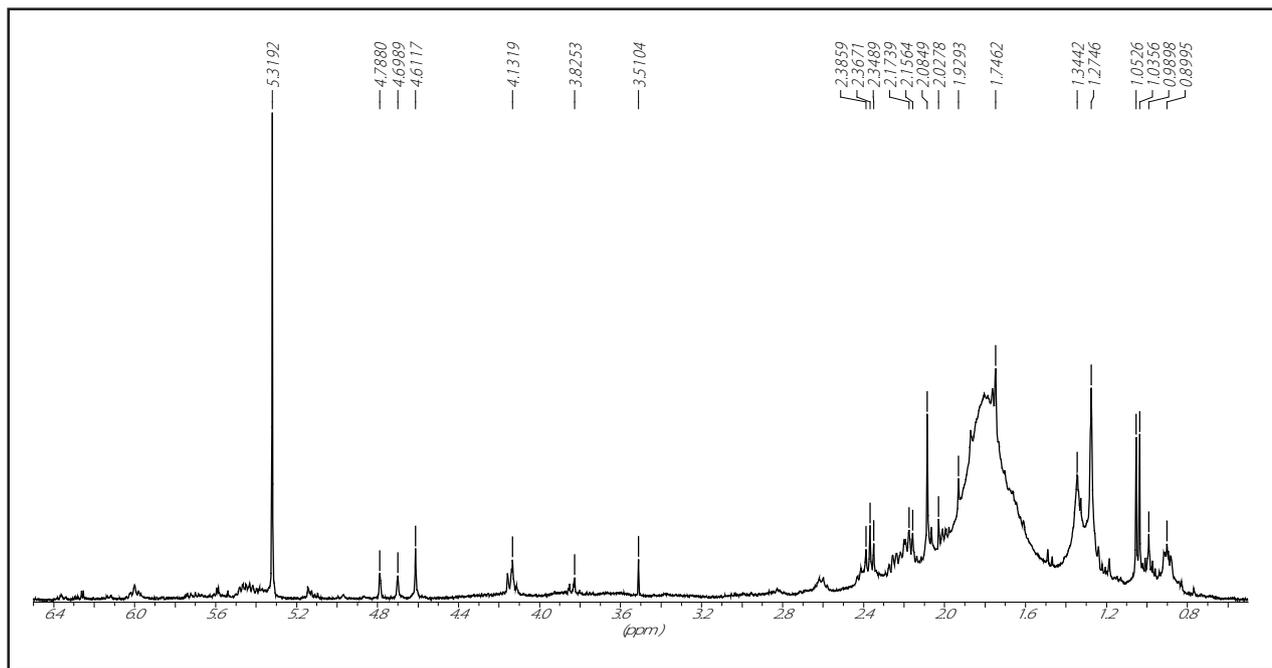


Figura 5. Espectro de 1H RMN de fracción 3 (400 MHz, CDCl₃, TMS).

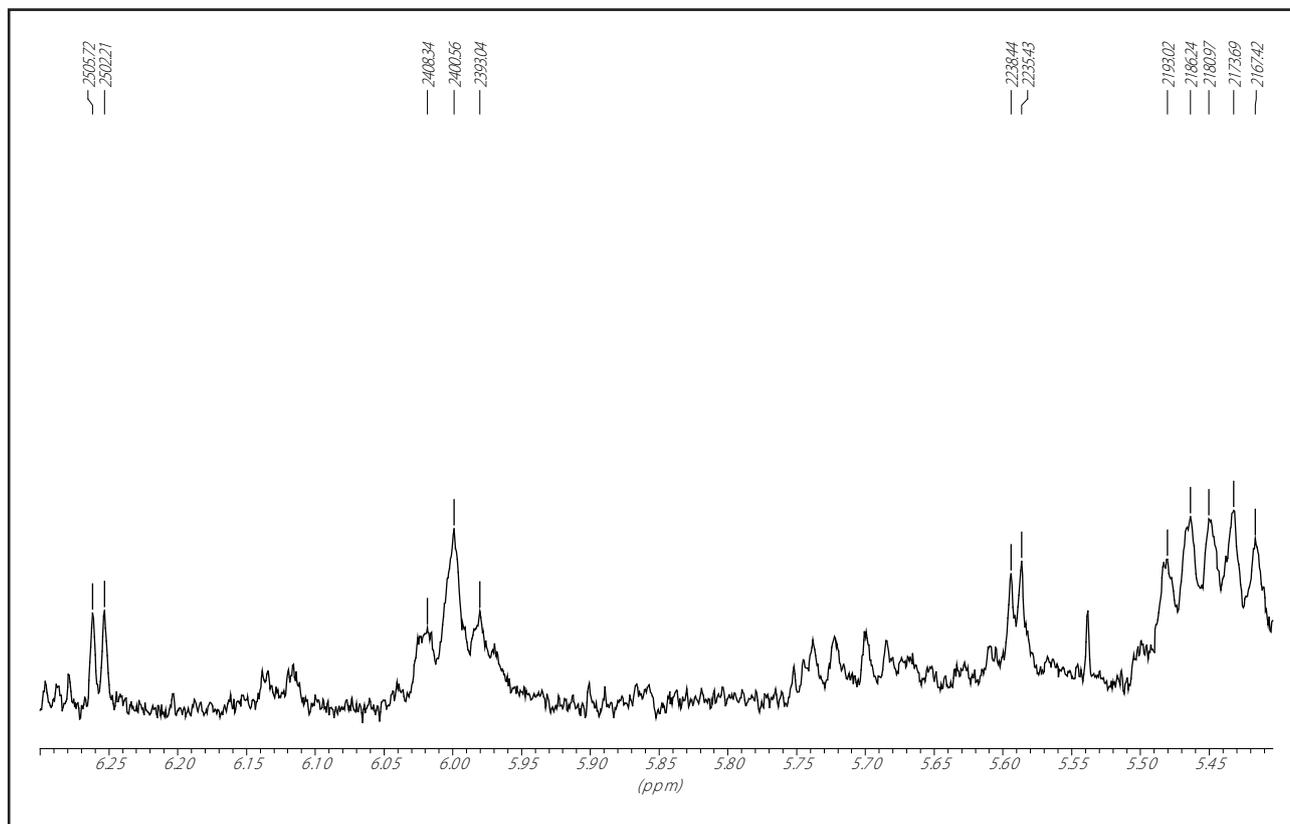


Figura 6. Espectro de RMN 1H (400 MHz, CDCl₃, TMS).

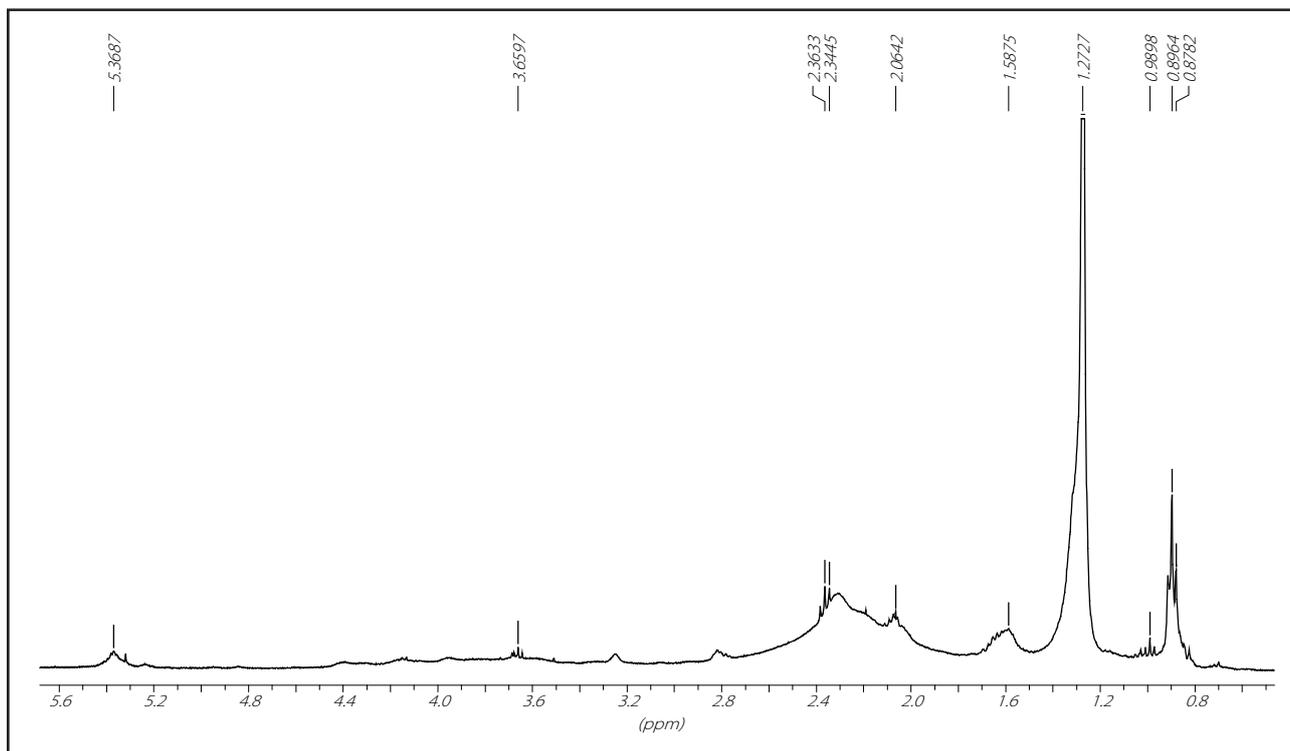


Figura 7. Espectro de RMN 1H (400 MHz, CDCl₃, TMS).

Metodología

Se utilizaron ratas machos de la cepa Sprague Dawley provenientes del Bioterio de la Facultad de Farmacia y Bioquímica, en los que se realizaron las siguientes experiencias.

- 1) Efecto de la administración del extracto acuoso al 2% de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en ratas diabéticas.

La diabetes experimental de las ratas se realizó mediante la administración de Streptozotocina 60 mg/kg (disuelta en buffer acetato, pH:4.5) por vía intraperitoneal. A las 72 hs (día 0, basal) se procedió a la determinación de la glucemia en cada una de las ratas tratadas con la Streptozotocina. Para ello se tomaron muestras de sangre mediante la punción seno orbital y los animales que resultaron diabéticos se dividieron en dos grupos de 5 ratas cada uno: control y yacón y se trataron según se indica.

El grupo control recibió alimento y agua *ad libitum*. El grupo yacón recibió alimento y yacón al 2% en el agua de bebida *ad libitum*.

A partir del día 3 y durante cuatro días se determinaron de la manera indicada las glucemias en ambos grupos obteniéndose los resultados que se indican en la tabla 9.

Tabla 9. Control de glucemia en dos grupos de ratas: al grupo con yacón se le administró yacón al 2% en el agua de bebida y el grupo control recibió solo agua.

Día	Glucemias	
	Grupo control	Grupo con yacón
0 (basal)	433,8 ± 76,3	420,2 ± 20,0
3	420,25 ± 20,1	322,8 ± 45,8
4	411,5 ± 1,9	324,4 ± 49,1
5	462,7 ± 19,1	276,8 ± 39,8*
6	475 ± 16,8	304,8 ± 29,2*

* p<0.05 Grupo con yacón versus grupo control (test de Bonferroni).

Conclusión

Se observó un efecto hipoglucemiante que resultó significativo en los días 5 y 6 a partir del inicio de la administración.

2) Efecto de la administración de agua al extracto acuoso de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en ratas normales.

La administración del yacón al 10% se realizó en ratas normales. Los animales se dividieron en 3 grupos de 6 ratas cada uno que fueron tratados según se indica:

- Administración de una sola dosis de yacón al 10% por vía intraperitoneal (ip).
- Administración de una sola dosis de yacón al 10% por vía oral mediante sonda gástrica (vo).
- Grupo control (administrados con agua)

A cada grupo se le determinó la glucemia basal (tiempo cero), y a las 2, 4, 5, 6 y 8 h luego de la administración del yacón. Los resultados se indican en la tabla 10.

Tabla 10. Determinación de glucemia en tres grupos de ratas Administración de agua en grupo control, agua de yacón al 10% en ratas normales por vía intraperitoneal y agua de yacón al 10% en ratas normales por vía oral mediante sonda gástrica.

Día	Glucemias		
	Grupo control	Yacón 10% ip	Yacón 10% vo
Nº (basal)	134,2 ± 4,4	141,0 ± 7,1	135,8 ± 3,8
2	134,4 ± 2,01	135,8 ± 3,0	127,8 ± 3,8
4	132,0 ± 4,4	134,8 ± 2,9	128,4 ± 4,8
5	126,6 ± 5,9	138,8 ± ,0	133,2 ± 4,2
6	140,0 ± 2,6	126,4 ± 4,7	119,8 ± 4,1*
8	128,8 ± 0,8	122,8 ± 3,7	120,0 ± 2,9

* p<0.01 Grupo con yacón versus grupo control (hora 6) (Test de Dunnet).

Conclusión

Se observó un efecto hipoglucemiante que resultó significativo a las 6 horas en los animales administrados por vía oral.

5. Evaluación del rendimiento de la planta

Descripción del sitio del ensayo experimental

El área de estudio está ubicada en la provincia de Salta, en el norte del Valle de Lerma, en el departamento de La Caldera. Abarca los municipios de La Caldera y Vaqueros; este último incluye las localidades de Lesser y Los Yacones (ver mapa de zona de estudio).

El departamento de La Caldera se encuadra entre las coordenadas geográficas 24° 30' y 24° 45' de latitud sur y entre los 65° 30' y los 65° 25' de longitud oeste; abarca una superficie de 96.575 ha.

Las vías de acceso al área son por la Ruta Nacional N° 9, siguiendo por la Ruta Provincial N° 28, ambas pavimentadas, y luego por la Ruta Provincial N° 115 de ripio, para el acceso O y NO hacia la zona de Lesser y Los Yacones; desde el E por la Ruta Provincial N° 11 que se une a la ruta N° 9 por la quebrada del Gallinato para acceder a las localidades de Vaqueros y La Caldera. También existe un camino temporal que comunica la localidad de Vaqueros con los Yacones y Potrero de Castilla, que se inhabilita por la crecida del río Wierna en el período de lluvias (ver mapa de referencia de vías de acceso a la zona de estudio).

La sección septentrional del Valle de Lerma está surcada por arroyos y ríos que constituyen la alta cuenca del río Mojotoro, cuyo recorrido es de 45 km de O a E hasta el cruce del puente del Ferrocarril Belgrano (ver imagen satelital del área).

El ensayo experimental realizado para evaluar la incidencia de la extracción de hojas en el rendimiento de las plantas (peso de las raíces de yacón) se llevó a cabo en el Campo Experimental de la Universidad Nacional de Salta, ubicada dentro del campo militar Gral. Belgrano, en Pucará de Buena Vista. Este predio tiene una extensión de 660 ha y se encuentra ubicado al norte de la ciudad de

Salta. Las vías de acceso al sitio son la Ruta Nacional N° 9 y la Ruta provincial N° 28 a Lesser.

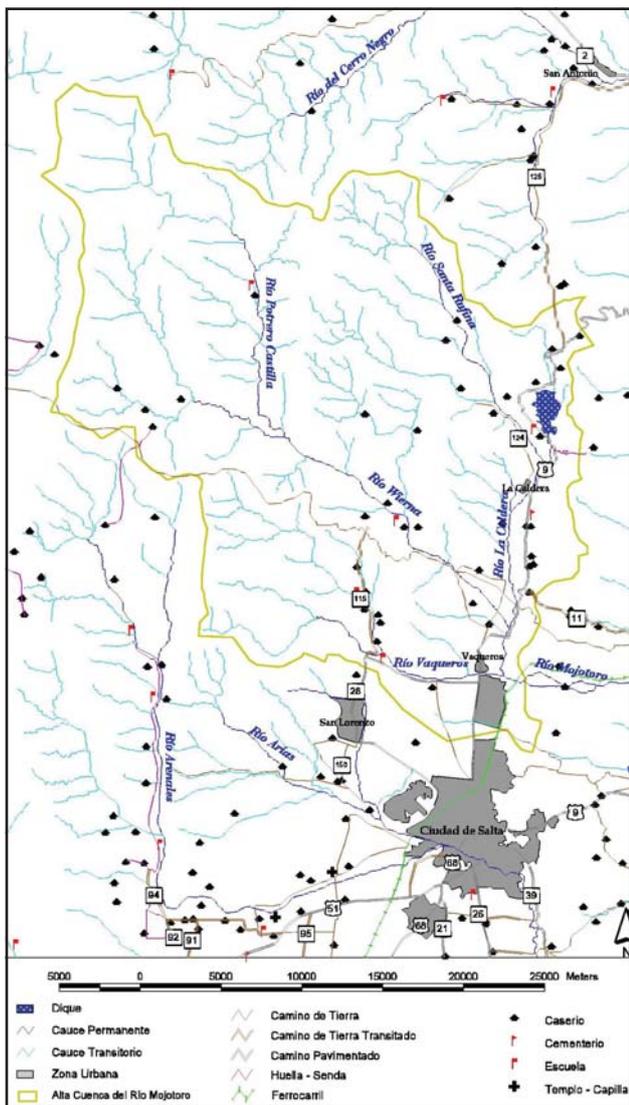
El Campo Militar Gral. Belgrano tiene como unidad morfoestructural la cordillera Oriental y las Sierras Subandinas, y como fisiografía el Valle de Lerma y las Lomas de Medeiro. Los suelos tienen desarrollo genético y el drenaje interno es impedido por su textura; son suelos maduros cuya clase textural varía entre arcillo-limoso a franco-arcilloso, de una profundidad media de 1,70 m. Tiene pendientes dominantes de O a E y de N a S. La pendiente media es de 1 a 3% (Batallanos, 1990).

Los tipos de suelos existentes pertenecen a la Asociación Mojotoro (Suelos asociados: Mojotoro/Chachapoyas), ubicada en ambas márgenes de los ríos Wierna y Mojotoro; y a la Asociación San Lorenzo (Suelos Asociados: San Lorenzo/Las Costas) ubicada al NO de Salta Capital (Nadir y Chafatinos, 1990).

Las principales limitaciones que presentan los suelos son pedregosidad, susceptibilidad a la erosión, poca profundidad en algunos sectores y drenaje imperfecto. El predio posee una concesión de riego permanente y a perpetuidad, de 300 ha.

De modo general se puede afirmar que la aptitud agrícola de las tierras es C-B, tierras arables con limitaciones – tierras arables con pocas limitaciones (Batallanos 1990).

El régimen de lluvias es de tipo monzónico, es decir con estación seca en invierno y veranos lluviosos. El 83% de las precipitaciones ocurren entre noviembre y marzo. Los registros anuales medios son superiores a 819 mm, con valores extremos de 642 mm a 1327 mm (Estación Meteorológica de Las Costas). En el período en que se realizó este trabajo, las precipitaciones que se registraron en la localidad de Vaqueros (a una distancia de 1 km) fueron de 827 mm (Mármol y Mármol, 2004).



Mapa de referencia, vías de acceso a la zona de estudio⁶.



Imagen satelital del área de estudio⁷.

De los resultados obtenidos observamos que las condiciones del suelo no se modificaron significativamente, por lo que se puede repetir la experiencia en ese sitio.

Ensayo experimental

Los propágulos de yacón que se utilizaron en el ensayo experimental provenían de coronas adquiridas en las localidades de Lesser y Vaqueros, donde actualmente se cultiva esta planta.

Las coronas se seccionaron sin un patrón predeterminado; solo se siguieron las formas naturales en que los propágulos se ubican tratando de lastimarlos lo menos posible, para obtener trozos de diferente tamaño de un peso aproximado de 100 g cada uno.

La siembra de los propágulos se realizó el 30 de octubre de 2006 en una parcela irregular de 280 m² disponiéndolos en surcos orientados de N a S distanciados a 1,2 m entre sí, y dejando 0,50 m entre “semillas” en un surco. No se realizó refalle⁸. Se practicó un cultivo de secano. Se efectuaron cuatro desmalezados, en la fase de crecimiento vegetativo. Se hicieron los controles fitosanitarios.

⁶ Fuente: Instituto de Recursos Naturales y Ecodesarrollo (IRNED). Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta.

⁷ Fuente: Instituto de Recursos Naturales y Ecodesarrollo (IRNED). Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta.

⁸ Refalle o reposición de plantas.

La evaluación de la incidencia de la extracción de hojas en el rendimiento de las plantas en peso de raíces se realizó una vez cosechada la raíz, comparando entre plantas tratadas y no tratadas en diferentes momentos durante la tuberización.

Para cada planta desarrollada se registró el número de tallos, la altura y espesor (en cm) y el número de hojas del tallo más alto. Además, se registró el tamaño de las hojas (ancho y largo máximo en cm), para tres hojas de posición intermedia en cada uno de los tres tallos más altos de cada planta con fines descriptivos.

Cada una de estas variables se registró una vez por mes, desde el 14 de enero (cuando las plantas contaban con por lo menos seis hojas) hasta el 15 de mayo cuando el cultivo se encontraba en fase de floración, ya que a partir de este momento la planta deja de crecer. Todas las medidas se registraron con un centímetro.

A las plantas a las que se les aplicó el tratamiento de cosecha de hojas, se realizó en dos momentos del ciclo, el 12 de marzo y el 12 de abril; el criterio que se siguió fue sacar todas las hojas intermedias sin afectar las hojas inmaduras para que la planta siguiera creciendo. La cantidad de hojas cosechadas en cada planta se determinó en función del desarrollo de esta y fue menor en la segunda cosecha (tabla 11).

Tabla 11. Peso en gramos de hojas cosechadas por planta.

	Media	Error estándar	Mín.	Máx.
1° Cosecha	215,1	14,42	130	420
2° Cosecha	87,93	4,39	50	120
Cosecha total	303,10	17,67	200	280

Al final del cultivo se cosecharon y pesaron las raíces totales. En el laboratorio se separaron y pesaron las raíces comestibles (yacón) y las yemas. Las cosechas se realizaron en cuatro etapas, a los 228, 256, 285 y 315 días desde la siembra.

Los datos se analizaron mediante un ANOVA para comparar el peso promedio de raíces totales, yacón y yema, teniendo en cuenta el momento de cosecha como fuente de variación.

Resultados

Los tallos de las plantas en fase de prefloración alcanzaron un promedio (\pm error estándar) de altura y ancho de $154,07 \pm 3,88$ cm y $2,02 \pm 0,05$ cm respectivamente. La cantidad de hojas presentes en las plantas a lo largo de todo el período de prefloración fue de ($P = 0,96; 0,21; 0,73; 0,51; 0,31$ para la primera a la quinta fecha de registro, respectivamente). De acuerdo con la prueba de Tukey en las dos primeras fechas, correspondiente a 115 y 145 días desde la siembra, la cantidad de hojas promedio fue la misma, $9,45 \pm 0,21$ (tabla 12). A partir de los 175 días el número de hojas en cada planta fue, en promedio, de $12,45 \pm 0,15$ (tabla 12).

Tabla 12. Medidas de resumen para el número de hojas por planta en cada una de las fechas de observación del ensayo experimental en el que se evaluó el tamaño de las hojas de yacón (*Smallanthus sonchifolius*).

Días	Media	Error estándar	Med.	Mín.	Máx.	
115	9,04	0,32	8	2	28	a
145	9,86	0,27	9	4	16	a
175	12,13	0,31	12	4	18	b
205	12,54	0,21	12	6	16	b
235	12,69	0,24	12	6	16	b

Aclaración: letras distintas indican diferencias significativas en la prueba de Tukey ($P < 0,05$; diferencia mínima significativa (DMS) = 1,06 cm). Días: número de días desde la siembra.

El peso total de la raíz resultó significativamente menor en las plantas con cosecha de hojas ($F = 9,22$; $P = 0,0037$; tabla 13). El momento de la cosecha le afectó al peso de las raíces ($F = 5,36$; $P = 0,0026$; tabla 14), resultando mayor el peso a medida que aumentó la cantidad de días hasta la cosecha.

El rendimiento de yacón (gramos de raíz comestible por planta) fue significativamente menor en las plantas con cosecha de hojas ($F = 17,38$; $P < 0,0001$; tabla 13). En la figura 8 vemos claramente expresado el total en kg de la raíz del yacón y de las yemas para plantas con y sin cosecha de hoja: donde hay una diferencia mínima significativa entre dos medias. Si bien el momento de la cosecha afectó el rendimiento ($F = 4,42$; $P = 0,0075$; tabla 14), el peso prome-

dio de yacón por planta no presentó un patrón específico; los valores significativamente más altos se registraron en la primera y en la última cosecha.

El peso de las yemas no resultó significativamente diferente entre los tratamientos con y sin cosecha ($F = 1.54$; $P > 0.05$; tabla 13). Los promedios de peso de yemas fueron afectados por el momento de la cosecha, y fue menor a medida que avanzaba el tiempo ($F = 4.53$; $P = 0.0066$; tabla 14).

Tabla 13. Peso en kg del total de la raíz, de yacón y de las yemas para plantas con y sin cosecha de hojas: media \pm error estándar. DMS: diferencia mínima significativa entre dos medias.

Cosecha de hojas	Raíces totales	Yacón	Yemas
Con	2,28 \pm 0,22	0,90 \pm 0,12	1,14 \pm 0,14
Sin	3,18 \pm 0,21	1,49 \pm 0,09	1,69 \pm 0,16
DMS	0,55	0,27	0,39

Tabla 14. Peso del total de la raíz, de yacón y de las yemas para plantas cosechadas en diferentes fechas: media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias de acuerdo con la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

Fecha de cosecha	Raíces totales	Yacón	Yemas
1	3,24 \pm 0,32b	1,35 \pm 0,14 b	1,97 \pm 0,24 b
2	3,08 \pm 0,30 b	1,26 \pm 0,14 ab	1,75 \pm 0,18 b
3	1,77 \pm 0,27 a	0,77 \pm 0,17 a	0,98 \pm 0,14 a
4	2,91 \pm 0,30 b	1,44 \pm 0,16 b	1,53 \pm 0,21 ab

En el ensayo, las plantas establecidas generan un número variable de ramas que no depende del número de yemas del propágulo. Una vez que la planta se afianza, crece y se desarrolla hasta obtener un tamaño que es independiente de si se originó de un propágulo pequeño o grande. El rendimiento de cada planta expresado como peso de yacón está correlacionado significativamente con el número de ramas que presenta cada planta; como la cantidad de hojas por tallo es la misma en las plantas, una mayor cantidad de tallos implica mayor superficie foliar total de la planta, mayor capacidad de absorción de fotosintatos y un consecuente mayor desarrollo de las raíces reservantes (Grau y Kortsarz, 2001).

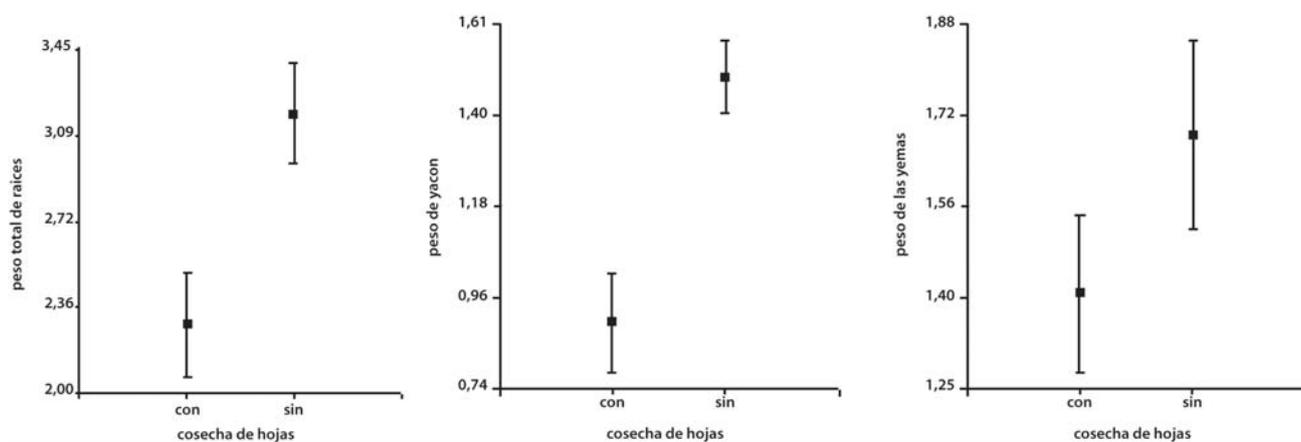


Figura 8. Peso en kg del total de la raíz de yacón y de las yemas para plantas con y sin cosecha de hojas: media \pm error estándar. DMS: diferencia mínima significativa entre dos medias.

El tamaño de las raíces comestibles que se desarrollan en una planta depende también de otras variables: el tipo de suelo; es mayor el desarrollo en suelos sueltos (Angulo, 1994; Seminario et al., 2003); la cantidad de nutrientes presentes en el suelo (Seminario et al., 2003); la densidad de siembra, ya que a mayor densidad se desarrollan mayor cantidad de raíces pequeñas (Doo et al., 2001); la asociación con especies arbóreas; de acuerdo con Ramos et al. (1999), el rendimiento no se vio afectado por la asociación y además la sombra tuvo un efecto positivo. Se realizó un ensayo experimental preliminar en el mismo sitio (Pucará de Buena Vista), para evaluar el rendimiento del yacón obtenido en cultivo a cielo abierto y en un bosque de churqui (*Acacia aroma*), los resultados indican que el rendimiento es equivalente en ambos microambientes (Ebber, 2004). Aunque es necesario realizar más ensayos al respecto, estos resultados preliminares sugieren que el cultivo de yacón podría realizarse en este tipo de ambientes que son muy comunes en el área de estudio, sin necesidad de desmonte, contribuyendo a mantener la biodiversidad.

Al cosechar hojas se disminuye el área foliar y con ello la capacidad de fotosíntesis de la planta, pero, de acuerdo con los resultados, el rendimiento de yacón (gramos de raíz comestible por planta) fue significativamente menor en las plantas con cosecha de hojas ($F = 17.38$; $P < 0.0001$; tabla 13). Si bien el momento de la cosecha afectó el rendimiento ($F = 4.42$; $P = 0.0075$; tabla 14), el peso promedio de yacón por planta no presentó un patrón específico; los valores significativamente más altos se registraron en la primera y en la última cosecha.

Los valores de rendimiento del cultivo de yacón son muy variables; investigaciones informan rendimientos de entre 10.000 y 100.000 kg/ha dependiendo del sitio y sus características ambientales.

En nuestro ensayo experimental el rendimiento fue de 2,6 kg por m², y de 26.000 kg/ha. Aunque es un valor ubicado hacia el extremo inferior del rango establecido para este cultivo, se debe recalcar que en este caso no se realizaron prácticas agronómicas como fertilización y riego, y, además, el sitio se ubica a mayor latitud que los citados en la bibliografía de base (Seminario et al., 2003). De todas maneras, se considera un buen rendimiento.

Conclusiones finales

En la actualidad existen algunos cambios socioeconómicos a nivel mundial que se deben, entre otras razones, al avance tecnológico de la informática, a la globalización, a la predominancia de una economía de mercado y la prevalencia de la ley de la oferta y la demanda. En particular en la región andina estos cambios derivan en tendencias negativas que dominan el sector agrícola: la caída en su importancia como sector de la economía; la fuerte competencia de productos importados (frescos y procesados) frente a los locales; la reducción en el número de fincas y la eliminación de muchos minifundistas, quienes migran hacia las ciudades; el incremento de la pobreza rural y el consecuente deterioro del medio ambiente, y la erosión de la diversidad biológica. Las especies andinas, entre ellas el yacón, que son cultivadas por las familias campesinas y que forman parte de sus hábitos alimentarios, habían sido desplazadas por otros alimentos que no son producidos localmente y que responden a patrones de consumo urbano y foráneo (Tapia et al., 1992; Carabia et al., 1995; Gragson, 1997; Landa et al., 1997, CONDESAN, IDRC, 1998).

En contraposición a estas tendencias negativas existen otros aspectos positivos en la región andina, entre ellos, el énfasis en las exportaciones agrícolas no tradicionales, el interés en la agroindustria como motor de desarrollo agrícola, los cambios de enfoque sobre desarrollo rural, la creciente corriente ambientalista, y la búsqueda de productos naturales, ecológicos y de sabores exóticos por parte de los consumidores. La prevalencia de estas tendencias nos brinda nuevas posibilidades a los productores para superar su situación de pobreza a través del cultivo de productos que por sus características especiales puedan ser considerados promisorios, insertándose en ciertos nichos de mercado con productos naturales (CONDESAN, IDRC, 1998).

La concreción de estas alternativas de desarrollo implica una necesaria vinculación entre la investigación científico – técnica y la puesta en práctica de estos conocimientos

en la implementación de proyectos de desarrollo a través de autoridades estatales locales, con la participación de la comunidad.

Este esfuerzo se ha traducido en un conjunto de libros publicados por FAO en colaboración con múltiples instituciones, de naturaleza diversa y en las áreas del mejoramiento genético, la fisiología de cultivos, la protección fitosanitaria, la alimentación y nutrición, la agroindustria, el rescate de tecnologías agrícolas ancestrales y la conservación de recursos fitogenéticos in situ y ex situ, en especial de cultivos andinos (Canabias et al., 1995).

En particular, el yacón (*Smallanthus sonchifolius*) es una especie rústica adaptada a las condiciones agroecológicas de las zonas de selva nublada del NOA.

Su cultivo es sencillo y en nuestro estudio no se registraron enfermedades o plagas significativas que afecten su crecimiento y rendimiento. Los reportes bibliográficos de otras investigaciones tampoco describen problemas sanitarios significativos para este cultivo.

Es importante destacar que de nuestros estudios químicos arribamos a varias conclusiones; en primer lugar confirmamos que la composición química y la actividad antioxidante de las hojas y las batatas de yacón son diferentes.

Los resultados obtenidos revelan que el extracto obtenido por decocción de hojas presenta mayor actividad antioxidante que las batatas; esta actividad condiciona la propiedad hipoglucemiante de los compuestos aislados, por lo que se trabajó en la obtención del extracto crudo de hojas de yacón (secado en estufa), para realizar la evaluación de la probable actividad hipoglucemiante.

El estudio realizado por la doctora Acevedo en ratas con diabetes inducida reporta que se observó un efecto hipoglucemiante a partir del inicio de la administración de

extracto de yacón al 2%, que resultó significativamente positivo en los días 5 y 6. Además, la administración de una sola dosis de solución de yacón al 10% en ratas normales mostró un efecto hipoglucemiante que resultó significativo a las 6 horas en los animales administrados por vía oral. Para nosotros esto es importante al utilizar la decocción de las hojas para té de yacón en personas.

Estudios previos en especies del género *Smallanthus*, recolectadas en la provincia de Tucumán, revelan que *S. sonchifolius* (yacón) contiene diversas lactonas sesquiterpénicas: enydrina, uvedalina, polymatina B, fluctuanina y sonchifolina (Mercado et al., 2006). La actividad hipoglucemiante de esta especie se atribuye al componente mayoritario enydrina (Patente japonesa N° 2001247461) (Schorr et al., 2005); sin embargo, no existen reportes en literatura que verifiquen experimentalmente dicha propiedad.

Por otra parte, el estudio de yacón del campo (*S. macrocyphus*) reveló que la decocción de hojas en esta especie tiene actividad hipoglucemiante y se sugiere que el principio activo más importante es la lactona sesquiterpénica polymatina A (Cabrera et al., 2006). Cabe destacar que en esta especie no se detectó la presencia de enydrina, considerada responsable de la actividad hipoglucemiante en el yacón.

Estos reportes sugieren que los compuestos responsables de la actividad hipoglucemiante en el género *Smallanthus*, son lactonas sesquiterpénicas.

Como la composición química de las plantas puede variar por la ubicación geográfica del lugar de recolección, nosotros realizamos un estudio por Resonancia Magnética Nuclear –RMN– de hidrógeno de las distintas fracciones obtenidas, para determinar si existen lactonas sesquiterpénicas en el extracto de yacón.

Los resultados obtenidos mediante el análisis cualitativo por cromatografía en placa delgada de fase reversa, nos muestra que los diferentes procesos de secado no alteran la composición química de las hojas de yacón. Además, el análisis de los espectros de RMN de hidrógeno, nos revela que existen diversas lactonas sesquiterpénicas. Sin embargo, por la evidencia científica reportada previamente por otros autores, son necesarios futuros trabajos para establecer si la actividad hipoglucemiante

depende de un compuesto en particular o si existe un sinergismo entre los distintos metabolitos presentes. Por lo tanto, es necesario determinar la estructura química de los diferentes metabolitos.

Por otro lado, las raíces tienen en su composición un alto contenido de FOS; estos azúcares, como ya se mencionó, pertenecen a una clase particular de azúcares conocidos con el nombre de fosfooligofruktanos. (Wada, 1997; Ninessk, 1999).

Los FOS son muy solubles en agua, tienen un ligero sabor dulce (entre 30 y 50% del sabor de la sacarosa) y pueden ser utilizados como sustitutos hipocalóricos del azúcar común (Seminario et al., 2003).

El consumo de los FOS proporciona solo la cuarta parte del valor calórico de los azúcares comunes; son reconocidos como un tipo de fibra dietética y se emplean como insumos para la elaboración de alimentos funcionales o nutraceuticos (Ohyama et al., 1990, Wada, 1982; Hidaka, 1986; Fukai et al., 1992; Kamada et al., 2001; Pedreschi et al., 2003).

La actividad biológica manifestada por el extracto acuoso de yacón y el elevado contenido en FOS, hacen importante este recurso natural para desarrollar su cultivo y obtener productos con potencial aplicación en la industria alimenticia y en la farmacéutica.

El cultivo de yacón en el NOA se practica en escalas pequeñas debido a que sus propiedades son muy poco conocidas por los productores y los posibles consumidores.

La posibilidad de difundir y hacer conocer los beneficios de este cultivo es indispensable para recuperar este importante recurso. Para tener una idea clara del manejo de este recurso y su aplicación se viene trabajando en los manejos del cultivo para ajustar los objetivos de manejo y las condiciones naturales que tenemos.

De los resultados obtenidos en el ensayo experimental se puede observar que los tallos de las plantas en fase de prefloración alcanzaron un promedio de altura de 1,54 y 2,02 m. La cantidad de hojas presentes en las plantas a lo largo de todo el período de prefloración en las dos primeras fechas, correspondiente a 115 y 145 días desde la siembra, la cantidad de hojas promedio

fue la misma, 9,45, y a partir de los 175 días el número de hojas en cada planta fue, en promedio, de 12,45; como vemos, no hay una variación significativa, por lo que se puede recomendar cosechar las hojas una sola vez para que las plantas tengan la posibilidad de rebrote y de esa manera recuperar, por lo menos en parte, la superficie foliar de fotosíntesis.

El rendimiento de yacón (gramos de raíz comestible por planta) fue significativamente menor en las plantas con cosecha de hojas. Si bien el momento de la cosecha afectó el rendimiento, los valores significativamente más altos se registraron en la primera y en la última cosecha.

El peso de las yemas no resultó significativamente diferente entre los tratamientos con y sin cosecha. Los promedios de peso de yemas fueron afectados por el momento de la cosecha.

En nuestro ensayo experimental el rendimiento fue de 26.000 kg./ha. Aunque es un valor ubicado hacia el extremo inferior del rango establecido para este cultivo, se debe recalcar que en este caso no se realizaron prácticas agronómicas como refalle, fertilización y riego, y, además, el sitio se ubica a mayor latitud que los citados en la bibliografía de base (Seminario et al., 2003).

La cosecha de las raíces de yacón tiene sus dificultades. Se requiere mucho cuidado y práctica en la extracción y manipuleo de estas raíces ya que son muy quebradizas, se rompen o se lastiman fácilmente, y los trozos se contaminan o pudren, por lo que deben ser consumidos de inmediato. Si el destino de la cosecha es la venta en el mercado, estos trozos deben ser descartados. Una alternativa de aprovechamiento de este descarte consiste en cortar láminas de estas "batatas" y secarlas al sol para obtener "hojuelas" de yacón desecadas. Este producto tiene mayor duración y muchas posibilidades de comerciarse como fruta desecada por su sabor dulce, como se hace en Perú, Bolivia, Brasil y en otros países (Seminario et al., 2003). Los productores podrían así dar valor agregado al producto obtenido del cultivo de yacón.

La forma de propagación que se utiliza tradicionalmente en el norte del Valle de Lerma es por propágulos, es decir trozos de la corona que se obtienen cortándola de manera aleatoria.

El tamaño de los propágulos sembrados para obtener nuevas plantas debe tenerse en cuenta ya que, de acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, existe una correlación significativa entre el peso y la cantidad de brotes que contiene cada propágulo; además, los propágulos considerados en el ensayo experimental como pequeños tenían menor cantidad promedio de brotes que los grandes; por esta razón se recomienda que los propágulos contengan un mínimo de tres yemas para garantizar la brotación.

Las plantas establecidas generan un número variable de ramas que no depende del número de yemas del propágulo que le dio origen; no se obtuvo una correlación significativa entre el número de yemas y el número de ramas obtenidas al final del ensayo. Una vez que la planta se afianza, crece y se desarrolla hasta obtener un tamaño que es independiente de si se originó de un propágulo pequeño o grande. Sobre la base de estos resultados se puede deducir que el tamaño de los propágulos debe ser suficientemente grande como para garantizar la emergencia de las plantas a partir de los brotes presentes en ellos.

El rendimiento de cada planta expresado como peso de yacón tampoco está relacionado con el peso de las "semillas" de las que se originó esta. Sin embargo, el rendimiento sí está correlacionado significativamente con el número de ramas que presenta cada la planta; como la cantidad de hojas por tallo es la misma en las plantas, una mayor cantidad de tallos implica mayor superficie foliar total de la planta, mayor capacidad de absorción de fotosintatos y un consecuente mayor desarrollo de las raíces reservantes (Grau y Kortsarz, 2001). El tamaño de las raíces comestibles que se desarrollan en una planta depende también de otras variables como: el tipo de suelo (es mayor el desarrollo en suelos sueltos) (Angulo, 1994; Seminario et al., 2003); la cantidad de nutrientes presentes en el suelo (Seminario et al., 2003); la densidad de siembra, ya que a mayor densidad se desarrolla mayor cantidad de raíces pequeñas (Doo et al., 2001); la asociación con especies arbóreas; de acuerdo con Ramos et al. (1999), el rendimiento no se vio afectado por la asociación y además la sombra tuvo un efecto positivo.

Se realizó un ensayo experimental preliminar en el mismo sitio (Pucará de Buena Vista), para evaluar el rendimiento del yacón obtenido en cultivo a cielo abierto y

en un bosque de churqui (*Acacia aroma*); los resultados indican que el rendimiento es equivalente en ambos microambientes (Ebber, datos no publicados). Aunque es necesario realizar más ensayos al respecto, estos resultados preliminares sugieren que el cultivo de yacón podría realizarse en este tipo de ambientes que son muy comunes en el área de estudio, sin necesidad de desmonte, contribuyendo a mantener la biodiversidad.

La potencialidad del mercado del yacón se debe evaluar en función de la población de diabéticos considerados consumidores potenciales. Si tenemos en cuenta que la diabetes y la obesidad son enfermedades que afectan a un alto porcentaje de la población, que la evolución de estas enfermedades está directamente asociada a la calidad de la dieta, que esta dieta debe contener básicamente productos hipocalóricos, y que muchos de estos productos son de origen sintético, el yacón podría ser un alimento natural alternativo para estas personas. La diabetes es una enfermedad que afecta entre un 8 y 12% de la población mundial (Zavala, 2004), por lo que la demanda del producto iría en aumento.

El cultivo del yacón podría resultar una alternativa viable ya que las condiciones agroclimáticas del área son las adecuadas. Además, no presenta problemas sanitarios graves, permitiendo desarrollar un "cultivo orgánico". Esta es una propiedad ideal para una planta que puede ser aprovechada como medicinal o en la formulación de alimentos dietéticos (Bork et al., 1997; Inue et al., 1995; Aybar et al., 2001).

En otros países se realiza el cultivo de yacón aprovechando tanto las raíces como las hojas, lo cual permite obtener más beneficios del cultivo. El aprovechamiento de las hojas disminuye el rendimiento de las raíces reservantes. Para realizar un cultivo multipropósito deberían realizarse estudios con el fin de evaluar los rindes de esta actividad combinada.

Para mejorar la oferta del producto en el mercado es necesario trabajar con pautas que fortalezcan la organización, la gestión, la tecnología, el manejo poscosecha y la comercialización. La mayoría de los campesinos de la región no pueden sobrevivir produciendo solamente materia prima agropecuaria barata, sino que deberían desarrollar procesos de obtención de productos secundarios para obtener un valor agregado.

Se cuenta con potencial productivo, humano y un saber hacer tradicional a partir de los que se puede plantear la agroproducción sostenible de yacón como actividad de desarrollo para las zonas de distribución natural de esta especie.

Referencias bibliográficas

- Angulo, H. El Yacón Universidad Nacional del Altiplano – PUNO Hort. Science. 1994. 29 (4): 331-335.
- Asami, T.; Minamisawa, K.; Tsuchiya, T.; Kano, K.; Hon, I.; Ohyama, I.; Kubota, M. & Tsukihashi, I. Fluctuation of oligofructan contents in tubers of yacon (*Polymnia sonchifolia*) during growth and storage. *Soil Science and Plant Nutrition*. 1991. 62: 621-627.
- Atsushi, I.; Shigeru, T.; Hieki, K.; Yumiko, N.; Masaki, A.; Osamu, K.; Tadami, A. & Yasuyuki, H. Antifungal melampoides from leaf extracts of *Smallanthus sonchifolius*. *Phytochemistry*. 1995. 39 (4): 845-848.
- Aybar M., Sánchez Riera, A. N.; Grau, A. & Sánchez, S.S. Hypoglycemic effect of the water extract of *Smallanthus sonchifolium* (yacon) leaves in normal and diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology*. 2001. 74:125-132.
- Batallanos, J. D. Características Agroecológicas del Extremo Norte del Campo Militar General Belgrano. Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Salta. 1990
- Bianchi, A. R. y Yañez, C. E. Las precipitaciones del Noroeste Argentino. Segunda edición. 1992. EEA Salta, INTA.
- Bianchi, A. R. 1996. Temperaturas Medias Estimadas para la Región Noroeste de Argentina. EEA Salta, INTA.
- Boelke, O. Las plantas vasculares de la Argentina nativas y exóticas. Buenos Aires. Editorial Hemisferio Sur. 1992.
- Bork, P. M.; Schmitz, M. L.; Kuhnt, M.; Escher, C. y Heinrich, M. Sesquiterpene lactone containing Mexican Indian medicinal plants and pure sesquiterpene lactones as potent inhibitors of transcription factor NF – Kappa B. *Phytochemistry*. 1997. 1: 85-90.
- Brown, A. D. y Grau, H. R. Desarrollo Agroforestal en Comunidades rurales del Noroeste Argentino. La Naturaleza y el Hombre en Selvas de Montaña. Colección: Nuestros Ecosistemas. GTZ. 1993.
- Cabrera, A. L. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Agricultura y Jardinería. Buenos Aires. ACME. SACI. 1976. Tomo 2. Segunda edición.
- Cabrera, A. Flora de la Provincia de Jujuy. 1978. Tomo XIII, Parte X.
- Cabrera, W.; De Pedro, A.; Perotti, M.; Grau, A.; Catalán, C.; Genta, S.; Sánchez, S. Actividad hipoglucemiante de las hojas de *Smallanthus macroscyphus*. Identificación del principio activo. XXIII Jornadas Científicas Asociación de Biología de Tucumán. 2006. Pág. 248.
- Carabias, J.; Provencino, E. y Toledo, C. Manejo de Recursos Naturales y Pobreza Rural. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Fondo de Cultura Económica. 1995.
- Cárdenas, M. Manual de plantas económicas en Bolivia, Cochabamba. Icthus. 1969.
- Castro, E. y Barrantes, G. “Generación de Ingresos mediante el uso Sostenible de los servicios ambientales de la biodiversidad en Costa Rica”. Instituto Nacional de Biodiversidad INBio. 1999.
- Castro, F. J. El cedrón (*Aloysia citrodora* PALAU). Quimiotipos, Aprovechamiento y posibilidades de cultivo. Seminario de Integración. Salta. 1998.
- Censo Nacional Agropecuario 2002. Resultados generales. Características básicas. Provincia de Salta. Instituto Nacional de Estadística y Censo (INDEC). Buenos Aires.
- Cobeña, V. 2002. Obtención y caracterización de los oligofructanos (prebiótico) a partir de la raíz de yacón (*Smallanthus sonchifolia* poepp & Endl).
- CONDESAN – InfoAndina.
- CONDESAN, IDCR. Promoción de Cultivos Andinos: Desarrollo de Agroindustrias y Mercados para la Arracacha. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina, International Development Research Centre. 1998.
- Dickson, R.,A.; Houghton, P.J. & Hylands, P.J. Antibacterial and antioxidant cassane diterpenoids from *Caesalpinia benthamiana*. *Phytochemistry*. 2007. 1436-1441.
- Doo, H. S.; Ruy, J.H.; Lee, K. S. & Choi, S. Y. Effect of plants

- density on growth responses and yield in yacon. *Korean Journal of Crops Science*. 2001. 46 (5): 407-410.
- Ehrlich, P. R., y Ceballos, G. Población y Medio Ambiente. *Ciencia. Ensayos y Comentarios* 48 (4). 1997.
- Fernández, Chiti J. Hierbas y Plantas curativas. Ediciones Condorhuasi. Buenos Aires, Argentina. 1995.
- Font Quer, P. Plantas Medicinales. Madrid. Editorial Labor S. A. 1985.
- Fukai, K.; Ohno, S.; Goto, K.; Nanjo, F. y Hara, Y. Seasonal fluctuations in fructan content and related enzyme activities in yacon (*Polymnia sonchifolia*). *Soil Science and Plant Nutrition*. 1997. 43 (1): 171-177.
- García Bes, P. "Riesgo Hidrológico en la Alta Cuenca del Río Mojotoro". Tesina de grado. Ingeniería en Recursos Naturales y Medio Ambiente. Universidad Nacional de Salta. 1999.
- Grau, A. y Kortsarz, A. 2001. "El retorno del Yacón". *Ciencia Hoy* (63)11. www.ciencia hoy.org
- Grau, A. y Kortsarz, A. 2001. "Los parientes silvestres del yacón". *Ciencia Hoy*. (63)12. www.cienciahoy.org.
- Grau, A. & Rea, J. Yacon, *Smallanthus sonchifolius*. (Poepp & Endl) H. Robinson. En: Hermann, M. & Heller, J. (editors). *Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca and yacon*. IPK and IPGRI, Rome. 1997. 200-242.
- Graefe, S.; Hermann, M.; Manrique, S. y Buerkert, A. "Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes". *Field Crops Research*. 2003. 86: 157-165.
- Gragson, T. L.. "The use of underground plant organs and its relation to habitat selection among the Pumé Indians of Venezuela". *Economic Botany*. 1997. 51 (4): 377-384.
- Goto, K.; Fukai K.; Hikida, J.; y Hara, Y. "Isolation an structural analysis of oligosaccharides from yacon (*Polymnia sonchifolia*).". *Bioscience Biotechnology Biochemic*. 1995. 59 (12): 2346-2347.
- Hermann, M. y Heller, J. Andean root and tubers: Ahipa, arracacha maca and yacón. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 21. Institute of Plants Genetics and Crops Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resource Institute. Rome, Italy. 1997.
- Hilgert, N. I. "Especies vegetales empleadas en la insalivación de hojas de coca (*Erythroxylum coca*)". *Darwiniana*. 2000. 38:3-4.
- Hunter, M. L. *Fundamentals of Conservation Biology*. University of Maine, USA. 1997.
- Igarzabal, A. P. y Medina, A. P. "La Cuenca torrencial del río Mojotoro, su evolución y riesgos derivados. Departamento de La Caldera". *Revista Instituto de Geología y Minería* N° 8. Universidad Nacional de Jujuy. Argentina. 1991.
- INDEC 2001. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Censo Nacional Agropecuario.
- InfoStat. 2003. InfoStat versión 1.5. Manual del usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba., Argentina. Editorial Brujas. Primera edición.
- Inoue, A.; Tamogami, S.; Kato, H., Nakazato, Y., Akiyama, T. y Kodama, O. Antifungal melmpoides from leaf extracts of *Smallanthus sonchifolia*. *University Ami*. Ibaraki. Japan. 1995. 39 (4):845-848.
- IRNED Instituto de Recursos Naturales y Ecodesarrollo. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta.
- Kamada, T.; Nakajima, M. Nabetani, H. Separation and concentration of oligosaccharides from chicory and yacon rootstocks by ultrafiltration and nanofiltration. 11th World Congress of Food Science, Seoul (Korea), 2001. 22-27.
- Kirk, R. E.; Othmer, D. F.; Scott, J. D. y Standen, A. *Enciclopedia de Tecnología Química*. México. Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana. 1975. Tomo XIII.
- Kortsarz, A. y Grau, A. Variación de oligofructanos durante el ciclo anual en yacón (*Smallanthus sonchifolius*) y yacón del campo (*Smallanthus macroscyphus*). Resumen X Congreso Internacional de Cultivos Andinos. Jujuy. 2001.
- Landa, R.; Meave, J. and Carabias, J. Environmental Deterioration in Rural Mexico: an Examination of the Concept. *Ecological Application*. 1997. 7 (1): 316-329.
- Lavaque, R. J. . *Ecología del yacón*. Sociedad Científica del Noreste Argentino. Centro de Investigaciones Antropológicas Biológicas. 1983. 22 (1): 24.

- Lehmann, D. R. 1998. Investigación y Análisis de Mercado. México. Compañía Continental S. A. de C. B.
- Lebeda, A. Variation in morphological and biochemical characters in genotypes of Maca and Yacon. Abstracts 26th International Horticultural Congress. Toronto (Canada). 2001.
- Levy Hynes, A. Grau, H. y Braun, A. D. Plantas utilizadas por las comunidades campesinas de las Selvas Montanas. Resumen II Reunión Regional de Selvas de Montaña, Salta, Argentina. 1995.
- Mercado, M. I.; Coll Araoz, M. V.; Grau, A.; Catalán, C. Perfil de Lactonas sesquiterpénicas de cuatro especies del género *Smallanthus* (Asteraceae). XXIII Jornadas científicas Asociación de Biología de Tucumán. 2006. Pág. 50.
- Montes, A. L. Bromatología. 1985. Tomo II. Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- Mosa, S. G. Descripción de los Recursos Naturales de la Cuenca del Río Vaqueros. Seminario II. Universidad Nacional de Salta. 1981
- Muñoz, F. Plantas medicinales y aromáticas. Estudio, cultivo y procesado. Madrid. Ediciones Mundi. 1987.
- Nadir, A. y Chafatinos, T. Los suelos del N.O.A. (Salta y Jujuy). 1990. Tomo II. Administración del Fondo Especial del Tabaco.
- Neuman, R. El listado preliminar de plantas medicinales, de la Selva Montana. Cortaderas Dto. Iruya. INTA. Salta, Argentina. 2000.
- Neuman, R. El listado preliminar de recursos vegetales nativos del NOA. Desideratum. INTA. Salta, Argentina. 2002.
- Ninessk, R. Breakfast foods and the health benefits of inulin and oligofructose. *Cereal Foods World*. 1999. 44 (2): 79-81.
- Novara, L. J. Utilidades de los géneros de antófitas del Nordeste del Valle de Lerma. Universidad Nacional de Salta, Argentina. 1984.
- Ohyama, T.; Ito, O.; Yasuyoshi, S.; Ikarashi, T.; Minamisawa, K.; Kubota, M. y Tsukihashi, T. "Composition of storage carbohydrates in tubers of yacón (*Polymnia sonchifolia*)". *Soil Science and Plant Nutrition*. 1990. 36 (1): 167 – 171.
- Ochoa, C. M. (CIP). "Ecogeography and Potential of the wild Peruvian Tubers bearing species of *solanum*". *Economical Botany*. 1998. 52 (1): 3-31.
- Parodi, L. R. "Descripción de las plantas cultivadas". Tomo 1. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Edición corregida por Dimitri, J. Buenos Aires. Editorial ACME SACI. 1980.
- Pedreschi, R.; Campos, D.; Noratto, G. y Cisneros-Zeballos, L. "Andean yacon root (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. Endl) fructooligosaccharides potential novel source of prebiotics". *J Agric. Food Chem*. 2003. 51 (18): 5278-5284. J
- Pérez Mulki, G. Estudio del Impacto Ambiental en la Cuenca del Río Vaqueros. Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta. 1989.
- Ponce, C. Políticas, Estrategias y Acciones para la Conservación de la Diversidad Biológica en los Sistemas de áreas protegidas. Documento técnico N° 20 Proyecto FAO/PNUMA. 1996.
- Prescott Allen, R. y Prescott Allen, Ch. "How many plants feed the world?" *Conservation Biology*. 1990. 4 (4): 1142-1146.
- Ramos, R.; Galarza, J.; Castillo, R y Nieto, C. "Respuesta de tres raíces andinas: zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*), miso (*Mirabilis expansa*) y jícama (*Polymnia sonchifolia*)". CIP. CODESAN Lima Perú. <http://www.cipotato.org/library>. 1999.
- FAO, DFPA. Sistemas Agroforestales y Silvopastoriles para las zonas de montaña del noroeste. Agroforestería. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Desarrollo Forestal Participativo de los Andes. 1991.
- Reboratti, C. E. "Ambiente, Sociedad e Historia en el Noroeste. Agroforestería". En: Sistemas Agroforestales y Silvopastoriles para las zonas montañosas del Noroeste. Agroforestería, FAO. 1991.
- Rodríguez, M. El mercadeo de los Emprendimientos Asociativos de los Pequeños Productores. IICA, PSA. 1996.
- Rozzi, R.; Pricmack, R.; Feinsinger, P.; Dizo, R. y Massardo, F. Fundamentos de la Conservación Biológica. Perspectivas Latino Americanas. México, Fondo de Cultura Económica. 2001.
- Schorr, K.; Da Costa, F. B. *Phytochemical Análisis*. 2005. 16, 161 – 165.

- Seminario, J. y Valderrama, M. Propagación de tres morfotipos de yacón *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endel) H. Robinson mediante nudos de tallos. Caxamarca. 2002. 10 (1): 99-108.
- Seminario, J.; Valderrama, M. y Manrique, I. El yacón: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (CONSUDE). 2003.
- Slick, J.; Cellinese, N. & Krapp, S. Indigenous diversity of Cassava, Generation maintenance, use and loss among the Amuesha Peruvian upper Amazon. *Economic Botany*. 1997. 51 (1): 6-9.
- Soriano, A. "Aspectos funcionales de la biodiversidad". *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. 1995. 31 (1-2): 151-154.
- Takasugi, M. y Masuda, T. Three 4'-hydroxyacetophenone-related phytoalexins from *Polymnia sonchifolia* *Phytochemistry*. 1996. 43 (5) pp. 1019-1021.
- Takenaka, M.; Yan, X.; Ono, H.; Yoshida, M.; Nagata, T. y Nkanishi, T. Caffeic acid derivatives in the roots of yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *Agric. Food Chem. Jan.* 2003. 29:51 (3):793-796.
- Tapia, A. M.; Pérez Aramayo, M., Medina, E. R. y Morón, C. Manual sobre Utilización de los Cultivos Andinos Subexplotados en la Alimentación. FAO. CONDESAN. 2000.
- Tapia, M. E. Cultivos Andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. The New York Botanical Garden. 1990.
- Volpato, G. T.; Vieira, F. L.; Almeida, F. C. G., Camara, F., & Lemonica, I. P. "Study of the hypoglycemic effects of *Polymnia sonchifolia* leaf extracts in rats". Abstracts II World Congress on Medicinal and Aromatic Plants for Human Use, Mendoza. 1997.
- Valentova, K.; Ulrichova, J. "Smallanthus sonchifolius and *Lepidium meyenii*-prospective Andean crops for the prevention of chronic diseases". *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Republic*. 2003. 147(2): 119-130.
- Valentova, K.; Moncion, A. de Waziers I. y Ulrichova, J. "The effect of *Smallanthus sonchifolius* Leaf extracts on rat hepatic metabolism". *Cell Biol Toxicol*. 2004. 20(2): 109-120.
- Valentova, K.; Cvak, L.; Muck, A.; Ulrichova, J. y Simanck, V. "Antioxidant activity of extracts from the leaves of *Smallanthus sonchifolius*". *Eur J Nutr*. 2003. 42 (1): 61-66.
- Wada, K.; Watanabe, J.; Mizutani, J.; Tomoda, M., Suzuki, H. y Saitoh, Y. Effect of soybean oligosaccharides in a beverage on human fecal flora and metabolites. *Nippon Nogeikagaku Kaishi*. 1992. 66: 127-135.
- Wells, J. R. Taxonomic study of *Polymnia* (Compositae) Britonia. 1965. 17: 144-15.
- Yan, X.; Suzuki, M.; Ohnishi-Kameyama, M., Sada, Y.; Nakanishi, T. y Nagata, T. "Extraction and identification of antioxidants in the roots of yacón (*Smallanthus sonchifolius*)". *Journal of agricultural and food chemistry*. 1999. 47(11):4711-3.
- Yaness, L. A.; Rizzio, H. y Righetti, C. El Medio Ambiente como factor de desarrollo. CEPAL (Comisión Económica Para América Latina y El Caribe). 1989.
- Zapater, M. A. "La flora medicinal nativa y sus posibilidades de uso, como alternativa de producción para el desarrollo de las quebradas Del Toro y Las Cuevas Provincia de Salta". Tesis de maestría Universidad Nacional de Salta. 2002.
- Zavala, A. V. Cátedra de Nutrición. División Nutrición, Hospital de Clínicas José de San Martín. Escuela de Medicina. Universidad de Buenos Aires. Jornadas de Actualización en Nutrición y Diabetes. Córdoba. 2004.
- Zar, H. J. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall. 1984.
- Zardini, E. "Ethnobotanical Notes on Yacón (*Polymnia sonchifolia*) Asteraceae". *Economic Botany*. 1991. 45 (1) 72-85.
- Zosimo Huaman, P. D. Distribución sin ética al Japón de Yacón (*Smallanthus sonchifolius*). Conservado en custodia en el CIP. PROBIOANDES Lima, Perú. //www.geocities.com/probioandes probioandes@terra.com.pe. 1999.
- Zuloaga, F. y Monroe, O. Catálogo de plantas vasculares de la República Argentina. Tomo II Dicotiledóneas. Asteraceae. Euphorbiaceae. *Monographs in Systematic Botany From The Missouri Botanical Garden* 74. 1999.