



ÍNDICE

1	Introducción.....	3
2	Descripción y análisis de la situación actual del cultivo de Yacón	9
2.1	Descripción Botánica.....	9
2.2	Parientes silvestres.....	12
2.3	Características químicas.....	12
2.4	Propiedades medicinales.....	14
2.5	El Cultivo	15
3	Sanidad del cultivo	27
3.1	Suelo. Metodología	27
3.2	Resultados	27
3.2.1	Muestras previas al cultivo	27
3.2.2	Muestras posteriores al cultivo	27
3.3	Plantas. Metodología.....	28
3.4	Conclusiones	29
4	Análisis químico de las hojas de yacón.....	30
4.1	Análisis químico cualitativo por cromatografía en capa delgada	31
4.2	Estudio biodirigido.....	33
4.2.1	Obtención de extractos y estudio de actividad antioxidante.....	33
4.2.2	Fraccionamiento del extracto de hojas.....	34
4.2.3	Estudios espectroscópicos de las fracciones obtenidas	37
4.3	Estudios de actividad hipoglucemiante	40
5	Evaluación del rendimiento de la planta.....	43
5.1	Descripción del sitio del ensayo experimental	43
5.2	Ensayo experimental	45
5.3	Resultados	47
6	Discusión final.....	50
7	Referencias Bibliográficas	57

EQUIPO DE TRABAJO

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

Ing. Silvia Elisa Ebber Elias: Coordinación y Dirección Técnica Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales Cátedra Diseño experimental. Profesional Adscrita.

Lic. Silvia Susana Shüring: Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales Cátedra Diseño experimental

Dra. Rosana Alarcón: Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales Cátedra Química

Lic. Soledad Natalia Ocampos: Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales. Integrante del Proyecto N° 1540 del CIUNSa.

Ing. Norma Beatriz Vecchietti Villegas: Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales Cátedra de Fitopatología Agrícola.

Dra. Cristina Acebedo: Universidad Nacional de Buenos Aires. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Cátedra de Farmacología

Dra. Susana Gorzalczany: Universidad Nacional de Buenos Aires. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Cátedra de Farmacología

Dr. Jorge Miño: Universidad Nacional de Buenos Aires. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Cátedra de Farmacología

1 INTRODUCCIÓN

La región andina es considerada como 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).

Los cultivos de origen andino corresponden a 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). Algunas de las especies de las que se aprovechan los tubérculos son: papa (*Solanum andigenum*, Solanácea), papa amarga (*S. juzepczuki*), oca (*Oxalis tuberosa*, Oxalédácea), papalisa u olluco (*Ullucus tuberosus*, Basellaceae), mashwa o isaño (*Tropaeolum tuberosum*, Tropeolácea). Entre las especies de las cuales se consumen las raíces se encuentran arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*, Umbelífera), achira (*Canna edulis*, Cannácea), ahípa o jícoma (*Pachyrizus tuberosus*, Leguminosa), yacón (*Smallantus sonchifolius*, Asterácea), chago, mauka o aricoma (*Mirabilis expansa*, Nyctaginácea), camote o apichu (*Ipomea batata*, Convolvulácea), maca (*Lepidium meyenii*, Crucífera). Las especies cuyos frutos o semillas son aprovechados son: maíz (*Zea mais*, Gramínea), quinua (*Chenopodium quinua*, Chenopodiácea), kañawa (*Ch. pallidicaule*), amaranto o coyo (*Amaranthus caudatus*, Amarantácea), tarwi (*Lupinus mutabilis*, Leguminosa), frijol o poroto (*Phaseolus vulgaris*, Leguminosa), pallar o cachas (*P. lunatus*), pajuro o balu

(*Erythrina edulis*, Leguminosa), zapallo (*Cucurbita máxima*, Cucurbitácea), achoscha (*Ciclantera pedata*, Cucurbitácea), tomate (*Lycopersicum esculentum*, Solanácea).

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), 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 1997, Ochoa 1998, Rozzi *et al.* 2001).

Algunos de los cultivos andinos como el maíz (*Zea mais*), el tomate (*Lycopersicum esculentum*) y la papa (*Solanum tuberosa*), están difundidos mundialmente y son ampliamente explotados pero muchos otros no son conocidos fuera de los Andes y no son aprovechados convenientemente (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 a 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 sólo 24 cultivos básicos de producción anual son comunes a todos ellos, además, que los cultivos tradicionales de cada región no tienen incidencia en el PBI (Prescot Allen y Prescor Allen 1990). Como consecuencia de esta economía de mercado los pobladores eligieron a 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, 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, debería basarse en la diversidad y en el aprovechamiento de los recursos disponibles localmente (Tapia *et al.* 1992, Rozzi *et al.* 2001). Prescott Allen y Prescott Allen (1990) concluyen 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 donde otros cultivos no prosperan, son resistentes a plagas y sequías, y al ser producidos en pequeñas extensiones de tierra con el trabajo familiar causan menor impacto. Además 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, 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 (Font Quer 1988). 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 (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 que se cultivaba en jardines y huertos caseros. Existen registros de su cultivo en Perú, Bolivia, Colombia, Venezuela, Ecuador y 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 apreciado como fruta en las dietas rurales. Tiene atributos nutricionales destacables, es un alimento de bajo contenido calórico pero 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 fosfo-oligofruktanos (FOS) así como algún principio activo que le otorga 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 andina, 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 consume como fruta fresca o deshidratada en diferentes grados, como fruta fresca es un buen rehidratante por su alto contenido de agua, además puede prevenir la fatiga y los calambres por su alto contenido de potasio, por lo que los campesinos lo consumían en largas caminatas, pudiendo consumir una persona entre 500 y 1000 g de yacón por día, este nivel de consumo no produce efectos tóxicos o nocivos. En la medicina folklórica andina el yacón es utilizado como remedio para afecciones digestivas, hepáticas, renales y como un antirraquítico (Lavaqué 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 Argentina se menciona al 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 Korsarz 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 (Lávaque 1983, Tapia 1990, Zardini 1991, Brown y Grau, 1993, Grau y Rea 1997, Neuman 2000, Grau y Korsarz 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 sólo 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 Cristi (Lavaqué 1983, Zardini 1991, Brown y Grau 1993, Grau y Korsarz 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, Perez 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 hacia el 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

2.1 Descripción Botánica

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 Argentina. Dos especies se encuentran en Salta, *Smallanthus sonchifolius* (yacón , yacuma, jicama) y *S. macroscyphus* (yacón del campo) (Wells 1965, Novara 1984, Tapia 1990, Zardini1991, 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

INGLES: Yacón – Strawbeir – Jiquima

ALEMAN: 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).

La planta de *Smallanthus sonchifolius* es herbácea-perenne, mide de 1 a 2,5 m de altura, presenta uno o varios tallos principales, los mismos son cilíndricos huecos pilosos de color verde a púrpura (Figura 1 y 2).

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,

presentan bordes dentados, tienen tres venas principales, su superficie es pilosa en la cara superior y pubescente en la inferior (Wells 1965; Fig. 3). El número de hojas varía entre 13 y 16 pares por tallo hasta la floración; luego de la floración la planta sólo produce hojas pequeñas (Fig. 4).

En sus hojas, el yacón posee al menos dos sistemas que lo protegen de los depredadores. Por un lado, existen pelos que 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). Estos recursos hacen que las hojas del yacón sean poco atacadas por insectos.

La inflorescencia elemental es un capítulo de alrededor de 35 mm de diámetro. El capítulo está formado por flores femeninas liguladas, con corola amarilla que se ubican externamente y por flores tubulares, funcionalmente masculinas que se ubican internamente. El involucreo es acampado y hemisférico, con 5 a 6 brácteas en una sola serie, envolviendo al receptáculo (Wells 1965, Cabrera 1978, Seminario et al. 2003; Fig. 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 (Fig. 6). Las flores femeninas (zigomorfas), abren antes que las masculinas y por lo general se marchitan antes que éstas (Grau y Rea 1997, Seminario y Valderrama 2002). En 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.

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, las que sirven de alimento a las yemas cuando van a brotar. (Seminario et al. 2003, Fig. 10).

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 (Fig. 7). Las raíces reservantes son engrosadas, ovadas o fusiformes semejantes a las raíces de la batata (Zardini 1991; Fig. 8). Diferentes factores pueden influir en la forma y el tamaño de las raíces, principalmente la variedad y el tipo de suelos en las que se desarrollan. Su peso puede fluctuar entre 50 y 1000 g, siendo en promedio de 300 a 600 g (Angulo 1994, Grau y Rea 1997, Seminario et al. 2003; Fig. 9)

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 separan las raíces de la cepa (corona), conservando estas últimas en un lugar fresco, seco y oscuro, que pueden ser en un pozo a o en una habitación hasta el momento de la siembra.

Las raíces cosechadas que no se consumen en el momento ni se venden, 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.

2.2 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 (Semianrio et al. 2003).

En Argentina, su pariente silvestre es *Smallanthus macrocyphus*, 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).

2.3 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 (Semianrio et al. 2003; Tabla1). 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), 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 \Rightarrow 1) y/o β (2 \Rightarrow 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 como los más importantes a 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 en número varía entre 2 y 60, mientras en los FOS son más pequeñas variando 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 tienen 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 hipocalóricas del azúcar común (Seminario et al. 2003).

Los FOS cuando son consumidos 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 nutracéuticos (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 oligofructanos 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 post-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 convierten 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 estudiadas en los últimos años, se sabe que tiene sesquiterpenos, lactonas, flavonoides y un grupo de sustancias que han 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 ha aislado el principio activo que le confiere esta propiedad (Pedreschi et al.2003, Takenaka et al. 2003, Valentova y Ulrichova 2003, Valentova 2004).

2.4 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 completamente hasta formar ácidos grasos de cadena corta, por esto los FOS no tienen incidencia en la elevación de los

niveles de glucosa en 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 bífidobacterias, reconstituyendo la microflora intestinal, considerándose 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 Urlichova 2003) han señalado que los FOS son importantes en la prevención y/o disminución de los riesgos de algunas enfermedades o afecciones tales como: la constipación; inhibición de diarreas, relacionado con el efecto inhibitorio de las bífidobacterias sobre las bacterias patógenas gram positivas y gram negativas; 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 sangre; y reducción de los riesgos de cáncer al 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 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 un importante complemento en los tratamientos de control y regulación de esta enfermedad.

2.5 El Cultivo

Smallanthus sonchifolius se cultiva tradicionalmente bajo 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 cada uno 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 proporciona suficiente agua. Sin embargo, las partes aéreas son sensibles a las heladas, por esto 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, Korstszar y Grau 2001).

El yacón tiene una demanda hídrica entre 650 y 1000 mm de precipitación anuales a lo largo del cultivo. Este requerimiento permite realizar el cultivo a secano en sitios con este régimen de lluvias, aunque se restringe el período de siembra. En este caso se recomienda sembrar a inicios de las precipitaciones pluviales entre los meses de 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 exceso de riego también puede afectar las raíces produciéndose rajaduras, lo cual puede provocar pudriciones durante el almacenamiento, además de afectar la calidad externa y 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, se pueden disponer aproximadamente de 10 a 12 mil plantas por ha. Se evaluó el rendimiento del yacón sembrado a diferentes densidades y llegó a la conclusión que está fuertemente afectado por la densidad de siembra, con el menor distanciamiento (0,8x1,0 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 (1,0x1,4 m), existiendo una compensación entre rendimiento en peso y tamaño por pieza. Doo et al. (2001) obtuvieron resultados similares, con distanciamientos de 0,50x0,70 m la proporción de raíces reservantes pequeñas (menos de 200g) fue mucho mayor.

El cultivo no requiere de muchas prácticas culturales. Con frecuencia se realiza un desmalezado a los 20 días de la siembra, si hiciera falta se realizan desmalezados posteriores hasta que el crecimiento de la planta cierra los surcos e impide 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, sin embargo 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 el daño de las mismas. 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 las mismas, 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 de tiempo, 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. Bajo estas condiciones las raíces del yacón pueden ser guardados por 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 dejando el yacón 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. Éstos trozos se dejan airear o bien se cubren

con cenizas o lejías (por ejemplo hipoclorito de sodio), para protegerlos de los patógenos, luego son sembrados definitivamente en el terreno (Angulo 1994, Grau y Rea 1997, Seminario et al. 2003).



Figura 1: Planta adulta de yacón (*Smallanthus sonchifolius*).



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



Figura 3: Hojas de yacón (*Smallanthus sonchifolius*).



Figura 4: Plantas de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en fase de floración, abajo: detalle del ápice con botones florales.

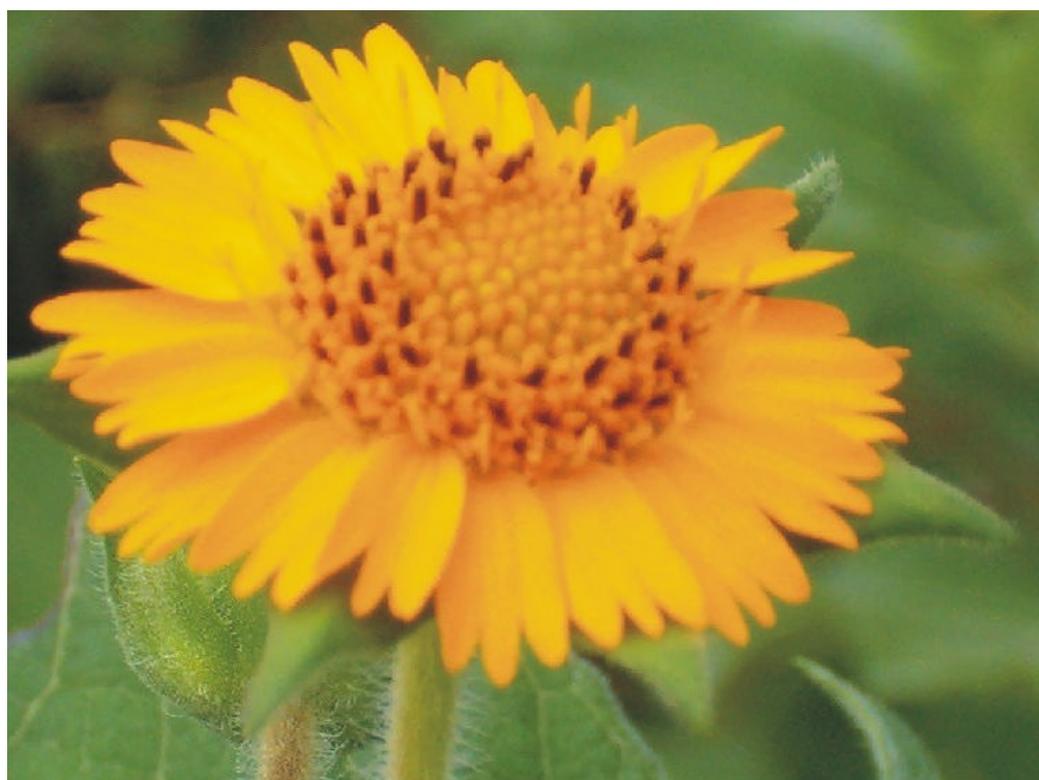


Figura 5: Inflorescencias de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en distintas etapas de maduración.



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



Figura 7. Planta completa de yacón (*Smallanthus sonchifolius*), y detalle de las raíces antes de la tuberización.



Figura 8: Raíces engrosadas de yacón (*Smallanthus sonchifolius*).



Figura 9: Variedad de tamaños y formas de las raíces comestibles de yacón (*Smallanthus sonchifolius*).



Figura 10: Raíces y coronas (rizomas) de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en el momento de la cosecha.

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 la misma. También se realizaron los controles y recolección de material con alteraciones que se estudiaron en laboratorio, de acuerdo a la planificación oportunamente presentada.

3.1 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 laboratorio, el suelo se oreó y pulverizó a los fines 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. Las mismas se incubaron en estufa a 28^a durante cinco días.

Se efectuaron cinco repeticiones por dilución.

3.2 Resultados

3.2.1 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 fitopatogénicas.

3.2.2 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 actividad saprofitica.

3.3 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 temperatura de laboratorio, sometidas a 12/12 horas luz/oscuridad, para favorecer la esporulación. Se siguió la evolución de las colonias durante 15 días.

Resultados

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) y *Ephedrus sp.* (Hymenoptera: Braconidae). La intensidad de los daños provocada por los mismos en la plantación no fue significativa dado que 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. Sólo 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, las que sirvieron de puerta de entrada a las bacterias para que degradaran el sustrato

3.4 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, por lo que es 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 co-existencia de compuestos que pueden producir efectos indeseables como sinergismo, antagonismos e impredecible 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.

4.1 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. En el laboratorio las hojas fueron secadas de dos maneras: secado natural y secado con aire forzado a una temperatura de 38 a 40 ° (Tabla 1). Posteriormente se obtuvieron extractos acuosos de las hojas secas. Se aplicaron dos metodologías:

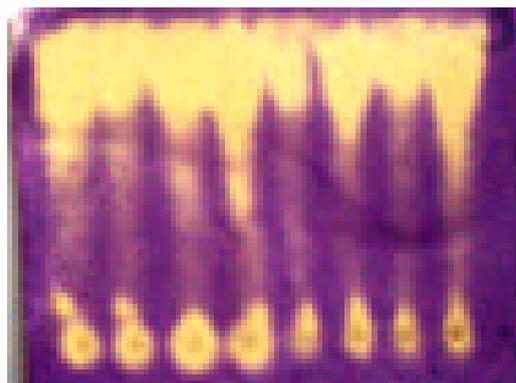
- Obtención de Infusiones: 400 ml de H₂O destilada hirviendo se agregaron a 20 g de hojas secas, se dejó extraer durante 5 minutos mientras se enfriaba a temperatura ambiente.
- Obtención por decocción: 20 g de hojas secas se agregaron a 400 ml de H₂O destilada hirviendo y se dejó hervir durante 5 minutos.

Tabla 1. Extractos acuosos de hojas secadas a temperatura ambiente y con aire forzado.

	<i>Secado a Temperatura ambiente</i>		<i>Secado a 38°-40°C</i>			
	Enteras	Enteras	Lavadas aplastada	Lavadas trozadas	Cortadas lavadas	Enteras lavadas
Infusión	I1	I2	I3	I4	I5	I6
Decocción	D1	D2	-	-	-	-

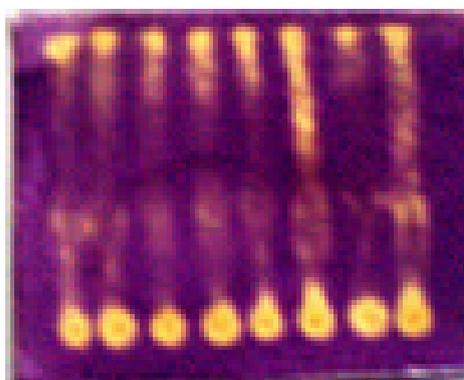
Después de la obtención de los extractos, se efectuó un análisis químico cualitativo mediante cromatografía en capa delgada de fase reversa C₁₈ (FRCCD). Las placas fueron desarrolladas en tres sistemas de solventes: metanol-agua (2:3) (Sistema A), acetato de etilo-agua-ácido acético (21:4:5) (Sistema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

La detección de los diferentes compuestos se realizó por espectroscopia UV a 254 nm y 366 nm; y con solución de DPPH al 0,1 % en metanol.



1 2 3 4 5 6 7 8

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



1 2 3 4 5 6 7 8

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



1 2 3 4 5 6 7 8

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 sólo se reportaron estudios químicos con extractos de hojas secadas a temperatura ambiente (Valentová *et al.*, 2005; Simonovska *et al.*, 2003).

4.2 Estudio biodirigido

4.2.1 Obtención de extractos y estudio de actividad antioxidante.

Se molieron hojas y raíces y posteriormente se efectuó la decocción de las mismas durante 15 minutos. Posteriormente se filtró al vacío y luego el filtrado obtenido fue llevado a sequedad hasta 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 a 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 a 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 descrita (Dickson y col., 2007). Análisis cuantitativo por espectroscopia UV-visible: se mide la absorbancia a $\lambda = 516$ nm de una solución blanco (A_b) y las soluciones de las muestras a ensayar (A_m). 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: $\%AAO = (1 - A_m/A_b) \times 100$. Todos los experimentos se realizaron por triplicado y se midieron las absorbancias a tiempo cero y a los 15 minutos.

Los resultados obtenidos revelan que el extracto obtenido por decocción de hojas presenta mayor actividad antioxidante (Tablas 3.2.1 y 3.2.2). Por estos resultados solo continuamos con el estudio del extracto de hojas.

Tabla 4.2.1. Actividad antioxidante del extracto acuoso de hojas.

^a Absorbancia \pm desviación estándar

^b Porcentaje de actividad antioxidante

Conc ($\mu\text{g/mL}$)	t= 0	% AAO ^b	t= 15 min.	% AAO ^b
	Abs. \pm DE ^a		Abs. \pm DE ^a	
0	0,62 \pm 0,02			
10	0,66 \pm 0,01	-6,0		
50	0,59 \pm 0,01	5,3		
100	0,47 \pm 0,01	24,6		
250	0,26 \pm 0,01	58,3		
500	0,16 \pm 4,2.10 ⁻³	74,3		

Tabla 4.2.2- Actividad antioxidante del extracto acuoso de raíces.

^a Absorbancia \pm desviación estándar

Conc ($\mu\text{g/mL}$)	t= 0	% AAO ^b	t= 15 min.	% AAO ^b
	Abs. \pm DE ^a		Abs. \pm DE ^a	
0	0,62 \pm 0,02		0,62 \pm 0,02	
10	0,81 \pm 0,01	-30,0	0,72 \pm 3,5.10 ⁻²	-15,6
50	0,69 \pm 0,01	-10,8	0,71 \pm 0,01	-14,0
100	0,68 \pm 0,01	-9,1	0,68 \pm 0,01	-9,1
250	0,67 \pm 0,01	-7,5	0,65 \pm 0,01	-4,3
500	0,65 \pm 0,03	-4,3	0,56 \pm 0,03	-10,1

^b Porcentaje de actividad antioxidante

4.2.2 Fraccionamiento del extracto de hojas

10 g del extracto acuoso de hojas, fue fraccionado por cromatografía en columna flash de fase reversa (silica gel C-18, Merck), eluída 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 cual de ellas presentaba mayor actividad biológica y posteriormente abocarnos al aislamiento de los metabolitos secundarios presentes en la misma. Los resultados se muestran en Tabla 4.2.3, 4.2.4, 4.2.5 y 4.2.6.

Tabla 4.2.3- Actividad antioxidante de Fracción 1.

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

^a Absorbancia \pm desviación estándar

^b Porcentaje de actividad antioxidante

Tabla 4.2.4- Actividad Antioxidante de Fracción 2.

Conc ($\mu\text{g/mL}$)	t= 0	% AAO	t= 15 min.	% AAO
	Abs. \pm DE		Abs. \pm DE	
0	0,61 \pm 0,01		0,61 \pm 0,01	
10	0,39 \pm 0,01	36,0	0,39 \pm 0,01	36,0
50	0,35 \pm 0,01	42,6	0,31 \pm 2,1.10 ⁻³	49,2
250	0,27 \pm 0,03	55,7	0,03 \pm 0,01	95,1
500	0,22 \pm 0,01	63,9	0,02 \pm 7,1.10 ⁻⁴	96,7

^a Absorbancia \pm desviación estándar

^b Porcentaje de actividad antioxidante

Tabla 4.2.5- Actividad antioxidante de Fracción 3.

Conc ($\mu\text{g/mL}$)	t= 0	% AAO	t= 15 min.	% AAO
	Abs. \pm DE		Abs. \pm DE	
0	0,61 \pm 0,01		0,61 \pm 0,01	
10	0,35 \pm 0,05	42,6	0,31 \pm 3,5.10 ⁻³	49,2
50	0,28 \pm 0,02	54,1	0,27 \pm 0,06	55,7
250	0,13 \pm 1,4.10 ⁻³	78,7	0,16 \pm 0,01	73,8
500	0,09 \pm 0,02	85,2	0,04 \pm 0,03	93,4

^a Absorbancia \pm desviación estándar

^b Porcentaje de actividad antioxidante

Tabla 4.2.6- Actividad antioxidante de Fracción 4.

Conc ($\mu\text{g/mL}$)	t= 0	% AAO	t= 15 min.	% AAO
	Abs. \pm DE		Abs. \pm DE	
0	0,61 \pm 0,01		0,61 \pm 0,01	
10	0,38 \pm 3,5.10 ⁻³	37,7	0,39 \pm 4,2.10 ⁻³	36,0
50	0,38 \pm 0,01	37,7	0,39 \pm 0,06	36,0
250	0,37 \pm 1.4.10 ⁻³	39,3	0,35 \pm 0,01	42,6
500	0,34 \pm 0,02	44,3	0,30 \pm 0,03	50,8

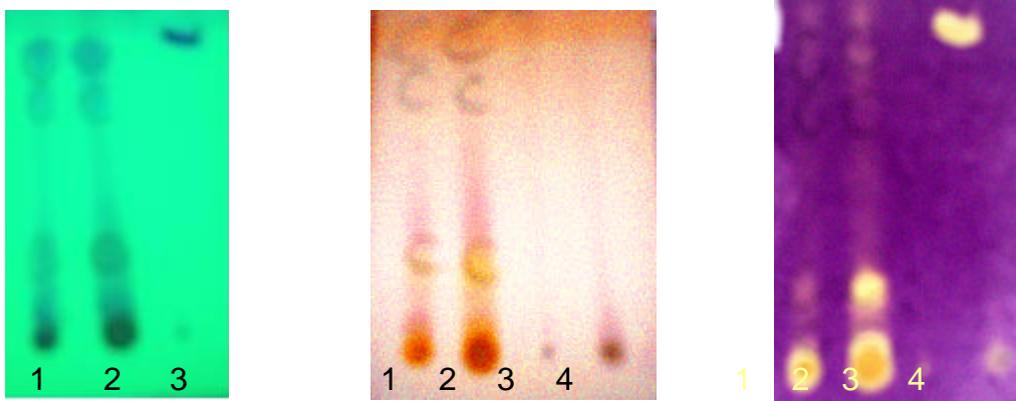
^a Absorbancia \pm desviación estándar

^b Porcentaje de actividad antioxidante

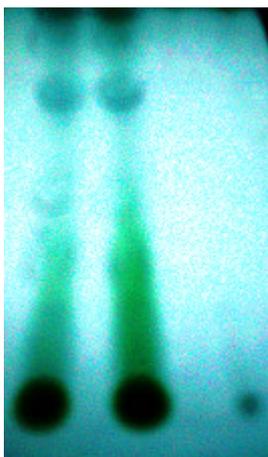
Las fracciones 1 y 2, exhiben potentes actividades antioxidantes. Además ambas fracciones muestran comportamientos similares. Fracción 3 también manifiesta actividad antioxidante pero de menor magnitud que las anteriores. Fracción 4 sólo exhibe propiedades antioxidantes a las más altas concentraciones 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 elusión Benceno: Acetona: Ácido Acético (3:2:0,5) y se revelaron con lámpara UV 254. También se utilizaron otros reactivos cromogénicos:

a) Solución de vainillina al 1% en etanol, H₂SO₄ al 20 % en etanol, seguida de calentamiento.

b) 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- fracción 2, 3- fracción 3 y 4- fracción 4.



Referencias: (d) CCDFR, revelada con lámpara UV ₂₅₄. 1- fracción 1, 2, 3
fracción 2, 3- fracción 3.

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

4.2.3 Estudios espectroscópicos de las fracciones obtenidas

Estudios previos en especies del género *Smallanthus*, recolectadas en la Pcia de Tucumán, revelan que *S. sonchifolius* (yacón) contiene diversas lactonas sesquiterpénicas: enydrina, uvedalina, polymatina B, fluctuanina 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 cual 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 4.2.1, 4.2.2, y 4.2.3).

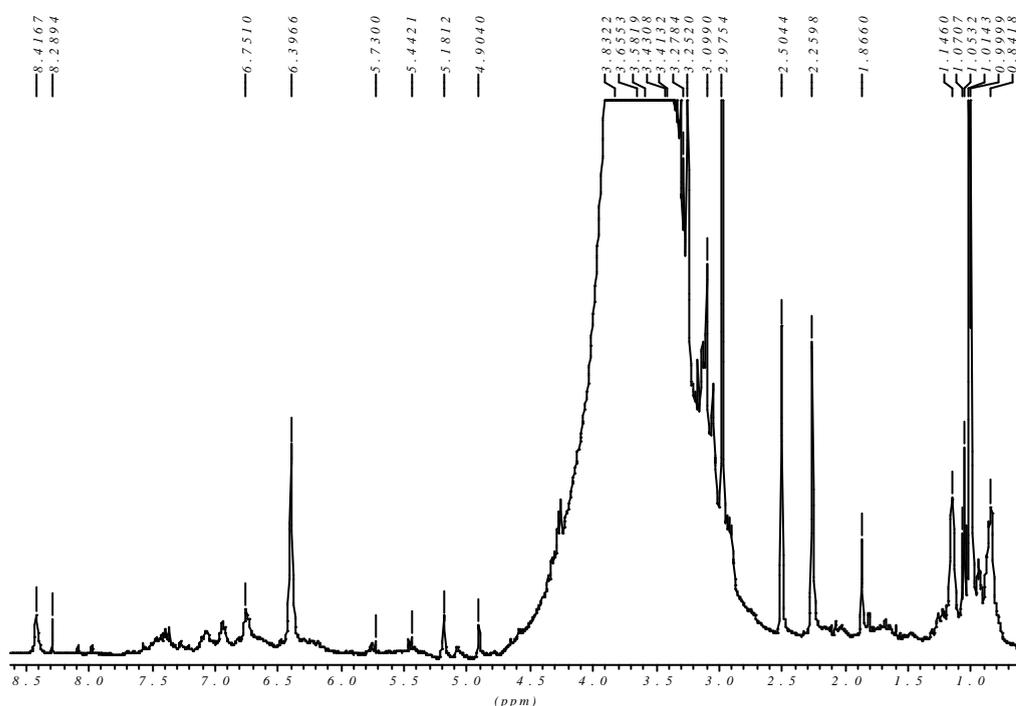


Figura 4.2.1- Espectro de ¹H RMN de fracción 1 (400 MHz, CDCl₃, TMS)

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

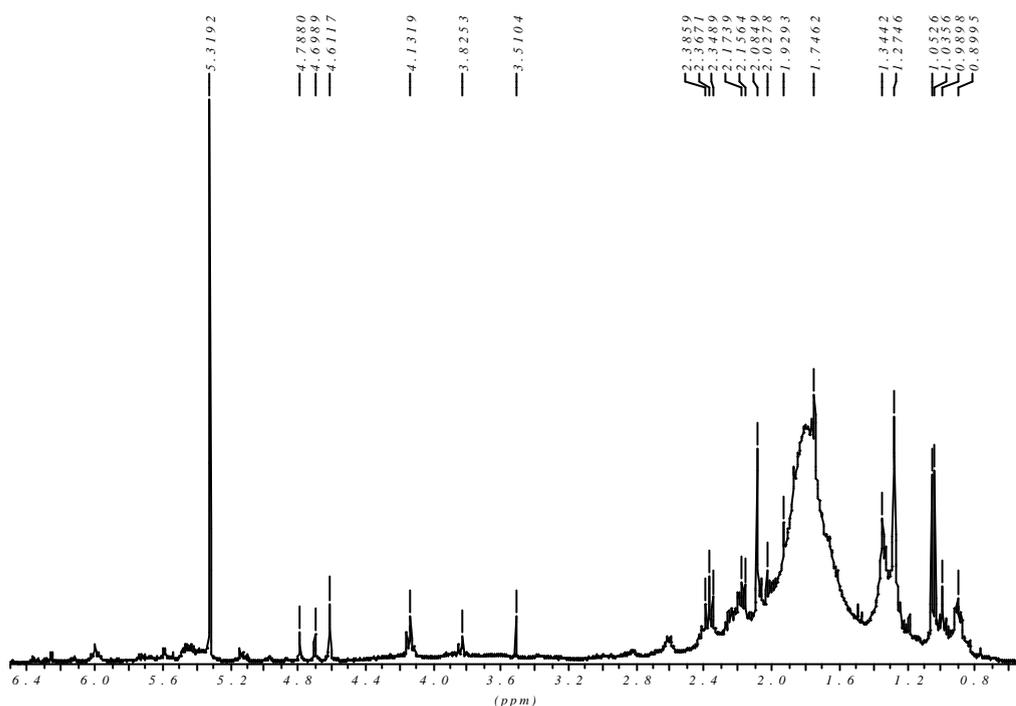


Figura 4.2.2- Espectro de ¹H RMN de fracción 3 (400 MHz, CDCl₃, TMS)

Este espectro muestra que existe una mezcla de distintos compuestos terpenoides. El espectro ampliado (Figura 3.2.2.a) exhibe señales características de lactonas sesquiterpénicas.

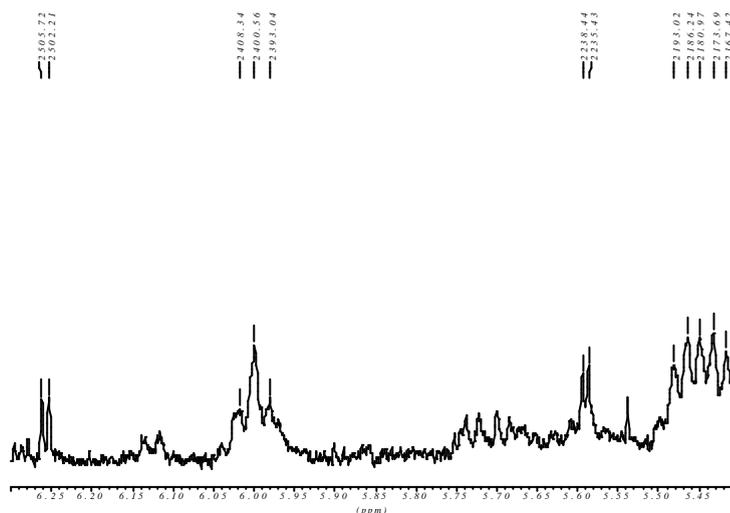


Figura 4.2.2.a-Espectro de RMN ¹H (400 MHz, CDCl₃, TMS)

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

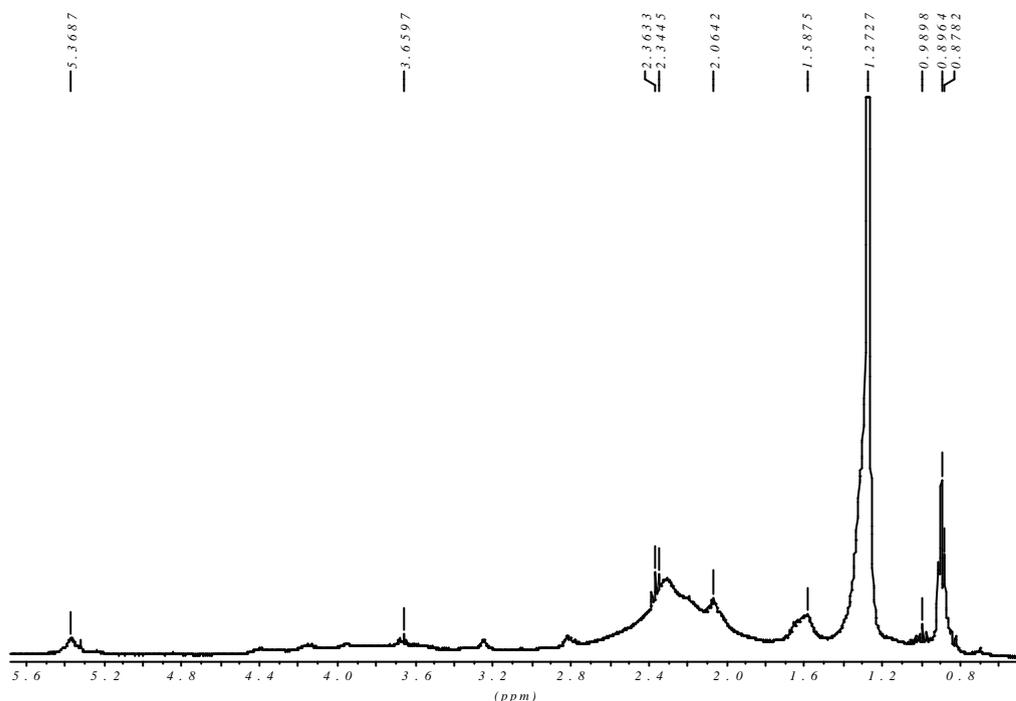


Figura 4.2.3- Espectro de RMN ^1H (400 MHz, CDCl_3 , TMS)

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.

4.3 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 Nacional de Buenos Aires en la cátedra de Farmacología, bajo la dirección de la Dra. Cristina Acevedo, quien informa:

ESTUDIO DE LA ACTIVIDAD HIPOGLUCEMÍNATE DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*)

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:

Administración de yacón al 2% en el agua de bebida

Día	Glucemias	
	Grupo control	Grupo con yacón
0 (Basal)	433.8±76.3	420.2±20.0
Día 3	420.25±20.1	322.8±45.8
Día 4	411.5±21.9	324.4±49.1
Día 5	462.7±19.1	276.8±39.8*
Día 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.

1) Efecto de la administración aguda del extracto acuoso de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en ratas normales.

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

1) Administración de una sola dosis de Yacón al 10% por vía intraperitoneal (i.p.).

2) Administración de una sola dosis de Yacón 10% por vía oral mediante sonda gástrica (vo).

3) 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 hs luego de la administración del yacón. Los resultados se indican en la tabla.

Administración de aguda de yacón 10% en ratas normales

Hora	Glucemias		
	Grupo control	Yacón 10% i.p.	Yacón 10% v.o.
0 (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±6.0	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 hs. en los animales administrados por vía oral.

5 EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA PLANTA

5.1 Descripción del sitio del ensayo experimental

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 has 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 a la Cordillera Oriental y a las Sierras Subandinas, y como fisiografía al Valle de Lerma y las Lomas de Medeiro. Los suelos tienen desarrollo genético y el drenaje interno es impedido por la textura del mismo; 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 W 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 ambos 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 has.

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 los meses de noviembre y marzo. Los registros anuales medios son superiores a 819 mm, con valores extremos de 642 a 1327 mm (Estación Meteorológica de Las Costas). En el

período en que se realizó el presente 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).

La temperatura media anual es de 16,3 °C, registrándose una máxima absoluta de 38,2 y mínima absoluta de 6,6 °C. El período libre de heladas es de 286 días, siendo la fecha media de la primera helada el 11 de junio, y la fecha media de la última helada el 29 de agosto, con una desviación típica de 8,5 días (Bianchi 1996).

Por su vegetación la zona fitogeográfica del sector corresponde a la Región Neotropical, Dominio Chaqueño, Provincia Chaqueña, Distrito Chaco Serrano (Cabrera 1979).

La vegetación sobre la Serie Mojotoro presenta un estrato arbóreo formado por: sacha cebil (*Parapitadenia exelsa*), que en algunos sectores forma rodales puros, tala (*Cetis sp.*), mistol (*Zizipus mistol*), pacará (*Enterolobium contortilicium*), lecherón (*Sapium haematospermum*), ceibos (*ijwana sp.*), cocucho (*Fragara coco*), tipas (*ijwana tipu*), jacarandá (*Jacarandá mimosifolia*), Guarán (*Tecoma stands*) y moras (*Morus Sp.*).

El estrato arbustivo está formado por: tuscas (*Acacia aroma*), churquis (*Acacia caven*), Vermonia escuamulosa, Capparis sp., Sesbania puniceas, chalchal (*Allophilus edulis*), Heteropteris sp., higo del monte (*Carica quiercifolia*), lecherón (*Sapium haematospermum*).

El estrato herbáceo está formado por gramíneas que cubren el sotobosque *Setaria geniculata Setaria sp.*, cadillos (*Cenchrus spp.*), *Paspalum notatum*, *P. urvillei Paspalum spp.*, *Sporologum pyramidatus*, *Eleusine indica*, Eragrostis lugens, saetilla (*Bidens pilosa*), *Chenopodium spp.*, revienta caballos (*Phisalis viscosa*), hediondilla (*Cestrum parquii*), bolsa de pastor (*Capsella bursa pastoris*).

Para el sector donde se llevó a cabo el ensayo (ubicado 24° 43'9" S y 65° 26'31" W y a una altura de 1309 msnm), se realizó un análisis de suelo sobre una muestra de 25 cm de profundidad tomada antes de la siembra. El análisis fue realizado por el Laboratorio Central de Análisis del INTA, EEA Salta, el que indicó

