

**Propuesta para el cultivo y aprovechamiento sostenible del yacón (*Smallanthus sonchifolius*
(Poepp. & Endl.) H. Rob) en Colombia**

Karen Marcela Jiménez Rodríguez



**Pontificia Universidad Javeriana
Facultad de Ciencias
Carrera de Biología
Bogotá D.C. 2011**

**Propuesta para el cultivo y aprovechamiento sostenible del yacón (*Smallanthus sonchifolius*
(Poepp. & Endl.) H. Rob) en Colombia**

Karen Marcela Jiménez Rodríguez

Ingrid Schuler Ph.D

Decana Académica

Facultad de Ciencias

Andrea Patricia Forero

Directora Programa de Biología

Facultad de Ciencias

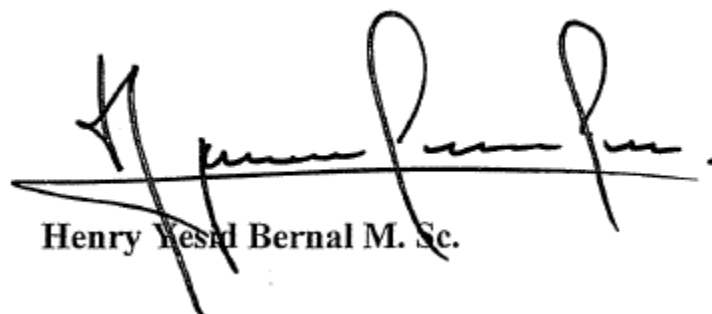
**Propuesta para el cultivo y aprovechamiento sostenible del yacón (*Smallanthus sonchifolius*
(Poepp. & Endl.) H. Rob) en Colombia**

Karen Marcela Jiménez Rodríguez



Nestor Julio García C. M.Sc.

Director



Henry Yesid Bernal M. Sc.

Jurado.

Nota de advertencia

Artículo 23 de la Resolución No 13 de Julio de 1946

“La universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y porque las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ella el anhelo de buscar la verdad y la justicia”.

Resumen

Una de las causas de los problemas alimenticios y de salud contemporáneos, ha sido la simplificación de la dieta de la población mundial. Por tal razón, se ha vuelto a las especies subutilizadas promisorias, como alternativa para ampliar la diversidad de alimentos que se consumen, y, de esta manera, solucionar los problemas que nos aquejan actualmente. Una de las especies promisorias de la eco-región andina, es el yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Rob.), el cuál es una planta multipropósito que brinda beneficios a la salud humana. En este sentido, en el presente trabajo se diseñó una propuesta, para el cultivo y aprovechamiento sostenible de este recurso vegetal en el país. Para cumplir con el presente objetivo, se recopiló, analizó y presentó el conocimiento agrotecnológico disponible, como también se analizaron alternativas para incentivar su cultivo y comercialización. Se encontró que el yacón en Colombia se encuentra en sistemas de huerta casera asociado con cultivos como el maíz, café, hortalizas, plantas medicinales y árboles frutales; además presenta un alto rango de adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales, obteniéndose los mejores rendimientos en el país a un rango altitudinal que va de los 1260 y 2423 m.s.n.m., un rango de temperatura que va de los 16 a 20 °C y en precipitaciones anuales que van de los 2500 a 2700 mm; se propaga vegetativamente; no requiere de muchos cuidados durante la siembra y responde positivamente a la fertilización orgánica. A pesar de esto aún es una planta desconocida por consumidores, investigadores, agricultores y políticos, debido principalmente a la falta de mercadeo, sistemas de comercialización y estudios de aspecto legal. Por tanto, si se quiere incentivar su cultivo y aprovechamiento sostenible es importante que se mejoren las condiciones de mercadeo y los agricultores que actualmente están cultivando yacón en el país, se incentiven a compartir experiencias para poder desarrollar y proponer un manejo agrotecnológico orientado a la comercialización.

Introducción

Debido a los problemas alimenticios y de seguridad alimentaria que está sufriendo la sociedad, dada la preferencia a unos pocos cultivos, y, además, a los eventos de cambio climático que se han venido presentado actualmente, y que ponen en riesgo a algunas especies especializadas en términos ecológicos (Johns, 2004). Se hace necesario, incentivar el cultivo y aprovechamiento sostenible de especies promisorias, que brinden ventajas a la comunidad y al medio ambiente. Entre estas ventajas se destacan:

diversificación de la dieta; alta adaptabilidad, ofreciendo un mejor mantenimiento a los ecosistemas agrícolas y un mayor uso de tierras marginales; la posibilidad de manejo dentro de sistemas agrícolas sostenibles; e incluso de manera indirecta el favorecimiento a la reducción de importaciones (Williams & Haq, 2002; Padulosi & Hoeschle-Zeledon, 2004; Scheldeman *et al.*, s.f.).

Colombia al ser un país que se encuentra en la eco-región andina presenta muchas raíces y tubérculos subutilizados con propiedades promisorias (Polanco, 2011). Una de estas especies es el yacón, conocida en Colombia también como jiquimilla y arboloco (Chasquibol *et al.*, 2002; Polanco, 2011). Esta especie pertenece a la familia Asteracea, genero *Smallanthus*. Su nombre científico es ***Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Rob.**, y sus sinónimos son ***Polymnia sonchifolia* Poepp. & Endl.** y ***Polymnia edulis* Wedd.** (Seminario *et al.*, 2003).

Es una planta perenne que puede llegar a medir hasta 2.5 metros. Se encuentra en estado silvestre o cultivado desde Venezuela y Colombia hasta Argentina, a lo largo de declives húmedos y valles interandinos secos, entre los 900 a 3200 msnm (Seminario *et al.*, 2003; Polanco, 2011). Además presenta una gran adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales y tipo de suelos, es fácil de cultivar, es tolerante a enfermedades y plagas, responde bien a la fertilización orgánica y además presenta buena respuesta a la asociación con otras plantas (Grau & Rea, 1997; Seminario *et al.*, 2003; Valderrama *et al.*, 2005; Polanco, 2011).

En sus raíces reservantes acumula un alto contenido de agua, potasio y grandes cantidades de fructooligosacaridos (FOSs). Estos FOSs son azúcares que no pueden ser digeridos por el cuerpo humano. Se presume, principalmente por estudios realizados en animales, que este tipo de azúcar ayuda a reducir los niveles de azúcar y colesterol en la sangre; mejora la salud gastrointestinal, ya que favorece la proliferación de bacterias benéficas al organismo (probióticos); reduce los riesgos de padecer de cáncer de colon; mejora la asimilación de calcio y tiene un efecto favorable para el estreñimiento (Seminario *et al.*, 2003; Manrique *et al.*, 2005; Valderrama *et al.*, 2005; Polanco, 2011).

Por otro lado, en las hojas se han encontrado compuestos con alto poder antioxidante, como el ácido clorogénico, triptófano, y varios fenoles derivados del ácido cafeico (García, 2003; Santana & Cardoso, 2008; Muñoz, 2009; Polanco, s.f.).

Por lo mencionado anteriormente, esta es una planta multipropósito que se puede aprovechar en la industria farmacéutica y de alimentos. Se puede consumir en forma fresca o en alimentos procesados como harinas, néctares, mermeladas, jarabes, té, hojuelas, productos deshidratados, entre otros (Seminario *et al.*, 2003; Valderrama *et al.*, 2005; Polanco, 2011).

En el país se siembra en sistemas tradicionales de huerta casera o en pequeñas parcelas en asocio con hortalizas, maíz, café, plantas medicinales y árboles frutales; en los departamentos del Caldas, Cauca, Nariño, Huila, Risaralda, Quindío, Cundinamarca, Boyacá, Tolima y Valle del Cauca (García, 2003). Sin embargo, es poco lo que se conoce en el país de esta especie promisoría, lo que conlleva a que reciba muy poca atención por parte de los agricultores, científicos y tomadores de decisiones (García, 2003; Padulosi & Hoeschle-Zeledon, 2004; Muñoz, 2009).

Debido al potencial promisorio de esta planta, es importante crear herramientas que permitan impulsar su cultivo y aprovechamiento sostenible, con el propósito de brindar alternativas para el tratamiento de los problemas alimenticios, medicinales y económicos que aquejan a nuestro país (Polanco, 2011). Para esto, es necesario disponer de un paquete de conocimientos agrotecnológicos que incluyan, multiplicación por semilla, multiplicación por esqueje, preparación de suelo, siembra, fertilización y suministro de nutrientes, labores culturales y cuidado de las plantas, enfermedades y tratamientos, cosecha y recolección, manejo pos-cosecha y rendimiento. Sin embargo, en Colombia no se ha hecho un documento que reúna esta información, por lo que en este trabajo se buscó recopilar, analizar y presentar, el conocimiento agrotecnológico disponible como también analizar posibles alternativas que incentiven su cultivo y comercialización en el país.

Justificación y Planteamiento del problema

A pesar que se conocen aproximadamente 30.000 especies vegetales consideradas comestibles, la diversidad agrícola que utiliza la población mundial para satisfacer sus necesidades es escasa, por ejemplo, se estima que solo 30 especies constituyen el 95% del consumo de proteínas y calorías en el mundo (FAO, 1996). Esta preferencia por unos pocos cultivos como el arroz, el maíz, la papa, o el trigo, probablemente está relacionada con su facilidad para crecer en amplios rangos de hábitats, sus pocos requerimientos de cultivo, el fácil procesamiento y almacenamiento, sus propiedades nutricionales, su sabor, entre otros (Padulosi *et al.*, s.f.). Sin embargo, en la actualidad se han visto problemas asociados con el “hambre escondida,” principalmente en países en vía de desarrollo, aunque también se han encontrado casos en las poblaciones más vulnerables de los países desarrollados. Este “hambre escondida”, hace referencia a la deficiencia de micro-elementos esenciales en la dieta, especialmente de niños y adultos de la tercera edad, a causa de la poca diversidad de alimentos consumidos por todo el mundo (Johns, 2004). Por tal razón, se ha buscado suplir la deficiencia de estos microelementos (como yodo, hierro, zinc, vitamina A) introduciéndolos a los cultivos ya conocidos, por medio de mejoramiento genético (Johns, 2004). Paradójicamente, para tratar estos problemas alimentarios no se considera la

amplia diversidad de plantas comestibles empleadas tradicionalmente por las poblaciones rurales, muchas de las cuales se consideran como especies subutilizadas (Johns, 2004).

Aunque las especies subutilizadas contribuyen a la nutrición y a la salud en los países en desarrollo, en especial a nivel local, han sido de poco interés para los programas de investigación, comercialización y desarrollo tecnológico (Scheldeman *et al.*, s.f.). Sin embargo, estos recursos vegetales pueden competir a nivel local por su contenido de microelementos, además de su adaptabilidad al clima cambiante que actualmente amenaza la productividad de los cultivos (Scheldeman *et al.*, s.f.). No obstante, esta creciente “hambre oculta” y, por ende, los problemas de salud, han hecho que se cree un cambio de conciencia y ahora se les preste más atención a estos recursos vegetales (Padulosi *et al.*, s.f.). Pero reconocer las especies subutilizadas no solo es importante en tanto que pueden solucionar los problemas de salud que aquejan actualmente a la sociedad brindando así seguridad alimentaria, sino que también es importante rescatarlas y volver a ellas, ya que, el abandono de estas especies ha generado dos grandes problemáticas, una a nivel social y otra a nivel de pérdida de biodiversidad (Padulosi *et al.*, s.f.). El primero, hace referencia a la pérdida de conocimiento local y, por tanto, la ignorancia de las nuevas generaciones sobre los usos tradicionales de estos cultivos, relegándolos como de uso exclusivo de las poblaciones menos favorecidas (Padulosi *et al.*, s.f.). El segundo hace referencia a la erosión genética que están sufriendo estas especies, generando así la pérdida de variabilidad de la flora nativa a causa de la introducción de los cultivos mayores, que por decirlo de algún modo están dominando la alimentación mundial (Scheldeman *et al.*, s.f.).

En este sentido, teniendo en cuenta que Colombia es un país en desarrollo con alta biodiversidad, es importante crear herramientas que permitan incentivar el aprovechamiento de estas especies subutilizadas, con el propósito de brindar alternativas para el tratamiento de los problemas alimentarios y económicos que aquejan nuestro país (Polanco, 2011). Por ser un país que se encuentra en la eco-región andina presenta muchas raíces y tubérculos subutilizados, que fácilmente podrían reemplazar el contenido de carbohidratos presentes en la papa, una de las únicas especies andinas que han podido conquistar el mundo (Polanco, 2011). Una de las raíces nativas de esta eco-región con gran potencial es el yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Rob), perteneciente a la familia Asteraceae. Esta planta es multipropósito, tiene propiedades alimenticias y medicinales; alimenticias, por su sabor dulce y alto contenido de agua y, medicinales, porque al presentar fructooligosacaridos (FOSs), azúcares que no pueden ser fácilmente digeridos, evitando que suba el nivel de azúcar en la sangre, por lo que puede ser consumido por personas que padecen de diabetes (Muñoz, 2009; García, 2003). Sin embargo, a pesar de este gran potencial, al parecer en Colombia se encuentra en estado de extinción, debido a la falta de conocimiento tradicional que ha conducido su cultivo al margen, con lo que se hace prioritario crear

herramientas que incentiven su cultivo y aprovechamiento sostenible y, de esta manera, generar confianza a agrónomos, consumidores y tomadores de decisiones sobre su potencial promisorio (Padulosi & Hoeschle-Zeledon, 2004; Muñoz, 2009; García, 2003).

Marco teórico

Problemática alrededor de la introducción de cultivos

A pesar que se conocen aproximadamente 30.000 especies vegetales consideradas comestibles, la diversidad agrícola que utiliza la población mundial para satisfacer sus necesidades es escasa, por ejemplo, se estima que solo 30 especies constituyen el 95% del consumo de proteínas y calorías en el mundo (FAO, 1996). Esta simplificación en la dieta probablemente se debió a uno de los procesos que se presentó luego del descubrimiento, la introducción de los cultivos, que generó que se prefirieran los cultivos foráneos sobre los cultivos de uso tradicional. Cuando esto ocurrió se generaron procesos de deforestación, pues los monocultivos reemplazaron la biodiversidad existente por siembras densas de escasa diversidad (Hernández & León, 1942). En el caso particular de América Latina la construcción de vías y viviendas en sitios donde existía agricultura intensiva y variada, provocó la disminución del consumo de productos tradicionales, haciendo de esta manera que se diera un cambio en la cultura alimenticia (Hernández & León, 1942).

A medida que se iban introduciendo nuevos cultivos en ciertos países, estos países a su vez intercambiaban otros, siendo esta la forma en la que los cultivos comerciales reconocidos actualmente, fueron conquistando todo el mundo (Hernández & León, 1942). Pero no solo el intercambio llevó a que estas especies tuvieran tal éxito, la apariencia física, la capacidad de adaptación al medio ambiente, el sabor, las propiedades nutricionales, las técnicas de cultivo, la capacidad de almacenamiento y la alta diversidad genética a partir de la recolección de germoplasma, también contribuyeron a que solo fueran unos pocos los cultivos comerciales altamente reconocidos por los agricultores, consumidores e investigadores (Padulosi, 1999).

A pesar de los factores anteriormente mencionados, la escogencia en la dieta diaria de estos pocos cultivos para satisfacer todas las necesidades alimenticias, ha conllevado a que se presenten problemas de salud por falta de seguridad alimentaria (Gamarra, 2004). La preferencia por el azúcar, el arroz, el trigo y el aceite comestible como alimentos que brindan fuentes energéticas ha generado problemas de obesidad, enfermedades cardíacas y diabetes (Gamarra, 2004). Otra consecuencia que trajo la adopción de esta dieta poco diversa es la llamada hambre escondida asociada a la falta de vitaminas y micronutrientes esenciales necesarios en una dieta balanceada, la cual, afecta principalmente a los niños y adultos mayores de los

países en desarrollo, aunque actualmente se han reportado casos en las poblaciones marginales de los países desarrollados (Padulosi *et al.*, s.f.).

Especies subutilizadas

A causa de los desbalances nutricionales que ha venido presentando la población mundial, en el siglo XXI ha comenzado un cambio de conciencia, ya que se está reconociendo que en gran medida estos desbalances nutricionales pueden solucionarse si se incrementa la diversidad de los alimentos que se consumen (Johns, 2004). Este aumento de la diversidad de alimentos, puede darse si se retoma a las especies adaptadas regionalmente, empleadas tradicionalmente y presentes en gran cantidad antes que se optara por los cultivos mayores. Todo este conjunto de recursos vegetales que no han sido completamente explotados se conocen como especies subutilizadas, aunque también se les denomina especies abandonadas, huérfanas, nuevas, descuidadas, perdidas, sub-usadas, tradicionales, locales, menores, alternativas, prometedoras o subdesarrolladas (Padulosi & Hoeschle-Zeledon, 2004).

Sin embargo, el uso de las especies subutilizadas no solo brinda una solución a los problemas alimenticios, al brindar aportes importantes para una dieta adecuada, sino que también pueden emplearse para fines industriales, medicinales u ornamentales (Johns, 2004). En este sentido, estas especies pueden ofrecer otras ventajas importantes, como el aumento de los empleos y los ingresos en las áreas rurales, un mejor mantenimiento de los ecosistemas agrícolas y un mayor uso de las tierras marginales (Williams & Haq, 2002). Asimismo, estas especies, contribuyen a la preservación de la identidad cultural de las comunidades rurales, a mantener los valores paisajísticos (Padulosi, 1999), a proporcionar diferentes posibilidades sobre todo dentro de sistemas agrícolas sostenibles e, incluso, de manera indirecta a favorecer la reducción de importaciones (Scheldeman *et al.*, s.f.).

Adicionalmente, para que una especie sea considerada subutilizada debe ser una parte importante en las culturas locales siendo relevante para el consumo local y los sistemas de producción; debe tener alta capacidad de adaptabilidad, ya que estas por lo general son originarias de áreas marginales con lo que tendrían ventajas comparativas con los cultivos comerciales, por lo que no necesitan de gran cantidad de insumos ni complejas técnicas biológicas para su adecuada producción; debe ser ignorada por políticos e investigadores, requiriéndose estudios para mejorar su cultivo y su manejo pos-cosecha; debe tener variedades locales, ya que estos se pueden emplear como materia prima para efectuar algún tipo de mejora; su diversidad genética no está bien representada, por lo que se hace necesario incentivar su

conservación; su suministro de semillas es escaso, por lo que los campesinos y agrónomos encuentran difícil acceder a estas especies (Padulosi & Hoeschle-Zeledon, 2004; Scheldeman *et al.*, s.f.).

Además de las características que debe presentar una especie subutilizada, se debe tener en cuenta las implicaciones que tiene este término. Una especie puede ser subutilizada en una región, pero no necesariamente en otra, además, muchas especies pueden representar un componente en la dieta diaria de muchas personas, pero la falta de mercadeo hace que estas se subutilicen en términos económicos, también, en algunos países puede que algunas especies mejoren su grado de subutilización gracias al progreso de sus sistemas de comercialización, pero estas mismas especies pueden seguir en un nivel de subutilización en países donde estos sistemas no han progresado (Padulosi *et al.*, s.f.); y, precisamente, estas malas condiciones de mercadeo hacen que estas especies no hayan sido valoradas por los consumidores, investigadores, agrónomos y políticos, con lo que si se quiere volver a ellas, es necesario hacer estudios sobre la comercialización, calidad nutricional y aspectos legales para regular su uso (Padulosi & Hoeschle-Zeledon, 2004).

Según Williams & Haq (2002), tanto países desarrollados como países en vía de desarrollo se han interesado por las especies subutilizadas. En el caso particular de los países en desarrollo el interés se ha restringido a grupos de plantas alimenticias como se aprecia a continuación:

- Frutas: Angola, Jordania, Turquía, Siria, Egipto, Yemen, Pakistán, Sri Lanka, Filipinas, Tailandia, Indonesia, Malasia, Vietnam, Cuba, Costa Rica, Antigua/Barbados, Guatemala, Honduras, México, El Salvador, Nicaragua, Panamá, Ecuador y Brasil.
- Verduras y Legumbres: Nigeria, Ghana, Zimbabue, Namibia, Pakistán, Nepal, Sri Lanka, Tailandia, Indonesia, Vietnam, Filipinas, Ecuador.
- Cereales y pseudocereales: Países Andinos, Cuba, Guatemala, Etiopia.
- Raíces y tubérculos: países andinos, estados del pacífico.
- Semillas oleaginosas: Etiopia.

Por otro lado, según Williams & Haq (2002), para los países desarrollados priman ciertos intereses a la hora de decidir en invertir e investigar sobre estas especies subutilizadas, por ejemplo:

- Capacidad para generar nuevos productos agroindustriales, especialmente, aceites, fibras, almidones y otros compuestos bioactivos.
- Capacidad para desarrollar nuevos productos industriales para uso alimentario, especialmente almidones y aceites.
- Oportunidad de expandir las ofertas de alimentos en los supermercados.

- Oportunidad de desarrollar cultivos alternativos para exportación.
- Oportunidad de mantener el patrimonio como parte de la cultura humana.
- Brindar alternativas para mejorar la producción de alimentos en ambientes con climas adversos.

Sin embargo, estas no son las únicas formas de selección para estas especies, ya que la amplia diversidad que existe en la naturaleza y la escasa cantidad de recursos disponibles, hace que la priorización sea indispensable, por ejemplo en América Latina la prioridad de especies subutilizadas en el grupo de cultivo raíces y tubérculos, se basa en especies como *Dioscorea* spp, *Xanthosoma* spp, *Pachyrhizus erosus* / *tuberosus*, *Arracacia xanthorrhiza*, *Calathea allouia*, *Ullucus tuberosus*, *Canna edulis*, *Tropaeolum tuberosum*, *Oxalis tuberosa* (Williams & Haq, 2002).

Para la selección de los cultivos prioritarios para una región o nación, Williams & Haq (2002) proponen una serie de criterios, entre los cuales están:

- Germoplasma: disponibilidad de germoplasma, erosión genética, estado actual de conservación genética.
- Aceptabilidad: preferencias locales, potencial de mercado, generación de ingresos rurales.
- Usos: valor nutricional, capacidad de diversificación de cultivos, afinidades culturales.
- Producción: amplia adaptabilidad, capacidad de satisfacer la necesidad de diversificación de cultivos, situación de plagas y enfermedades, tecnologías de producción.
- Poscosecha: capacidad de almacenamiento, tecnología de procesamiento, generación de productos en relación con los mercados.

Colombia en cuanto a las especies subutilizadas y el yacón

Como se evidencia anteriormente, Colombia no aparece como uno de los países interesados en las especies subutilizadas. Probablemente, al ser un país andino, se podría decir que su interés se centra en los grupos de cultivo, cereales y pseudocereales, y raíces y tubérculos (Williams & Haq, 2002). El grupo de las raíces y tubérculos andinos, está conformado por un grupo de nueve especies que incluye la achira, la ahípa, la arracacha, la maca, la mauka, la mashua, la oca, el ulloco y el yacón (Seminario *et al.*, 2003). El yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Rob) pertenece a la familia Asteraceae, genero *Smallanthus*. Se encuentra en estado silvestre o cultivado desde Venezuela y Colombia hasta Argentina, a lo largo de declives húmedos y valles interandinos secos, entre los 900 a 3200 msnm (Seminario *et al.*, 2003; Polanco, 2011). Es una planta herbácea perenne que mide de 1 a 2.5 m de alto, presenta hojas opuestas e inflorescencias en capítulos o cabezuelas, su reproducción puede ser por medio de semillas o propágulos, aunque se recomienda esta última debido a la poca viabilidad de sus semillas; es de

polinización cruzada lo que indica que necesita de polinizadores y, además, presenta dos tipos de raíces (Seminario *et al.*, 2003). Por un lado, están las raíces fibrosas necesarias para adherirse al sustrato y para la absorción de nutrientes y, por otro lado, están las raíces reservantes, que almacenan nutrientes y le confieren las propiedades alimenticias y medicinales a esta planta (Seminario *et al.*, 2003). El yacón es una planta considerada como alimenticia, por su sabor dulce y alto contenido de agua; asimismo, considerada como medicinal, porque al presentar fructooligosacaridos (FOSs), azúcares que no pueden ser fácilmente digeridos, evita que suba el nivel de azúcar en la sangre, por lo que puede ser consumido por personas que padecen de diabetes (Muñoz, 2009; García, 2003).

Teniendo en consideración, el potencial promisorio de este recurso vegetal, se hace de suma importancia crear herramientas que brinden conocimiento para incentivar su cultivo y aprovechamiento sostenible. Por tanto, es necesario disponer de un paquete de conocimientos agrotecnológicos que incluyan, multiplicación por semilla, multiplicación por esqueje, preparación de suelo, siembra, fertilización y suministro de nutrientes, labores culturales y cuidado de las plantas, enfermedades y tratamientos, cosecha y recolección, manejo pos-cosecha y rendimiento.

Objetivo general

Diseñar una propuesta para el cultivo y aprovechamiento sostenible del yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Rob) en Colombia.

Objetivos específicos

- Recopilar, analizar y presentar los conocimientos agrotecnológicos disponibles para el cultivo orgánico y sostenible del yacón.
- Proponer alternativas para el cultivo y comercialización del yacón en Colombia.

Metodología

Recopilar, analizar y presentar los conocimientos agrotecnológicos disponibles para el cultivo orgánico y sostenible del yacón.

Se realizó una exhaustiva búsqueda bibliográfica en las bases de datos especializadas en ciencias naturales de la Pontificia Universidad Javeriana, las cuales son: Academic Search Complete (EbscoHost), Agriculture Journals, AGRIS (Sistemas internacional de información para las ciencias y la tecnología agrícolas), Annual Reviews, Biological and Agricultural Index Plus (WilsonWeb), Biology Journals (ProQuest), Dialnet, Ebooks on ScienceDirect, Ebooks (SpringerLink), E-Journal UNAM, E-Libro, Faculty of 1000 Biology, Fuente académica (EbscoHost), GreenFILE (Ebscohost), High Wire, IOP Science, ISI Web of Science, JSTOR (Journal Storage), Knovel, Lantindex, MasterFILE (EbscoHost), Nature Publishing group, Periódica, Sage premier, Redalyc, Scielo, Science Direct (Elsevier), Science Journals (ProQuest), Scopus, SpringerLink, Taylor & Francis, The Biomedical & Life Science Collection, Wiley Online Library.

Además de realizar la búsqueda en estas bases de datos, también se utilizó el buscador de Google Académico.

Por otro lado, con el fin de complementar la búsqueda, y teniendo en cuenta que Perú es el país andino que más información tiene del yacón, se realizó una búsqueda en los catálogos en línea de las principales universidades, tanto de Perú como de Colombia. El criterio para escoger las universidades, fue el Ranking de cada país, en el cual se observó cuáles estaban en los 20 primeros puestos. En todos los casos, como criterio de búsqueda se usó como palabra clave *yacón*.

Las universidades consultadas de Perú fueron: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Pontificia Universidad Católica del Perú, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Universidad Nacional Agraria la Molina, Universidad de San Martín de Porres, Universidad Privada Antenor Orrego, Universidad ESAN, Universidad del Pacífico Perú, Universidad Ricardo Palma, Universidad de Lima, Universidad Católica de Santa María, Universidad de Piura, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco y Universidad San Ignacio de Loyola.

Las universidades consultadas de Colombia fueron: Universidad Nacional de Colombia (catálogo de Bogotá, Medellín y Pamplona), Universidad de Antioquia, Universidad del Valle, Pontificia Universidad Javeriana, Universidad de los Andes, Universidad de Caldas, Universidad del Cauca, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Pereira, Universidad EAFIT, Universidad Pedagógica Nacional y Universidad del Rosario. También, se consultaron la Universidad del Tolima, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA, Pontificia Universidad Javeriana de Cali, Universidad de Córdoba, Universidad de Pamplona, Universidad del Quindío y Universidad Autónoma de Occidente; que aunque no se encuentran entre los veinte primeros puestos del ranking de las universidades de Colombia, se infirió podrían tener información que fuera de utilidad para la elaboración del presente documento.

La información bibliográfica que se obtuvo, a partir de la consulta de las bases de datos y el buscador Google Académico, se sintetizó en una matriz de datos en el programa Microsoft Excel, en la cual, los artículos se seleccionaron según el tema agrotecnológico al cuál hacían referencia, siguiendo la propuesta realizada para el sistema de información del herbario HPUJ.

También, la información que se obtuvo en los catálogos en línea de las Universidades de Perú y Colombia, se sintetizó en una matriz de datos en el programa Microsoft Excel, agrupando los artículos por la universidad en la cual fueron encontrados y por el país.

Proponer alternativas para el cultivo y comercialización del yacón en Colombia

Con el conjunto de la información establecida previamente, se escribió un documento monográfico; en el que se recopiló, analizó y presentó el estado actual del conocimiento agrotecnológico de la especie y se realizó un análisis sobre las alternativas para su aprovechamiento sostenible en Colombia.

Resultados

Análisis de la información

Los artículos y literatura gris que brindaron información relevante sobre las agrotecnologías de cultivo del yacón, se encontraron en las siguientes bases de datos: Academic search complete (EbscoHost), Agriculture Journals (ProQuest), AGRIS, Biological and Agricultural Index Plus (WilsonWeb), Dialnet, Ebooks on ScienceDirect, Encyclopedia of Life Sciences (Wiley Online Library), High Wire, ISI Web of Science, Redalyc, Scielo, Scopus, SpringerLink, Taylor & Francis, Wiley Online Library y Google Académico. Las dos bases de datos que más brindaron información fueron Academic Search Complete (EbscoHost) y Google Académico.

Se encontró información tanto en países andinos, de donde es originario el yacón, como en países no andinos. Como se muestra en la Fig. 1, Perú es el país andino con más interés en la investigación y conocimiento del yacón. Relacionado con este país, se encontraron en total 32 referencias, de las cuales solo logró acceder a 16 de ellas. De las referencias encontradas la mayoría eran artículos indexados y cuatro fueron monografías. Cabe mencionar, que las referencias bibliográficas que más contribuyeron para la realización del presente documento, hicieron parte de libros, monografías y fichas técnicas, elaboradas por el Centro Internacional de la Papa, en Lima. Parte de esta información también hace referencia a las demás raíces y tubérculos andinos.

En cuanto a los demás países andinos, se encontró muy poca información que contribuyera al conocimiento agrotecnológico. Las tres referencias que se encontraron de Argentina fueron artículos indexados, mientras en Colombia solo se encontró un artículo indexado, al igual que en Ecuador y Chile. Con base en la información encontrada en Colombia, se deduce que en la región del eje cafetero, es donde se han realizado las únicas investigaciones del yacón que se tienen hasta la fecha. La referencia encontrada en Bolivia hace parte de la literatura gris, y en Venezuela no se encontró ninguna referencia (Fig. 1).



Fig. 1. Número de documentos encontrados en los países andinos.

Por otra parte, es importante mencionar que en diferentes países no andinos se encontraron numerosas publicaciones, lo que denota un gran interés por explorar y explotar las propiedades promisorias del yacón. Tal es el caso de países como Brasil, Japón, Nueva Zelanda y República Checa, en donde todos los artículos encontrados estaban indexados (Fig. 2).



Fig. 2. Número de documentos encontrados en países no andinos.

Cabe resaltar que no toda la información mencionada anteriormente, es la única que se encuentra del yacón. En las bases de datos consultadas, se encontraron numerosos artículos que hacían referencia a ensayos clínicos (efectuados tanto en animales, como en seres humanos), a pruebas fitoquímicas y a pruebas genéticas. Estos artículos fueron descartados, ya que no estaban relacionados con las agrotecnologías de cultivo. También se encontraron numerosos artículos escritos en japonés que fueron descartados.

Por otro lado, teniendo en cuenta que Perú es el país andino que cuenta con mayor información sobre el yacón, se realizó una búsqueda bibliográfica en los catálogos en línea de las principales universidades. Se obtuvo que la biblioteca Agraria Nacional, perteneciente a la Universidad Agraria La Molina, es la que cuenta con más información relacionada con el yacón. En total se encontraron 11 referencias de libros, 15 de artículos y 21 de tesis.

En segundo lugar, se encuentra la Universidad de San Martín de Porres, en donde se encontraron cinco referencias; se encontró un artículo y cuatro tesis. En tercer lugar, se encuentra la Universidad Ricardo Palma, la Universidad de Lima y la Pontificia Universidad Católica del Perú, con cuatro referencias cada una. En cuarto lugar, se encuentra la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, con tres tesis. Y finalmente, en quinto lugar, se encuentra la Universidad Peruana Cayetano Heredia y la Universidad del Pacífico con dos referencias cada una.

En general, las referencias que se encontraron se enfocaban en el procesamiento de productos, técnicas pos-cosecha, evaluación de las propiedades de hojas y raíces reservantes y en aspectos genéticos. Es necesario aclarar que no se logró acceder a la mayoría de estas referencias.

Referente a la búsqueda bibliográfica que se llevó a cabo en el catálogo en línea de las principales universidades de Colombia, solo se encontraron documentos en cinco de estas. En la Universidad Nacional, se encontraron tres referencias; en la Pontificia Universidad Javeriana y la Universidad del Rosario, se encontraron dos referencias; y en la Universidad Antioquia y la Universidad del Cauca solo se encontró una referencia. De todas estas referencias encontradas, solo una es una tesis desarrollada en la Universidad Nacional sede Palmira, las demás son libros o artículos que fueron realizados en otros países. Lo anterior, evidencia el gran vacío de información que se tiene de este recurso promisorio en el país.

Finalmente, cabe mencionar que la mayoría de las referencias bibliográficas encontradas corresponden a resultados de investigaciones realizadas del año 2002 en adelante, con lo que se evidencia el reciente interés que ha despertado el yacón, tanto en países andinos como en no andinos.

Agrotecnologías del cultivo de yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Rob)

Multiplicación por semilla

No se encontraron estudios realizados con variedades Colombianas, aunque sí se encontraron con variedades presentes en Perú, Ecuador y Argentina. Estos estudios permiten afirmar que el yacón presenta escasa reproducción sexual, a pesar de que las flores presenten pistilo y estambres normales (Polanco, 2011). Grau & Rea (1997) mencionan que se han encontrado áreas donde la floración es abundante, pero la producción de semillas es habitualmente pobre o no se produce y, de las pocas que se producen, una alta proporción no es viable o muestra bajo vigor.

A pesar de esto, cuando se presenta reproducción sexual se da por agentes polinizadores (Grau & Rea, 1997; Seminario *et al.*, 2003; Mansilla *et al.*, 2010). Algunas características presentes en las flores avalan este comportamiento: la viscosidad de los granos de polen, la vistosidad de las flores femeninas y la secreción de sustancias azucaradas especialmente en las flores tubulares (Seminario *et al.*, 2003; Mansilla *et al.*, 2010). En Cajamarca (Perú) se observó la presencia de insectos en la inflorescencia del yacón, pertenecientes a las especies *Astylus* sp. (Coleóptera), *Apis mellifera* (Himenóptera) y *Syrphus* sp. (Díptera), que se presume podrían ser polinizadores (Seminario *et al.*, 2003). Además, Mansilla *et al.* (2010) encontraron en Lima (Perú), que los polinizadores más eficientes del yacón son las abejas y los abejorros, porque son los que permanecen más tiempo en la inflorescencia, ya que se mueven en círculos inspeccionando una por una todas las flores. También se encontraron registros de abejas y abejorros visitando sus flores en Argentina y Ecuador (Grau & Rea, 1997).

Sin embargo, cuando se han obtenido plantas por medio de este tipo de reproducción, y como consecuencia del bajo vigor de las semillas, el tallo es delgado, poco ramificado, el tamaño de las hojas es pequeño y presenta pocas raíces reservantes con bajo peso, comparado con las plantas obtenidas por medio de propágulos (Seminario *et al.*, 2003). Lo anterior permite afirmar que si se buscan buenos rendimientos, ya sea de las hojas o de las raíces reservantes, lo aconsejable es propagar la planta por multiplicación vegetativa.

Cabe señalar que la baja viabilidad y vigor de las semillas no son la única razón que los autores relacionan con la escasa reproducción sexual presente en el yacón. Algunos estudios se lo atribuyen a la baja fertilidad del polen, producto de androesterilidad citoplasmática, ocasionada por su posible origen híbrido;

otros, lo atribuyen al desbalance nutricional de las partes reproductivas; y otros, a los problemas en la formación del fruto y la semilla (Grau & Rea, 1997; Seminario *et al.*, 2003; Mansilla *et al.*, 2010).

Al parecer el yacón se originó por la combinación de los genomas, el de *Smallanthus macroscyphus* (Baker ex. Martius) A. Grau y el de *Smallanthus riparius* (H.B.K) H.Rob. (Grau & Rea, 1997). Por lo que Mansilla *et al.* (2010) argumentan que una posible causa de la baja reproducción sexual del yacón puede ser la interacción del genoma nuclear de una especie con el genoma mitocondrial de la otra especie. Esta interacción da como resultado androesterilidad citoplasmática, es decir, ausencia de granos de polen funcionales. Mansilla *et al.* (2010) plantea como solución a este inconveniente, la introducción de genes restauradores de la fertilidad.

Por el contrario, Seminario *et al.* (2003) argumentan que las posibles causas de esta falencia pueden deberse a problemas en el desbalance nutricional de las partes reproductivas. Dado que el flujo de metabolitos en la época de la floración está dirigido principalmente hacia las raíces que están en activo crecimiento, y al presentar un gran número capítulos y flores por planta, impide que todas las semillas se llenen. Como consecuencia, se ha encontrado mayor proporción de semillas llenas en los primeros capítulos (Seminario *et al.*, 2003).

Además, otro factor que menciona Seminario *et al.* (2003), es que en las semillas se han encontrado que los cotiledones son muy prominentes. Esto impide que se formen correctamente las demás partes del embrión, generando de esta manera semillas estériles.

Para finalizar, es importante mencionar que factores ambientales y genéticos pueden influir drásticamente en la fisiología de la planta (Seminario *et al.*, 2003; Polanco, 2011), con lo que no siempre se encontraran los mismo resultados cuando se multiplica por semilla.

Multiplicación por esqueje

Dado que el yacón presenta escasa reproducción sexual, por los factores mencionados anteriormente, la propagación se da principalmente de forma vegetativa o asexual (Grau & Rea, 1997; Seminario *et al.*, 2003). Para la obtención de plantas por este tipo de propagación, se emplean frecuentemente porciones de cepa o corona o porciones de tallo (Estrella & Lazarte, 1994; Grau & Rea, 1997; Seminario *et al.*, 2003; Quijano, 2003; Douglas *et al.*, 2005; Osip *et al.*, 2008). Sin embargo, se han desarrollado otros sistemas, principalmente en Perú, que incluyen el uso de nudos individuales o de tallos enteros (Seminario *et al.*, 2003).

El sistema tradicional empleado para la propagación vegetativa del yacón es por porciones de cepa o corona (Grau & Rea, 1997; Seminario *et al.*, 2003; Douglas *et al.*, 2005; Manrique *et al.*, 2005; León, 1965, citado en Córdova & Galecio, 2006; Osip *et al.*, 2008). La cepa o corona es un órgano subterráneo rico en carbohidratos simples y fructooligosacaridos (FOSs), en donde se desarrollan numerosas yemas vegetativas, conocidas como propágulos o rizomas. En ella, se insertan el tallo en la parte posterior y las raíces en la parte inferior (Seminario *et al.*, 2003).

Para propagar las plantas por este sistema es necesario fraccionar la corona, la cual se obtiene cuando se realiza la cosecha de las raíces reservantes (Grau & Rea, 1997; Seminario *et al.*, 2003; Douglas *et al.*, 2005; Manrique *et al.*, 2005; Valderrama *et al.*, 2005). Se encontró que dependiendo del tamaño de la corona, se pueden extraer de 3 a 30 porciones de cada una (Valderrama, 2005). El fraccionamiento de la corona se realiza manualmente o con un cuchillo, obteniéndose porciones que van a ser empleadas como semillas vegetativas. Se aconseja que cada semilla vegetativa tenga entre 5 a 12 cm de largo, dependiendo del tamaño de la corona (Grau & Rea, 1997; Valderrama *et al.*, 2005; Córdova & Galecio, 2006; Muñoz, 2009); que tenga como mínimo de 3 a 4 yemas (Seminario *et al.*, 2003; Douglas *et al.*, 2005; Valderrama *et al.*, 2005); y que tenga un peso promedio de 60 a 80 gramos (Vilhena *et al.*, 2000; Quijano, 2003; Seminario *et al.*, 2003; Douglas *et al.*, 2005; Valderrama *et al.*, 2005). Cabe destacar que el peso es importante, ya que se ha encontrado que tiene un efecto significativo en el rendimiento de las raíces (Douglas *et al.*, 2005).

Previo a la siembra, se recomienda seguir alguna de las tres alternativas mencionadas a continuación, con el fin de evitar una posible infección por patógenos. Se pueden sumergir por un minuto las semillas vegetativas en hipoclorito de sodio al 1% por un minuto; también se pueden sumergir durante cinco minutos en una solución que contenga 125 ml de lejía (hipoclorito de sodio) y 25 a 30 litros de agua; ó se pueden humedecer en agua y embadurnar la zona del corte con ceniza de fogón (Valderrama *et al.*, 2005; Polanco, 2011). Esta última se recomienda por economía y facilidad (Valderrama *et al.*, 2005).

Se encontró que este sistema ha sido empleado en Perú, Colombia, Brasil y Japón (Vilhena *et al.*, 2000; Seminario *et al.*, 2003; Koike *et al.*, 2007; Polanco, 2011). Polanco (2011) hizo la propagación vegetativa del yacón en Colombia con semillas que tenían de tres a cuatro yemas, previo a la siembra las lavó y desinfectó en hipoclorito de sodio al 1% por un minuto; luego, las sembró en bandejas plásticas que contenían una mezcla 3:1 de tierra con hojarasca y cascarilla de arroz. Las semillas vegetativas tardaron en rebrotar entre 15 y 20 días y el trasplante al terreno definitivo fue a los 40 días después de que las semillas brotaron.

Siguiendo con los sistemas de propagación vegetativa empleados en el yacón, el realizado por porciones de tallo, también ha tenido una fuerte acogida por los agricultores. En este sistema se hacen cortes sobre los tallos de plantas que todavía no entran en floración; se emplean este tipo de tallos para evitar que las plantas entren en floración prematura después del trasplante y evitar de esta forma un insuficiente llenado de las raíces o un incorrecto desarrollo de la planta (Estrella & Lazarte, 1994; Seminario *et al.*, 2003; Valderrama *et al.*, 2005). Se estima que en Colombia, por la altitud en la se encuentran localizados los cultivos de yacón, se deben emplear tallos de hasta cinco meses y medio (Polanco, 2011).

Los tallos, a los que previamente se les han quitado las hojas, se cortan desde la base. Cada corte (estaca) debe tener más de dos nudos, su longitud debe estar entre los 10 y 20 cm y, lo más importante, es que el corte inferior sea transversal y debajo de un nudo y el superior sea diagonal (Estrella & Lazarte, 1994; Seminario *et al.*, 2003; Valderrama *et al.*, 2005). Además, se recomienda que la distancia entre los nudos de cada estaca no sea muy grande, ni que las estacas sean muy delgadas (Valderrama *et al.*, 2005).

Debido a que las estacas también pueden sufrir ataques por patógenos, se emplean tratamientos de desinfección antes de que estas se siembren. Se puede escoger entre alguno de los mencionados a continuación: luego de realizar los cortes, las porciones de tallo se pueden sumergir rápidamente en 80% de etanol y se desinfectan durante 20 minutos en una solución de hipoclorito de sodio al 1%; posteriormente, se bañan en intervalos de un minuto dos veces en agua destilada estéril (Estrella & Lazarte, 1994); o se pueden sumergir durante tres minutos en una solución que contenga 125 ml de lejía y 30 litros de agua (Valderrama *et al.*, 2005).

Cuando se aplica este sistema de propagación y no se cuenta con un suelo bien preparado y abonado o con un control eficiente de riegos, se aconseja primero colocar las estacas a enraizar para luego si transportarlas de manera definitiva al campo (Valderrama *et al.*, 2005).

No se encontró información que mencionara el uso de este método de propagación vegetativa en Colombia. Sin embargo, se encontró que se emplea en Ecuador y Perú, donde han obtenido del 98 al 100% de enraizamiento y 98% de adaptabilidad al campo (Estrella & Lazarte, 1994; Quijano, 2003; Seminario *et al.*, 2003; Valderrama *et al.*, 2005).

Por otro lado, los otros dos sistemas de propagación vegetativa que se han desarrollado en el yacón son por nudos individuales y por tallos enteros. La propagación por nudos individuales consiste en cortar el tallo sin hojas nudo por nudo, en lugar de cortarlo en fragmentos de más de dos nudos (Seminario *et al.*, 2003; Valderrama *et al.*, 2005). Se recomienda que cada nudo tenga una pequeña porción de entrenudo y por tanto que mida entre 4 a 5 cm de longitud (Seminario *et al.*, 2003; Valderrama *et al.*, 2005). Se

emplean los mismos tratamientos de desinfección y el mismo sustrato de enraizamiento que en la propagación por porciones de tallo (Seminario *et al.*, 2003; Valderrama *et al.*, 2005). Finalmente, en cuanto al sistema de propagación por tallos enteros, en este no se aplican cortes al tallo, sino que se dispone completo y de manera horizontal en el sustrato de enraizamiento (se emplea el mismo de los dos sistemas mencionados anteriormente) (Seminario *et al.*, 2003). Se estima que entre 45 y 60 días los nudos del tallo entero ya han enraizado y brotan formando plántulas (Seminario *et al.*, 2003).

Para estos dos últimos sistemas de propagación vegetativa no se encontraron referencias en otros países diferentes a Perú, en donde son desarrollados por investigadores de la Universidad Nacional de Cajamarca y por el Centro Internacional de la Papa (Seminario *et al.*, 2003). Referente a los porcentajes de enraizamiento y de adaptabilidad a campo de estos sistemas, solo se encontró que en la propagación por nudos individuales a los 50 días después de la siembra se puede alcanzar entre el 70 y 98% de enraizamiento (Valderrama *et al.*, 2005).

No se puede dejar de lado la propagación *in vitro*, que aunque se hace principalmente con fines de conservación del germoplasma, se ha encontrado que genera buenos resultados en la propagación vegetativa del yacón (Seminario *et al.*, 2003). Esta técnica de propagación se ha desarrollado en Perú, Ecuador y Colombia (Estrella & Lazarte, 1994; Seminario *et al.*, 2003; Polanco, 2011). Polanco (2005) menciona que en Colombia, investigadores de la Universidad de Santa Rosa de Cabal (Risaralda) han empleado esta técnica, encontrando que el mejor medio es el compuesto por las sales de MS, inositol 100 mg/L, tiamina 1 mg/L, sucrosa 25 g/L, agar 7,5 g/L, ANA 0,02 mg/L, BPA 0,04, AG3 0,05 mg/L. Asimismo, Londoño (2007, citado en Polanco, 2011) encontró que para su enraizamiento y propagación acelerada el medio con mejores resultados fue el que contenía AIA 2mg/L, AG3 0,1 mg/L, y kinetina 2 mg/L.

Cabe señalar que cada técnica de las mencionadas anteriormente tiene sus ventajas y desventajas, que deben ser analizadas según el presupuesto con el que cuenta el agricultor y la productividad que desea obtener. Por ejemplo, en la propagación por medio de porciones de cepa o corona, a pesar que el agricultor se demora más para obtener las semillas vegetativas, ya que tiene que esperar hasta la cosecha, y que la tasa de multiplicación de la planta madre que obtiene no es tan alta como en los otros sistemas de propagación, el productor ahorra dinero porque no necesariamente tiene que emplear enraizadores, ni comprar desinfectantes y, además, emplea menos tiempo al realizar la siembra de las semillas vegetativas, dado que esta técnica es mucho más sencilla (Seminario *et al.*, 2003; Valderrama *et al.*, 2005). Por otro lado, en la propagación por medio de porciones de tallo, nudos individuales y tallo entero, el agricultor obtiene las semillas vegetativas en la mitad de tiempo y, además, obtiene tasas de multiplicación de la planta madre con incrementos de hasta un 40% si usa estacas y un 165% si usa nudos individuales. Sin

embargo, gasta más dinero en la compra de enraizadores, desinfectantes y sustratos de enraizamiento; y también se demora más al realizar la siembra, ya que en estos sistemas los propágulos tienen que pasar por tratamientos previos a la siembra definitiva en campo (Seminario *et al.*, 2003; Valderrama *et al.*, 2005).

También es importante mencionar que las plantas de yacón al propagarse vegetativamente no tienen la oportunidad de recombinarse entre ellas y de esta manera obtener mejores cualidades genotípicas y fenotípicas. Por lo que es importante que el agricultor, independiente del sistema de propagación que emplee, seleccione plantas madre con buenas características genotípicas y fenotípicas, las cuales van a pasar directamente a las plantas hijas. Se ha recomendado emplear plantas que se vean sanas, vigorosas, con buen desarrollo foliar, buena coloración, buena producción de raíces reservantes con alto contenido de fructooligosacaridos (FOSs), entre otros aspectos (Seminario *et al.*, 2003; Valderrama *et al.*, 2005).

Preparación del suelo

La buena preparación del suelo facilita la siembra y también permite obtener una buena cosecha, ya que proporciona uniformidad y un correcto desarrollo de las raíces (Valderrama *et al.*, 2005). Sin embargo, fue muy poca la información que se encontró de este ítem agrotecnológico.

Con base en la información obtenida, se puede mencionar que la principal técnica empleada para la preparación del suelo en el cultivo del yacón es la labranza con arado (Grau & Rea, 1997; Vilhena *et al.*, 2000; Valderrama *et al.*, 2005; Maldonado *et al.*, 2008). En fincas con menos de un cuarto de hectárea se prepara el suelo de forma manual usando herramientas como el pico o la azada, mientras que en fincas con más de un cuarto de hectárea se prepara el suelo con tractor y/o arado tirado por caballos o mulas (Valderrama *et al.*, 2005; Maldonado *et al.*, 2008).

En los cultivos tradicionales, sea cual sea el cultivo que se vaya a sembrar, por lo general se emplea la labranza con arado, con el fin de quitar arvenses que tienen raíz profunda y quitar piedras que puedan evitar el correcto desarrollo de la planta (Rea, 1992, citado en Grau & Rea, 1997). En el cultivo del yacón, para una buena remoción del suelo, se recomienda hacer primero pasadas con arado de disco, el cual se emplea para hacer surcos profundos. Luego se recomienda hacer pasajes de rastra y arado rotativo con el fin de desintegrar las porciones de tierra que han sido removidas previamente con el arado de disco y para aumentar la permeabilidad del suelo (Valderrama *et al.*, 2005). Después de realizado el movimiento del suelo se deja descansar aproximadamente una semana antes de la siembra (Maldonado *et al.*, 2008).

Por otro lado, en cuanto a la preparación del suelo en forma manual, en Colombia se encontró que para el cultivo del yacón se aplica, tres semanas antes de la siembra, un picado profundo con azada y pico para remover la tierra y hacer los surcos (Polanco, 2011).

Es importante señalar que actualmente los agricultores están evitando realizar labranza con arado en forma mecánica, ya que se ha demostrado que contribuye con la degradación del suelo (FAO, 1996). Por tanto, si se buscan hacer cultivos sostenibles es importante evitar esta práctica. La FAO (1996) aconseja, para el manejo de los suelos de una forma sostenible, dejar los restos de los cultivos en la tierra luego de la cosecha; de igual forma, recomienda rotar los cultivos con legumbres, ya que aportan elementos nutritivos en los suelos y con plantas que tengan raíces fuertes y profundas, ya que ayudan a aflojar los suelos compactos. Para el caso específico del cultivo del yacón no se encontró información acerca del uso de estas prácticas.

Siembra

El yacón se puede sembrar en cualquier época del año sin mayores cuidados, siempre y cuando tenga una adecuada dotación de agua durante el proceso de enraizamiento y tuberización (Vilhena *et al.*, 2000; Muñoz *et al.*, 2006; Santana & Cardoso, 2008). Además, presenta una gran plasticidad de adaptación a diferentes condiciones climáticas y tipos de suelo (Vilhena *et al.*, 2000; Muñoz *et al.*, 2006; Santana & Cardoso, 2008).

Sin embargo, es importante conocer cuáles son los rangos óptimos en los que se da una buena producción, como también las técnicas que se deben aplicar al cultivo, con el fin de obtener buenos rendimientos tanto de las hojas como de las raíces reservantes (Vilhena *et al.*, 2000; Muñoz *et al.*, 2006; Santana & Cardoso, 2008).

Condiciones climáticas

- *Altitud:*

El yacón se siembra al nivel del mar en Nueva Zelanda y Japón, a 600 m.s.n.m. en Brasil, entre 600 y 2500 m.s.n.m. en Argentina, entre 1100 y 2430 m.s.n.m. en Colombia y entre 900 y 3500 m.s.n.m. en Bolivia, Ecuador y Perú (Estrella & Lazarte, 1994; Grau & Rea, 1997; Muñoz *et al.*, 2006; Polanco, 2011).

Sin embargo, diferentes autores han definido como el rango óptimo para el desarrollo de las raíces reservantes las altitudes medias, que van de 1100 a 2500 m.s.n.m. (Seminario *et al.*, 2003; Muñoz, 2009). En el caso particular de Colombia los mejores rendimientos en peso y tamaño de las raíces reservantes se han obtenido en altitudes que van de los 1260 a los 2423 m.s.n.m. (Polanco, 2011).

- *Fotoperiodo:*

Varios autores mencionan que las plantas de yacón son neutras al fotoperiodo (Grau & Rea, 1997; Vilhena *et al.*, 2000; Valderrama, 2005; Polanco, 2011). Sin embargo, el hecho que el ciclo de vida de estas plantas se desarrolle más lento en altitudes altas y más rápido en altitudes bajas, podría indicar que el yacón tiene una baja respuesta a los días cortos (Grau & Rea, 1997).

- *Temperatura:*

La temperatura óptima para el correcto desarrollo de la planta está en el rango de 18 a 25°C (Grau & Rea, 1997; Muñoz, 2009; Chasquibol *et al.*, 2000; Polanco, 2011), aunque se desarrolla bien a partir de 14°C (Valderrama *et al.*, 2005). Algunos autores mencionan que para una correcta formación y llenado de las raíces reservantes se necesitan temperaturas frías en la noche, pero es importante que estas no lleguen al nivel de heladas (Grau & Rea, 1997; Seminario *et al.*, 2003; Manrique *et al.*, 2005; Valderrama *et al.*, 2005; Douglas *et al.*, 2007; Polanco, 2011). En Colombia, el yacón se encuentra sembrado en un rango promedio de temperatura que va de los 16 a los 28°C, encontrándose la mejor producción de las raíces reservantes y de la corona entre los 16 y 20°C (Polanco, 2011).

Se recomienda que las plantas no sean sembradas en sitios donde la temperatura sea igual o inferior a los 10°C, ya que a esta temperatura la planta presenta un periodo vegetativo más largo, su crecimiento es lento y se presenta daño en las hojas. Igualmente, se recomienda que tampoco sean sembradas en sitios donde la temperatura se encuentre entre los 26 a 40°C, ya que si no cuentan con un suministro adecuado de agua se estresan y marchitan excesivamente (Grau & Rea, 1997; Valderrama *et al.*, 2005).

Además, es importante que el agricultor tenga en cuenta que a temperaturas inferiores a -1°C se presentan daños por congelamiento. El crecimiento del tallo y de las hojas se detiene a los -3°C y las raíces se dañan por debajo de -7°C (Grau & Rea, 1997; Douglas *et al.*, 2007).

- *Requerimientos de agua*

Las plantas de yacón al tener una alta capacidad de transpiración, debido al gran tamaño de sus hojas (aproximadamente 26cm de largo X 29cm de ancho) necesitan de una buena y constante demanda hídrica

para su correcto desarrollo (Grau & Rea, 1997; Manrique *et al.*, 2005; Muñoz, 2009). Aunque se encontró que el yacón es resistente a la sequía por el gran contenido de carbohidratos de reserva presente en sus órganos subterráneos, el desarrollo de las raíces reservantes y de las hojas se ve afectado cuando la planta emplea estos carbohidratos para mermar los efectos del déficit de agua (Grau & Rea, 1997; Vilhena *et al.*, 2000; Santana & Cardoso, 2008; Muñoz, 2009; Polanco, 2011).

Los requerimientos de agua están entre los 600 y 1000 mm de lluvias anuales, aunque es considerado como óptimo los 800 mm (Grau & Rea, 1997; Seminario *et al.*, 2003; Valderrama *et al.*, 2005; Muñoz, 2009; Polanco, 2011). A pesar de lo mencionado anteriormente, en Colombia los cultivos se desarrollan en un rango de precipitación anual que va de los 1050 a los 2700 mm anuales, obteniéndose los mejores rendimientos entre los 2500 y los 2700 mm anuales (Polanco, 2011).

Tipos de suelo:

Los mejores rendimientos se dan en suelos francos a franco arenosos, sueltos, profundos, con buen drenaje y alto contenido de materia orgánica, ya que estos permiten que las raíces se desarrollen sin riesgo de pudrición y sin deformaciones (seminario *et al.*, 2003; Manrique *et al.*, 2005; Maldonado *et al.*, 2008; Muñoz, 2009; Polanco 2011). Sin embargo, estas plantas también se pueden sembrar en suelos franco arcillosos y medianamente profundos (seminario *et al.*, 2003; Manrique *et al.*, 2005; Maldonado *et al.*, 2008; Muñoz, 2009; Polanco 2011).

Por otro lado, estas plantas pueden soportar un rango de pH que va desde ligeramente ácido a ligeramente alcalino (Grau & Rea, 1997; Chasquibol *et al.*, 2002; Muñoz, 2009; Polanco, 2011; Polanco, s.f). En Ecuador se encontró que las plantas sembradas en suelos con pH 5.4 presentan baja producción de raíces tuberosas (41.54 por hectárea) y bajo contenido de FOSs (2.47%) (Quijano, 2003). Lo que indica que las plantas de yacón no se desarrollan bien en pHs muy ácidos (Quijano, 2003).

Técnicas aplicadas al cultivo

- *Sistemas de siembra:*

El yacón crece bien bajo la sombra de árboles, arbustos y también a pleno sol, en donde se desarrolla asociado a hortalizas, maíz y otros cultivos (Seminario *et al.*, 2003; Valderrama *et al.*, 2005; Polanco, 2011). En Colombia, esta planta se siembra en sistema de huerta casera generalmente como cerco vivo o

en pequeñas parcelas en asocio con hortalizas, maíz, café, plantas medicinales y árboles frutales (Polanco, 2011). Para el caso de Perú, se encontró que es común que se siembre en sistemas complejos de producción principalmente en los bordes de los campos de maíz, papa, u otros cultivos (Cárdenas, 2011). También en parcelas en las que hay dos o más cultivares, en donde se dispone intercalado con otras plantas en un mismo surco o en diferentes surcos (Valderrama *et al.*, 2005). En este país muy rara vez se encuentra sembrado en monocultivos (Cárdenas, 2011).

- *Siembra en los sitios de pre-enraizamiento:*

Según Valderrama *et al.* (2005), se necesita de sitios de pre-enraizamiento, principalmente, cuando se hace propagación vegetativa por porciones de tallo, por nudos individuales o, por tallo completo.

En primer lugar, se deben construir camas de pre-enraizamiento que tengan 0.25m de alto, 1.10m de ancho y 5m de largo, las cuales se deben llenar con arena de río lavada o una mezcla de arena, tierra agrícola y humus de lombriz en una proporción 1:2:1. Es importante que este sustrato sea desinfectado con agua hirviendo (Valderrama *et al.*, 2005). Posterior a esto, se trazan líneas en dirección transversal a la cama. Cuando se usa el sistema de propagación por porciones de tallo, las estacas se colocan inclinadas y a una profundidad suficiente para que el sustrato cubra el nudo inferior. Cuando se usa el sistema de propagación por nudos individuales, los nudos se hunden con el dedo a una profundidad similar al espesor del nudo y se cubren con el sustrato. Finalmente, cuando se usa el sistema de propagación por de tallo completo, el tallo se entierra directamente en el sustrato (Valderrama *et al.*, 2005).

Se aconseja para obtener un buen enraizamiento realizar un manejo adecuado del riego, como también emplear enraizadores como las auxinas (Grau & Rea, 1997; Seminario *et al.*, 2003).

- *Siembra en el campo definitivo:*

En el campo definitivo se recomienda hacer surcos, en especial en sitios con alta precipitación, en los cuales se deben hacer hoyos con un zapapico o palana en función de la longitud de las raíces. Si las raíces están muy largas se aconseja cortarlas con tijeras (Valderrama *et al.*, 2005).

Luego que ya se han hecho los hoyos en el surco, se transportan las plántulas (estacas o nudos enraizados) del sitio de pre-enraizamiento al campo definitivo, en un recipiente con agua para evitar su deshidratación, por las tardes o en días nublados. Para la propagación por tallo entero, es importante que previo a la siembra las plántulas se separen por los entrenudos del tallo original cortándolos con tijeras o con un cuchillo afilado (Seminario *et al.*, 2003; Valderrama *et al.*, 2005). Es importante tener en cuenta que al

momento de la siembra el suelo debe estar en capacidad de campo y se debe sembrar una plántula por hoyo, para finalmente taparla y aprisionarla (Valderrama *et al.*, 2005).

Cuando se hace el sistema de propagación por porciones de cepa, no necesariamente se necesita de un sitio de pre-enraizamiento (Seminario *et al.*, 2003; Valderrama *et al.*, 2005). Para la siembra se aconseja, al igual que para los otros sistemas de propagación, que el suelo esté a capacidad de campo y que se siembre una cepa por hoyo hecho en el surco. Las yemas deben estar orientadas hacia arriba y ser enterradas a una profundidad no mayor de 5 cm (Valderrama *et al.*, 2005). Se recomienda para estimular el enraizamiento hacerle en la base de estas semillas vegetativas una hendidura en forma de cruz (Muñoz, 2009).

- *Espaciamiento:*

Los distanciamientos de siembra en el sustrato de enraizamiento son de 0.01 m entre líneas y de 0.05 m entre estacas o nudos (Valderrama *et al.*, 2005). Mientras que en el campo definitivo los distanciamientos de siembra pueden variar de 0.5m-0.9 m entre plantas y de 0.8 m-1.2 m entre surcos (Seminario *et al.*, 2003; Vilhena *et al.*, 2000; Manrique *et al.*, 2005; Córdova & Galecio, 2006; Muñoz, 2009).

Fertilización y suministro de nutrientes

El suelo le provee a las plantas de micro y macro elementos esenciales que ellas necesitan para su correcto crecimiento y desarrollo. Sin embargo, hay suelos que son más ricos en estos nutrientes que otros. Los suelos que tienen alto porcentaje de materia orgánica se caracterizan por presentar un alto contenido de nutrientes, mientras los que tienen un bajo porcentaje de materia orgánica necesitan de fertilizantes o abonos que le suministren los nutrientes que le hacen falta (Curtis, 2003).

Por tanto, si se quiere obtener una buena producción con raíces y hojas con alto contenido de nutrientes, se necesita sembrar las plantas de yacón en suelos con alto contenido de materia orgánica o fertilizados adecuadamente (Seminario *et al.*, 2003; Muñoz *et al.*, 2006; Polanco s.f). Algunos estudios han comprobado que estas plantas responden bien a la fertilidad del suelo (Vilhena, 2000; Amaya, 2000, citado en Quijano, 2003). De las plantas de yacón que se encuentran cultivadas en Colombia, las que están sembradas en el municipio de Salento (Quindío) son las que cuentan con suelos con más alto porcentaje de materia orgánica (14%) (Polanco, 2011). Cuando se comparan estas plantas con las sembradas en suelos con menor porcentaje de materia orgánica (2-12%), se evidenció que las primeras presentaron mayor número de hojas por tallo (18), hojas con una gran área foliar (32cm de largo por 34cm de ancho), tallos

gruesos (2.5cm) y raíces reservantes con mayor peso (7.5Kg), raíces tuberosas con mayor longitud y diámetro (25cm y 9cm respectivamente), en las que se pudo obtener mayor número de propágulos por planta (14) (Polanco, 2011).

Sin embargo, si se quiere aumentar el rendimiento o los suelos cuentan con un bajo porcentaje de materia orgánica, se puede recurrir al uso de fertilizantes (Quijano, 2003; Seminario *et al.*, 2003; Valderrama 2005; Polanco 2011). En la agricultura orgánica se emplean principalmente abonos. En los cultivos de yacón se ha encontrado que los abonos orgánicos producen un mayor rendimiento comparado con los fertilizantes químicos (62.50 t/ha y 61.25 t/ha respectivamente), e incrementan el rendimiento en un 31.6% en relación a suelos sin ningún tipo de fertilización (Quijano, 2003). Entre estos abonos se encuentran el compost, el humus de lombriz, los estiércoles, la gallinaza, la cascarilla de arroz, el guano de islas, abonos verdes y restos de leguminosas, entre otros (Seminario *et al.*, 2003; Valderrama, 2005).

En el cultivo del yacón solo se ha evaluado el efecto del abonado con gallinaza y con humus de lombriz (Grau & Rea, 1997; Seminario *et al.*, 2003; Córdova & Galecio, 2006; Osip *et al.*, 2008). En los estudios realizados con gallinaza, se ha comprobado que las plantas de yacón responden bien a este tipo de abono, ya que incrementan su rendimiento hasta 10 t/ha (Osip *et al.*, 2008). Con respecto al humus de lombriz, no se encontró si el uso de este abono incrementa el rendimiento, sin embargo, se halló que algunos estudios mencionan que este abono incrementa el 39% la masa fresca de las raíces reservantes de esta planta (Seminario *et al.*, 2003; Quijano, 2003; Córdova & Galecio, 2006). Córdova & Galecio (2006) aplicaron en Argentina este abono a una razón de 4.0 t/ha fraccionándola en dos momentos, 50% a la siembra y el otro 50% restante a los tres meses. Cabe mencionar que se abona fraccionadamente cuando los suelos son muy pobres en materia orgánica, por tanto se aplica al inicio de la siembra para que la planta tenga suficientes nutrientes durante el enraizamiento y, a los tres meses, para que tenga suficientes nutrientes al comienzo del proceso de tuberización (Valderrama, 2005).

No se puede dejar atrás la fertilización biodinámica, la cual es otra forma de fertilización empleada en la agricultura orgánica. En el método biodinámico la productividad y la calidad de los vegetales, tanto en términos biológicos como energéticos, resulta de las influencias cósmicas como la luz, el calor, la luna, la biología del suelo y el papel de los animales. Para la fertilización biodinámica se emplean preparados a partir de sustancias orgánicas y minerales de forma bastante diluida que siguen los mismos principios de los medicamentos homeopáticos. La elaboración de estos preparados es compleja y exige conocimientos profundos sobre biodinámica, por tanto no es fácil acceder a ellos. En Brasil se encontró que se emplea en el cultivo del yacón el preparado biodinámico “Biod” el cual incrementa en medida el 39% la masa fresca de las raíces (Quijano, 2003).

Por otra parte, cabe mencionar que los fertilizantes y abonos no tienen efecto sobre la hidrólisis de los fructooligosacáridos (FOSs). Se encontró que la cantidad de los FOSs disminuye progresivamente durante el almacenamiento y de forma semejante en las raíces reservantes, independiente del fertilizante que se emplee (Quijano, 2003).

Labores culturales y cuidado de las plantas

La información que se encontró de este ítem agrotecnológico está basada principalmente en trabajos monográficos realizados en Perú, ya que fueron muy pocos los documentos que se encontraron de otros países.

A pesar de lo anterior, se puede mencionar que una de las grandes ventajas que presenta el cultivo del yacón es que necesita de muy pocos cuidados para que éste sea productivo. Las principales labores culturales que se realizan en este cultivo son deshierbe, aporque, riego y control fitosanitario (Seminario *et al.*, 2003; Valderrama *et al.*, 2005).

En el cultivo de yacón se tienen que realizar en promedio tres deshierbes (Seminario *et al.*, 2003; Valderrama *et al.*, 2005; Córdova & Galecio, 2006). Estos deshierbes, por lo general se realizan antes que las plantas tengan entre cinco y seis meses, momento en el cual la mayoría de las hojas alcanzan su máximo crecimiento y comienza el cierre de surco (Seminario *et al.*, 2003; Valderrama, 2005). Cuando ocurre el cierre de surco, es decir cuando las hojas de las plantas de los surcos han crecido tanto que se juntan y evitan la entrada de luz a los estratos más bajos, no hay necesidad de hacer nuevos deshierbes (Seminario *et al.*, 2003; Valderrama, 2005). Es importante mencionar que el éxito del cierre del surco depende en gran medida de la densidad de siembra y de realizar el primer deshierbe en el momento adecuado (Valderrama, 2005). Si el primer deshierbe no se hace en el momento adecuado, los arvenses comienzan a competir con las plántulas de yacón, afectando su correcto crecimiento y desarrollo (Valderrama, 2005). Se ha encontrado que el momento adecuado para realizar este primer deshierbe es entre los 30 y 60 días después de la siembra, sin embargo es importante que el agricultor este pendiente de que los arvenses no superen en tamaño a las plántulas de yacón, lo que podría ocurrir antes del tiempo mencionado (Seminario *et al.*, 2003; Valderrama, 2005). Los otros dos deshierbes se realizan conforme van apareciendo los arvenses (Seminario *et al.*, 2003; Valderrama, 2005). Para hacer estos deshierbes se suelen emplear herramientas como la azada o simplemente se hace manualmente (Maldonado *et al.*, 2008).

Por otro lado, en el cultivo del yacón, por lo general, se deben realizar dos aporques (Seminario *et al.*, 2003; Córdova & Galecio, 2006). Estos se hacen con el fin de afianzar el sistema radicular de la planta y, también, para brindarle mayor fortaleza a los tallos (Seminario *et al.*, 2003; Valderrama *et al.*, 2005). El primero se hace consecutivamente con el primer deshierbe y el segundo cuando se considere necesario (Seminario *et al.*, 2003; Valderrama, 2005). Córdova & Galecio (2006) realizaron el segundo aporque a los dos meses después del primer deshierbe, aunque no se indica si tuvo algún efecto en el desarrollo de las plantas.

En cuanto al riego, las plantas de yacón requieren de riegos cortos y frecuentes (Seminario *et al.*, 2003; Valderrama *et al.*, 2005). En la agricultura orgánica se aconseja sembrar en las temporadas de lluvia con el fin de aprovecharlas al máximo (Seminario *et al.*, 2003; Valderrama *et al.*, 2005). Por tal motivo, en Colombia se aconseja sembrar en las temporadas que van de abril a mayo y de octubre a noviembre. En las temporadas secas o de lluvias bajas se recomienda hacer riegos por aspersión o emplear otro sistema de riegos controlados (Grau & Rea, 1997; Seminario *et al.*, 2003; Valderrama, 2005; Polanco, 2011).

La frecuencia de los riegos depende de la textura del suelo y de las condiciones climáticas. En Colombia, los cultivos se encuentran sembrados en suelos francos, franco arenosos y franco arcillosos, en los cuales existe un buen drenaje. Se encontró que en el departamento de Risaralda, en donde prevalecen suelos francos, en la temporada seca se hacen riegos por aspersión con una frecuencia de dos riegos por semana (Polanco, 2011). Sin embargo, para saber cuándo y cómo realizar los riegos, se recomienda hacer observación de las hojas e identificar si estas se encuentran hidratadas o secas, como también hacer tacción de la tierra que se encuentra alrededor de las plantas e identificar su contenido de humedad (Valderrama *et al.*, 2005). En este cultivo se debe evitar el exceso de humedad en el suelo en especial en la etapa de tuberización y desarrollo de las raíces reservantes (Valderrama *et al.*, 2005).

No obstante, cabe señalar que en un clima cambiante, como el actual, es necesario tener sumo cuidado tanto en las temporadas secas como en las lluviosas, ya que estas condiciones climáticas son cada vez más extremas. En las temporadas secas se recomienda tener especial cuidado con el riego para evitar deshidratación de las plantas y, en las temporadas lluviosas, se recomienda hacer surcos profundos para proteger las raíces de posibles encharcamientos (Cárdenas, 2011).

Es importante señalar que cuando la siembra del yacón se encuentra asociado con otros cultivos, las labores de deshierbe, aporque y riego son realizadas simultáneamente las efectuadas para los cultivos principales como el maíz o el café (Seminario *et al.*, 2003; Cárdenas, 2011).

Por otra parte, para el control fitosanitario se recomienda previo a la siembra e independiente del sistema de propagación que se emplee, realizar una desinfección del propágulo, como también seleccionar siempre propágulos que no muestren ninguna señal de enfermedad e infestación por parásitos (Seminario *et al.*, 2003).

Enfermedades y tratamientos

Es de suma importancia conocer qué tipo de enfermedades afectan al yacón, ya que la presencia de estas, hace que las raíces reservantes y las hojas, no sean comerciales ni comestibles, con lo que la calidad y el rendimiento se ven afectados (Oliveira & Jacomini, 2009).

Enfermedades

En Colombia, la enfermedad causada por la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* que le ocasiona a la planta grandes deformaciones en la parte aérea, en especial en el cuello (unión entre la corona y el tallo), fue la única reportada que afecta el yacón (Polanco, 2011). Sin embargo, se conoce por registros encontrados en Brasil, Japón y Perú que existen diversas bacterias, hongos, parásitos, virus y plagas que también afectan a esta planta. Muchos de estos organismos se han encontrado asociados a otras plantas en Colombia, por lo que es importante tenerlos en cuenta.

En Brasil se han reportado hongos pertenecientes al género *Rhizoctonia* (Fenille *et al.*, 2005) y el hongo *Rhizoctonia solani* (Tomioka *et al.*, 2002) que causan síntomas de pudrición (Tomioka *et al.*, 2002; Fenille *et al.*, 2005). Cuando las plantas se infectan con el hongo *Rhizoctonia* sp, presentan marchitamiento y decoloración de la corteza 90 días después de la siembra y a los tres o cuatro días siguientes se pudre completamente (Fenelli *et al.*, 2005). En Colombia, este hongo se ha encontrado asociado a cultivos de *Estevia rebaudiana* Bertoni (Arturo *et al.*, 2009) y de maíz (*Zea mays* L.) (Arrieta *et al.*, 2007).

Por otro lado, *Rhizoctonia solani* causa un deterioro grave de tallos y hojas. Lesiones acuosas oblongas e irregulares, son los principales síntomas. Inicialmente aparecen en las partes bajas de los tallos y con el tiempo se van extendiendo por los mismos, hasta llegar a la parte inferior de las hojas. Los órganos afectados se suavizan, se vuelven de color café oscuro y finalmente se secan (Tomioka *et al.*, 2002). Este

hongo se ha reportado en Colombia asociado a cultivos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (Galindo *et al.*, 1982; Abawi & Pastor, 1990).

En Japón, la bacteria asociada al marchitamiento *Erwinia chrysanthemi* fue reportada por Mizuno *et al.* (1993, citado en Fenille *et al.*, 2005). En Colombia se ha encontrado asociada a cultivos de plátano (*Musa paradisiaca* L.) y maíz (*Zea mays* L.) (Ordosgoitty *et al.*, 1974).

En Perú se han reportado especies de hongos, pertenecientes al género *Alternaria*, *Bipolaris*, *Sclerotinia* (*Sclerotinia sclerotiorum*) y *Fusarium* que afectan puntualmente las hojas, tejidos y raíces reservantes del yacón. La alternariosis es una enfermedad producida por *Alternaria* sp., que afecta al follaje del yacón, el cual puede destruirse totalmente. Generalmente, se inicia en los bordes de las hojas y avanza progresivamente hacia el centro, el tejido afectado se necrosa, se seca y se desprende de la parte sana de la hoja por efecto del viento (Ames de Icochea, 1997). En Colombia hay registros de *Alternaria* sp. en la zona cafetera, asociada a cítricos (Castro *et al.*, 1994).

Otro género de hongos que afecta el follaje es *Bipolaris* sp., el cual causa la enfermedad conocida como bipolariosis. En las hojas del yacón, se presenta necrosis de manera irregular, que se extienden rápidamente, en cualquier parte del limbo, por el borde o entre nervaduras (Barrantes s.f.). No se encontraron registros en Colombia, aunque esto no significa que no haya que tenerla presente para el cultivo del yacón.

Sclerotinia sclerotiorum, es el agente causal de la enfermedad llamada moho blanco o esclerotiniosis. Esta es una enfermedad de consideración, ya que puede matar a la planta en cualquier estado de desarrollo. Todo el tejido parenquimático y cortical es destruido por las enzimas que produce *S. sclerotiorum*, y solo queda el tejido vascular en forma de cuerdas o hilos, haciendo que la planta sucumbe por la falta de sostén. Cuando la planta sucumbe, el patógeno sigue desarrollándose y se convierte en esclerocios que mantienen la enfermedad indefinidamente (Ames de Icochea, 1997; Lizarraga, s.f.). En Colombia este hongo se encuentra asociado al clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) (Arbeláez, s.f.).

Fusarium sp., es el agente causal de la enfermedad llamada marchitez vascular. Afecta principalmente las raíces reservantes del yacón, las cuales muestran necrosis externa que alcanza los tejidos internos. Esta enfermedad, por lo general se produce cuando los periodos de lluvia son frecuentes y prolongados en suelos arcillosos, que acumulan bastante agua. No solo se observa pudrición en las raíces, también se observa marchitamiento en el follaje de las plantas adultas (Barrantes s.f.). En Colombia se ha observado en cultivos de *Stevia rebaudiana* Bertol (Arturo *et al.*, 2009) y de maíz (*Zea mays* L.) (Arrieta *et al.*, 2007).

Por otro lado, en Brasil solo se encontraron reportes de parásitos. El único parásito del que se encontró registros fue del nematodo *Meloidogyne ethiopic*. Los principales síntomas que se presentan son reducción de crecimiento y tamaño de tubérculos y frutos, como también, fisuras y cicatrices en las raíces (Grau & Rea, 1997; Carneiro & Almeida, 2005). Varios estudios se han realizado con el fin de encontrar el tratamiento adecuado para contrarrestar los efectos de este nematodo, entre los que se encuentran, el realizado por Da Silva *et al.* (2003) en donde los propágulos infestados se sumergieron en dos tratamientos por 15, 30 y 45 minutos, en agua a diferente temperatura (40, 42, 44, 46, 48 y 50 °C) y en hipoclorito de sodio a 0.5%. Igualmente, el ensayo realizado por Oliveira & Jacomini (2009) en el que emplearon dos nematicidas, uno de origen natural, el manipuera, y otro de origen químico, el Carbofuran (Furadam 50g). El manipuera, es un líquido lechoso de color amarillo que se extrae de las raíces tuberosas de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*) (Oliveira & Jacomini, 2009). Los autores en ambos casos, concluyeron que ninguno de los tratamientos presentó eficacia en el control de *Meloidogyne* sp. En Colombia, este nematodo se ha reportado en la Guayaba (*Psidium guajaba L.*) (Piedrahita & Zapata, 2010).

En cuanto a los virus, no se tiene información de los que atacan al yacón, sin embargo Lizarraga (s.f.) menciona que hay registros de virus en los géneros de asteráceas *Helianthus* y *Galinsoga*, que pertenecen a la tribu Helianthae, la misma de *Smallanthus*.

Para finalizar, el yacón no se encuentra fuertemente afectado por plagas, ya que tiene dos sistemas de defensa. El primero, es de tipo mecánico, conformado por una capa densa de pelos que dificultan la adhesión de los insectos a la superficie. El segundo, es de tipo químico, conformado por la presencia de numerosas glándulas que contienen alcaloides en la base de las hojas (Seminario *et al.*, 2003; García, 2003; Santana & Cardoso, 2008; Muñoz, 2009; Cárdenas, 2011). Sin embargo, se han reportado gran variedad de plagas (todas presentes en Colombia) que podrían afectar el yacón, entre ellas tenemos insectos, como la arañita roja (*Tetranychus urtica*), el pulgón rojo (*Myzus nicotianae*), la mosca minadora (*Liriomyza* sp.), chinches pertenecientes a las familias Pentatomidae y coridae, Chrysomelidos, larvas del orden Coleóptera (Scarabeidae) y Lepidoptera (*Papilio* sp.), babosas (*Agriolimax* sp.), *Agrotis ipsilon*, *Copitarsia turbata*, *Golofa aegeon* y *Myzus persicae* (Grau & Rea, 1997; Seminario *et al.*, 2003; Valderrama *et al.*, 2005; Polanco, 2011).

Tratamientos

El hecho que la propagación del yacón sea de manera asexual por medio de rizóforos, hace que la diseminación de enfermedades, al expandir su cultivo, sino se hace con precaución, sea inminente. Lo anterior debido a que muchos de estos órganos propagativos llevan consigo la enfermedad latente,

esperando a que las condiciones sean propicias para iniciar la infección. Por tal motivo una de las principales recomendaciones para el control de enfermedades es el uso de propágulos sanos, los cuales no deben presentar ninguna lesión (Ames de Icochea, 1997; Tomioka *et al.*, 2002; Fenille *et al.*, 2005).

Otras recomendaciones sobre el manejo de enfermedades citadas por Ames de Icochea (1997), que aunque no se encontró información de cómo manejarlas específicamente en el cultivo del yacón, es importante tenerlas en cuenta, son:

Rotación: consiste en cambiar de cultivo de una cosecha a otra. Con esta actividad se consigue que el suelo recupere sus propiedades físicas, sea más productivo y los parásitos acostumbrados a un cultivo determinado pierdan su alimento. Se recomienda para enfermedades causadas por patógenos que habitan el suelo, entre los que se encuentran, *Rhizoctonia solani*, *Rhizoctonia* sp. (binucleado), *Fusarium*, entre otros.

Saneamiento: consiste en mantener el sitio de cultivo libre de malezas, ya que constituyen la principal fuente de reservorio de enfermedades, como de rastrojos, con el fin de evitar que los patógenos pasen a su fase activa.

Barbecho: por este método es posible destruir larvas, huevos, nematodos adultos y células bacterianas, como también mejorar las condiciones físicas y porosas del suelo; condiciones indispensables para el correcto establecimiento de las plantas de yacón. Consiste en dejar de sembrar por periodos de tres a cuatro años.

Selección de variedades resistentes y variedades precoces: consiste en aprender a reconocer variedades resistentes para los patógenos frecuentes en determinada zona.

Manejo del producto cosechado: este método es importante porque cualquier señal de pudrición en el material recién cosechado, puede acabar con todo el producto y, además, puede pasar a otros sanos. Se recomienda que las raíces reservantes del yacón se levanten y se almacenen sin pérdidas de tiempo, en especial cuando se encuentren en sitios con alta precipitación. También, que cuando estén almacenadas, se guarden en montones no muy altos (Seminario *et al.*, 2003).

Evaluación de las enfermedades: es importante que los agricultores conozcan y distingan entre dos conceptos que son importantes, en cuanto a enfermedades se refiere. Estos son la incidencia y la severidad. Para las enfermedades presentes en el yacón, la incidencia hace referencia al número de entidades afectadas y la severidad se refiere al volumen de tejido comprometido (Ames de Icochea, 1997).

Por otro lado, para el tratamiento de plagas son empleados los controladores biológicos y el asocio con otros cultivos. Entre los controladores biológicos del cultivo del yacón se han registrado en Perú la mariquita (*Hippodamia convergens*), la cual es predador de huevos y adultos del pulgón; y las moscas pertenecientes a la familia Syrphidae, las cuales depredan los huevos de varios insectos plaga (Valderrama *et al.*, 2005). Finalmente, en cuanto a la asociación de cultivos, se recomienda sembrar al yacón simultáneamente con otras plantas. En Colombia, el yacón se siembra junto con hortalizas, maíz, café, plantas medicinales y árboles frutales (García, 2003; Valderrama *et al.*, 2005). Es importante tener en cuenta que en el asocio con plantas puede haber intercambio de plagas comunes (Valderrama *et al.*, 2005).

Cosecha y Recolección

Tanto en las hojas como en las raíces reservantes del yacón, se han identificado propiedades medicinales y alimenticias. Con el fin de obtener buenos rendimientos con ambas partes de la planta, es importante conocer cuándo y cómo se realiza la cosecha.

Cosecha de hojas

Cuando las hojas son desprendidas la actividad fotosintética disminuye, con lo que, en el caso concreto del yacón, el llenado de las raíces y el crecimiento de nuevas hojas se ve seriamente afectado (Seminario *et al.*, 2003). Por tanto, es importante conocer hasta que punto o bajo que periodicidad se pueden coleccionar las hojas, como también el propósito de la siembra, ya que si el objetivo es cosechar solo las hojas, no importa si el llenado de las raíces se ve afectado, contrario a lo que sería si el objetivo fuera la cosecha de raíces y de hojas, en donde el llenado de las raíces es importante (Seminario *et al.*, 2003).

A pesar de lo mencionado anteriormente, no se encontraron estudios en donde especifique cada cuanto se debe realizar la cosecha de las hojas, según el propósito de la siembra. Sin embargo, se encontraron dos referencias que difieren en el tiempo en el cual se debe realizar la recolecta y además, no especifican si los tiempos de recolecta mencionados interfieren en el llenado de las raíces y en el crecimiento de nuevas hojas. Vilhena *et al.* (2000), recomiendan hacer la recolecta tres veces durante el ciclo de vida del yacón, que puede variar de seis meses a más de un año dependiendo de la altitud del sitio de siembra, siempre y cuando solo se retiren las hojas de la parte media del tallo. Mientras que Seminario *et al.* (2003) menciona que es importante esperar hasta que las hojas estén totalmente expandidas y hayan llegado a la madurez, ya que es el momento en el cual alcanzan su máximo peso seco. Esto ocurre aproximadamente entre los cinco o seis meses después de la siembra (Seminario *et al.*, 2003).

Por otro lado, en cuanto a la forma en la que se debe realizar la cosecha, esta se debe hacer de forma manual, aunque también se pueden emplear tijeras, cortando las hojas en el peciolo (Vilhena *et al.*, 2000; Seminario *et al.*, 2003). Las hojas cosechadas se colocan en un costal, para luego hacerles el tratamiento pos-cosecha que se considere necesario según las necesidades del consumidor (Seminario *et al.*, 2003).

Cosecha de raíces reservantes

Se conoce que el tiempo de cosecha de las raíces reservantes varía según la altura de la localidad en la cual se va a realizar la siembra (Seminario *et al.*, 2003; Manrique & Hermann, 2003; Manrique *et al.*, 2005; Santana & Cardoso, 2008; Polanco, 2011; Cárdenas, 2011). En zonas altas de Los Andes (3000 a 3500 m.s.n.m.) el tiempo de cosecha dura aproximadamente de 10 a 12 meses, mientras que en zonas de menor altura (0 a 2000 m.s.n.m.), dura aproximadamente entre 6 y 10 meses (Manrique & Hermann, 2003). Bajo estos criterios, se esperaría que el tiempo de cosecha en Colombia se encuentre en el rango de 6 a 10 meses, ya que según los registros de cultivos de yacón encontrados en el país, todos se ubican en zonas por debajo de los 3000 m.s.n.m. Por ejemplo, en el municipio de Dosquebradas (Risaralda), ubicado a 1460 m.s.n.m., Polanco (2011) obtuvo un tiempo de cosecha de aproximadamente nueve a nueve meses y medio. Sin embargo, es importante aclarar que el tipo de suelo también puede influir en el tiempo de la cosecha (Manrique & Hermann, 2003).

Ahora bien, para saber cuándo ha comenzado la época de la cosecha, se tiene que observar en las hojas una coloración amarillenta, que indica senescencia del follaje; además se tiene que identificar el cese de la floración (Vilhena *et al.*, 2000; Seminario *et al.*, 2003; Polanco, 2011). La cosecha, por lo general, se realiza cuando toda la parte aérea de la planta está totalmente seca (Santana & Cardoso, 2008). La razón para cosechar las raíces reservantes en esta etapa cuando las hojas están senescentes, es que en el inicio del estado senescente de la parte aérea el contenido de fructooligosacáridos (FOS), tanto en los rizóforos como en las raíces alcanza su valor máximo (Vilhena *et al.*, 2000; Seminario *et al.*, 2003; Santana & Cardoso, 2008).

La cosecha se realiza de forma manual, aunque en Perú se suelen emplear herramientas como la barreta o el pico (Vilhena *et al.*, 2000; Seminario *et al.*, 2003). Se prefiere manualmente, dado que los tejidos del yacón son muy sensibles, lo que hace que las raíces sean muy quebradizas y susceptibles a daño físico (Seminario *et al.*, 2003; Santana & Cardoso, 2008). Seminario *et al.* (2003), mencionan que para efectuar la cosecha es necesario quitar primero todos los tallos y luego quitar la mayor cantidad de tierra posible a una distancia de 25 a 30 cm alrededor de la corona de raíces, para de esta manera hacer un esfuerzo mínimo al sacarla. Posterior a esto, para evitar que se produzcan posibles heridas, las cuales hacen

sensibles las raíces a pudrición o contaminación microbiológica, estas se deben apartar de la corona manualmente y con sumo cuidado.

Si se requiere transportar las raíces reservantes inmediatamente, por lo general se depositan en canastos de plástico, teniendo cuidado de que no se golpeen y, además, manteniéndolas cubiertas con tierra. Por el contrario, sí las raíces no se comercializan inmediatamente, se sepultan en la tierra rellenas con paja, tanto en la parte superior como en la inferior; esto se puede hacer por un corto periodo de tiempo, siempre y cuando no exista mucha humedad, con el fin que no se deshidraten y pierdan sus cualidades organolépticas, haciendo que se mantengan frescas y apetecibles al consumidor (Seminario *et al.*, 2003; Maldonado *et al.*, 2008).

Manejo pos-cosecha

Manejo pos-cosecha de las hojas

La importancia de las hojas de yacón radica en el hábito originado en Japón de emplearlas como té medicinal para el control de la diabetes. Algunos estudios confirman esta propiedad medicinal de las hojas, aunque muchos de ellos se han realizado en animales. Como por ejemplo el realizado por Aybar (2011) con ratas con diabetes, en donde encontró que algunos compuestos químicos presentes en las hojas reducen el nivel de glucosa en la sangre. Cabe mencionar, que también se han identificado en las hojas propiedades antioxidantes (Manrique *et al.*, 2005; Grau *et al.*, 2007; Koike *et al.*, 2007).

Referente a los tratamientos pos-cosecha que se aplican a las hojas, solo se encontraron dos referencias, ninguna de Colombia. Vilhena *et al.* (2000) aconsejan deshidratar las hojas cosechadas en una estufa a temperatura de 40°C a 50°C, para luego triturarlas y empacarlas en ollas o bolsas plásticas y, de esta manera, emplearlas para infusiones o para té. Por el contrario, Quiroga *et al.* (2007) recomiendan realizar tres tratamientos, que según ellos no influyen en la apariencia final del producto, estos son: lavado, con el fin de mantener la calidad sanitaria; aplastado, con el fin de igualar el tiempo de secado de las nervaduras con el de la lámina; y finalmente, el secado a una temperatura entre 38 a 40 °C. Cabe mencionar que en las dos referencias encontradas, no se menciona si estos tratamientos disminuyen el principio activo de las hojas.

En Colombia se venden hojas secas para infusión o en forma de té en tiendas de productos orgánicos en la ciudad de Pereira (Risaralda) y en el municipio de Chinchiná (Caldas), estos productos los vende la compañía de procesamiento de productos naturales Fitomedic's (Polanco *et al.*, 2011). Asimismo, por

medio de la red social Facebook, el grupo llamado yacón Colombiano distribuye las hojas secas en forma de té a todas las ciudades.

Manejo pos-cosecha de las raíces reservantes

Como se ha mencionado previamente, el alto contenido de fructooligosacaridos (FOSs) en las raíces reservantes del yacón (entre 50 y 70% del total del peso seco) le confieren propiedades benéficas para la salud (Seminario *et al.*, 2003). Sin embargo, los FOSs después de la cosecha comienzan rápidamente a hidrolizarse y a convertirse en azúcares simples como la glucosa, la sacarosa y la fructosa; con lo que su contenido disminuye rápidamente (Asami *et al.*, 1991, citado en Narai-Kanayama *et al.*, 2007; Seminario *et al.*, 2003; Lachman *et al.*, 2004; Graefe *et al.*, 2004; Manrique *et al.*, 2005). Algunos estudios han demostrado que luego de una semana de almacenamiento a temperatura ambiente, el contenido de FOSs en las raíces reservantes del yacón puede disminuir de 30 a 40% (Manrique *et al.*, 2005).

Para evitar esta rápida conversión, se recomienda almacenar las raíces a bajas temperaturas (4 a 10°C) y a alta humedad (cerca del 80%) (Lachman *et al.*, 2004; Asami *et al.*, 1991, citado en Narai-Kanayama *et al.*, 2007). Específicamente, se aconseja almacenar las raíces a 4°C, ya que a esta temperatura no se han encontrado cambios en la concentración de FOSs (Vilehna *et al.*, 1996, citado en Grau & Rea, 1997), mientras que a 8°C y 90% de humedad, si se encontró una pronunciada disminución de este compuesto (Narai-Kanayama *et al.*, 2007). Es importante mencionar, que tanto el genotipo como el tiempo pos-cosecha también influyen en la composición de azúcares presentes en las raíces reservantes del yacón (Graefe *et al.*, 2004).

A pesar de esto, no solo la rápida hidrólisis de los FOSs es la única desventaja con la que se cuenta. La alta susceptibilidad de estas raíces a la deshidratación y al rápido oscurecimiento ante la presencia de oxígeno libre, hace que pierdan sus propiedades físicas (Santana & Cardoso, 2008; Yan *et al.*, 1999, Lachman *et al.*, 2003, citado en Fenner *et al.*, 2009). El alto contenido de agua presente en las raíces reservantes (entre el 83 al 90%), hace que cuando estas se deshidraten se arruguen y pierdan tamaño, con lo que su atractivo se ve afectado. Además, la presencia de compuestos fenólicos como el ácido clorogénico y el cafeico, hacen que cuando las raíces se cortan y entran en contacto directo con el oxígeno se oscurezcan rápidamente (Graefe *et al.*, 2004, Cabello, 2005, citado en Fenner *et al.*, 2009).

Por lo mencionado anteriormente, se emplean tratamientos pos-cosecha como la deshidratación. Este tratamiento mejora la estabilidad de los alimentos, ya que reduce las alteraciones físicas, químicas y microbiológicas durante el almacenamiento; con lo que la vida útil del producto aumenta (Hatampour *et*

al., 2007, citado en Fenner *et al.*, 2009). Además la pérdida de agua hace que se aumente la concentración de azúcares y otros sólidos presentes en las raíces reservantes del yacón (Graefe *et al.*, 2004)

La deshidratación puede hacerse al sol o empleando un horno. La técnica empleada con frecuencia es la deshidratación al sol, en donde se dejan las raíces por aproximadamente seis días. En este tiempo hay una alta conversión de FOSs en glucosa, sacarosa y fructosa, con lo que su sabor dulce aumenta considerablemente (Graefe *et al.*, 2004). Es importante mencionar, que las raíces también pueden ser almacenados en la sombra sin exceder los 15 días, ya que este es el tiempo que se estima dura la vida útil de las raíces en condiciones ambientales (Graefe *et al.*, 2004; Maldonado *et al.*, 2008). Se aclara que los tiempos mencionados aquí pueden variar de un sitio a otro, siendo más cortos en las regiones secas que en las regiones húmedas (Grau & Rea, 1997).

Por el contrario, para una mayor estabilidad de los FOSs se recomienda deshidratar al yacón lo más pronto posible después de la cosecha (Graefe *et al.*, 2004, citado en Fenner *et al.*, 2009). Para la realización de este tratamiento, se necesita de un horno para hacer el secado y se recomienda como pre-tratamiento hacer escaldado al vapor (Fenner *et al.*, 2009). El escaldado es importante, porque modifica las propiedades físicas de las raíces reservantes como la porosidad, haciendo que la pérdida de agua sea más rápida y, por tanto, disminuyendo así el tiempo de secado. Como también, porque mejora la calidad de los productos deshidratados (Fenner *et al.*, 2009). Este pre-tratamiento se puede realizar al vapor o por medio de agua caliente. Se aconseja al vapor, ya que de esta manera no se pierden por lixiviación nutrientes importantes presentes en las raíces reservantes del yacón, contrario a si se realizara en agua caliente (Kramer & Smith, 1997, citado en Fenner *et al.*, 2009).

Luego del escaldado al vapor, las raíces son sometidas a secado en donde se someten a temperaturas que pueden oscilar entre de 50 y 70°C (Vilhena *et al.*, 2000; Fenner *et al.*, 2009). La temperatura es primordial, ya que juega un rol importante en el tiempo total de secado (Fenner *et al.*, 2009). Sin embargo, Fenner *et al.* (2009) encontraron disminución de los FOSs a 70°C, lo que indica, que aunque esta temperatura haga que las raíces se sequen más rápido sus principios activos se vean afectados.

Es importante mencionar también, que no solo la deshidratación es el único tratamiento pos-cosecha que se le hace a las raíces reservantes del yacón. En Colombia, investigadores de la Facultad Agroindustrial de la Universidad del Quindío han transformado estas raíces para la obtención de vino, harina y hojuelas (Chavez *et al.*, 2002, citado en Polanco, 2011). También, en la ciudad de Ibagué (Tolima) hay una pequeña industria de procesamiento de yacón en donde se obtiene jarabes y grageas (Polanco, 2011). Asimismo, por medio de la red social Facebook, el grupo yacón Colombiano distribuye mermelada, miel y brevas en almíbar de yacón a todas las ciudades del país.

Para finalizar, cabe resaltar que debido a que las condiciones de almacenamiento, el genotipo y el tiempo pos-cosecha tienen una gran influencia en el contenido de FOSs, no se puede asegurar por mucho tiempo una alta cantidad de este compuesto en los productos elaborados con las raíces reservantes del yacón. Sin embargo, para poder aprovechar al máximo el alto contenido de FOSs presente en estas raíces, se puede pensar en extraer este compuesto en bruto y emplearlo para la elaboración de edulcorantes para personas que padecen diabetes o que simplemente quieren bajar de peso. En Colombia, se encontró un estudio en donde se obtuvo un rendimiento máximo de FOSs en bruto de 20.7% (Bedoya *et al.*, 2008). Para la extracción de este compuesto, se sometió el material vegetal a 82.2°C durante 23 minutos, con una relación de 4.5 litros de solvente por cada 500 gramos de materia prima. Con lo anterior se concluyó que esta forma de aprovechamiento de los FOSs es una alternativa promisoriosa para su manejo en la industria farmacéutica y alimentaria (Bedoya *et al.*, 2008).

Rendimiento

Factores como el tipo de suelo, el uso o no de fertilizantes, las condiciones climatológicas y las técnicas aplicadas al cultivo, inciden en el rendimiento obtenido luego de cada cosecha (Muñoz *et al.*, 2009). Sin embargo, el rendimiento de las hojas y de las raíces reservantes se ve afectado por otros factores, que el agricultor debe tener presente al momento de realizar la siembra y los cálculos de producción, por ejemplo el área foliar, el número de tallos por planta, el contenido de agua presente en las hojas, la densidad de siembra y por el peso de las piezas de la corona (Amaya, 2002, citado en Seminario *et al.*, 2003; Seminario *et al.*, 2003; Douglas *et al.*, 2005; Polanco, 2011).

Rendimiento de hojas

Se encontró que el rendimiento de las hojas se ve principalmente influenciado por el área foliar, por el número de tallos por planta y por el gran contenido de agua que tienen (Seminario *et al.*, 2003; Douglas *et al.*, 2005; Polanco, 2011).

El área foliar, dada por el ancho y el largo de las hojas, es un factor importante en el rendimiento (Polanco, 2011). Por tanto, si se quieren obtener buenos rendimientos lo recomendable es cosechar hojas grandes. Sin embargo, para poder realizar esta cosecha es necesario esperar hasta los cinco o seis meses después de la siembra, ya que este es el momento en el cuál la mayoría de las hojas alcanzan su máxima área foliar. Es importante también que se realice antes que ocurra la floración, ya que en este momento la planta empieza a producir hojas pequeñas las cuales no tienen mayor importancia en el rendimiento (Seminario *et al.*, 2003).

Otro factor que influye en el rendimiento de las hojas es el número de tallos, ya que a mayor número de tallos hay mayor número de hojas (Douglas *et al.*, 2005). Por tanto, cuando se haga propagación vegetativa por porciones de corona es importante sembrar piezas con gran peso, dado que estas producen plantas con mayor número de tallos. Douglas *et al.* (2005) encontraron que piezas de corona que pesan 50gr producen menos de 7 tallos/planta, mientras que piezas de corona que pesan entre 500gr producen plantas con 20 tallos/planta. Cabe mencionar que no se encontró cuántos tallos por planta producen los otros tipos de propagación.

Además, debido al alto contenido de agua que tienen las hojas (aproximadamente entre el 55.7 y el 60% del peso total) es importante que el agricultor tenga en cuenta a la hora de cosecharlas, que el rendimiento que está obteniendo en ese momento va a disminuir considerablemente cuando las someta a alguna técnica de procesamiento para comercializarlas (Seminario *et al.*, 2003).

Por otro lado, no se encontraron referencias donde se mencione de cuánto han sido los rendimientos obtenidos con las hojas. Sin embargo, se encontró que en Cajamarca (Perú) pudieron estimar que el rendimiento de las hojas secas podría llegar a 3 o 4 t/ha si la densidad de plantación es de 18.500 plantas por hectárea, cada planta tiene entre 8 a 11 tallos y cada tallo tiene entre 13 a 16 pares de hojas (Seminario *et al.*, 2003). En Colombia, la única información que se encontró es que cada tallo en promedio produce 15 hojas (Polanco, 2011).

Rendimiento de las raíces reservantes

El rendimiento de las raíces reservantes se ve principalmente influenciado por la densidad de siembra y por el peso de las piezas de la corona (Amaya, 2002, citado en Seminario *et al.*, 2003; Douglas *et al.*, 2005).

Se encontró que el distanciamiento entre plantas influye notoriamente en el rendimiento de las raíces. Las distancias de siembra más cortas (menor densidad de siembra) producen más raíces, pero el tamaño de estas es pequeño. Algunos investigadores afirman que los distanciamientos de 0.8 m entre plantas y 1.0 m entre surcos producen un mayor rendimiento (65.8 t/ha), en relación a los distanciamientos de 1.0 m entre plantas y 1.4 m entre surcos, los cuales producen rendimientos de 45.3 t/ha. Sin embargo, las raíces reservantes que se obtuvieron en los distanciamientos más largos son más grandes (Amaya, 2000, citado en Seminario *et al.*, 2003). Por tanto, es importante que el agricultor al momento de realizar la siembra tenga presente si lo que quiere es un alto rendimiento dado por la cantidad de las raíces reservantes o, por el contrario, prefiere una buena producción de raíces de gran tamaño.

También hay estudios que demuestran que el peso de las piezas de la corona incide en el rendimiento. Douglas *et al.* (2005) encontraron que si sembraban piezas de corona que pesaban 50gr obtenían en promedio 2 kg/planta de raíces reservantes, mientras que si sembraban piezas de corona de 500gr obtenían un rendimiento de 6 kg/planta. Sin embargo, ellos recomiendan utilizar piezas de corona que tengan entre 180 a 200gr, las cuales producen 5kg de raíces reservantes por planta, para establecer cultivos con buenos rendimientos (Douglas *et al.*, 2005).

Por otro lado, varios han sido los rendimientos de raíces reservantes reportados tanto en países andinos como en países no andinos, los cuales varían de 4.5 a 100 t/ha (Seminario *et al.*, 2003; Polanco, 2011). En cuanto a los países andinos, solo se encontraron reportes de rendimientos en Perú, Ecuador y Colombia. En Perú el rendimiento promedio esta en 45 t/ha, en Ecuador está en 44 t/ha y en Colombia se encontró que los mayores rendimientos alcanzan en promedio en 32 t/ha, mientras los menores son en promedio en 6.9 t/ha (Grau & Rea, 1997; Seminario *et al.*, 2003; Polanco, 2011).

En cuanto a los países no andinos, solo se encontraron reportes en Brasil y en Japón. En Brasil es donde se ha reportado el más alto rendimiento hasta la fecha (100 t/ha) y en Japón se han encontrado reportes de rendimientos que varían de 35 a 52 t/ha (Kakihara *et al.*, 1996, citado en Grau & Rea, 1997; Seminario *et al.*, 2003).

Discusión de Resultados

El yacón no requiere de muchos cuidados durante el cultivo, tiene una gran adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales y tipos de suelo, y ofrece buenos rendimientos a bajos costos de producción (Grau & Rea, 1997; Seminario *et al.*, 2003; Manrique *et al.*, 2005; Valderrama *et al.*, 2005). También, dado que se adecua y prospera bien bajo la sombra de árboles y en asociación con otras plantas, ofrece la alternativa de poder integrarse en sistemas agroforestales y de cultivarse junto con plantas altamente comerciales y de importancia en el país, como son el maíz o el café (Seminario *et al.*, 2003; Polanco, 2011). Esto es relevante debido al problema de ordenamiento territorial que existe en el país, en donde las áreas destinadas a la siembra son cada vez más escasas; además de la creciente tendencia por los cultivos mixtos, como una manera de mejorar las condiciones ambientales y la producción de los sistemas agrícolas (Rodríguez & Rubiano, s.f).

De otro lado, gracias a la clasificación de las raíces reservantes del yacón elaborada por Seminario *et al.* (2003) con el fin de estimar en Perú el tipo de raíces producidas y su proporción relativa en la cosecha, se pudo inferir que las raíces reservantes que se producen en Colombia cumplen con tamaños adecuados para

su comercialización (Polanco, 2011). Ellos clasificaron las raíces en tres categorías, las de primera categoría hacen referencia a raíces que superan los 20 cm de longitud y tienen entre 7 y 10 cm de diámetro, las de segunda categoría tienen entre 12 a 20 cm de longitud y de 5 a 6 cm de diámetro, y las de tercera categoría son consideradas no comerciales siendo su longitud menor a 12 cm y su diámetro menor a 5 cm (Seminario *et al.*, 2003). En el país, se encontró que el promedio de las raíces reservantes más pequeñas está entre los 18 cm de longitud y los 6.5 cm de diámetro, mientras las más grandes están en promedio entre los 25 cm de longitud y los 9 cm de diámetro (Polanco, 2011). Por lo mencionado anteriormente y conociendo que se han estimado rendimientos de hasta 36 t/ha, el yacón se perfila como un cultivo alternativo rentable (Seminario *et al.*, 2003; Polanco, 2011). Así, este cultivo le podría ofrecer a la comunidad la oportunidad de ampliar la dieta, con alimentos con bajo contenido de azúcar, altos en fibra vegetal y antioxidantes, que contribuyen a remediar las consecuencias de los hábitos cada vez más sedentarios (García, 2003; Manrique & Hermann, 2003; Seminario *et al.*, 2003; Manrique *et al.*, 2005). Y asimismo, al agricultor le podría ofrecer la posibilidad de diversificar la producción y obtener una buena rentabilidad a bajo costo (Valderrama *et al.*, 2005).

A pesar de lo anterior, el yacón en Colombia es una planta subutilizada. Aunque se encontró que ya hay algunas personas interesadas en estudiar, difundir y explotar las propiedades medicinales y alimenticias de este recurso vegetal, todavía es una planta desconocida por la mayoría de los consumidores, científicos, agrónomos y políticos (Polanco, 2011). Se considera que factores como la falta de mercadeo, de sistemas de comercialización, y de estudios de los aspectos legales, probablemente han contribuido a la subutilización de esta especie (Padulosi & Hoeschle-Zeledon, 2004).

Una alternativa eficaz para promover el aprovechamiento de este recurso, que ha sido implementada en países como Perú, Brasil y Japón, en donde los productos elaborados con esta planta ya han llegado a los mercados urbanos, es brindar y difundir información sobre sus propiedades terapéuticas. Sin embargo, si en el país se quiere incentivar el consumo de esta planta por medio de sus propiedades terapéuticas, primero debe ser incluida en el Vademécum de Plantas Medicinales Colombiano, el cuál es el documento que aprueba las plantas que pueden emplearse para la elaboración de productos fitoterapéuticos (Resolución número 2834 de 2008 del Ministerio de Protección Social). Para que una planta pueda estar inscrita en este libro tiene que disponer de un paquete de información que incluye desde su nombre científico, su nombre común, sus sinónimos, hasta información en donde se especifiquen las propiedades terapéuticas y farmacológicas, la posología, los ensayos de toxicidad, los ensayos *in vitro*, las contraindicaciones y precauciones y la interacción con fármacos, entre otros aspectos (Ver artículo 2 de la resolución número 2834 de 2008 del Ministerio de Protección Social).

El yacón ya cuenta con información como nombre científico, sinónimos, nombre común, parte de la planta usada o droga, uso tradicional, principales constituyentes químicos, propiedades terapéuticas y/o farmacológicas, indicaciones y posología, toxicidad aguda y a dosis repetida, contraindicaciones y precauciones, pocos estudios clínicos, conservación, formas farmacéuticas y fotografía a color de la planta. Sin embargo, aún hacen falta pocas investigaciones que se basan principalmente en ensayos *in vitro* y en estudios de interacción con fármacos. Por tanto, si se hacen los esfuerzos necesarios por parte del gremio científico para realizar estas investigaciones, esta planta podría rápidamente presentarse como una especie candidata para que se incluya en este documento.

Además, es importante mencionar que para que se puedan comercializar legalmente los productos fitoterapéuticos elaborados con este recurso vegetal, esta planta debe estar incluida en el Vademécum, puesto que el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) no le otorga el registro sanitario, necesario para fabricar y vender cualquier producto fitoterapéutico en Colombia, a ningún producto elaborado con plantas que no estén incluidas en este documento (artículos 15, 21, 30 y 31 del decreto 2266 del 2004 del Ministerio de Protección Social).

Por tanto, en Colombia las tiendas de productos orgánicos y algunas compañías de procesamiento de productos naturales que están comercializando productos fitoterapéuticos, como grajeas y jarabe de yacón u hojas secas para té, lo hacen ilegalmente. Estos productos al no tener registro sanitario, es poco probable que hayan sido elaborados teniendo en cuenta las buenas prácticas de manufactura y control de calidad, los cuales aseguran que haya una producción uniforme que cumpla con altos estándares de calidad que le brinden al consumidor un producto eficaz, seguro y de calidad (artículo 6 y 13 del decreto 2266 del 2004 del Ministerio de Protección Social). Por ejemplo, el jarabe de yacón que es elaborado con las raíces reservantes de esta planta, debe estar almacenado bajo condiciones que mantengan la estabilidad de los fructooligosacáridos (FOSs), ya que si no es así, estos comienzan a hidrolizarse rápidamente con lo que los principios activos disminuyen. En este sentido, un jarabe elaborado sin un adecuado control de calidad podría ofrecer al público una baja proporción de FOSs.

Dado que las condiciones para incentivar el consumo del yacón por medio de sus propiedades terapéuticas, aún no están dadas. Se considera la difusión de sus propiedades nutritivas y el aprovechamiento de este recurso orientado hacia la industria de alimentos y de bebidas gaseosas como una alternativa viable para comenzar a incentivar su consumo en el país.

En la industria de alimentos es importante mencionar que la comercialización de las raíces frescas presenta varias limitantes y desventajas entre las que se encuentran la alta susceptibilidad al daño físico, la disminución del poder nutricional, la corta vida útil y el elevado descarte debido al tamaño y la

presentación. Por tal motivo, se aconseja como alternativa el empleo de productos procesados (Manrique *et al.*, 2005; Muñoz, 2009). En Colombia ya se está avanzando en la transformación de las raíces reservantes para la elaboración de vinos, harinas, hojuelas, mermeladas, miel y almíbar (Polanco, 2011). Por lo que se puede inferir que si se mejoran las condiciones de mercadeo y se hacen estudios sobre comercialización, esta planta podría llegar rápidamente a los principales almacenes de cadena.

Sin embargo, si se quiere comercializar el yacón a gran escala, independiente de la industria a la cual se quiera orientar el aprovechamiento de este recurso promisorio, todavía es necesario realizar varias investigaciones. Es importante mejorar y proponer nuevas técnicas de almacenamiento y procesamiento que mantengan la estabilidad de los FOSs por más tiempo. Ya que si no se trabaja en mejorar la estabilidad de este tipo de azúcar en los productos que se comercializan, se le podría estar brindando a los consumidores una imagen falsa de las propiedades de esta planta, lo que pondría en riesgo su potencial promisorio (Seminario *et al.*, 2003).

También es importante investigar sobre la diversidad genética del yacón presente en el país. Al conocer que variedades producen raíces reservantes y hojas más grandes, cuáles almacenan mayor cantidad de FOSs y antioxidantes o, cuáles son más resistentes a plagas y a enfermedades, se pueden establecer cultivares que brinden ventajas para el cultivo, procesamiento y comercialización de esta planta y que le brinden al consumidor un producto seguro y de calidad (Manrique *et al.*, 2005).

Además, se deben realizar investigaciones orientadas al aprovechamiento de las hojas. Aún falta por determinar con que periodicidad se pueden coleccionar las hojas y cuáles son los rendimientos que se pueden obtener en nuestros sistemas de cultivo. Finalmente, hace falta crear estándares oficiales que permitan clasificar las raíces y las hojas de acuerdo a un determinado tamaño y contenido de principios activos, además de establecer estándares de calidad.

Por lo expuesto en el presente documento, se concluye que para poder aprovechar este recurso promisorio en su totalidad y poder iniciar una producción comercial en donde se le ofrezca al consumidor productos eficaces, seguros y de calidad, hay que tener en cuenta tres factores: el primero, es incluir esta planta en el Vademécum de Plantas Medicinales Colombiano, ya que el principal interés que ha despertado este recurso promisorio está orientado en sus propiedades hipoglicemiantes; el segundo, mejorar las condiciones de mercadeo con el fin de continuar incentivando el estudio, difusión y aprovechamiento de esta planta; y el tercero que los agricultores que actualmente están cultivando yacón en el país, se incentiven a compartir experiencias para poder desarrollar y proponer un manejo agrotecnológico orientado a la comercialización.

Para finalizar, se recomienda que se continúe recopilando información de las agrotecnologías de cultivo, con el fin de llenar los vacíos existentes, pero esta vez desde experiencias en campo con los agricultores que están sembrando esta planta en el país. Para esto se aconseja recurrir a la referencia de Polanco (2011), ya que aquí hay una tabla con las coordenadas geográficas, el municipio, el departamento, entre otros datos de las fincas, en las que se siembra yacón actualmente.

Bibliografía

- Abawi GS, Pastor MA. Root rots of beans in Latin America and Africa: Diagnosis, research methodologies, and management strategies. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 1990, 114 p.
- Ames de Icochea, T. Enfermedades fungosas y bacterianas de raíces y tubérculos andinos. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú. 1997, 172 p.
- Arbeláez G. Consideraciones generales sobre el manejo de las enfermedades en cultivos de raíces y tubérculos andinos. *Acta Horticulturae* 216: III *International Symposium on Carnation Culture*. s.f.
- Arrieta K, Salazar C, Campo R, Villareal N. Enfermedades patogénicas en los híbridos de maíz (*Zea mays*) en el medio y bajo Sinú del Departamento de Córdoba. 2007. <http://www.unicordoba.edu.co/revistas/rta/documentos/12-1/121-6.pdf>. Consultado el 12 de Septiembre del 2011.
- Arturo MC, Torres C, Peña EJ, Díaz JE. Microorganismos patógenos de *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Bioagro*. Colombia. 2009; 21(3): 173-178.
- Barrantes F. Patología de raíces y cormos. Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho Perú. s.f.
- Bedoya O, Cuarán GP, Fajardo JC. Extracción, cristalización y caracterización de inulina a partir de yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) para su utilización en la industria

- alimentaria y farmacéutica. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Pasto, Colombia. 2008; 6(2):14-20.
- Cárdenas SI. Etnobotánica y conservación *in situ* de la diversidad genética de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft), yacón (*Smallanthus sonchifolius* H. Robinson) y sus parientes silvestres en la Provincia de Marañón-Huánuco. **Trabajo de Grado de Maestría**. Escuela de post grado. Universidad Agraria la Molina. Lima, Perú. 2011, 100 p.
 - Carneiro RM, Almeida MI. Registro de *Meloidogyne ethiopica* whitehead em plantas de yacon e tomate no Distrito Federal do Brasil. *Nematologia Brasileira*. Brasilia, Brasil. 2005; 29(2): 285-287.
 - Castro BL, Leguizamón JE, López JA. La mancha foliar de los cítricos en la zona cafetera. *Avances Técnicos Cenicafé* (Colombia). Colombia. 1994; 198:1-8.
 - Chasquibol N, Aguirre R, Bravo M, Lengua R, Tomás G, Delmás I, Rivera D. Estudio químico y nutricional de las variedades de la raíz de la *Polymnia sonchifolia* “Yacón”. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*. Lima, Perú. 2002; 5(1): 37-42.
 - Colombia. (2004). Decreto 2266/2004 de 15 de Julio, por el cual se reglamentan los regímenes sanitarios, y de vigilancia y control sanitario y publicidad de los productos fitoterapéuticos.
 - Colombia. (2008). Resolución número 2834/2008 de 30 de Julio, por la cual se adopta el Vademécum de Plantas Medicinales Colombiano y se establecen los lineamientos para su actualización.
 - Córdova A, Galecio M. Identificación y evaluación agronómica de los biotipos de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en la microcuenca la Gallega, Provincia de Morropon- Piura. *Universalia*. Piura, Perú. 2006; 11(2): 14-23.
 - Curtis H. Biología. Sexta edición en español. Editorial Médica Panamericana. Madrid, España. 2003, 1491 p.
 - Da silva MP, Wilcken SR, Câmara F. Tratamentos Aplicados em propágulos de yacon (*Polymnia sonchifolia* Poep Endl) para controle de *Meloidogyne* sp. *Nematologia Brasileira*. Brasil. 2003; 27(1): 97-99.
 - Douglas JA, Follet JM, Waller JE. Effect of propagule weight on production of yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. London, UK. 2005; 33(2): 143-148.
 - Douglas JA, Follett JM, Douglas MH, Deo B, Scheffer JJC, Littler RA, Manley-Harris M. Effect of environment and time of planting on the production and quality of yacón (*Smallanthus sonchifolius*) storage roots. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. New Zealand. 2007; 35: 107-116.

- Estrella JE, Lazarte JE. *In vitro* propagation of Jícama (*Polymnia sonchifolia* Poepping & Endlicher): A Neglected Andean Crop. *HortScience*. 1994; 29(4): 331.
- FAO. Report on the state of the world's plant genetic resources for food and agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. 1996, 511 p.
- Fenner C, De Oliveira A, Zapata CP. Hot air drying of yacón (*Smallanthus sonchifolius*) and its effect on sugar concentrations. *International Journal of Food Science and Technology*. 2009; 44: 2169-2175.
- Fenille RC, Ciampi MB, Souza NL, Nakatani AK, Kuramae EE. Binucleate *Rhizoctonia* sp. AG G causing root rot in yacón (*Smallanthus sonchifolius*) in Brazil. *Plant Pathology*. 2005; 54: 325-330.
- Galindo JJ, Abawi GS, Thurston HD. Variability among isolates of *Rhizoctonia solani* associated with snap bean hypocotyls and soils in New York. New York, USA. *Plant Disease*. 1982; 66(5): 390-394.
- Gamarra G, Galvao F, Macedo J, Almeida P. Las Frutas Nativas: de testimonios del hambre a exquisiteces en la mesa. *Leisa Revista de Agroecología*. 2004; 20(1): 10-12.
- García RA. Estudio fitoquímico y nutricional de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. Distribución geográfica y adaptación del vegetal en tres pisos térmicos colombianos. **Trabajo de Grado de Maestría**. Facultad de Ciencias. Universidad del Tolima. Colombia. 2003
- Graefe S, Hermann M, Manrique I, Golombek S, Buerkert A. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. *Field Crops Research*. 2004; 86: 157-165.
- Grau A, Rea J. yacón, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. In: Hermann M, Heller J: Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca, yacón. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 21. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research. Gatersleben/International Plant Genetic Resource Institute. Rome, Italy. 1997, 200-243 p.
- Grau A, Kortsarz AM, Sánchez SS, Genta S, Catalán C, Perdigón G. El yacón como alimento, fuente de suplementos dietarios y de productos farmacéuticos: un panorama histórico, el presente y el futuro. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*. Santiago, Chile. 2007; 6(5): 173-174.
- Hernández Bermejo J.E, León J. Cultivos Marginados otra perspectiva. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma. 1992, 339 p.
- Imahori Y, Kitamura N, Kobayashi S, Takihara T, Ose K, Ueda Y. Changes in fructooligosaccharide composition and related enzyme activities of burdock root during low-temperature storage. *Postharvest Biology and Technology*. Japan. 2010; 55: 15-20.

- Johns T. Especies subutilizadas y nuevos retos para la salud global. *Leisa Revista de Agroecología*. 2004; 20(1): 9-10.
- Koike A, Murata T, Matsuda Y, Masuoka C, Okamoto C, Kabata K. Cultivation and ensilage of yacón plants (*Smallanthus sonchifolius* [Poepp. & Endl.] H. Robinson) and the function of yacón silage. *Grassland Science*. Kumamoto, Japan. 2007; 55(2009): 6-10.
- Lachman J, Havrland B, Fernández EC, Dudjak J. Saccharides of yacón [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. Et Endl.) H. Robinson] tubers and rhizomes and factors affecting their content. *Plant Soil Environ*. 2004; 50(9): 383-390.
- Lizárraga C. Virus en raíces andinas. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú. s.f
- Maldonado S, Luna P, Martínez V, Villatarco M, Singh J. Producción y comercialización de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en comunidades rurales del Nordeste Argentino. Argentina. 2008. *Agroalimentaria*. 2008; 26: 119-125.
- Manrique I, Hermann M. El potencial del yacón en la salud y la nutrición. XI Congreso Internacional de Cultivos Andino. Cochabamba, Bolivia. 15-19 Octubre. 2003.
- Manrique I, Hermann M, Bernet T. yacón-Ficha Técnica. Centro Internacional de la Papa (CIP). 2005. <http://www.cipotato.org/artc/cipcrops/fichatecnicayacon.pdf>. Consultado el 9 de Agosto del 2011.
- Mansilla R, López C, Flores M, Espejo R. Estudio de la biología reproductiva en cinco accesiones de *Smallanthus Sonchifolius* (Poepp. & Endl.) Robinson. *Ecología Aplicada*. Lima, Perú. 2010; 9(10): 167-175.
- Muñoz AM, Blanco T, Serván K, Alvarado-Ortíz C. Evaluación del contenido nutricional de yacón (*Polimnia sonchifolia*) procedente de sus principales zonas de producción nacional. *Horizonte Médico*. Lima, Perú. 2006; 6(2): 69-73.
- Muñoz A. 2009. Yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poep. & Endl) H. Robinsón). <http://www.biocomerciooperu.org/admin/recursos/contenidos/Monografia%20de%20Yacon%20-%20final.pdf>. Consultado el 9 de Julio del 2011.
- Narai-Kanayama A, Tokita N, Aso K. Dependence of fructooligosaccharide content on activity of fructooligosaccharide-metabolizing enzymes in yacón (*Smallanthus sonchifolius*) tubers roots during storage. *Journal of Food Science*. 2007; 72(6):381-387.
- Oliveira M, Jacomini D. Tratamentos de solo no controle de nematoides visando produtividade e qualidade de raiz em plantas de yacón (*Polymnia sonchifolia* Poep. Endl.). *Publ. UEPG Ci. Exatas Terra, Ci. Agr. Eng., Ponta Grossa*. Brasil. 2009; 15(2): 2009.
- Ordosgoitty A, Santos R, Haddad O. La pudrición acuosa del pseudotallo del plátano y su presencia en tres regiones plataneras de Venezuela. Venezuela. 1974; 24(4): 97-106.

- Osip CA, Madriaga CS, Pimentel RL. Study on propagation and production management of yacón. *Philippine Journal of Crop Science*. 38. *CSSP Annual Scientific Conference*. Lloilo City, Philippines. 2008, 39-40 p.
- Padulosi S, Eyzaguirre P, Hodgkin T. Challenges and Strategies in Promoting Conservation and Use of Neglected and Underutilized Crop Species. 1999. <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1999/pdf/v4-140.pdf>. Consultado el 10 de Julio del 2011.
- Padulosi S, Hodgkin T, Williams J.T., Haq N. Underutilized crops: trends, challenges and opportunities in the 21st Century. s.f. <http://www.moringanews.org/doc/GB/GFU/Document8.pdf>. Consultado el 9 de Julio del 2011.
- Padulosi S, Hoeschle-Zeledon I. ¿A qué denominamos especies subutilizadas?. *Leisa Revista de Agroecología*. 2004; 20(1): 6-8.
- Piedrahita OA, Zapata J. Identificación de nematodos fitoparásitos en guayabo (*Psidium guayaba* L.), en el Municipio de Manizales (Caldas), Colombia. *Rev.Acad.Colomb.Cienc*. 2010; 34(130): 117-125.
- Polanco MF. Caracterización morfológica y molecular de materiales de yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poep. & Endl) H. Robinsón) colectados en la eco región eje cafetero de Colombia. **Trabajo de Grado de Maestría**. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. 2011. 92 p.
- Polanco MF. El cultivo del yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poep. & Endl.) H. Robinsón. s.f. <http://medellin.unad.edu.co/ver2007/images/Documentos/SIUNAD/Pereira/yacon.pdf>. Consultado el 10 de Agosto del 2011.
- Quijano FG. Adubação mineral, orgânica e biodinâmica de yacon (*Polymnia sonchifolia* Poep. & Endl.). **Tesis doctoral**. Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. Botucatu, São Paulo. 2003, 226 p.
- Quiroga M, Ebber S, Echazú R, Saravia L, Sanchez B, Condorí M. Curvas experimentales de hojas de yacón. Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 2007; 11(2): 53-58.
- Santana I, Cardoso MH. Raiz tuberosa de yacón (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidade de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. *Ciência Rural*. Santa Maria. 2008; 38(3): 898-905.
- Scheldeman X, Rojas W, Valdivia R, Peralta V, Peralta E, Padulosi S. Retos y posibilidades del Uso de Especies Olvidadas y Subutilizadas en un Desarrollo Sostenible. http://www.underutilizedspecies.org/Documents/PUBLICATIONS/retos_y_posibilidades_especies_olvidadas.pdf. Consultado el 10 de Julio del 2011.

- Seminario J, Valderrama M, Manrique I. El yacón: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio. Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), Lima, Perú. 2003, 60 p.
- Tomioka K, Takeuchi J, Sato T, Nakanishi T. Rhizoctonia blight of yacón caused by *Rhizoctonia solani* AG-1 (IB). J. Disease Note. *Gen. Plant Pathol.* Japan. 2002; 68: 103-104.
- Valderrama M, Díaz A, Acero A. Cultivo de yacón: Experiencias de introducción y manejo técnico en el Valle de Condebamba. PYMAGROS productores y mercados del agro de la sierra, convenio MINAG-COSUDE. Cajamarca, Perú. 2005, 47 p.
- Vilhena SM, Câmara FL, Kakihara S. O cultivo de yacón no Brasil. *Horticultura Brasileira.* Brasília, Brasil. 2000; 18(1): 5-8.
- Williams JT, Haq N. Global research on underutilized crops. An assessment of current activities and proposals for enhanced cooperation. International Centre for Underutilized Crops. University of Southampton. Southampton, UK. 2002, 54 p.