

**CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y MOLECULAR DE MATERIALES DE
YACÓN (*Smallanthus sonchifolius* Poep. & Endl) H. Robinsón COLECTADOS
EN LA ECO REGIÓN EJE CAFETERO DE COLOMBIA**

MANUEL FRANCISCO POLANCO PUERTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
COORDINACION GENERAL DE POSGRADOS
PALMIRA
2011**

**CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y MOLECULAR DE MATERIALES DE
YACÓN (*Smallanthus sonchifolius* Poep. & Endl) H. Robinson COLECTADOS
EN LA ECO REGIÓN EJE CAFETERO DE COLOMBIA**

MANUEL FRANCISCO POLANCO PUERTA

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Magister
en Ciencias agrícolas con énfasis en Fitomejoramiento.

DIRECTOR DEL TRABAJO

MARIO AUGUSTO GARCÍA D. I.A. Ph.D.

CODIRECTOR

LUZ MERY BERNAL PARRA Bio. Ph.D.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
COORDINACION GENERAL DE POSGRADOS
PALMIRA
2011**

La Facultad y los jurados de tesis, no se hacen responsables de las ideas emitidas por el autor de la misma. Artículo 24, Resolución 04 de 1974.

Dedicatoria

A mi amada esposa por soportar todas mis imperfecciones

A mi madre por estar siempre atenta de mí

A mis hijos la motivación para ser cada día mejor

A mis hermanos por el respeto y la comprensión

A mi padre que desde el cielo continúa velando por mí

A todos mis amigos.

Manuel Francisco

AGRADECIMIENTOS

El Autor expresa sus agradecimientos a:

- La Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, por la cofinanciación del proyecto de investigación
- La Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira
- I.A. Mario Augusto Garcia Ph.D. por la supervisión y dirección de éste trabajo
- Bióloga. Luz Mery Bernal Ph.D. Docente investigadora de la UNAD por sus orientaciones en la codirección de este trabajo
- I.A. Jaime Eduardo Muñoz. M.Sc., por sus valiosos aportes y apoyo en la codirección del trabajo
- Biólogo. Freddy Betancourt por apoyo y su colaboración en el trabajo de laboratorio de biología molecular.
- I.A. Andrés M. Posso T. por su apoyo incondicional en el laboratorio de biología molecular Universidad Nacional. Sede Palmira
- I.A. Francisco José Sánchez por su asesoramiento en el análisis estadístico de los resultados de este trabajo
- I.A. Susana Gómez Posada M.Sc. tutora y compañera de la UNAD, por su permanente apoyo y colaboración en muchos aspectos de este trabajo
- I.A. Juan Carlos Padilla O. tutor y compañero de trabajo de la UNAD, por sus indicaciones en la búsqueda del material en campo
- I.A. Antonio Carvajal, Guillermo Castaño, y demás cultivadores de yacón que permitieron el ingreso a sus fincas y suministraron el germoplasma

Y a todas las demás personas que de una u otra forma, hicieron posible la realización de este trabajo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE PALMIRA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ACTA DE JURADO DE TESIS

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
LINEA DE INVESTIGACIÓN FITOMEJORAMIENTO

En Palmira a los 08 días del mes de junio de 2011, se reunió en esta Sede el Jurado Calificador de Tesis, integrado por los doctores RIGOBERTO HIDALGO y CREUCI MARIA CAETANO

Para calificar la Tesis de Grado de:

MANUEL FRANCISCO POLANCO PUERTA

Titulada:

“CARACTERIZACIÓN MORFOLOGIA Y MOLECULAR DE MATERIALES DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius* Poep. & Endl) *H. Robinsón* COLECTADOS EN LA ECOREGIÓN EJE CAFETERO DE COLOMBIA” bajo la dirección de Mario Augusto García Dávila, Ph.D., y Luz Mery Bernal. Ph.D.

Después de oír el informe del jurado evaluador compuesto por los doctores RIGOBERTO HIDALGO y CREUCI MARIA CAETANO, y de haber cumplido con el proceso de evaluación, la tesis fue calificada como:

APROBADA

REPROBADA

RIGOBERTO HIDALGO

CREUCI MARIA CAETANO

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. REVISION DE LITERATURA.....	18
1.1 GENERALIDADES	18
1.2 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN.....	19
1.3 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	21
1.4 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....	21
1.4.1 Cepa o Corona:	21
1.4.2 Hojas	22
1.4.3 Tallo	24
1.4.4 La Inflorescencia.	24
1.4.5 Fruto.....	25
1.4.6 Biología floral y sistema reproductivo.....	25
1.5 COMPOSICIÓN QUIMICA DEL YACÓN.....	26
1.5.1 Composición química de las raíces.....	26
1.5.2 Composición química de las hojas	29
1.5.3 Citogenética	29
1.6 ECOLOGIA.....	30
1.7 MÉTODOS DE PROPAGACIÓN	31
1.7.1 Brotes enraizados en la cepa.....	32
1.7.2 Por porciones de tallos o estacas	32
1.7.3 Por tallos enteros	32
1.7.4 <i>In vitro</i>	32

1.8	PLAGAS Y ENFERMEDADES	32
1.9	COSECHA Y POSCOSECHA	33
1.10	FORMAS DE CONSUMO Y CONSERVACIÓN	33
1.10.1	Pasas de yacón.....	34
1.10.2	Hojuelas de yacón.....	34
1.10.3	Jarabe de yacón.....	34
1.10.4	Uso forrajero	36
1.11	MEJORAMIENTO GENÉTICO.....	36
1.12	ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN	36
1.12.1	Caracterización morfológica.....	36
1.12.2	Caracterización molecular.....	38
1.13	LA ECORREGIÓN EJE CAFETERO.....	40
1.13.1	La estructura territorial de la ecorregión.....	41
1.13.2	Contexto Ambiental:.....	42
2.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	44
2.1	COLECTA DE GERMOPLASMA.....	44
2.2	ESTABLECIMIENTO DEL COLECCIÓN DE GERMOPLASMA Y EVALUACION MORFOAGRONOMICA.....	44
2.2.1	Localización del ensayo.	44
2.2.2	Manejo de las accesiones en campo	45
2.2.3	Definición de los descriptores morfológicos empleados.....	46
2.2.4	Fichas de caracterización.....	46
2.2.5	Descriptores de las fichas de caracterización	47
2.3	CARACTERIZACIÓN MOLECULAR	48

2.3.1	Extracción del ADN	48
2.3.2	Primer utilizados.....	49
2.3.3	Homogenización.....	49
2.3.4	Amplificación	49
2.3.5	Electroforesis	50
2.4	DISEÑO EXPERIMENTAL	50
2.5	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA EN LA CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONÓMICA.....	50
2.6	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN POR LA TÉCNICA MOLECULAR.....	51
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
3.1	INTRODUCCIÓN AL HERBARIO JOSE CUATRECASAS ARUMI (VALLE).....	52
3.2	INFORMACIÓN SOBRE LOS SITIOS DE COLECTA	52
3.2.1	Ubicación de los sitios de colecta.....	52
3.2.2	Condiciones agroecológicas de los sitios de colecta.....	53
3.2.3	Características del suelo.....	53
3.3	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DEL MATERIAL	54
3.3.1	Características del desarrollo de la planta	54
3.3.3	Características morfológicas de las flores y semillas	56
3.3.4	Características morfológicas de las raíces tuberosas y los rizomas ..	57
3.4.1	Caracteres morfoagronómicos cuantitativos relacionados	57
3.4.4	Caracteres morfoagronómicos cualitativos evaluados	70
3.4.5	Otras variables morfoagronómicos evaluadas.....	72
3.4.6	Entomofauna asociada al cultivo.....	72
3.4.7	Enfermedades que afectaron al cultivo.....	74

3.4.8	Peso de las hojas secas.....	75
3.4.9	Extracción del Jarabe de yacón	75
3.5	CARACTERIZACIÓN MOLECULAR DE LAS ACCESIONES	75
	CONCLUSIONES	79
	BIBLIOGRAFIA.....	80
	ANEXOS	90

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Composición nutricional del yacón (100 g de raíz fresca sin cáscara).....	26
Tabla 2. Contenido de oligofructosa en algunos alimentos.....	27
Tabla 3. Caracteres morfológicos utilizados como descriptores	38
Tabla 4. Ecorregión Eje Cafetero. Uso actual y potencial del suelo. 2002.....	43
Tabla 5 Cebadores o primer utilizados en la caracterización molecular de <i>Smallanthus sonchifolios</i>	49
Tabla 6 Datos para la preparación del cóctel para la amplificación de ADN de 10 muestras de yacón.....	49
Tabla 7 Programación de amplificación empleado en el termociclador PTC-100 Programable Termal Controller de MJ Research, Incel para RAMs	50
Tabla 8 Relación de las fincas visitadas en la colecta del <i>S. sonchifolius</i>	53
Tabla 9 Características agroecológicas de las fincas de colecta <i>S. sonchifolius</i> ...	54
Tabla 10 Características físicas de los suelos de colecta el <i>S. sonchifolius</i>	54
Tabla 11 Características del desarrollo vegetativo del <i>Smallanthus sonchifolius</i> ..	55
Tabla 12 Características más sobresalientes de las hojas del <i>S. sonchifolius</i> en las zonas de colecta	56
Tabla 13 Características principales de las flores y semillas de <i>S. sonchifolius</i> en las zonas de colecta	56
Tabla 14 Características principales de las raíces tuberosas y de los rizomas de <i>S. sonchifolius</i> en las zonas de colecta.....	57
Tabla 15 Resultados descriptivos para cada una de las variables cuantitativas registradas en la colección de yacón, <i>Smallanthus sonchifolios</i>	58
Tabla 16. Correlación del peso de los tubérculos de raíz (Niveles de Significancia) vs variables morfológicas del yacón.	59
Tabla 17 Análisis de varianza de los caracteres morfoagronómicos cuantitativos relacionados con el desarrollo aéreo de la planta de <i>Smallanthus sonchifolius</i>	59

Tabla 18 Comparaciones de la prueba DUNCAN entre los diferentes caracteres morfoagronómicos cuantitativos, evaluados para cada uno de las accesiones de <i>S. sonchifolius</i>	60
Tabla 19 Análisis estadístico del Índice de Área Foliar de las accesiones de <i>S. sonchifolius</i>	63
Tabla 20. Análisis de varianza, con los cuadrados medios de los descriptores cuantitativos relacionados con la inflorescencia, estructura de la flor y semillas del <i>S. sonchifolius</i>	65
Tabla 21. Análisis estadístico de los datos promedios de los descriptores cuantitativos relacionados con la inflorescencia, estructura floral y semillas del <i>Smallanthus sonchifolius</i>	66
Tabla 22. Análisis de varianza de caracteres cuantitativos relacionados con el desarrollo de los tubérculos del <i>Smallanthus sonchifolius</i>	67
Tabla 23 Prueba DUNCAN mostrando diferencias significativas entre las accesiones para cada uno de los caracteres cuantitativos relacionados con las raíces del <i>S. sonchifolius</i>	67
Tabla 24. Análisis Clúster de las 10 accesiones de yacón para 21 variables evaluadas.	69
Tabla 25. Contribuciones parciales de los caracteres morfoagronómicos cualitativos a la variabilidad genética de las accesiones colectadas	71
Tabla 26 Duración de las fases fenológicas de las accesiones de <i>Smallanthus sonchifolius</i> colectadas en promedio	72
Tabla 27 Entomofauna asociada a <i>Smallanthus sonchifolius</i>	74

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 Diagrama planta entera del Yacón.	22
Figura 2 Desarrollo de la planta de yacón a) Una planta de yacon de 45 días de trasplantada, b) Planta de yacón de 90 días de trasplantada, C) Inflorescencia dicásica. D).Flor compuesta E) Plantas de yacón en plena floración, F) Raíces reservantes de yacón a la cosecha. Fuente: Fotografías tomadas por el autor	23
Figura 3 Flores de yacón B. Flor ligulada o femenina. C. Pistilo y estigma. D. Flor tubular o masculina. E. Estambre. F. Grano de polen. G. Fruto. H. Estructura del grano. p. pericarpio. c. cotiledones. s. semilla. f. funículo. Fuente: Seminario et al. (2003)	25
Figura 4 Esquematzación hipotética de la evolución del yacón. Fuente: Ishiki et al. 1997, modificado por A. Grau 1997	30
Figura 5. Productos Colombianos procesados de las hoja y raices del yacon para uso medicinal. Fuente: Antonio Carvajal. Fuente: Autor.....	35
Figura 6. Mapa de la Ecorregión Eje Cafetero, sus regiones principales y áreas de influencia funcional. Fuente: CARDER	41
Figura 7. Plantas de yacón 40 días después del brotamiento, B) Planta lista para el trasplante; C) Trasplante de plantas de yacón. Fotos autor.	46
Figura 8. Bandas del ADN total de <i>S. sonchifolius</i>	48
Figura 9 Especímenes de <i>S. sonchifolius</i> introducidos al herbario de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. "VALLE". Foto Autor.	52
Figura 10. Hojas de yacón. A) Forma triangular, base hastada. B) Forma triangular, base truncada. Fuente: Autor.....	55
Figura 11. Crecimiento de las plantas de <i>S. sonchifolius</i> por accesión semana tras semana.	61
Figura 12 Representación del engrosamiento del diámetro de tallo de las plantas de <i>S. sonchifolius</i> , semana tras semana de las 10 accesiones colectadas.	61
Figura 13 Cambio del área foliar de las accesiones de <i>S. sonchifolius</i> con los días	62

Figura 14 Comparación de variabilidad del índice de área foliar promedio de cada accesión de <i>S. sonchifolius</i>	64
Figura 15 Índice del área foliar de las 10 accesiones de <i>S. sonchifolius</i> colectadas.....	64
Figura 16. Tubérculos de raíz de <i>S. sonchifolius</i> A) Forma tuberosa, color externo rojizo crema; B) Formas tuberosa, color externo amarillo crema; C) Forma napiforme, color externo crema. Foto Autor.....	68
Figura 17 Dendograma de los caracteres cuantitativos de las 10 accesiones de yacón evaluadas.....	70
Figura 18 Insectos benéficos asociados al yacón A) <i>Hippodamia convergens</i> , B) <i>Olla</i> sp. C) <i>Entypus</i> sp, D) <i>Tachinidae</i> , B) <i>Apis mellifera</i> , F) aveja angelita <i>Tetragonisca angustula</i> . Foto Autor	72
Figura 19 Daños causado al yacón por un Lepidóptero del a Familia Tortricidae. A) Ataque inicial al salir la rama, B) Planta en sus fases iniciales severamente afectada, c) Homóptero Membracidae D) Coleóptero, Chrysomelidae, E) Hymenptero, Pompilidae, F) Homóptero, Aphididae G) Hemíptero Pyrrhocoridae H) Lepidoptero Tortricidae. Fotos: autor	73
Figura 20 A) Rama afectada por <i>Agrobacterium tumefaciens</i> B) Planta severamente afectada por <i>A. tumefaciens</i> . Fotos autor.....	74
Figura 21 Patrones de bandas generadas por el primer CGA (izquierda) y CT (derecha) en las 10 accesiones de <i>S. sonchifolius</i> , en geles de acrilamida al 6%.75	75
Figura 22. Dendograma de análisis molecular de accesiones de yacón	76
Figura 23 Coloración verde purpura de los tallos y verde oscura de las hojas de yacón. Foto autor	76
Figura 24 Izquierda color externo y forma tuberosa, B) color interno crema, C) forma napiforme y color externo crema, D) color interno amarillo crema.....	77

RESUMEN

El yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poep. Z& Endl) H. Robinsón, es una Ateraceae originaria de la región Andina, encontrándose desde Colombia hasta el norte de la Argentina. Es una planta utilizada por las culturas antepasadas como una fruta refrescante o alimento bajo en calorías. Por esta misma razón, ha sido introducida a países como Estados Unidos, Nueva Zelanda, Japón, Corea y Brasil. Sus raíces están compuestas mayormente por agua (85 a 90%). El 40 al 70% de su peso seco está en forma de fructoligosacáridos (FOS), azúcares especiales con efectos favorables para la salud humana, y compuestos con un alto poder antioxidante, por lo que es considerado como medicinal, para tratar problemas de diabetes. La alta demanda y precio del producto en el mercado nacional e internacional hacen de ésta especie una opción rentable para los agricultores de la ecorregión Eje Cafetero, que cuenta con las condiciones agroecológicas ideales para su cultivo. Sin embargo, no se conoce información precisa sobre los materiales presentes en la región, ni de sus rendimientos, lo que dificulta proponer un manejo agronómico adecuado, para optimizar su producción.

Esta investigación se realizó en cinco departamentos de la ecorregión Eje Cafetero, colectando y caracterizando morfológicamente la especie. Posteriormente se realizaron evaluaciones morfoagronómicas empleando 18 descriptores cuantitativos y ocho cualitativos, y caracterización molecular con la técnica RAMs, utilizando seis cebadores. La caracterización morfoagronómica clasificó los diez biotipos colectados en tres grupos, siendo la variable peso de tubérculos con 58.77% la que más contribuyó a explicar la variabilidad. La caracterización molecular diferenció cuatro grupos, que guardan estrecha relación con el agrupamiento según los caracteres cualitativos encontrados.

Palabras Claves: yacón, jiquimilla, *Smallanthus sonchifolius*, tubérculos andinos, fructoligosacáridos, marcadores moleculares

ABSTRACT

Yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poep. Z & Endl) H. Robinson, is a Asteraceae native from Andean region betw found from Colombia to Northern Argentina is a plant used by cultures ancestors as a fresh fruit or low calorie food for this very reason, has been introduced to United States, New Zealand, Japan, Korea and Brazil. Their roots are composed mainly of water (85 to 90%) 40 to 70% of its dry weight is composed of fructoligosacáridos (FOS), a special sugar which positive effects on human health, and compounds with a high antioxidant power, by what is regarded as a medicinal plant to treat diabetes problems. High demand and pricing in national and international markets make this species a profitable option for farmers in the “Eje Cafetero” ecoregion which has ideal ecological conditions for cultivation. However, no precise information is known about the material in the region, or its performance, making it difficult to propose appropriate agronomic management to optimize production.

This research was conducted in five departments in the Colombian coffee ecoregion, collecting and characterizing morphologically the species was subsequently performed using 18 descriptors morphoagronomic evaluations and 8 qualitative and quantitative molecular characterization technique using 6 primers RAMs. The Morphoagronomic characterization classifies the ten biotypes in three groups, with variable weight of tubers with 58.77% as having the highest contribution to explain the variability. Molecular characterization four groups, which are closely related to the grouping according to the qualitative thanks found

Keywords: yacon, jiquimilla, *Smallanthus sonchifolius*, tuber crops, fructoligosacáridos, molecular markers

INTRODUCCIÓN

Se ha señalado que una de las causas de la baja utilización de los recursos fitogenéticos es la falta de información sobre éstos (Ordás et al. 1994 citado por Lobo, 2006). Por ello, en la formulación del Plan Global de Acción de Recursos Fitogenéticos para Alimentación y Agricultura, se incluyó el incremento de las acciones de caracterización y evaluación (FAO, 1996). En el Plan se señala que la ausencia de este tipo de acciones impide el aprovechamiento del valor de la variabilidad genética, de lo cual se derivan unos costos de conservación elevados con relación a los beneficios obtenidos a partir de las colecciones.

El yacón (*Smallanthus sonchifolia*) en Colombia no se le ha dado la importancia, ni siquiera desde la medicina natural, pues no se han realizado investigaciones para a conocer su diversidad genética, comportamiento agronómico, valor nutricional, como tampoco la composición de metabolitos secundarios, al contrario de países como Perú, y Japón. Es así como en el Perú varias instituciones conservan bancos de germoplasma de esta especie con centenas de accesiones colectadas en todo el país, debidamente caracterizadas morfológica y molecularmente, y en Japón se reporta que ya tienen variedades mejoradas con mayores producciones de frutooligosacáridos FOS (Hernández, 2004).

Considerando: 1) la gran demanda de varios países y el mercado nacional, por los componentes químicos presentes en las raíces, y hojas del yacón, 2) que la especie ya se encuentra presente en algunos predios de los agricultores, 3) que las características agroecológicas de la ecorregión Eje Cafetero, la hacen apta para establecer cultivos de yacón, como una excelente alternativa de producción, este documento pretende establecer las bases del conocimiento de su variabilidad genética presente en esta región, que puedan sostener científicamente su potencial de desarrollo agronómico y económico.

Por lo tanto el objetivo general de este trabajo fue caracterizar morfológica y molecularmente materiales de yacón colectados el Eje Cafetero de Colombia para su conservación ex situ de colecciones de campo, con una base genética amplia, para poder aplicar futuras procesos de selección y mejoramiento genético.

1. REVISION DE LITERATURA

1.1 GENERALIDADES

El yacón es una planta milenaria de los Andes, completamente adaptada a las condiciones ecológicas, geográficas y culturales de sus gentes. En Colombia se encuentra en peligro de extinción, debido a la pérdida de saberes ancestrales sobre sus propiedades alimenticias, medicinales y ecológicas, que han reducido al mínimo su cultivo (Garcia, 2003).

Tradicionalmente, ha sido considerado una “fruta” por su gran contenido de jugo dulce, y su bajo contenido energético. Se consume como fruta fresca o deshidratada en diferentes grados, y aunque de manera ocasional y sólo en algunas localidades, en forma de jalea y de chicha. Es un buen rehidratante en fresco debido a su alto contenido de agua, además puede prevenir la fatiga y los calambres por su alto contenido de potasio (Manrique, et al. 2005).

Según Tafur (2010), en los relatos del Inca Garcilazo de la Vega, en los tiempos pre-hispánicos los habitantes del Tahuantinsuyo tenían la costumbre de no tomar agua, "los de mi tierra preferían ser azotados antes de beber agua corriente", pues tenían la concepción de que el agua era una Divinidad hermana gemela de la diosa Tierra". Los incas tenían temor de ser castigados porque el que bebía agua pura sufría enfermedades. Pero era imperiosa la hidratación del cuerpo humano, es así que ellos consumían una raíz de yacón. Esta raíz era un cultivo obligado en los tiempos de los Incas, después del maíz y la papa, era un cultivo que establecía los límites de una propiedad a otra.

Dentro de la cultura andina cumple una función muy distinta a la de la papa u otros tubérculos, al ser utilizado como ritual durante las festividades de Corpus Christi, que están superpuestas con las de Inti Raymi, desde la conquista española. Inti Raymi es la fiesta del solsticio de invierno en la tradición andina, el momento cuando se cumplían rituales para que los días dejaran de acortarse y volviera la primavera. En este momento, desde junio en adelante, las raíces de yacón alcanzan una madurez adecuada, siendo entonces cosechadas y consumidas.

La especie ha recibido varios nombres comunes en las lenguas Andinas dominantes antiguas. *Aricoma* y *aricama* son términos Aymaras utilizados en zonas de Bolivia. En el vocablo Quechua, *Ilaqom*, *llacum*, *llacuma* o *yacumpi*. Las palabras *yacu* y *unu*, en el lenguaje Quechua, significa agua; mientras *yakku* es un adjetivo que significa aguachento o insípido. En Ecuador los nombres más comunes de la especie son *jicama*, *chicama*, *shicama*, *jíquima* ó *jiquimilla* (Title, 1986, citado por Grau & Rea, 1997). Estos términos parecen derivar de *xicama*, término Mexicano aplicado al género *Pachyrhizuz erosus* (*jicama*, *pipilanga* ó *nabo*

mexicano). Esta palabra fue presumiblemente introducida por los conquistadores Españoles que arribaron a los Andes a conquistar a Ecuador, procedentes de Centro América. En Colombia se le conoce también con el nombre de arboloco. El yacón también ha recibido nombres nuevos en los lenguajes europeos, probablemente acuñados por los investigadores o por cultivadores, como: *poire de terre* (Frances) y *yacon strawberry* (Inglés) (Grau y Rea, 1997).

1.2 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN

El yacón es originario de la región andina y se encuentra distribuido desde Colombia hasta el norte de la Argentina, a lo largo de los declives húmedos y valles interandinos secos, entre los 900 a 3200 msnm. Existen representaciones fitomórficas en la cultura Nazca (500-1200 d C.) que se atribuye al yacón, las cuales están representadas en textiles y cerámicas. En la Argentina se han encontrado restos arqueológicos de yacón pertenecientes a la cultura Candelaria, que habitó el sur de la provincia de Salta entre 0 y 1000 d.C. (Grau y Rea, 1997)

Para Grau y Rea, (1997) esta es una planta que se adapta fácilmente a espacios libres dejados en la vegetación; esta estrategia de colonización puede ser la razón por la cual el yacón fue asociado con los primeros asentamientos humanos, cuando la agricultura incipiente de cortar y quemar, proporcionaba el nicho ideal su establecimiento. Este comportamiento puede hoy en día ser observado en especies como *S. siegesbeckius* que comúnmente invade campos abandonados de café en el Perú y por *S. macroscyphus* en el noreste de Argentina invadiendo campos abandonados de caña de azúcar. Al parecer existe una alta posibilidad que un híbrido de dos o más especies de *Smallanthus* colonizadoras de hábitats disturbados, dieran lugar a una especie ancestral del yacón.

Es muy probable que en las tempranas etapas, campesinos de los Andes descubrieran las propiedades del yacón y le cambiaron el estatus de mala hierba a una planta manejable y más tarde a cultivable. El área más probable en donde pudieron suceder esos eventos, son las laderas húmedas de los Andes occidentales, en la región comprendida entre el noreste de Bolivia y el centro de Perú, el área con la mayor diversidad de clones y en donde la lengua nativa Quechua y Aymara nombra su uso. La diversidad es más reducida en Ecuador en donde modificaciones de la palabra xicama domina. Ambos factores puede indicar que la especie fue introducida allí en épocas posteriores, quizá con la conquista del Ecuador por parte de los Incas, solo unas décadas antes de la invasión Española (Grau y Rea, 1997).

Según Grau y Rea, (1997), y Seminario et al. (2003), el primer registro escrito sobre el yacón (*Ilacum*) es una lista de 55 especies nativas cultivadas en los Andes escrita por Felipe Guaman Poma de Ayala (1615), que incluía también ocho cultivos introducidos de España. El cronista padre Bernabé Cobo (1953) produjo la más detallada descripción, en el que se señala el uso de la fruta y su capacidad para aguantar varios días de transporte por el mar. Aunque pobre en calorías, seguramente hacía un buen aporte de vitaminas y alimento fresco en el largo recorrido de vuelta a España.

En el siglo XIX, a Wendell (1857), le llamó la atención las cualidades de las raíces del yacón, colectando tipos de herbario, nombrando la especie como *Polymnia edulis*. De acuerdo con Pérez Arbeláez (1956), el yacón fue presentado por primera vez en Europa en la exhibición de París que dio inicio al siglo. El interés de los Europeos no fue muy significativo, solo en Italia se establecieron ensayos serios en 1930, los cuales desaparecieron durante la segunda guerra mundial.

Afectados por los profundos cambios culturales, el cultivo del yacón fue decreciendo lenta y constantemente a través de los Andes, durante más de un siglo, y sólo hasta cuando el investigador alemán H. Brücher menciona la especie en su excelente monografía sobre el uso de Plantas Neotropicales (1989), se sucede un cambio drástico internacional por el conocimiento de las plantas andinas, aumentado en ese mismo año, por la publicación de “Los cultivos perdidos de los Incas” por La National Research Council (1989). Desde entonces el cultivo se ha extendido a países como Estados Unidos, Nueva Zelanda, Japón, Corea y Brasil, con resultados positivos en producción. El yacón se ha ofrecido como una exquisitez, en el Salón del Gusto, una exposición de alimentos de alta calidad organizada por Slow Food en Italia, en la que participan todos los países del mundo (Saralequi, 2006).

En Colombia se siembra en sistemas tradicionales de huerta casera, o en pequeñas parcelas en asocio con hortalizas, maíz, plantas medicinales y árboles frutales, en los municipios de montaña como Sotará, La Vega, San Sebastián, Santa Rosa, en el suroccidente del departamento del Cauca; en las Reservas Naturales adscritas a la Red de Reservas de la Cocha en Nariño; en el área rural del municipio de Garzón, Huila. También podemos encontrar plantas de yacón en los municipios de Pereira, Guática y Santa Rosa de Cabal en Risaralda; en Salento, Calarcá y Córdoba en Quindío; en Anolaima, Cundinamarca; en Boyacá, en Ibagué, Falán, Palocabildo, Cajamarca en Tolima y en el municipio el Dovio, Tujillo, Bolívar y la Pradera, en el Valle de Cauca (García, 2003).

El éxito del cultivo de la papa se fundamenta en su alta productividad y en la capacidad de producir carbohidratos para satisfacer las necesidades calóricas de las poblaciones. El yacón tiene la oportunidad potencial de satisfacer una creciente demanda de alimentos de bajo tenor calórico y efectos positivos sobre la salud de porciones de la población cada vez más sedentarias.

1.3 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Asterales
Familia:	Asteraceae
Subfamilia:	Asteroideae
Tribu:	Millerieae
Género:	<i>Smallanthus</i>
Especie:	<i>S. Sonchifolius</i>
N.C.:	<i>S. sonchifolius</i> (Poepp & Endl) H. Robinson
Sinonimia:	<i>Polymnia sonchifolius</i> Poepp & Endl

1.4 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

El yacón *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl) Robinson es una planta perteneciente a la familia de las Asteraceae (también denominada Compositae) género *Smallanthus*. Inicialmente había sido clasificado por Wells en 1965, dentro de *Polymnia*, pero Robinson en 1972 lo reclasificó en un género que había sido creado por Mackensie en 1933 como *Smallanthus*, particularmente por un patrón de estrías que se encuentran en el fruto. (Seminario et al. 2003). Las características morfológicas más sobresalientes son:

1.4.1 Cepa o Corona:

El aspecto más llamativo de esta especie lo constituye sus órganos subterráneos, conformados por un tronco engrosado y ramificado denominado corona, que presenta brotes cortos conocidos como propagulos o rizomas, en los cuales se almacena sustancias de reserva en forma de carbohidratos simples y frutoligosacáridos, los cuales posiblemente sirven de alimento a las yemas, cuando estas van a brotar.

A los rizomas también están unidas las raíces, las cuales son de dos tipos: las fibrosas, delgadas y absorbentes que pueden alcanzar en promedio 60 cm de profundidad, y las raíces tuberosas, generalmente fusiformes, almacenadoras y de gran tamaño, con dimensiones que pueden sobrepasar los 25 cm largo y 10 cm de espesor. A diferencia de otras raíces de este tipo, su composición es un alto porcentaje de agua (70 - 90%) y azúcares del tipo fructanos en lugar de almidón. La

coloración de la epidermis varia del rojizo a blanco y la pulpa puede ser blanca, cremosa a morada (Seminario et al. 2003).



Figura 1 Diagrama planta entera del Yacón.
Fuente: tomado de (Seminario et al. 2003)

1.4.2 Hojas

Presenta hojas grandes, pubescentes en el haz y el envés, de forma ovalo-hastadas y auriculadas en la parte basal y media, y las superiores ovalo-lanceoladas, las cuales se distribuyen opuestas y alternas a lo largo del tallo. Se producen entre 13 a 16 pares de hojas grandes hasta la floración, después de esta, solo produce hojas pequeñas. La parte superior de la hoja es triangular y hastada, de 33 cm de largo por 22 cm de ancho, dentada, parte inferior con raquis alado y auricolado en la base (Zardini, 1991).

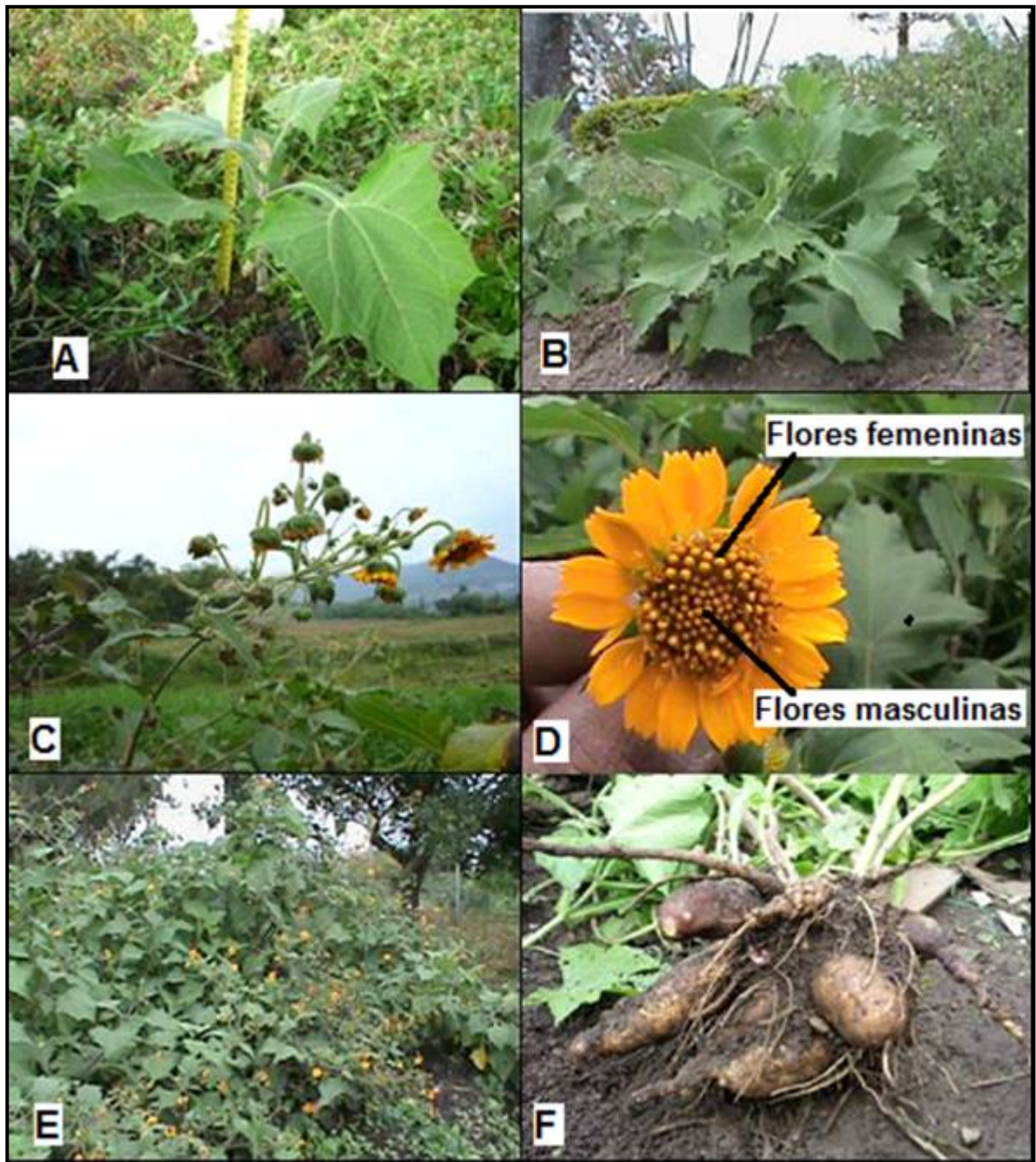


Figura 2 Desarrollo de la planta de yacón a) Una planta de yacón de 45 días de trasplantada, b) Planta de yacón de 90 días de trasplantada, C) Inflorescencia dicásica. D).Flor compuesta E) Plantas de yacón en plena floración, F) Raíces reservantes de yacón a la cosecha. Fuente: Fotografías tomadas por el autor

1.4.3 Tallo

Según Seminario et al. (2003), si la planta proviene de una semilla, posee un solo tallo principal, a veces ramificado desde la base, otras veces, sólo con ramas pequeñas en la parte superior. Si la planta proviene de propagulo o semilla vegetativa, consta de varios tallos. Los tallos son huecos, cilindricos, de color verde a púrpura, su altura varia de 1 a 3 metros. En la figura 2 se presenta el desarrollo de una planta desde el trasplante a la cosecha.

1.4.4 La Inflorescencia.

La rama floral es terminal de ramificación dicásica, compuesta de inflorescencias llamadas capítulos. Cada rama puede contar con más de 40 capítulos (ver Figura 2 C). Una planta puede producir más 80 capítulos, los cuales son de colores brillantes amarillos o anaranjados y con pedúnculos sumamente pilosos. Cada capítulo tiene flores femeninas y masculinas. Las flores femeninas se ubican hacia el exterior del capítulo, cuya parte más vistosa y coloreada de amarillo es la lígula; presentan pistilo y estambres normales pero genéticamente están incapacitadas para producir semilla viable, y si producen dan lugar a plantas débiles (Grau y Rea, 1997).

Cada capítulo presenta entre 14 a 16 flores femeninas y entre 80 a 90 flores masculinas (Ver Figura 2D). Las flores femeninas abren antes que las masculinas e igual se marchitan primero. La corola de la flor femenina está formada por la fusión de cinco pétalos (corola simpétala) tres de estos pétalos forman la lígula, que es ensanchada en la parte media y bi o tridentada en el ápice, a veces con dientes apenas visible. Los otros dos pétalos están reducidos, formando un pequeño tubo en la parte basal de la lígula. Rodeando a la rama estigmática, en su parte externa y por encima del ovario, se inserta el papus o vilano, que son brácteas modificadas en pequeñas cerditas o pelos de color blanquecino (Figura 3B). La lígula mide aproximadamente entre 11 a 14 mm. Puede ser de forma oblonga, oval-elíptica, o elíptica. La forma de la lígula es un carácter que se tiene en cuenta para la caracterización del germoplasma del yacón. El estilo es recto y en el extremo superior se abre formando un estigma bilabiado (Figura 3C). El ovario es fusiforme a troncocónico de color púrpura (Seminario et al. 2003).

La flor masculina (Figura 3D) posee gineceo no funcional. La corola está formada por cinco pétalos soldados formando un tubo pentadentado (5 lobular), con una densa pilosidad en la cara externa. Presenta cinco estambres (Figura 3E) de filamentos libres y anteras connadas a la parte apical del estilo (estigma). En la antesis, las anteras se rompen dejando visible el estilo, de color amarillo, que sobresale de la corola tubular. Las anteras son de color negro, con finas líneas amarillentas en la connación. El grano de polen (Figura 2F) es esférico y espinoso y a veces tripulado, de color amarillo brillante y de consistencia pegajosa. (Seminario et al, 2003)

1.4.5 Fruto

El fruto es un aquenio, que procede de un ovario ínfero, con más de un carpelo. El pericarpio es delgado y seco a la madurez, externamente presenta estrías, longitudinales, que forman surcos paralelos. La semilla se encuentra unida al pericarpio, sólo por el funículo. El aquenio (Figura 3 G) es piramidal con ángulos no muy bien definidos y redondeados, de ápice truncado y base ensanchada. En promedio mide unos 3,7 mm de largo y 2,2 mm de ancho. Cien semillas pesan entre 0.6 a 1.2 gramos. (Seminario et al, 2003)

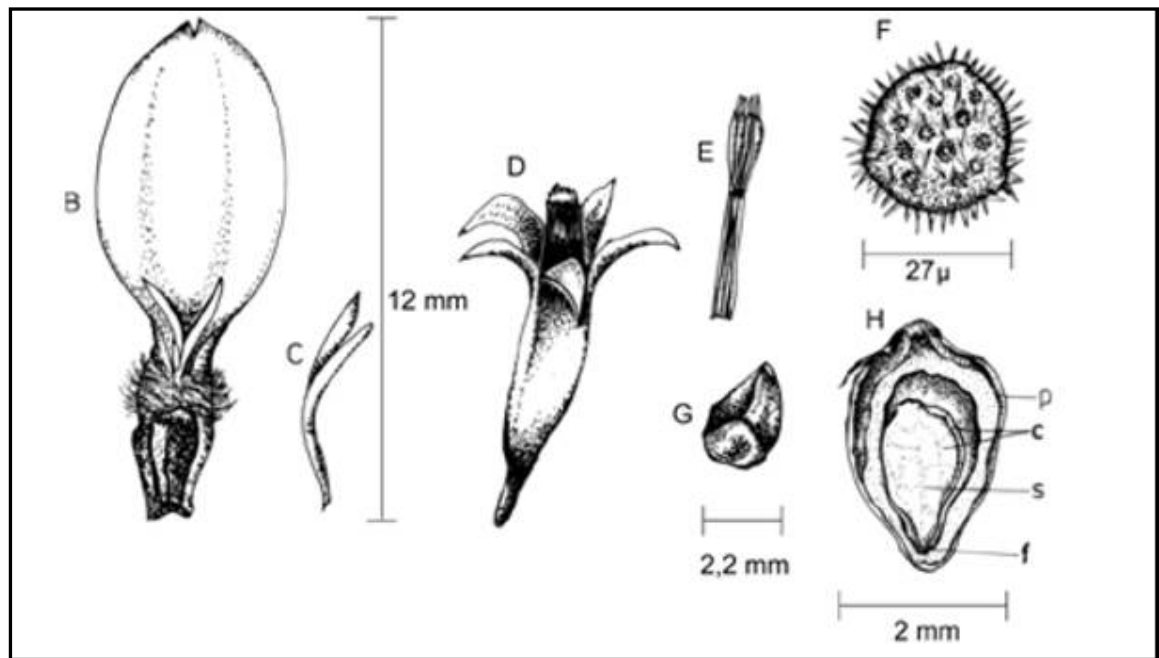


Figura 3 Flores de yacón B. Flor ligulada o femenina. C. Pistilo y estigma. D. Flor tubular o masculina. E. Estambre. F. Grano de polen. G. Fruto. H. Estructura del grano. p. pericarpio. c. cotiledones. s. semilla. f. funículo. Fuente: Seminario et al. (2003)

1.4.6 Biología floral y sistema reproductivo

El funcionamiento de las flores y la producción de semillas son aspectos que continúan sin conocerse plenamente. Una característica del yacón es la protoginia, es decir, la apertura y receptividad de las flores femeninas antes de que las flores masculinas liberen el polen. Esto implica probablemente que el yacón sea de polinización cruzada y que necesite de agentes polinizadores, (Grau y Rea, 1997). Esta hipótesis de polinización cruzada del yacón es grandemente soportada por el hecho de que los granos de polen posean espinas y sea consistencia pegajosa, la vistosidad de las flores femeninas y la secreción de sustancias azucaradas, especialmente en las flores tubulares, que hacen que los capítulos sean visitados por varios insectos.

La floración es fuertemente influenciada por las condiciones medioambientales en donde crece la planta. Esta puede iniciar la floración 6 a 8 meses después de plantada. Se ha encontrado que en áreas en donde la floración es abundante, la producción de semillas es frecuentemente pobre o no se produce y una alta proporción no es viable o muestra bajo vigor.

La escasa producción de semillas, se debe a la baja fertilidad del polen (Grau, 1993 citado por Grau y Rea, 1997), encuentro que el polen es altamente estéril y no logró obtener granos llenos, con clones en invernadero. Situación similar encontró en Argentina, donde el porcentaje de fertilidad del polen varió entre 0 y 30%. Sin embargo Soto (1998) con materiales del Perú, encontraron en pruebas de viabilidad del polen en varios morfotipos, promedios de 94 al 99%, lo cual sugiere que pueden existir otros factores que provocan la escasa producción de semillas.

La semilla de yacón que se logra formar sólo alcanza entre el 15 y el 32% de germinación (Soto 1998, citado por Seminario et al, 2003), lo que puede estar indicando que existen problemas en la formación del fruto y de la semilla y que podría tratarse de frutos partenocárpicos, en los cuales falló la fecundación y si se forma semilla, es estéril (Fon Quer 1970).

1.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL YACÓN

1.5.1 Composición química de las raíces

A diferencia de otras raíces reservantes comestibles, el 85 al 90% del peso fresco de este tubérculo es agua. Los carbohidratos representan el 90% del peso seco de las raíces recién cosechadas, de los cuales entre el 50 al 70% son Fructoligosacáridos (FOS), el resto de los carbohidratos lo conforman la sacarosa, fructuosa, y glucosa (Ohyama et al, 1990, Asami et al, 1991 citados por Seminario et al., 2003). En Tabla 1 se presenta la composición nutricional del yacón.

Tabla 1. Composición nutricional del yacón (100 g de raíz fresca sin cáscara)

Compuesto	Rango
Agua	85 – 90 g
Oligofructuosa (OF)	6 – 12 g.
Azúcares Simples*	1.5 – 4 g.
Proteínas	0.1 – 0.5 g
Potasio	185 – 295 mg
Calcio	6 – 13 mg
Calorías	14 – 22 kcal

*Incluye sacarosa, fructuosa y glucosa. **Fuente.** Ficha Técnica Yacón, Centro Internacional de la Papa (CIP) Perú. Manrique et al., 2004.

Los fructoligosacáridos están presentes en diferentes alimentos que se consumen habitualmente, como la lechuga, el ajo, el trigo, las alcachofas o la cebolla (Ver Tabla 2). Sin embargo, para la obtención industrial de este producto, se han identificado como las fuentes más importante, la raíz de yacón, la de achicoria (*Cichorium intybus*) y el topinambur (*Helianthus tuberosus*), estas últimas también asteráceas (Seminario, 2003)

Tabla 2. Contenido de oligofruktosa en algunos alimentos

Fuente	Contenido de Oligofruktosa
Yacón (Raíz)	3 a 19 %
Achicoria (Raíz)	5 a 10 %
Cebolla (Bulbo)	2 a 6 %
Ajo	3 a 6 %
Lechuga	2 a 5 %
Trigo	1 a 4 %

Fuente: (Torres, 2004)

Los fructooligosacáridos conocidos como oligofruktanos u oligofruktosas, pertenecen a una clase particular de azúcares conocidos como frúctanos, son cadenas cortas de fructosos, muy solubles en agua, tienen un ligero sabor dulce (poseen entre el 30 y 65% del poder edulcorante de la sacarosa) pero proporcionan tan sólo una cuarta parte del poder calórico de los carbohidratos comunes, por lo que son utilizados como edulcorantes, fibra dietéticos y prebióticos (Torres, 2004).

Según Torres, (2004) la palabra edulcorante viene de la palabra latina *dulcor*, que significa dulce. Así pues, se denomina edulcorante a las sustancias que son capaces de endulzar un alimento, una bebida o un medicamento.

Las propiedades técnicas en los alimentos de la oligofruktosa, principal componente del yacón, son el sabor dulce no residual, alta solubilidad, contribuye a dar textura, cuerpo y realza el sabor, viscosidad comparable con el jarabe de glucosa, es humectante, disminuye la temperatura de congelación, aumenta la temperatura de ebullición. Puede ser empleada, como alimentos funcional en forma de, dulces, confites, chocolates, goma de mascar, productos de pastelería, lácteos (yoghurt light, leches), helados, con cereales para el desayuno, barras energéticas de cereal y preparaciones de frutas.

Cuando un FOS presenta de manera predominante o incluso exclusiva la unión β (2 \rightarrow 1) fructosil-fructosa (enlace inulina), recibe el nombre genérico de inulina. Estos enlaces son los responsables de que la inulina no sea digestible como lo sería cualquier carbohidrato, lo que a su vez tiene como consecuencia que tenga un bajo valor calórico y una funcionalidad nutricional como fibra dietética (Chacon, 2006).

La inulina se encuentra en los tubérculos de yacón, pero su contenido decrece rápidamente una vez se cosechan, aumentándose la fructuosa, este proceso se reduce cuando se almacenan con una humedad relativa del 90% y temperatura menor a 8 °C, (Narai-Kanayama, 2007).

La inulina y los FOS tienen propiedades físicas y aplicaciones en la industria alimentaria bastantes diferentes. La inulina casi no tiene sabor dulce, su consistencia especial y su baja solubilidad la convierte en un sustituto ideal de la grasa para la elaboración de varios alimentos, como los helados y postres. Los FOS en cambio son muy solubles en agua, tienen un ligero sabor dulce, y pueden ser sustitutos del azúcar común. A pesar de ello la inulina y los FOS producen casi el mismo efecto fisiológico en las personas que los consumen, proporcionando solo la cuarta parte del valor calórico de los carbohidratos comunes, son reconocidos como un tipo de fibra dietética y se emplean como insumos para la elaboración de alimentos funcionales o nutraceúticos (Niness, 1999). El yacón es quizá la planta con mayores contenidos de FOS (ver Tabla 2)

En un estudio realizado por Cuarán y Fajardo, (2008), sobre la extracción de inulina de las raíces del yacón en agua caliente, reporta que los mejores rendimientos de 20.7% de inulina, se obtuvieron bajo unas condiciones de extracción de 23 min a 82.2 °C y relación solvente-materia prima de 4.5 l/500 g.

Con el creciente aumento en la población de problemas de salud originados por el estrés, el sedentarismo, el alto consumo de carbohidratos, que conducen al aumento de peso corporal, el hombre está mirando al yacón (*S. sonchifolia*), radicalmente diferente, como una planta multipropósito, fuente de bajas calorías y de la fibra necesaria para satisfacer varios aspectos de los requerimientos de la vida moderna.

Es un buen rehidratante debido a su alto contenido de agua y minerales como el potasio y promueve la generación de la flora intestinal, por lo que es considerado como un probiótico. Como todos los frútanos los FOS no pueden ser metabolizados directamente por el tracto digestivo humano, debido a que este carece de las enzimas digestivas necesarias. Por eso cuando una persona ingiere FOS, estos se desplazan por todo el tracto digestivo sin ser modificados, y solo cuando los FOS llegan al colon, son fermentados por un grupo de bacterias especializadas que forman parte de la microflora intestinal, llamadas probióticas, que comparten el mismo hábitat imposibilitando el crecimiento de bacterias perjudiciales del colon. Estas bacterias probióticas aumentan su población, ayudando a la absorción de calcio y otros minerales, ayudan a sintetizar vitaminas del complejo B, a fortalecer el sistema inmunológico, a prevenir infecciones gastrointestinales, y reducen el riesgo de desarrollar algunos tipos de cáncer, especialmente el de colon (Seminario, 2003; Manrique, 2004; Castillo y Vidal, 2009).

1.5.2 Composición química de las hojas

Las hojas contienen sesquiterpenos, flavonoides, lactonas y un grupo de sustancias aún no identificadas. Varios de estos compuestos tienen actividad antioxidante, (neutralizar la actividad oxidante de moléculas inestables conocidas como radicales libres, que ingresan a nuestro cuerpo como contaminantes externos). Algunos estudios han demostrado que la infusión de las hojas ayuda a reducir el nivel de glucosa en la sangre de ratas normales y diabéticas (Aybar et al, 2001).

Los extractos foliares de yacón tienen la capacidad de aumentar los niveles de insulina en sangre y consecuentemente reducir los niveles de glucosa. Esta reducción se manifiesta positivamente, manteniendo la capacidad filtrante de los riñones, cuya falla se evidencia por aumento en la eliminación de creatinina y de albúmina. Aunque estos resultados son muy promisorios, es necesario evaluar plenamente la acción farmacológica de los extractos en humanos (Arbizui, 2010; Asami, Kubota, & Minamisawa, 1989; Cordova, 2006)

Trabajos con ratas que han desarrollado diabetes en forma artificial llevados a cabo por científicos japoneses, ha demostrado que los extractos acuosos de las hojas tienen la capacidad de reducir los niveles de glucosa en la sangre. De esto ha surgido un hábito espontáneo de uso de las hojas para la preparación de té medicinal para el tratamiento de la diabetes en países como Brasil, Argentina y Colombia. Estas conclusiones populares se sostienen en el hecho de que las ratas artificialmente diabéticas, tratadas con extractos de hojas de yacón, han presentado resultados positivos. (Asami, Kubota, & Minamisawa, 1989).

1.5.3 Citogenética

En la revisión bibliográfica realizada sobre la citogenética del yacón, se encontró, mucha disparidad en los resultados reportados sobre el verdadero número cromosómico de la planta. Mientras Heiser (1963) con germoplasma ecuatoriano, y Talledo y Escobar (1998) con material peruano, encontraron $2n = 60$ cromosomas, León (1963), con material también peruano reportó $2n = 32$ cromosomas. Salgado (1996) quien contó los cromosomas de 15 clones, procedentes de Ecuador, Perú, Bolivia y Argentina, halló 14 clones con $2n = 58$ y uno con $2n = 87$; resultados similares fueron reportados por Frías et al (1997) con material argentino y por Araujo (1998) con tres morfotipos peruanos.

La teoría que quizá deba aceptarse sobre la conformación citogenética del yacón es la propuesta por Ishiki et al, (1997), citados por Grau y Rea, 1997) quienes sugirieron que es un alopoliploide originado a partir de cruzamientos complejos entre *S. macroscyphus* o algún pariente silvestre parecido ($2n=28$, $A=7$) y *S.*

riparius ($2n=32$, $B=8$). Este origen híbrido del yacón podría explicar fácilmente la naturaleza octoploide ($2n=6A + 2B = 58$) y dodecaploide ($2n=9A + 3B=87$) del yacón; (ver el diagrama de la representación de la teoría en la Figura 4).

Son necesarios más estudios para avalar la validez de los reportes que indican diferentes cantidades de cromosomas. Como siendo un cultivo clonal el yacón puede exhibir tanta diversidad en el número de cromosomas. Otro aspecto a considerar es la presencia del cromosoma B, reportado en otras especies de *Smallanthus* (Wells, 1971; Ishiki et al, 1997), como un factor importante que puede afectar los resultados. También son necesarios futuros estudios para aceptar o rechazar la hipótesis del origen híbrido del yacón.

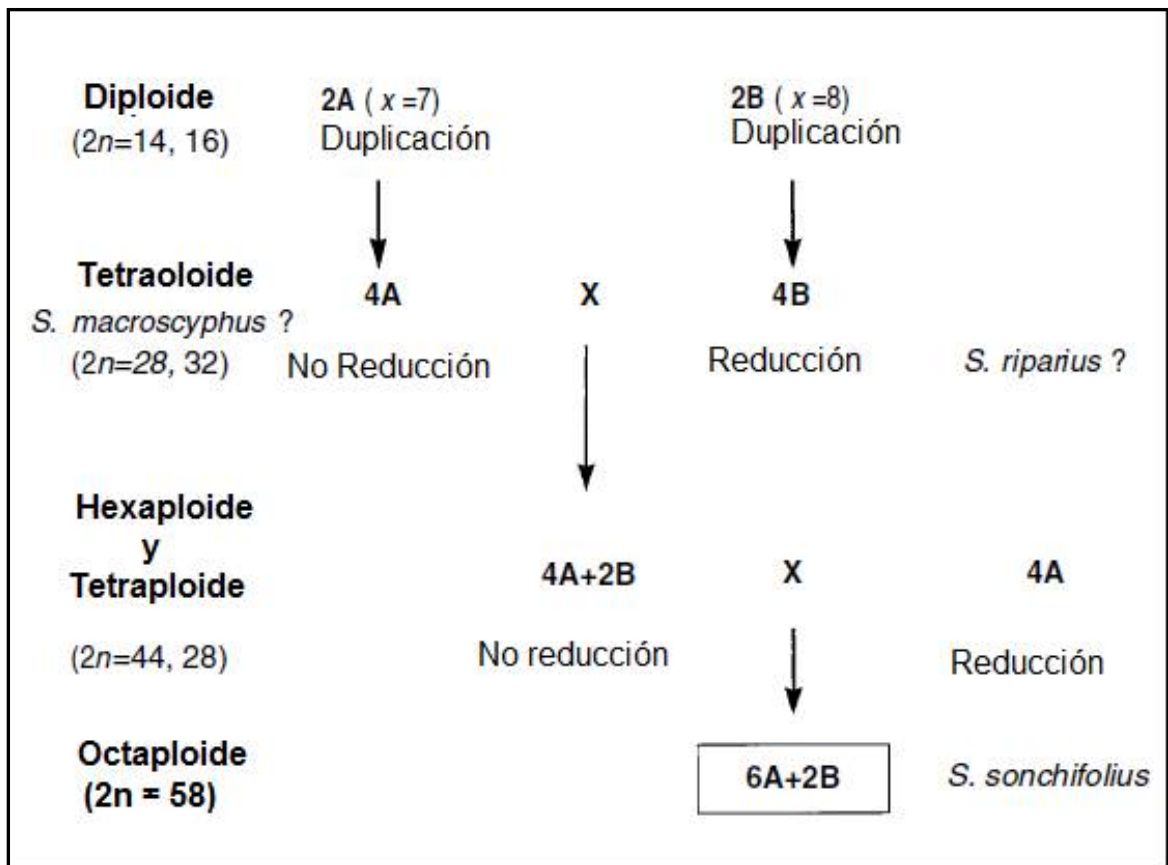


Figura 4 Esquematización hipotética de la evolución del yacón. Fuente: Ishiki et al. 1997, modificado por A. Grau 1997

1.6 ECOLOGIA.

Hay poca información publicada acerca de los requerimientos medioambientales del yacón, y también pocas investigaciones de su ecofisiología. Siendo una planta

que coevolucionó en las laderas húmedas de los Andes Occidentales no muy lejos de la línea ecuatorial, una región con temperaturas medias y generalmente con abundantes lluvias aunque con distintos periodos secos, estas condiciones ecológicas son probablemente las requeridas.

El crecimiento y formación de raíces del yacón no son afectada por el fotoperiodo, sin embargo este proceso es más lento en los lugares de alta latitud (mayores a 23° S). La temperatura óptima para su crecimiento está en el rango de 18 a 25°C, siendo necesarias las bajas temperaturas en la noche para una apropiada formación y llenado de la raíz. No soporta las heladas, pero si hay daño, esto es compensado por una gran capacidad de rebrote (Grau y Rea, 1997).

Agricultores de Argentina y del Sureste de Bolivia indican que la mejor altitud para que haya una buena producción de raíces está entre los 1500 a 2000 m.sn.m., mientras que las tierras bajas y cálidas son mejores para la producción de semilla vegetativa (rizomas).

Los requerimientos de agua están entre los 600 y los 1000 mm de lluvia anuales, siendo considerado como óptimo 800 mm. El yacón puede sobrevivir largos periodos secos, sin embargo la productividad es severamente afectada bajo estas condiciones. La abundante humedad puede conducir al rajamiento de las raíces afectando la calidad externa y su valor en el mercado, como pudriciones de las raíces (Grau y Rea, 1997).

Se adapta a un amplio rango de tipos de suelos, aunque prefiere los francos, a francos arenosos, moderadamente profundos a profundos, con buena estructura y bien drenados, con pH ligeramente ácidos a neutros, con buena cantidad de materia orgánica y rico en minerales. Crece bien bajo la sombra de los árboles, como también a plena exposición solar.

1.7 MÉTODOS DE PROPAGACIÓN

La propagación del yacón con fines de producción agrícola, es únicamente por vía asexual o vegetativa, el sistema tradicional consiste en utilizar la cepa o corona, la cual se divide en porciones con un mínimo de 3 a 4 yemas, pudiéndose obtener de la cepa entre 15 a 30 propágulos. La Universidad Nacional de Cajamarca y El Centro Internacional de la Papa, citados por Seminario et al. (2003) han desarrollado otros métodos de propagación asexual de yacón, los cuales se describen a continuación.

1.7.1 Brotes enraizados en la cepa

Las cepas completas de las plantas cosechadas son enterradas por 25 a 40 días, después de los cuales se han generado muchos brotes entre 8 a 15 cms con sus respectivas raíces. Estos son desgajados cuidadosamente, desinfectados y sembrados al sitio definitivo. Esta técnica permite ganar tiempo mientras se prepara el terreno para la siembra.

1.7.2 Por porciones de tallos o estacas

Consiste en cortar tallos de plantas que aun no han entrado en floración, entre 5 a 6 meses. A los tallos se les quita las hojas y se cortan en trozos que contengan como mínimo dos nudos. Las estacas son plantadas, enterrando por lo menos un nudo en una cama de enraizamiento, con arena lavada y desinfectada. El prendimiento logrado es de 98 a 100% y están listas para el trasplante a los 45 días, ahorrando la mitad de tiempo, en comparación al de las cepas. El rendimiento en raíces logrado con esta técnica es similar con el de las cepas, con la ventaja que las raíces de los primeros están menos deformes y entrecruzadas

1.7.3 Por tallos enteros

Se seleccionan tallos enteros de plantas antes de la floración y se colocan en el sustrato de enraizamiento en posición horizontal. Entre 45 a 60 días cada nudo ha generado raíces y uno a dos brotes listos para ser trasplantado a campo, para ello se separan las plántulas, cortando el tallo madre por los entrenudos.

1.7.4 *In vitro*

Esta técnica ha sido probada especialmente con fines de conservación del germoplasma y de limpieza de virus, pero dado que la planta responde bien, puede utilizarse también para la propagación comercial. En Colombia la Universidad de Santa Rosa de Cabal en Risaralda ha empleado la técnica, encontrando que el mejor medio para la micropropagación del yacón 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, con un porcentaje de diferenciación de 73,3% y regeneración del 90%. 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 (Londoño, 2007).

1.8 PLAGAS Y ENFERMEDADES

El yacón por ser nativo, es afectado por un amplio rango de insectos, en especial en las zonas húmedas, aunque también presenta un efectivo control por agentes naturales, por lo que generalmente no se realiza ningún tipo de control. En las

regiones secas la presión de las plagas es menor y generalmente, tampoco se toman medidas de control. Los principales insectos que afectan la planta, reportados por Lizárraga *et al*, (1997) son los minadores de hoja (*Liriomyza* sp), chinches (*Pentatomidae*, *Coridae*), los chrysomelidos (*Diabrotica* sp) algunas larvas del orden Coleoptera (*Scarabeidae*) y Lepidoptera (*Papilio* sp.).

Unas pocas bacterias y hongos han sido citados afectando los órganos subterráneos y tallos del yacón, como es el caso de *Fusarium* y *Sclerotinia* en Perú por Lizárraga *et al*, (1997). En Japón se ha reportado dos enfermedades, *Erwinia chrysanthemi* (Mizuno *et al*, 1993) y podredumbre por carbón (*Macrophomina phaseolina*) sobre todo en zonas de alta humedad.

No se tienen reportes de virus afectando al yacón, aunque algunos agricultores de la región de la Paz han reportado el decline de los clones, lo que ha requerido rejuvenecer la semilla, lo que sugiere infección viral (Grau & Rea, 1997).

1.9 COSECHA Y POSCOSECHA

Las raíces alcanzan la madurez entre los 6 a 7 meses en sitios con altitudes medias y de aproximadamente un año en sitios de gran altitud. Los indicadores para saber bien que ha llegado la época de la cosecha es el amarillamiento de las hojas y el cese de la floración (Seminario *et al*, 2003). Las raíces deben desenterrarse cuidadosamente porque son muy quebradizas. Esta labor se hace manualmente, removiendo la mayor cantidad de tierra posible alrededor de la planta, para que al momento de remover la corona con las raíces, se haga el menor esfuerzo posible. Después los tubérculos se retiran de la corona, evitando producir el mínimo de heridas sobre toda en la zona de unión. Se deben almacenar sobre estibas, siendo muy cuidadosos para evitar dañarlas. Para su consumo, las raíces son expuestas a la luz del sol por unos pocos días, para incrementar su dulzor por la pérdida de agua (alrededor del 40% de su peso fresco) y porque una parte importante de los FOS se convierten en azúcares simples (Grau y Rea, 1997).

1.10 FORMAS DE CONSUMO Y CONSERVACIÓN

Tradicionalmente el yacón se consumía de forma fresca o cruda. Para ello las raíces se lavan, se pelan y se consumen directamente o mezcladas con otras frutas. El consumo como jugo es también popular, agregándoles unas gotas de limón o de naranja con el fin de controlar el rápido pardeamiento. Otra forma es como puré, el cual su preparación es muy sencilla. Las raíces se sancochan y se pelan, luego se aplastan, no hay necesidad de agregar más ingredientes y el sabor es parecido al puré de manzanas. En los últimos años se han desarrollado

varios productos procesados, a base del yacón. A continuación se describe algunos de ellos.

1.10.1 Pasas de yacón.

Las pasas de yacón se obtienen deshidratando las raíces al medio ambiente por unos siete días, después se pelan, se dejan sobre una bandeja, hasta que tengan una humedad del 14 al 16%, momento en el cual se considera que están listas para ser envasadas.

1.10.2 Hojuelas de yacón

Estas son rodajas de yacón, secadas en un horno a temperatura controlada. El procedimiento consiste en cortar rodajas, aproximadamente de 0,5 cm. y extenderlas sobre una bandeja, las cuales se introducen dentro de un horno que esté a una temperatura de 60 a 70 °C por unas 24 horas. Para evitar el pardeado, se recomienda sumergir las rodajas recién cortadas de una solución de jugo de limón ó algún tipo de antioxidante. Cuando las hojuelas salen de horno, tienen una textura semi crocante, que se pierde rápidamente, si no se empaacan de inmediato.

1.10.3 Jarabe de yacón

Es un concentrado dulce que hace las veces de edulcorante, pero sin provocar los efectos negativos del azúcar. Su alto contenido de FOS hasta un 50%, permite que el jarabe de yacón sea utilizado por la industria alimenticia como un edulcorante bajo en calorías. Sus características físicas y organolépticas son parecidas a la miel de abejas, de maple o de caña de azúcar y puede ser empleado para propósitos parecidos, pero con la ventaja de servir a los consumidores preocupados por su ingesta calórica y mejorar la calidad de su alimentación. Inclusive puede ser consumido por diabéticos en dosis controladas, ya que los FOS no elevan el nivel de glucosa en la sangre. Pruebas sensoriales y estudios preliminares de mercado han demostrado que el jarabe de yacón tiene un gran potencial en el mercado internacional (Manrique, et al 2005)

Reportes de Picante, 2010, ha sugerido que el jarabe de yacón promueve, entre otras cosas, la restauración de la microflora intestinal, estimula la formación de bacterias conocidas con el nombre de bifidobacterias, que permiten regular a otras bacterias que se encargan de la putrefacción de los residuos en el intestino grueso; por lo tanto gracias a la mayor proliferación de las bifidobacterias, la concentración de toxinas será menor y, en consecuencia, disminuirá el riesgo de que se produzca un cáncer al colon.

Se ha reportado que las raíces y el jarabe de yacón tienen efectos significativos en la reducción de los niveles de glucosa en la sangre en personas clínicamente sanas (Mayta et al., 2004) y en personas con diabetes tipo 2. Estas evidencias son

reforzadas con resultados similares obtenidas en animales de laboratorio a los que se les indujo diabetes (Galindo y Paredes, 2002; Rodríguez y Soplopucó, 2004) citados por Manrique et al., 2005). Aunque resulta prematuro que el jarabe de yacón sea benéfico para el control de la diabetes, hay un camino que se ha abierto para la investigación en este campo que pronto podría dar las evidencias definitivas que se necesitan para recomendar su consumo en personas con diabetes. (Manrique et al., 2005).

La transformación para la obtención de vino, harina, hojuelas y tisanas por parte de la Facultad Agroindustrial de la Universidad del Quindío muestran muy buenas perspectivas industriales (Chávez et al., 2002).

El ingeniero agrónomo Antonio Carvajal en la ciudad de Ibagué Tolima, quien es cultivador de yacón, posee una pequeña industria de procesamiento de yacón, con productos muy bien terminados y excelente presentación, algunos patentados y con registro sanitario, como es el caso de tisanas, grageas y jarabe de yacón. En la Figura 5 se pueden apreciar la presentación dichos productos.



Figura 5. Productos Colombianos procesados de las hoja y raíces del yacón para uso medicinal. Fuente: Antonio Carvajal. Fuente: autor

También agricultores venden productos de yacón, como las hojas secas para tisana, jarabe y tubérculos de una manera muy artesanal, en una tienda de productos orgánicos en la ciudad de Pereira, Risaralda.

Fitomedic's, una compañía de procesamiento de productos naturales ubicada en la ciudad de Chinchiná, Caldas, ha mostrado un gran interés por procesar de

manera industrial productos de yacón, debido a la gran demanda que existe en el mercado nacional.

1.10.4 Uso forrajero

Se reportan resultados de análisis químicos de las hojas y tallos en Italia, indicando valores de proteína bruta de 11.37% y 17.12% respectivamente. El National Research Council reporta que el yacón puede tener un potencial como forraje, indica además que el follaje crece adecuadamente bien y que el forraje seco contiene 11-17% de proteína, 2 a 7% de grasa y 38 a 41% de extracto libre de nitrógeno. Sin embargo, señala que algunas clones de yacón pueden contener *sesquiterpenos lactones* en las hojas, lo cual limitaría su uso como alimento forrajero. Sin embargo los Sesquiterpenos lactones tienen uso en etno-veterinario como anti-diarreico y antimicrobiano.

1.11 MEJORAMIENTO GENÉTICO.

Comparado con muchas otras plantas de raíces y de tubérculos Andinos, el yacón cuenta con muy pocos trabajos de investigación sobre aspectos fundamentales de su biología, aunque se tienen publicaciones que orientan sobre el manejo agronómico de las plantaciones, (Seminario et al, 2003, Grau & Rea, 1997).

En Colombia no se conocen trabajos de mejoramiento genético de la planta. Según Hernández, 2004), científicos japoneses, empleando clones introducidos en los años 80s desde el Perú a la Estación Experimental Agrícola de Shikoku, lanzaron al mercado la primera variedad comercial de yacón japonés denominada "Sarada-Otomela" y conformaron la Sociedad Japonesa del Yacón. Esta organización promueve el consumo del "Te Andino" a base de las hojas de yacón y han publicado un recetario con más de 50 platos con yacón. Las investigaciones de la Escuela de Agricultura de la Universidad de Ibaraki, Japón, ha incrementado el cultivo en los últimos años y uso como hortaliza fresca, en salmuera y jugos.

1.12 ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN

1.12.1 Caracterización morfológica

Toda la variabilidad producida en los procesos evolutivos y/o de domesticación se almacena en el genoma, es decir entre los miembros de la población que conforman la especie y puede o no expresarse en características que permitan ser identificadas. Por tanto desde el punto de vista de su expresión, la variabilidad contenida en el genoma de una especie puede ser agrupada en variabilidad que se expresa en características visibles que conforman el fenotipo, y la que no se

expresa en características visibles pero que, en general se refiere a los procesos o productos internos de la planta (Hidalgo, 2003).

Los recursos fitogenéticos se conservan para utilizarlos, y ello solo es posible si se conocen en detalle sus características o atributos y se visualizan sus posibles usos. (Jaramillo y Baena, 2000 citados por (CIAT, 2004) Para caracterizar un material vegetal es preciso recurrir al estudio de atributos morfológicos, estructurales o funcionales contenidos en el germoplasma, como portador de las características hereditarias de la especie.

Se define como descriptor a cualquier característica que se considere importante y/o útil para la descripción del material vegetal, no sólo por hacer referencia a características morfológicas o fisiológicas de la planta, sino que también deben considerarse como descriptores aquellos datos u observaciones que complementen la descripción o caracterización del material vegetal. Para (Hidalgo, 2003), los descriptores realmente útiles son aquellos que se pueden detectar a simple vista, registrar fácilmente, que tienen alta heredabilidad, alto valor taxonómico y agronómico, que se puedan aplicar a muestras pequeñas y permitan diferenciar una accesión de otra. Los descriptores pueden agrupar en dos tipos. Uno de ellos es el **botánico-taxonómico** referidos a características altamente heredables y de poca variabilidad, como la forma de los tubérculos, del tallo, de las hojas, flores y de la semilla. El tipo **morfoagronómicos** comprende los caracteres morfológicos que son relevantes en la utilización de las especies cultivadas. Pueden ser de tipo Cualitativo o Cuantitativo. Cualitativos como: color del follaje, del tallo, el tubérculo, las flores, el fruto. Cuantitativos: cuando las características son físicamente mensurables como el peso y tamaño, del tubérculo, número de flores por planta, número de semillas por capítulo.

Como se ha mencionado anteriormente, la mayor diversidad de la especie, se ha encontrado en el Perú y en el norte de Bolivia. En estos países, como en el Ecuador, se han realizado colectas y se ha establecido bancos de germoplasma en diferentes instituciones de investigación y en universidades como la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), que cuenta con más de 119 accesiones que en un trabajo de caracterización con 16 descriptores morfológicos, (ver Tabla 4) los clasificaron en siete biotipos (Seminario, 2003). En Ecuador se han caracterizado cuatro morfotipos: morado, verde claro, verde oscuro pulpa blanca, y verde oscuro pulpa amarilla (Morillo et al., 2002, citado por Seminario et al., 2003). En Bolivia, aunque no hay reporte de trabajos específicos sobre caracterización morfológica, se tienen según Grau y Rea (1997), tres morfotipos principales: amarillo, púrpura y blanco.

Trabajo de microscopia de las hojas realizado por Vignale y Guarny (2005) muestra, otro descriptor morfológico de gran valor diagnóstico del yacón, como son los pelos tectores, órganos pluricelulares, de 3-10 células, ubicados en las láminas de las hojas y que pueden ser de dos clases: rígidos, de forma cónica,

ensanchados en la base, y flexuosos, de base no ensanchada. Los caracteres micrográficos descritos se constituyen en las referencias precisas, que pueden ser empleadas toda vez que sea necesario efectuar control de calidad botánico de hojas de esta especie, en la etapa de comercialización.

Tabla 3. Caracteres morfológicos utilizados como descriptores

CARÁCTER	MORFOTIPOS
Color del tallo	Verde, púrpura, rojo, marrón
Ramificación del tallo	Apical, en todo del tallo, ausente.
Color de la lámina	Verde oscuro, verde
Forma de la lámina	Triangular, cordada
Base de la lámina	Hastadas, truncada
Borde de la lamina	Aserrado, crenado, doblemente aserrado
Traslape de aurículas	Ausente, presente
Color de la lígula	Amarillo, amarillo anaranjado
Forma de la lígula	Oblonga, ovada,
Número de dientes de la lígula	3, 2.
Color externo de la raíz	Púrpura grisáceo, anaranjado
Color pulpa de la raíz	Anaranjado, amarillo, grisáceo
Hendiduras en la raíz	Presente, ausente.
Color de propágulos	Rojo, púrpura, blanco, verde
Número de flores masculinas	86, 87 93.
Número de flores femeninas	15, 16

Fuente: adaptado de Seminario et al, 2003.

1.12.2 Caracterización molecular

La utilización eficiente de los recursos fitogenéticos depende de su adecuada caracterización. Tradicionalmente, estas caracterizaciones se han realizado utilizando listas de descriptores fenotípicos, principalmente de tipo morfológico o agronómico. Esto ha permitido diferenciar algunos materiales, pero a veces en forma imprecisa, debido a la interacción de estas variables con las condiciones ambientales. (Wilches, 2004), pero la caracterización morfológica junto con la citogenética, es básica e imprescindible y debe ser realizada antes de cualquier técnica molecular. Ninguna de las técnicas disponibles es superior a las otras para un amplio rango de aplicaciones, ya que cada uno de ellas permite observar y registrar una parte diferente de la diversidad total que hay para caracterizar (CIAT, 2004)

Los marcadores moleculares presentan muchas ventajas en comparación con los marcadores genéticos de tipo morfológico, especialmente por su alto número y su escasa dependencia de los efectos del medio ambiente. Permiten revelar las diferencias que existen entre los genomas como producto del proceso evolutivo. Como aplicaciones de estas técnicas se puede mencionar la definición de grupos genéticos a nivel intra-específico y la organización filogenética de las especies, o sea, las relaciones evolutivas entre distintas especies (Anthony *et al.*, 1997 citado

por Wilches, 2004). Uno de estas técnicas moleculares que en los últimos años se ha convertido en el más utilizado en diferentes campos de las ciencias, son los microsatélites amplificados al azar, RAMs (por sus siglas en inglés de Random Amplified Microsatellite), por su alto polimorfismo y su facilidad de marcado (Wilches, 2004).

Los microsatelites son secuencias de una a cuatro de pares de bases, repetidas muchas veces, que van seguidas de otras secuencias distintas dentro del genoma en organismos procariotes y eucariotes. Están presentes en regiones codificadoras y no codificadoras de genes, las cuales se caracterizan por tener un alto grado de polimorfismo (Ferreira y Grattapaglia, 1998)

Los RAMs se basan en la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), método altamente reproducible que permite la detección de polimorfismo en el ADN intra e interespecífico. Los fragmentos de ADN amplificados en la reacción están compuestos de dos microsatélites lo suficientemente cercanos para que el área entre ellos pueda ser amplificada por PCR (Zietkiewicz *et al*, 1994, citados por Muñoz *et al.*, 2009).

La base genética de los RAMS es la misma que la de los RAPDs (por Random Amplified Polymorphic DNA). Utiliza un solo primer de secuencia arbitraria, por lo cual la secuencia blanco también es desconocida. Difiere de los RAPDs en el tamaño del primer, ya que la secuencia nucleotídica en los RAMS es más grande y además posee un sitio “degenerado” de tres nucleótidos cuya función es asegurar el anclaje del primer a la región microsatélite. Igualmente, ambos detectan un solo alelo por locus (Muñoz *et al*, 2009).

Este método es el que suministra el más elevado contenido de información de polimorfismo. Se privilegian para hacer estudios de: Genética de poblaciones, mapeo genético, estudios forenses, manejo y conservación de recursos biológicos, y estudios de paternidad. El único inconveniente de los SSR (por abreviación del inglés, Simple Sequence Repeats, Secuencias Sencillas Repetidas) o también denominadas microsatelites, es que estos deben ser aislados cada vez que las especies van a ser examinadas por primera vez (Wilches, 2004)

En síntesis, los microsatélites se han convertido en una técnica casi obligatoria en los estudios genéticos, pero algunos aspectos como su aislamiento siguen abiertos a la investigación. Los protocolos de trabajo siguen actualizándose constantemente, particularmente en la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, se han realizado varios trabajos de caracterización molecular con mora (*Rubus Spp*), uchuva (*Physalis Peruviana* L), guayaba (*Psidium guajava*), y heliconias (*Heliconia Spp*), optimizándose el proceso (Muñoz *et al*, 2009).

El interés despertado en los últimos años por conocer la diversidad genética de *S. sonchifolius*, ha conducido a la realización de estudios de caracterización

molecular como el reportado por Mansilla et al., 2006), en el que se caracterizaron 30 accesiones cultivados provenientes del norte, centro y sur del Perú mediante la técnica de RAPDs, utilizando 34 iniciadores decaméricos. Con estos se muestrearon 166 fragmentos genómicos, de las cuales el 30.7% fueron polimórficos. Al 0.58 de similitud se formaron siete grupos. El primero de ellos, con 22 accesiones que agrupa a todas las provenientes del norte y del sur, y algunas del centro. Los grupos restantes solamente contienen accesiones del centro. El trabajo muestra que no había duplicación de genotipos en la colección, y aparentemente bajos niveles de polimorfismo. Así mismo, la variación interregional fue de 21.14% mientras que la intrarregional 78%, con una mayor diversidad en la región central del Perú.

1.13 LA ECORREGIÓN EJE CAFETERO

Las regiones son “realidades geográficas, sociales, históricas, y económicas, a veces étnicas, que tienen derecho a un espacio en la organización político-institucional del país” (Castro, 2002).

Castro (2002) plantea que son dos los elementos que configuran una región. Por una parte, “la identidad social y cultural que crea y desarrolla lazos de pertenencia y solidaridad tan fuertes que la comunidad que los posee se siente y es distinta de las demás comunidades con las que convive en la misma Nación o Estado”. Por otra, “la comunidad de que se trate tiene su asiento en un área territorial determinada o determinable que también reúne características que la hacen particular y distinta. A veces, inclusive, se trata también de una ecorregión”.

El ordenamiento territorial en ecorregiones fue una iniciativa del entonces Ministerio del Medio Ambiente Colombiano en el año de 1998, para emprender programas de conservación y restauración de regiones que por su valor natural o su importancia para la actividad económica y el bienestar de la población, fuesen consideradas estratégicas y de cuya oferta de bienes y servicios ambientales dependiera en gran medida la dinamización, sostenibilidad del desarrollo regional y la viabilidad económico-social. Las ecorregiones no están definidas como tales en la Constitución de Colombia de 1992, ni en su normatividad vigente, pero esto no significa que no existan en la realidad (Arango, 2008)

La Ecorregión Eje Cafetero tiene su origen en las políticas del Ministerio de Ambiente a fines de los años 90 y que se refuerza con el proceso de reconstrucción que se desarrolló en los 28 municipios afectados por el terremoto de 1999. En cierta forma, esta es una ecorregión que, desde la tragedia, ha vuelto a retomar importancia en un momento en que debió enfrentar no sólo los impactos del desastre, sino la mayor crisis económica y social conocida en su historia. (Arango, 2008)

1.13.1 La estructura territorial de la ecorregión

- **Localización:** El Eje Cafetero se encuentra ubicada en la zona centro occidental del territorio nacional, denominado como el triángulo Bogotá–Cali–Medellín. Está conformada por tres grandes corredores ambientales que actúan como ejes estructurantes de la misma así:

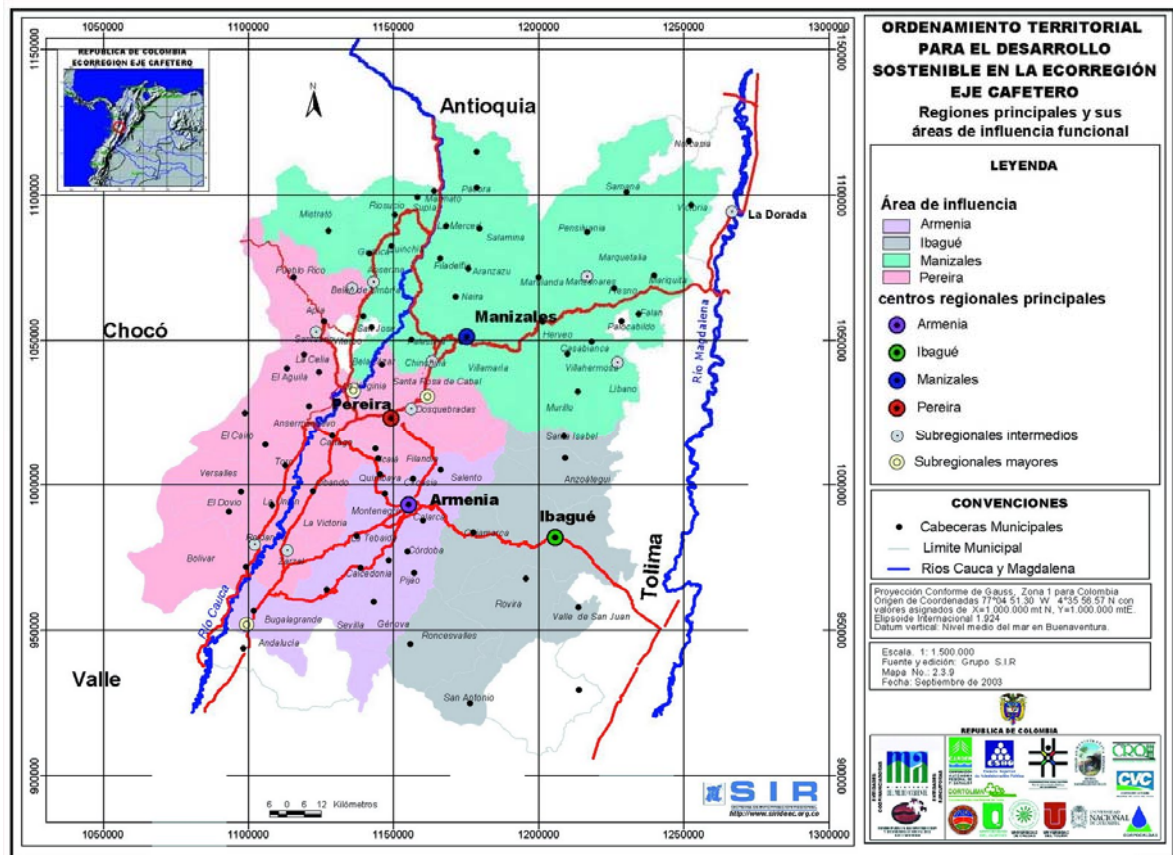


Figura 6. Mapa de la Ecorregión Eje Cafetero, sus regiones principales y áreas de influencia funcional. Fuente: CARDER

1. El corredor ambiental de la cordillera Central, con su origen en el páramo de Sansón en el sureste de Antioquia, límites con Caldas, continuando con los páramos de San Félix en Caldas y el Parque Nacional Natural los Nevados, compartido por Caldas, Risaralda, Quindío y Tolima. Hacia el sur por el páramo de Chile en el municipio de Génova (Quindío) y culmina en el Parque Nacional Natural las Herosas en el Valle del Cauca.
2. El corredor ambiental de la cordillera Occidental, que inicia en el Parque Nacional Natural Las Orquídeas en el suroccidente de Antioquia, continuando con la cuchilla de San Juan, Parque Nacional Natural Tatamá y serranía de

Los Paraguas en Risaralda y norte del Valle del Cauca, culminando con el Parque Nacional Los Farallones en el Valle del Cauca

3. El corredor ambiental del río Cauca, gran eje fluvial y asiento de poblaciones gracias a la fertilidad de sus suelos. Las principales cuencas hidrográficas del Eje Cafetero (ríos La Vieja, Risaralda, Chinchiná, entre otros) son tributarias del río Cauca (Ver Figura 6).

1.13.2 Contexto Ambiental:

- **Recurso Hídrico:** la precipitación en la ecorregión muestra un régimen de distribución bimodal, con dos períodos lluviosos y dos secos o de lluvias bajas. Las temporadas lluviosas corresponden a los períodos abril-mayo y octubre-noviembre. Las temporadas secas corresponden a los períodos enero-febrero y julio-agosto. La influencia de las masas de aire húmedo sobre la cordillera Occidental y las depresiones de los ríos Cauca y Magdalena hacen que se presenten marcadas tendencias y dominancias climáticas, que hacen que se tenga categorizadas cuatro zonas hidrográficas resultan. La zona hidrográfica 1, muy húmeda en los sectores correspondientes a la cuenca del río San Juan, vertiente del Pacífico, la 2, con precipitaciones menores en la cuenca media del río Cauca, la 3, cuenca media del río Magdalena, y la 4, cuenca alta del río Magdalena.
- **Precipitación:** La precipitación media oscila entre los 800 y los 2.800 mm. Los sitios de menor precipitación se encuentran en la zona de los Nevados, específicamente en el de Santa Isabel con media anual de 800 mm y en las regiones de los valles del río Cauca y Magdalena entre los 900 y los 1200 mm/año (CORPOCALDAS, 2001). En general, las zonas bajas correspondientes a los valles del Cauca, Risaralda y Magdalena, presentan déficit desde el punto de vista agronómico, ya que las precipitaciones son bajas y los niveles de evapotranspiración altos, a su vez en zonas de media ladera muestran mayores precipitaciones y menores niveles de evapotranspiración, aspecto que genera un potencial hídrico importante, que suple las necesidades de las partes bajas.
- **Biodiversidad:** Un análisis preliminar inferido de ecosistemas originales de la Ecorregión muestra 116 unidades de paisaje diferentes, lo cual indica un alto potencial de diversidad de ecosistemas y por ende condiciones de alta biodiversidad. (Arango, 2008)
- **Agroecología:** La Federación Nacional de Cafeteros a través de los estudios de zonificación y uso potencial de los suelos, ha clasificado según el material parental y la presencia de cenizas volcánicas, siendo las unidades más

importantes. Chinchiná, Fondesa, Fresno, Líbano, Montenegro, Quindío y Malabar. En estos se puede evidenciar que son suelos poco evolucionados, con perfiles simples (AC ó ABC), el horizonte A generalmente espeso (10 – 50 cm) y color oscuro. No todos los suelos derivados de cenizas volcánicas son Andisoles, ya que algunos han evolucionados a Inceptisoles o a Alfisoles (Henao, 2001).

Las condiciones hidrológicas, de suelo, pendientes, altitud y de clima, han hecho de este un territorio de gran aptitud para la producción cafetera. Gran parte de su historia económico-social y política, lo mismo que sus propias posibilidades de desarrollo han estado y están asociadas a la producción y comercialización del grano. Sin embargo en los últimos años a razón de la crisis cafetera, por la baja de los precios internacionales y al surgimiento de problemas fitosanitarios se ha venido reconvirtiendo las áreas sembradas con café a otros usos del suelo, como la ganadería y la explotación forestal. Según, los trabajos de zonificación de uso potencial del suelo, el forestal es el principal potencial en términos de área, abarcando el 54% del territorio (CARDER, 2007). Ver Tabla 5. Estas áreas agroforestales pueden ser consideradas para la siembra de yacón asociado con los arboles.

Tabla 4. Ecorregión Eje Cafetero. Uso actual y potencial del suelo. 2002

USOS	Actual (Ha)	%	Potencial (Ha)	%
Agrícola	819.664	30.1	576.757	21.0
Forestal (protector y productor)	513.823	18.9	1.436.072	54.0
Agroforestal	550.608	20.0
Ganadería	1.384.426	49.0	104.332	4.0
Cuerpos de agua	20.539	1.0	20.539	1.0
Zonas Urbanas	9.645	0.3	9.645	0.3
TOTAL	2.724.952	100	2.724.953	100

Fuente: (CARDER, 2007)

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de caracterización morfológica y molecular de la especie yacón *Smallanthus sonchifolius* colectadas en la Ecorregión Eje Cafetero se realizó en cuatro fases: La primera fue la colecta en las diferentes fincas de los cinco departamentos que conforman la ecorregión, (Risaralda, Quindío, Caldas, Tolima y Norte del Valle del Cauca). La segunda fase comprendió la siembra de las 10 accesiones colectadas en una colección de germoplasma *ex situ*, en un lote de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD en el municipio de Dosquebradas, Risaralda, y las evaluaciones morfoagronómicas, empleando 26 descriptores; 18 cuantitativos y 8 cualitativos. La tercera fase fue la caracterización molecular de las accesiones en el laboratorio de Biología Molecular de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira empleando la técnica RAMs. En la cuarta y última fase se realizó el análisis e interpretación de los resultados. A continuación se describe cada una de las fases

2.1 COLECTA DE GERMOPLASMA

La colecta del germoplasma del yacón se realizó en fincas de agricultores ubicadas en varios municipios de los departamentos de Risaralda, Quindío, Caldas, Tolima y Norte del Valle, identificadas previamente como predios en donde se ha mantenido producción del yacón.

Se recolectó tres muestras por grupo representativo, de la parte reproductiva de la especie (rizomas). Se tomó información de pasaporte que incluye ubicación geográfica de la finca, nombre y dirección del agricultor, georeferenciación del sitio de colecta, datos agroecológicos del sitio y descripción morfológica de la planta. (Ver Anexo A).

Al momento de la colecta se realizó una descripción morfológica preliminar, con base a descriptores morfológicos propuestos por Seminario et al, (2003).

2.2 ESTABLECIMIENTO DEL COLECCIÓN DE GERMOPLASMA Y EVALUACION MORFOAGRONOMICA.

2.2.1 Localización del ensayo.

Los materiales colectados, se sembraron en un lote semiurbano de la Universidad Nacional Abierta y A Distancia, ubicado en el Municipio de Dosquebradas

Risaralda, a una altura de 1460 m.s.n.m. temperatura promedio de 21 °C, una precipitación anual de 2200 mm y humedad relativa de 80%. La zona corresponde a Bosque muy húmedo premontano (bmh-PM).según la clasificación de zona de vida de Holdrigge

Se estableció allí, la colección de trabajo de germoplasma de la especie en campo (conservación *ex situ*) con las condiciones adecuadas a las plantas para su normal desarrollo. Estas plantas se evaluaron caracteres morfoagronómicos. La colección de trabajo de germoplasma establecido se conserva para futuros ensayos y evaluaciones de la especie.

2.2.2 Manejo de las accesiones en campo

Adecuación del terreno: El sitio en donde se estableció la colección de trabajo de germoplasma corresponde a un suelo proveniente de cenizas volcánicas, profundo, de color pardo oscuro, de textura franco arenosa, bien drenado, con buena capacidad de intercambio cationico, bajo en fósforo, baja densidad aparente menor a 1g/cc, alta porosidad, y relativamente aislado de cultivos. El manejo de la parcela consistió fundamentalmente en la eliminación manual de arvenses, picado profundo con azadón pica, formando camellones, adición de cal agrícola (100g/m²), tres semanas antes del trasplante.

La parcela se diseñó en surcos de 11 m. de largo, separados 1,40 m. entre surcos. Se sembraron 10 plántulas de cada accesión por surco Figura 7C

Siembra: se empleó el método de porciones de cepas o rizomas (propágulos vegetativos) vigorosos y sanos, con tres a cuatro yemas vegetativas. Estas se sembraron en bandejas plásticas, las cuales contenían un mezcla 3:1 de tierra capote y cascarilla de arroz. Previa a la siembra los rizomas fueron lavados y desinfectados sumergiéndolos por espacio de 1 minuto en una solución de hipoclorito de sodio al 1% (Figura 7 A).

Rebrote de las yemas: las yemas de los rizomas tardaron en rebrotar entre 15 a 20 días.

Trasplante: El trasplante al terreno definitivo se hizo con plantas con cepellón de aproximadamente 40 días después de la Brotamiento de las yemas (Figura 7 B) y en épocas diferentes, según se iban colectando en las regiones. La primera siembra se realizo el 2 de diciembre de 2009 y la ultima el 6 de marzo de 2010. El número de plántulas sembradas por accesión fue de 10



Figura 7. Plantas de yacón 40 días después del brotamiento, B) Planta lista para el trasplante; C) Trasplante de plantas de yacón. Fotos autor.

Riego: Solo fue necesario aplicar riego durante las primeras tres semanas después del trasplante y solo a la primera siembra realizada en el mes de diciembre del 2009. El riego de la parcela se realizó mediante aspersión con una frecuencia, de dos riegos por semana.

Tratamientos fitosanitarios: con el fin de observar la entomofauna y las enfermedades, no se realizó ninguna medida de control durante todo el ciclo de vida de la planta.

Cosecha: se realizó cuando las plantas dejaron de florecer y presentaron senescencia de su follaje. Aproximadamente a las 36 a 38 semanas después del trasplante.

2.2.3 Definición de los descriptores morfológicos empleados

Por ser una especie poco conocida en Colombia, se ha optado por dar mayor importancia a aquellas características fáciles de observar, medir y cuantificar al momento de la colecta, y durante el desarrollo fisiológico de la planta. Para ello se ha tomado como referencia la lista de descriptores empleado por Seminario et al. (2003), consignados en la Tabla 4, y los descriptores botánico-taxonómicos y morfoagronómicos CIAT, (2004).

2.2.4 Fichas de caracterización

Se elaboraron dos fichas de caracterización a partir de los descriptores utilizados, con el objeto de facilitar y sistematizar, la toma y posterior cuantificación de datos.

- **Ficha de descripción en colecta:** utilizada para la descripción al momento de la colecta (Anexo A) y comprende descriptores morfológicos del material vegetal.
- **Ficha o libreta de campo:** empleada en el trabajo de campo, dentro de la colección de trabajo de germoplasma, con el objetivo fundamental de facilitar el control y la toma de datos en la que se realiza descripción morfológica y agronómica (Anexo B)

2.2.5 Descriptores de las fichas de caracterización

- **Ubicación de la finca:** se tomaron datos para ubicación del predio de colecta, como, nombre del propietario, nombre de la vereda, del municipio y del departamento, las coordenadas geográficas, como la fecha de la colecta.
- **Condiciones agroecológicas:** se determinó la altura del predio con georeferenciación, datos de precipitación, temperatura, humedad relativa y luminosidad fueron consultadas con el agricultor. Las características físicas del suelo como textura, estructura, permeabilidad, color, % materia orgánica, pH, impedimentos y relieve fueron verificados en campo y con los análisis de suelo en los lugares que contaban con estos.
- **Material vegetal:**

Tallo: tipo de crecimiento, forma de ramificación, longitud, diámetro, color, forma, pubescencia

Tipo de crecimiento: monopodial o simpodial, determinado o definido (o de mata baja):

Forma de ramificación: determinada o indeterminada.

Longitud del tallo (altura): Distancia en centímetros entre la base del tallo en el suelo y el extremo superior del tallo, (inserción de la yema terminal).

El diámetro del tallo: Distancia en centímetros del ancho del tallo, medido en la base del mismo.

Hojas: forma, color, longitud, ancho, pubescencia, color lígula, forma de la lígula y número de hojas por tallo. Las mediciones se realizaron en el tercer par de hojas bien formadas de arriba hacia abajo

Longitud de la hoja: medición en cm desde la base del foliolo en el peciolo, hasta el ápice.

Ancho de la hoja: medición en cm de la parte más ancha del foliolo, en la base del foliolo.

Largo del pecíolo de la hoja: medición en cm desde el punto de inserción en el tallo a la unión con el foliolo.

- **Inflorescencia**

Capítulo: número de capítulos por tallo, diámetro del capítulo, número de flores masculinas y femeninas, número de semillas por inflorescencia, color.

- **Tubérculos:** número de tubérculos por planta, peso total de tubérculos por planta, peso de cada tubérculo, longitud de tubérculos, diámetro de tubérculo, color externo, color pulpa, consistencia, color propágulo, cantidad de propágulos.

- **Semillas:** Peso de 100 semillas, color semilla, porcentaje de germinación.

2.3 CARACTERIZACIÓN MOLECULAR

2.3.1 Extracción del ADN

Para la extracción del ADN, se emplearon hojas jóvenes frescas, colectadas en la mañana, de cada una de las accesiones de yacón; Se utilizó el kit de extracción PowerPlant® empleando 50 mg de tejido vegetal de cada accesión. Este se macero con nitrógeno líquido hasta obtener un polvo fino y seco, que posteriormente se le aplicó los 24 pasos del protocolo del kit, hasta obtener el ADN puro para desarrollar la técnica RAMs (Random Amplified Microsatellites) o microsatélites amplificados al azar.

El ADN extraído se cuantificó en un gel de agarosa al 1% utilizando tres marcadores de peso molecular: M1 – ADN Lambda 30 ng/ul; M2-ADN Lambda 60 ng/ul y M3-ADN Lambda 90 ng/ul. Ver Figura 8.

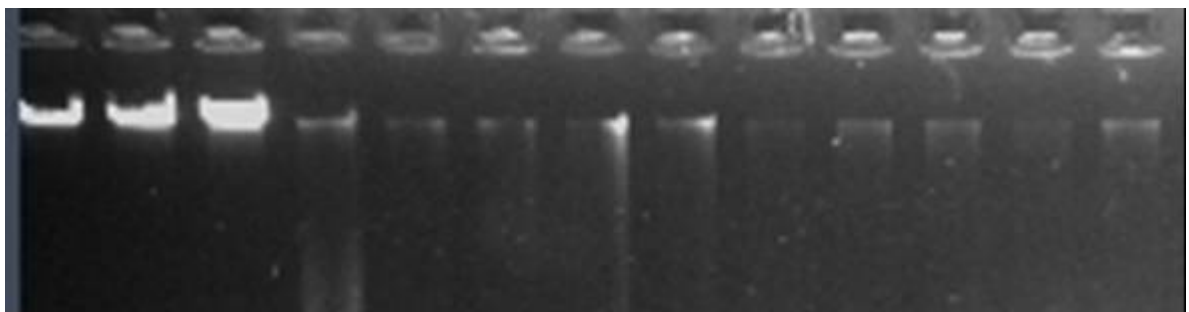


Figura 8. Bandas del ADN total de *S. sonchifolius*.

2.3.2 Primer utilizados

Para evaluar la diversidad genética las muestras de ADN se probaron seis primers sintetizados por Technologies Inc. En la Tabla 6 se presenta las secuencias de cada uno de los primers.

Tabla 5 Cebadores o primer utilizados en la caracterización molecular de *Smallanthus sonchifolios*.

PRIMER	SECUENCIA
CT	DBDCTCTCTCTCTCTCTC
CGA	DHBCGACGACGACGACGA
CA	DBDACACACACACACACACA
AG	HBHAGAGAGAGAGAGAGAG
TG	HVHTGTGTGTGTGTGTGTGT
CCA	DDBCCACCACCACCA

2.3.3 Homogenización

Para la estandarización de cada uno de los primers se preparó una mezcla de reactivos, en un tubo estéril de microcentrifuga con una capacidad de 1.5 ml, hasta obtener un volumen final de 25 ul. tal como se describe en la Tabla 7

Tabla 6 Datos para la preparación del cóctel para la amplificación de ADN de 10 muestras de yacón

PRODUCTO	Concentración inicial	Concentración final	Volume
1. Buffer de Taq	10x	1x	2.5
2. dNTP'S	1.25 mM	0.2 Mm	4 µl
3. Primer	50 µM	4 µM	2 µl
4. MgCl ₂	25 mM	2.75 mM	2.5
5. ADN	10 ng/µl	20 ng	2 µl
6. Taq polimerasa	5 u/µl	1 unidad	0.2 µl
7.H ₂ O HPLC	-	11.8	11.8
	Total		25 ul

2.3.4 Amplificación

Las muestras de cada una de las accesiones se probaron con cada uno de los seis primers. La amplificación se realizó, en un termociclador PTC-100 Programable Termal Controller de MJ Research, Incel, utilizando el programa de amplificación que se describe en la Tabla 8

Tabla 7 Programación de amplificación empleado en el termociclador PTC-100 Programable Thermal Controller de MJ Research, Incel para RAMs

PASOS	TEMPERATURA °C	TIEMPO (min)	ETAPAS
1	95	5	Desnaturalización Inicial
2	95	0:30	Desnaturalización
3	50 – 58*	0:45	Hibridación
4	72	2	Extensión
5	37 Veces desde 2		
6	72	7	Extensión final

*Para los Primer AG y CA la temperatura de annealing 50 °C. Primer CCA, TG y CT, La temperatura de annealing 55 °C

2.3.5 Electroforesis

Los productos de la amplificación se separaron por electroforesis, en geles de agarosa al 1% a 70 voltios durante 1 hora, tinción con bromuro de etidio, visualizándose en un transiluminador.

2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Las accesiones colectadas se sembraron bajo un diseño completamente al azar con una estructura de medidas repetidas en el tiempo, en donde cada surco de la parcela correspondía a una accesión con 10 plantas. Cada planta fue una unidad experimental. Los surcos estaban a una distancia de 1.40 m. y la distancia entre planta fue de 1 m.

2.5 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA EN LA CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONÓMICA

Se realizó análisis descriptivo para cada uno de los caracteres cuantitativos agrupados en tres grupos. Al encontrar diferencias significativas en cada uno de los descriptores, se hizo una prueba de DUNCAN para determinar la variabilidad de los materiales

Para el pool de variables conformado por los caracteres morfoagronómicos agrupados en los tres grupos, se efectuó un análisis de clúster vía análisis de componentes principales. También se realizó un análisis factorial en el cual se enfatizaron los aportes porcentuales de cada una de las variables sobre los ejes factoriales.

Para el análisis de la información obtenida de los caracteres cualitativos, se utilizó análisis de correspondencia múltiple

Los análisis de los datos se realizaron utilizando el paquete estadístico SAS® (Statistical Analysis System. versión 9.2)

2.6 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA POR LA TÉCNICA MOLECULAR

Para el análisis de la información de la variabilidad genética obtenida por la técnica molecular de RAMs se construyó una matriz de variables binarias, con ceros (ausencia de bandas) y unos (presencia de bandas) en la cual las accesiones forman las filas y las columnas las bandas evaluadas en cada uno de ellos. Esta matriz de similaridad se analizó con el programa SIMQUAL del paquete "Numerical Taxonomy System for Personal Computer" (NTSYS-pc versión 1.8).

El dendograma se construyó con base en los grados de similaridad entre individuos. Este análisis permite establecer si existen diferentes grupos en las poblaciones en estudio, y si presentan mayores diferencias.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN AL HERBARIO JOSE CUATRECASAS ARUMI (VALLE)

La especie, no se encontraba dentro de la colección del herbario de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira "VALLE", por lo que se realizó la introducción de ocho especímenes debidamente identificados. En la Figura 9 se puede apreciar algunos de los especímenes introducidos al herbario.



Figura 9 Especímenes de *S. sonchifolius* introducidos al herbario de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. "VALLE". Foto autor.

3.2 INFORMACIÓN SOBRE LOS SITIOS DE COLECTA

3.2.1 Ubicación de los sitios de colecta.

En la Tabla 9 se presenta la relación de las fincas donde se realizaron las colectas de especímenes con los nombres del propietario y la ubicación respectiva, que fueron posteriormente introducidos a la colección de trabajo de germoplasma en campo de la UNAD, ubicado en el municipio de Dosquebradas, Risaralda.

Tabla 8 Relación de las fincas visitadas en la colecta del *S. sonchifolius*

Nombre de la finca	Propietario	Vereda	Municipio	Departamento	Coordenadas geográficas
La Primavera	Luz Aleida Ríos	Santa Rita	Santa Rosa de cabal	Risaralda	N 04°51'428'' W 75°36'346''
Reserva Natural Los Genaros	Carlos Genaro	La Florida	Pereira	Risaralda	N 04°46'537'' W 75°36'049''
La Divisa	Silvio Torres	Travesías	Calarcá	Quindío	N 04°29'363'' W 75°38'126''
Reserva Natural "ACAIME"	Fundación Herencia Verde	Valle del Cocora	Salento	Quindío	N 04°38'431'' W 75°29'434''
Granja del Tío Hob	Rubén Darío Galeano	Pueblo Rico	Neira	Caldas	N 05°07'927'' W 75°30'970''
La Laguna del Indio	Efrén Largo	Panesso	Rio Sucio	Caldas	N 05°26'188'' W 75°40'130''
El Encanto	Juan de Dios Ríos	Calle Larga	El Dovio	Valle del Cauca (Norte)	N 04°29'248'' W 76°14'179
El Otoño	Luis Alberto Salazar	La Primavera	Trujillo	Valle del Cauca (Norte)	N 04°21'423'' W 76°18'182
La Alameda	Antonio Carvajal	Miramar	Ibague	Tolima	N 04°24'046'' W 75°17'162
La Esperanza	Aurelio Viviescas	El Reposo	Palocabildo	Tolima	N 05°06'587'' W 75°01'008

3.2.2 Condiciones agroecológicas de los sitios de colecta

Las condiciones agroecológicas reinantes en los sitios donde se realizó la colecta de los materiales se presentan en la Tabla 9, en esta se puede observar, que los agricultores de la región han establecido la especie en diferentes condiciones agroecológicas, la cual se adaptó satisfactoriamente. La altura sobre el nivel del mar va desde los 1120 m. en la finca La Alameda, cerca a la ciudad de Ibague hasta los 2423 m. en la Reserva Natural Acaime en el municipio de Salento, Quindío. Según Antonio Carvajal (I.A., conversación personal), el yacón cultivado a 1000 m. de altura representa una continua adaptación, en la que se bajo paulatinamente la planta desde los 2600 m.s.n.m.

3.2.3 Características del suelo.

Las características físicas del suelo de los sitios, demuestran que la especie se adapta muy bien a los suelos de textura franco arcillosos a francos arenosos. También se concluye que los agricultores lo han establecido en terrenos planos, ondulados y la gran mayoría en terrenos fuertemente inclinados, con suelos medianamente profundos a profundos, con buen contenido de materia orgánica. El impedimento principal del suelo para el desarrollo de la planta son los

afloramientos rocosos en algunos lugares. En la Tabla 11 se puede apreciar la condición física del suelo en cada uno de los sitios visitados.

Tabla 9 Características agroecológicas de las fincas de colecta *S. sonchifolius*

LOCALIDAD	Altura (m.s.n.m)	Temperatura Prom °C	Precipitación (mm anuales)	Humedad Relativa	Luminosidad Horas/día
Sta. Rosa de Cabal	1640	20	2200	80	6
Pereira	2072	16	2700	85	4
Calarcá	1260	20	2200	85	5
Salento	2423	18	2500	80	5
Neira	1693	20	1800	80	6
Rio Sucio	1250	28	2000	80	6
El Dovio	1518	20	2000	80	6
Trujillo	1588	20	2000	80	6
Ibagué	1120	22	1050	60	8
Palocabildo	1444	20	2300	80	6

Tabla 10 Características físicas de los suelos de colecta el *S. sonchifolius*

LOCALIDADES	Relieve	Pendiente %	Prof. Efectiva del suelo (Cm)	Textura	Drenaje	Impedimentos	Materia Orgánica (%)
Sta. Rosa de Cabal	Ondulado	Moderada	120	Fr	Bd	Ninguno	8
Pereira	Ondulado	Moderada	85	Fr	Bd	Ninguno	12
Calarcá	Pendiente	Fuerte	80	Fr	Bd	Ninguno	8
Salento	Pendiente	Fuerte	120	FA	Bd	Ninguno	14
Neira	Pendiente	Fuerte	45	FA	Bd	Piedra	6
Rio Sucio	Pendiente	Fuerte	40	FAr	Bd	Piedra	6
El Dovio	Pendiente	Fuerte	45	FAr	Dm	Piedra	6
Trujillo	Ondulado	Suave	80	Fr	Bd	Ninguno	8
Ibagué	Plano	Suave	100	FAr	Dm	Piedra	2
Palocabildo	Pendiente	Fuerte	70	Fr	Bd	Ninguno	6

Fr = franco; FA= franco arenoso; FAr= franco arcilloso; Bd= bien drenado; Dm= drenaje medio.

3.3 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DEL MATERIAL AL COLECTAR

3.3.1 Características del desarrollo de la planta

Las plantas de yacón colectadas exhiben crecimiento simpodial, La altura del tallo varía entre 73 cm a 140 cm y el diámetro entre 1.5 y 3 cm. Esto indica que existe una gran influencia del ambiente, sobre todo, de las condiciones de fertilidad del suelo, en el desarrollo vegetativo de la planta. Ver tabla 12.

Tabla 11 Características del desarrollo vegetativo del *Smallanthus sonchifolius*

LOCALIDADES	Tipo de Crecimiento	Longitud tallo (cm)	Diámetro tallo (cm)	Color del tallo	Tipo de ramificación
Sta. Rosa de Cabal	Simpodial	145	2.5	Verde oscuro	Simpodial
Pereira	Simpodial	85	2.0	Verde oscuro	Simpodial
Calarcá	Simpodial	135	2.5	Verde púrpura	Simpodial
Salento	Simpodial	92	2.5	Verde púrpura	Simpodial
Neira	Simpodial	140	1.5	Verde claro	Simpodial
Rio Sucio	Simpodial	80	2.5	Verde oscuro	Simpodial
El Dovio	Simpodial	115	2.5	Verde púrpura	Simpodial
Trujillo	Simpodial	140	3.0	Verde púrpura	Simpodial
Ibagué	Simpodial	73	2	Verde claro	Simpodial
Palocabildo	Simpodial	80	2.5	Verde claro	Simpodial

3.3.2 Características de las hojas.

Todas las muestras de yacón colectas, presentan hojas de forma triangular, con ápice acuminado, borde aserrado, más anchas que largas, con una gran área foliar. Las mayores variaciones encontradas con respecto a la hoja fue en un material de Ibagué, que presenta base truncada en lugar de hastada (Figura 10); y color de hojas entre verde claro al verde oscuro. También se observa mayor área foliar en las plantas ubicadas en las zonas más frías y con menos horas de brillo solar, que en las cálidas y con mayor luminosidad, (Tabla 13)

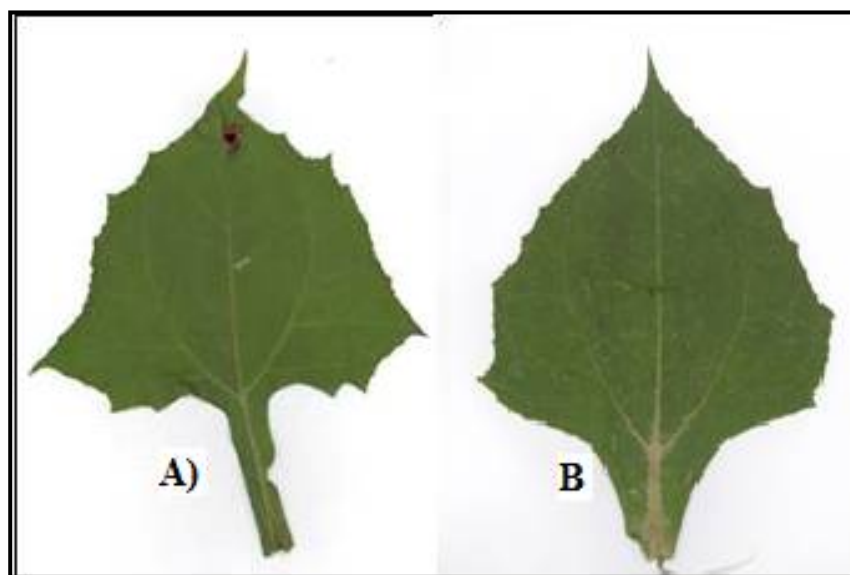


Figura 10. Hojas de yacón. A) Forma triangular, base hastada. B) Forma triangular, base truncada. Fuente: autor

Tabla 12 Características más sobresalientes de las hojas del *S. sonchifolius* en las zonas de colecta

LOCALIDADES	Forma	Largo	Ancho	Base	Color*	No. Hojas / tallo principal
Sta. Rosa de Cabal	Triangular	36	38	Hastada	V.osc	16
Pereira	Triangular	26	28	Hastada	V.osc	18
Calarcá	Triangular	26	28	Hastada	V.clar	14
Salento	Triangular	32	34	Hastada	V.osc	18
Neira	Triangular	18	22	Hastada	V.clar	14
Rio Sucio	Triangular	22	20	Hastada	V.osc	16
El Dovio	Triangular	26	29	Hastada	V.osc	14
Trujillo	Triangular	24	26	Hastada	V.osc	14
Ibagué	Triangular	29	35	Truncada	V.osc	14
Palocabildo	Triangular	28	32	Hastada	V.clar	14

* V. osc = Verde oscuro; V. cla = Verde claro;

3.3.3 Características morfológicas de las flores y semillas

Las plantas de yacón presenta una rama floral terminal dicásica con una gran cantidad de inflorescencia en capítulos que forman umbelas compuestas. Los capítulos son pequeños pero muy vistosos por la coloración amarilla de la lígula de las flores femeninas. El número de estas varía entre 12 y 14 por capítulo, mientras el número de las flores masculinas oscila entre 60 y 90. La cantidad de semillas en cada capítulo guarda relación con el número de flores femeninas, pero estas a pesar de estar completamente llenas, no son viables, pues de todos los ensayos de germinación que se realizaron, ninguna germinó. El peso de 100 semillas varía entre 5.5 y 7.5 gr. (Tabla 14).

Tabla 13 Características principales de las flores y semillas de *S. sonchifolius* en las zonas de colecta

LOCALIDADES	No Capítulos /tallo	No. Flores masculinas	No. Flores femeninas	No.Semillas/capitulo	Peso/100 semillas (gr)
Sta. Rosa de Cabal	56	62	14	14	6.5
Pereira	32	75	12	12	7.5
Calarcá	16	85	14	14	6.5
Salento	36	85	14	14	7.5
Neira	12	62	12	12	5.5
Rio Sucio	16	90	14	14	5.5
El Dovio	28	78	14	14	5.5
Trujillo	64	82	14	14	6.5
Ibagué	29	60	14	14	5.6
Palocabildo	95	62	12	12	6.5

3.3.4 Características morfológicas de las raíces tuberosas y los rizomas

Las raíces reservantes de las plantas colectadas presentaron formas tuberosas, de color externo amarillo crema a púrpura, pulpa blanca a amarillo crema; peso promedio por planta de 3.5 a 7.5 kg; longitudes de 18 a 25 cm y un diámetro de 6.5 a 9 cm, el color de los rizomas fue en general morado o púrpura y se encontraron entre ocho a 15 propágulos vegetativos por planta. En la Tabla 15 se observa que los mayores rendimientos por planta se obtienen en las zonas más altas, las cuales tiene raíces tuberosas más largas y de mayor diámetro. Con relación al color externo e interno de las raíces tuberosas se puede diferenciar que hay tres materiales diferentes.

Tabla 14 Características principales de las raíces tuberosas y de los rizomas de *S. sonchifolius* en las zonas de colecta

NOMBRE DE LA FINCA	RAÍCES TUBEROSAS/PLANTA					PROPAGULO/PLAN		
	Peso (Kg)	Long (cm)	Diám (cm)	Color Externo	Color Interno	Forma tubérculo	Color Rizoma	Cantidad Rizoma
Sta. Rosa de Cabal	6.5	25	9	Morado	Crema	Tuberosa	Purpura	14
Pereira	6	22	8	Café	Crema	Tuberosa	Purpura	15
Calarcá	5.5	18	7	Morado	Crema	Tuberosa	Purpura	10
Salento	7.5	25	9	Morado	Crema	Napiforme	Purpura	14
Neira	3.5	18	6.5	Café	Amarillo	Tuberosa	Purpura	8
Rio Sucio	4	20	7	Café	Crema	Tuberosa	Morado	6
El Dovio	4	18	7	Café	Amarillo	Tuberosa	Purpura	10
Trujillo	4.5	24	8	Crema	Amarillo	Tuberosa	Purpura	12
Ibagué	4.5	20	7	Crema	Blanca	Tuberosa	Morado	8
Palocabildo	4.5	18	7	Crema	Amarillo	Napiforme	Purpura	12

Long = Longitud; Diám = Diámetro.

Los resultados con relación a las características morfológicas cualitativas de las plantas, permitieron diferenciar claramente tres variantes en el Eje Cafetero.

Dada esta situación se estableció una colección de trabajo de germoplasma *ex situ* en campo, que permitió aparte de la conservación del material colectado, seguir analizando las diferencias morfológicas y posteriormente realizar una caracterización al nivel molecular.

3.4 CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONÓMICA DEL MATERIAL

3.4.1 Caracteres morfoagronómicos cuantitativos relacionados con el desarrollo de la planta

En la Tabla 16 se incluye la información de promedios, valores máximos y mínimos obtenidos con las características cuantitativas registradas en el estudio

de las accesiones, evaluadas en la colección de trabajo de germoplasma. Todos los atributos exhibieron polimorfismo, observándose valores de desviación estándar que en el caso del peso de 100 semillas fue de 0.8 g., y 167.7 para el número de capítulos florales por planta.

Tabla 15 Resultados descriptivos para cada una de las variables cuantitativas registradas en la colección de yacón, *Smallanthus sonchifolios*.

VARIABLES	Media	Valor Mínimo	Valor máximo	D.S.
No. tubérculos de raíces	10.37	4.75	13.5	2.456
Peso tubérculo de raíz (g)	3619	744.25	5363	1742
Longitud tubérculo (cm)	17.30	15.78	18.10	0.658
Diámetro tubérculo (cm)	4.98	3.58	3.05	0.977
No. capítulos	205.17	89.30	623.90	167.72
No. flores femeninas	14.12	13.70	15.0	0.413
No. flores masculinas	72.64	59.80	82.50	7.846
Peso de 100 semillas	0.591	0.493	0.771	0.088
Altura (cm)	136.8	112.20	157.30	15.23
Diámetro tallo (cm)	3.76	3.4	4.34	0.311
No. ramas	19.62	15.00	28.00	3.613
No. hojas /tallo	16.96	7.60	24.00	5.648
No. hojas/rama	8.90	7.60	11.60	1.200
Ancho hoja (cm)	23.75	18.90	29.40	3.199
Largo hoja (cm)	20.35	16.40	24.10	2.440
Largo peciolo (cm)	12.36	9.5	16.60	2.223
Largo entrenudos (cm)	11.42	9.40	14.40	1.633
No. hojas caídas	16.42	13.80	18.00	1.488

*D.S. = desviación estándar.

En el análisis de correlación (Tabla 17), se observa que el número y el diámetro de los tubérculos de raíz, ($r=0.8382$, 0.8654 respectivamente) son los caracteres que más contribuyeron positivamente con la ganancia de un mayor peso de los tubérculos de raíz. En cambio, aquellos relacionados con la exuberancia de la planta, como número de ramas, número de hojas/rama, ancho de la hoja, largo de la hoja, y producción de capítulos florales, son los que más influyen negativamente sobre el peso final de los tubérculos. Esto se explica, al considerar que la planta gasta gran cantidad de su energía en formar más follaje y producir más flores, por lo que no trasloca a sus raíces reservantes. Estas accesiones pueden ser consideradas para programas en los que se pretenda producir hojas, para la alimentación animal, o para la fabricación de medicamentos a base de hojas.

Tabla 16. Correlación del peso de los tubérculos de raíz (Niveles de Significancia) vs variables morfológicas del yacón.

		Número tubérculo de raíz	Peso tubérculo de raíz	Longitud tubérculo de raíz	Diámetro tubérculo de raíz	No. de capítulos	No. flores femeninas
Peso Tubérculo de raíz		0.83821 (0.0025)	1.0000	0.41420 (0.2340)	0.86543 (0.0012)	-0.72890 (0.0168)	0.12183 (0.7373)
		No. flores masculinas	Peso 100 semillas	Longitud tallo	Diámetro tallo	No. ramas	No. hojas tallo ppal.
Peso Tubérculo de raíz		0.37176 (0.2902)	0.58658 (0.0747)	-0.50293 (0.1384)	-0.03222 (0.9296)	-0.67063 (0.0338)	-0.10553 (0.7717)
		No. hojas/rama	Ancho hoja	Largo hoja	Largo peciolo	Largo entrenudos	No. hojas caídas
Peso tubérculo de raíz		-0.72200 (0.0184)	-0.64333 (0.0448)	- 0.58130 (0.0780)	-0.54820 (0.1009)	-0.47026 (0.1702)	-0.21497 (0.5509)

En el análisis de varianza del grupo de caracteres morfoagronómicos relacionados con el desarrollo vegetativo de la planta de cada una de las accesiones en las diferentes épocas de muestreo, todos presentaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) (Tabla 18). En Tabla 19 se presenta las diferencias por descriptor y para cada accesión evaluada.

Tabla 17 Análisis de varianza de los caracteres morfoagronómicos cuantitativos relacionados con el desarrollo aéreo de la planta de *Smallanthus sonchifolius*

Fuente de Variación	Gli	Longitud del tallo (cm)		Diámetro tallo (cm)		No. ramas		No. hojas tallo principal		No. hojas ramas	
		CM	P>Fc	CM	P>Fc	CM	P>Fc	CM	P>Fc	CM	P>Fc
Accesión	9	9121	< 0.0001	38.18	< 0.0001	63.333	< 0.0001	168.31	< 0.0001	30.96	< 0.0001
Tiempo	10	1648191	< 0.0001	16.66	< 0.0001	4013.09	< 0.0001	1699.69	< 0.0001	785.73	< 0.0001
Accesión x Época	90	698.52	< 0.0001	5.15	< 0.0001	30.74	< 0.0001	42.14	< 0.0001	11.91	< 0.0001
Promedio		57.02		2.12		10.32		12.49		6.33	
CV (%)		13.48		11.41		15.24		10.25		17.21	
Fuente de Variación	Gli	Ancho de la hoja (cm)		Longitud de la hoja (cm)		Longitud del peciolo (cm)		Longitud entrenudos (cm)		No. hojas caídas	
		CM	P>Fc	CM	P>Fc	CM	P>Fc	CM	P>Fc	CM	P>Fc
Accesión	9	171.72	< 0.0001	127.42	< 0.0001	63.333	< 0.0001	22.9	< 0.0001	111.08	< 0.0001
Tiempo	10	5063.7	< 0.0001	3597.91	< 0.0001	4013.09	< 0.0001	1671.6	< 0.0001	2026.39	< 0.0001
Accesión x Época	90	54.95	< 0.0001	50.78	< 0.0001	30.74	< 0.0001	14.32	< 0.0001	17.04	< 0.0001
Promedio		23.56		19.95		11.87		7.05		8.56	
CV (%)		12.83		13.28		15.18		15.34		11639	

*CV = coeficiente de variación; CM = cuadrado medio

- **Altura de la planta.**

La longitud del tallo principal fue el parámetro evaluado para determinar la altura de la planta. Comparando los promedios entre especies y en todas las épocas de muestreo, se encontraron diferencias significativas entre las accesiones, diferenciándose claramente siete grupos, siendo la accesión Trujillo (Valle del Cauca), con mayor altura promedio, seguida por Salento (Quindío). Sin embargo es está la que logra la mayor altura al final de su desarrollo vegetativo, con 1.57 m. La plantas más bajas son las accesiones de El Dovio (Valle del Cauca), Ibagué (Tolima) y Calarcá (Quindío), con 1.12 m. al final del desarrollo (Tabla 19, Figura 11)

Tabla 18 Comparaciones de la prueba DUNCAN entre los diferentes caracteres morfoagronómicos cuantitativos, evaluados para cada uno de las accesiones de *S. sonchifolius*

Accesión	Promedios Descriptor									
	Largo tallos (cm)	Diáme Tallo (cm)	No. ramas	No. hojas tallo.	No. hojas rama	Ancho hoja	Largo hoja	Largo peciolo	Largo entrenu	Hojas caída
TRUJILLO-VAL	77.9 a	2.4 a	10.9 b	13.2 c	6.7 b	23.3 b	19.7 d	12.0 b	7.7 a	10.4 a
SALENTO-QUI	65.8 b	2.1 c	10.1 c	13.5 cb	6.6 b	25.5 a	21.4 ba	12.1 b	6.9 c	8.7 c
PALOCAB-TOL	58.2 c	2.3 b	10.1 c	14.0 a	6.5 cb	24.9 a	21.6 a	11.4 cd	7.8 a	9.8 b
STA.ROSA-RIS	55.7 dc	1.8 f	9.6 dc	12.3 d	4.6 f	21.2 c	17.9 f	11.8 cb	6.7 dc	8.7 c
PEREIRA-RIS	56.2 dc	1.9 e	11.8 a	12.2 d	5.9 ed	23.5 b	19.0 ed	13.2 a	6.6 d	8.7 c
NEIRA-CAL	55.8 d	2.1 dc	9.4 d	10.5 e	6.2 cd	24.9 a	20.7 bc	12.9 a	6.5 d	8.1 d
RIOSUC-CAL	53.3e	2.1 d	9.9 dc	10.3 e	5.8 e	23.4 b	19.5 d	11.4 cde	7.3 b	7.7 e
DOVIO-VAL	50.0 f	2.2 b	11.2 b	12.4 d	7.0 a	23.5 b	20.5 c	10.8 e	7.3 b	6.9 f
IBAGUE-TOL	48.1 f	2.0 d	9.5 c	12.2 d	6.3 cb	23.1 b	19.0 ed	11.9 cb	6.6 d	8.5 c
CALARCA-QUI	47.9 f	2.0 d	9.8 dc	13.6 b	6.4 cb	21.3 c	18.7e	11.0 de	6.8 dc	8.1 d

Nota: Dentro de una misma columna, promedios con igual letra no difieren estadísticamente

- **Diámetro del tallo**

Al evaluar las diferencias de las accesiones con respecto del diámetro del tallo, también se establecieron siete grupos, siendo la accesión de Trujillo (Valle del Cauca) la de mayor diámetro y las de Pereira y Santa Rosa de Cabal (Risaralda) las más delgadas. El diámetro de todas las accesiones aumento aritméticamente con el paso de los días, hasta un máximo de 4.5 cm. El menor al final del desarrollo de la planta fue la de la accesión de Neira (Caldas) con 3.3 cm , (Figura 12)

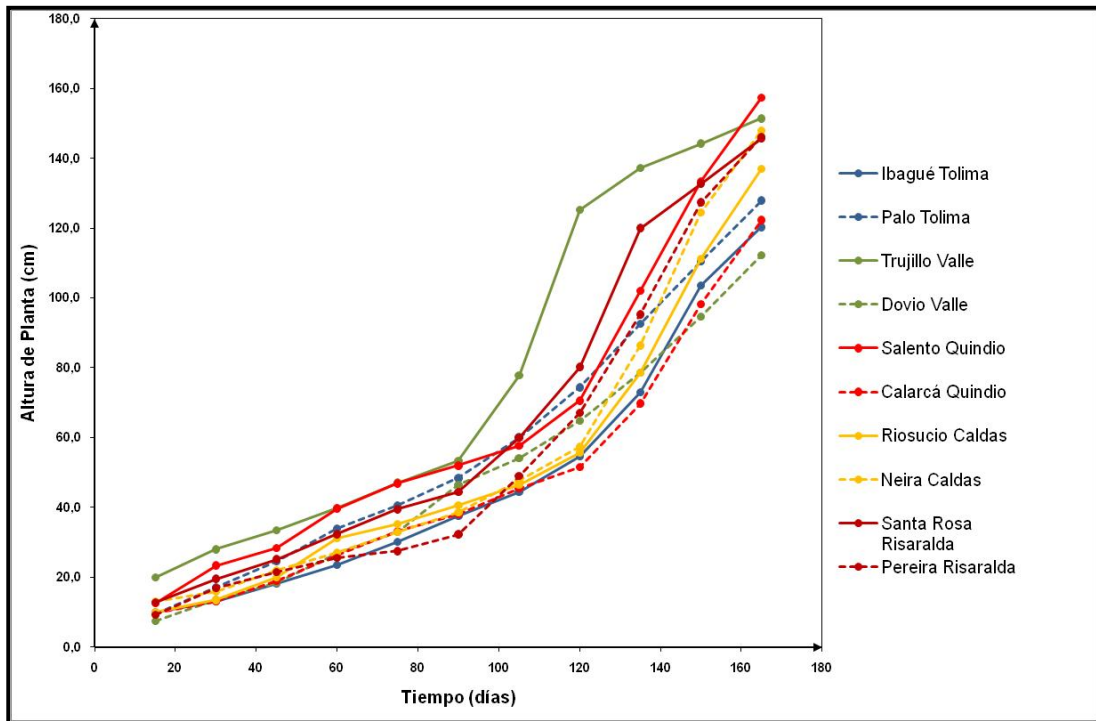


Figura 11. Crecimiento de las plantas de *S. sonchifolius* por accesión semana tras semana.

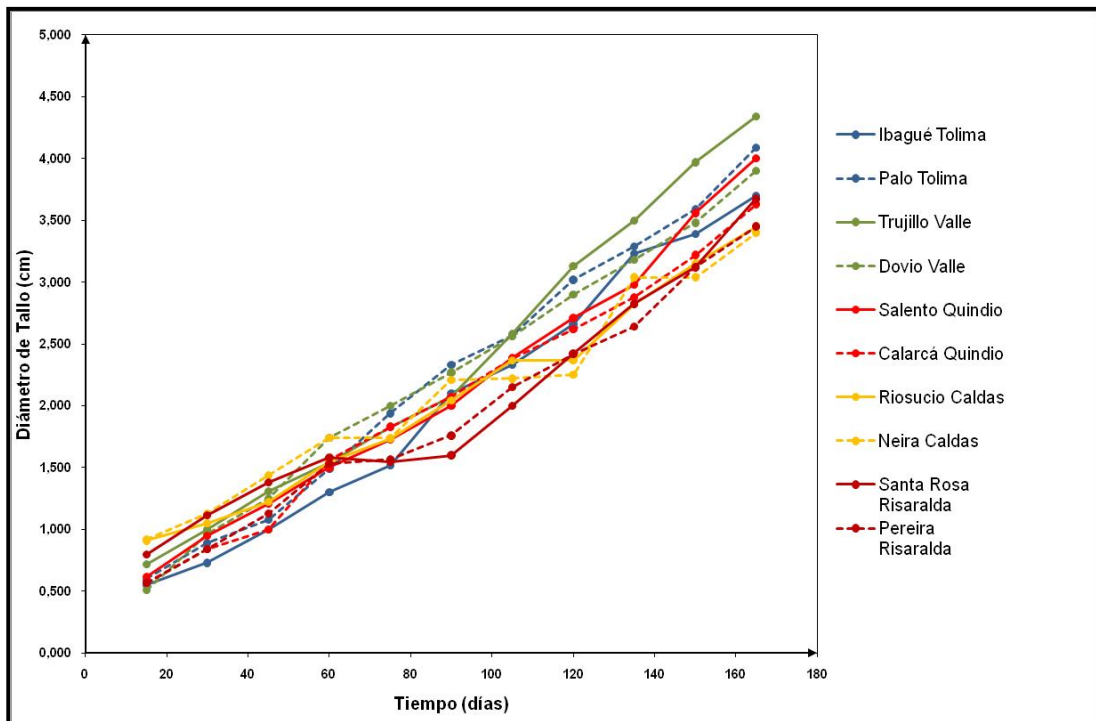


Figura 12 Representación del engrosamiento del diámetro de tallo de las plantas de *S. sonchifolius*, semana tras semana de las 10 accesiones colectadas.

- **Número de ramas**

La accesión con mayor número de ramas es la proveniente de Pereira, seguida por la de El Dovio y Trujillo, la de menor número de ramas es la de Santa Rosa de Cabal.

- **Número de hojas la rama principal**

El mayor numero de hojas en la rama principal se presentó en la accesión de Palocabildo Tolima, con 20 hojas, seguido por la de Calarcá y Salento (Quindío); las de menor número son las de Neira y Rio Sucio (Caldas) con 15 hojas.

- **Número de hojas ramas secundarias**

El número de hojas con que cuenta las ramas secundarias son mayores en la accesión de El Dovio, seguida por Trujillo y Salento; las de menor número, son las accesiones de Santa Rosa de Cabal y Rio Sucio.

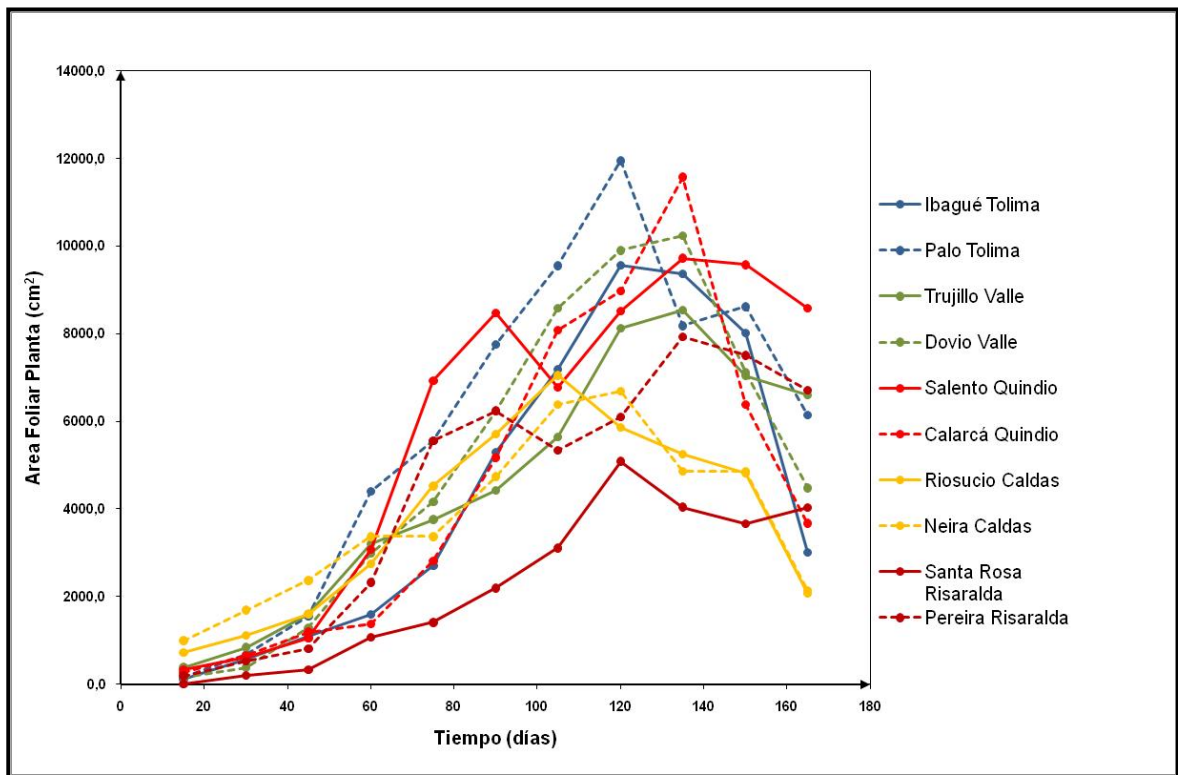


Figura 13 Cambio del área foliar de las accesiones de *S. sonchifolius* con los días

- **Área foliar.**

Las hojas del yacón son casi un triangulo equilátero, solo que su base es un poco más grande que su altura. Por lo tanto, su área se calculo después de varios

muestreos con la metodología de cuadrículas, aplicando la fórmula $((B \times A) / 2) \times 1.224$. Por ser las accesiones de Palocabildo y Salento las de hojas más anchas y largas, son estas también las de mayor área foliar. Las accesiones de Santa Rosa y Calarcá poseen las hojas más pequeñas. El crecimiento del área foliar es casi exponencial conforme la planta crece, pero empieza a decrecer con la aparición de la floración como se puede observar en la Figura 13.

- **Índice de área foliar**

El índice de área foliar (IAF) es uno de los parámetros más útiles para caracterizar la vegetación. Se define como unidades de superficie de hoja verde, por unidad de superficie de terreno. El IAF, es uno de los factores que más influyen sobre el rendimiento de los cultivos. La evaluación de cada uno de las accesiones durante su fase de crecimiento mostró que existían diferencias significativas entre ellas, siendo la de mayor IAF las accesiones de las localidades de Palocabildo y Salento y la de menor la de Santa Rosa de Cabal (Tabla 20 y Figuras 14 y 15).

Tabla 19 Análisis estadístico del Índice de Área Foliar de las accesiones de *S. sonchifolius*

Fuente de variación	GL	Índice de área foliar	
		CM	P>Fc
Accesión	9	0.561	<.0001
Tiempo	10	801.6	<.0001
Accesión X época	90	0.184	<.0001
Promedio			0.46
CV (%)			27.4

CV = coeficiente de variación; GL = Grados de libertad; CM = Cuadrado medio

En la Figura 15, se puede observar la variación del índice del área foliar por unidad del tiempo para cada una de las accesiones, logrando el mayor entre los 120 a 140 días después del trasplante. A partir de esta fecha que coincide con la floración, el IAF decrece notoriamente. En la misma figura se puede también observar que la accesión de mayor IAF es la de Palocabildo seguida de la de Salento.

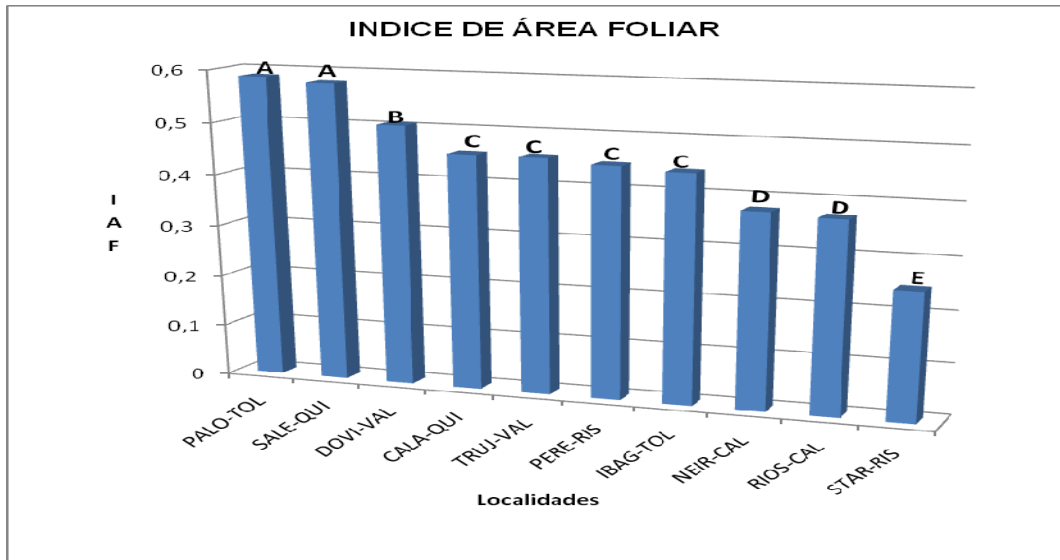


Figura 14 Comparación de variabilidad del índice de área foliar promedio de cada accesión de *S. sonchifolius*

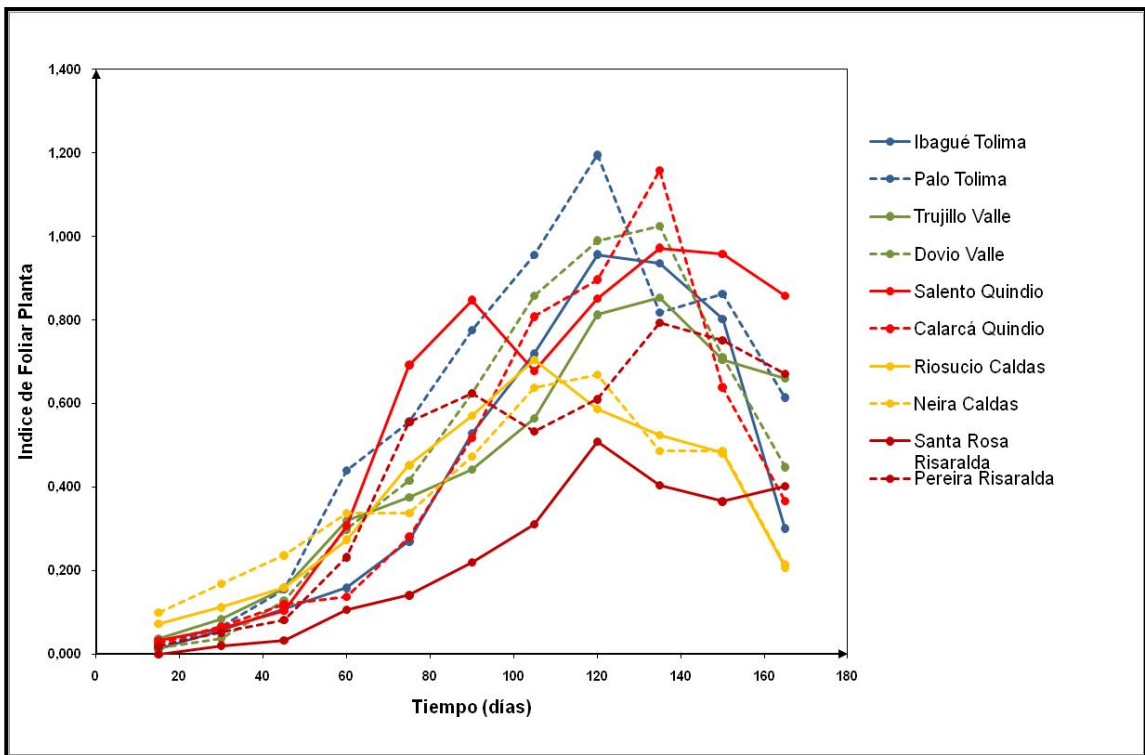


Figura 15 Índice del área foliar de las 10 accesiones de *S. sonchifolius* colectadas

- **Largo del Pecíolo**

Las hojas de yacón poseen un pecíolo alado y su longitud está relacionado con el ancho de la hoja, por lo que se encontró que las accesiones de mayor longitud de pecíolo son las de Pereira y Neira, y las más corto las de El Dovio y Calarcá. Tabla 19.

- **Largo del entrenudo**

Los entrenudos son los lugares de crecimiento del tallo, por lo que estos guardan relación con la altura de la planta. Las accesiones con los entrenudos de mayor longitud son las de Trujillo y Palocabildo y los más cortos Ibagué y Neira.

- **Hojas caídas.**

Las accesiones con mayor numero de hojas caídas son Trujillo y Palocabildo, y las que menos hojas se le caen son las de El Dovio y Rio Sucio. Esta variable se considero, ya que la cantidad de hojas caídas de la planta, nos puede dar una idea, de la capacidad de producción de hojas y las que realmente requiere para sostener una buena producción de tubérculo. Considerando que las hojas también poseen un gran valor medicinal y como forraje, nos da una idea de la cantidad de hoja que se le pueden cosechar a la planta y no afectar su producción de tubérculos.

3.4.2 Caracteres morfoagronómicos cuantitativos relacionados con la inflorescencia, estructura de la flor y la semilla

Los materiales evaluados exhibieron un gran número de flores, se encontró diferencias significativas entre el numero de capítulos, como en el numero de flores masculinas, no siendo así para las flores femeninas; en el descriptor peso de 100 semillas, también se encontraron diferencias significativas.

Tabla 20. Análisis de varianza, con los cuadrados medios de los descriptores cuantitativos relacionados con la inflorescencia, estructura de la flor y semillas del *S. sonchifolius*

Fuente de Variación	Gli	No. Capítulos/planta		No. flores femeninas/flor		No. Flores masculinas/flor		Peso de 100 semilla (gr)	
		CM	P>Fc	CM	P>Fc	CM	P>Fc	CM	P>Fc
Accesión	9	246.53	< 0.0001	0.029	0.842	2.141	< 0.0001	0.0173	< 0.0001
Promedio		13.24		3.81		8.52		1.04	
CV (%)		22.7		6.16		5.35		3.77	

- **Número de capítulos por planta**

El número de inflorescencias producidas por el yacón es muy variable, siendo la accesión de Santa Rosa y Trujillo las de mayor número de capítulos, las accesiones con menor producción de capítulos florales, son Calarcá, Palo cabildo y Río Sucio. Ver Tabla 22

- **Número de Flores Femeninas por capítulo**

El número de flores femeninas por capítulo no hay diferencias significativas. En promedio hay 14 flores por capítulo en promedio.

Tabla 21. Análisis estadístico de los datos promedios de los descriptores cuantitativos relacionados con la inflorescencia, estructura floral y semillas del *Smallanthus sonchifolius*

ACCESION	PROMEDIOS DESCRIPTOR			
	No. capítulos/planta	No. flores femeninas/flor	No. flores masculinas/flor	Peso de 100 semilla (g.)
STA.ROSA-RIS	604.6 a	14.9 a	82.4 a	0.770 a
TRUJILLO-VAL	336.0 b	14.5 a	82.3 a	0.693 ba
PEREIRA-RIS	241.4 b	14.3 a	77.2 ba	0.622 bc
EL DOVIO-VAL	158.9 d	14.2 a	76.9 ba	0.622 bc
NEIRA-CAL	142.8 ed	14.2 a	75,2 ba	0.576 dc
SALENTO-QUI	116.9 ed	14.0 a	72.1 b	0.555 de
RIOSUCIO-CAL	111.6 ed	13.7 a	70.6 bc	0.536 de
IBAGUE-TOL	87.2 e	13.7 a	64.5 dc	0.527 de
PALOCAB-TOL	86.9 e	13.7 a	63.6 dc	0.506 de
CALARCA-QUI	83.7 e	13.6 a	59.73 d	0.491 e

Nota: Dentro de una misma columna, promedios con igual letra no difieren estadísticamente

- **Número de flores masculinas por capítulo**

El número de flores masculinas por capítulo es un descriptor que tiene gran variabilidad, entre 59.7 a 82 flores. Las accesiones de Calarcá y Palo cabildo son las de menor número de flores y Santa Rosa y Trujillo las de mayor.

- **Peso de 100 semillas**

A pesar de que las semillas producidas por cada una de las accesiones estaban bien formadas, no eran viables, lo que se comprobó por pruebas de germinación. Las semillas producidas por Santa Rosa y Trujil fueron los de mayor peso. Las de menor Calarcá y Palo cabildo.

3.4.3 Caracteres morfoagronómicos cuantitativos relacionados con el desarrollo de los tubérculos de raíz y rizomas

Los caracteres cuantitativos relacionados con el desarrollo de las raíces y los propágulos (rizomas), muestran diferencias significativas entre los datos, como se puede observar en la Tabla 24.

Tabla 22. Análisis de varianza de caracteres cuantitativos relacionados con el desarrollo de los tubérculos del *Smallanthus sonchifolius*

Fuente de Variación	Gli	No. Raíces		Peso raíz (gr)		Longitud raíz (cm)		Diámetro raíz (cm)	
		CM	P>Fc	CM	P>Fc	CM	P>Fc	CM	P>Fc
Accesión	9	0.689	0.28	1271.7	< 0.0001	0.027	0.997	0.189	0.0002
Promedio		3.24		56.7		4.2		2.32	
CV (%)		16.4		21.3		10.2		7.9	

Tabla 23 Prueba DUNCAN mostrando diferencias significativas entre las accesiones para cada uno de los caracteres cuantitativos relacionados con las raíces del *S. sonchifolius*.

ACCESION	PROMEDIOS*			
	No. Raíces	Peso raíz (gr)	Longitud raíz (cm)	Diámetro raíz (cm)
NEIRA-CAL	13.48 a	5058.97 a	17.44 a	5.76 a
CALARCA-QUI	12.09 a	5138.24 a	18.09 a	5.46 a
PALOCAB-TOL	11.72 a	4977.36 a	17.57 a	5.76 a
IBAGUE-TOL	11.68 a	4977.36 a	17.07 a	5.82 a
SALENTO-QUI	11.37 a	4212.67 a	17.13 a	4.75 ba
DOVIO-VAL	10.16 a	4104.72 a	17.43 a	5.33 a
STA.ROSA-RIS	9.03 ba	1295.86 b	17.42 a	3.68 bc
TRUJILLO-VAL	9.03 ba	1295.86 b	17.42 a	3.68 bc
RIO SUCIO-CAL	8.43 ba	1295.86 b	16.59 a	6.00 a
PEREIRA-RIS	4.69 b	633.58 b	15.53 a	3.48 c

Dentro de una misma columna, promedios con igual letra no difieren estadísticamente

- **Número de tubérculos de raíz**

El número de raíces por planta fue muy variable, conformándose tres grupos. El grupo con mayor número de tubérculos de raíz, es el conformado por las accesiones de Neira, Caldas, Palocabildo, Ibagué, Salento y El Dovio. Pereira es el grupo con menor número de tubérculos de raíz (Tabla 24)

- **Peso de los tubérculos de raíz**

Al analizar el peso de las raíces tuberosas de cada uno de las accesiones, se encontraron dos grupos. El mayor peso encontrado en cada accesión está muy correlacionado con el número de tubérculos, (Neira, Calarcá, Palocabildo, Ibagué, Salento y Dovio). El peso promedio de estas estuvo por encima de los 4000 g. y hasta los 5138 g. por planta. Estos valores nos permiten calcular producciones por hectárea de 28.5 a 36 toneladas por hectárea. Para el caso de las accesiones de mas bajo peso, 633.6 g. a 1295 g. por planta se esperarían rendimientos por de 4.5 a 9.3 toneladas por hectárea. Distancias de siembra de 1.4 x 1.0 m., para un total de 7.142 plantas por hectárea (Tabla 25).

- **Longitud de los tubérculos de raíz**

Cuando se analizó los promedios por accesión de la longitud de los tubérculos de raíz, no se encontraron diferencias significativas. Sin embargo dentro de cada accesión, la longitud de las raíces es muy variable, desde 10 hasta 30 cm de longitud (Tabla 25).

- **Diámetro de los tubérculos de raíz**

El diámetro de los tubérculos de raíz presentó diferencias significativas entre los promedios de las accesiones, con el mismo patrón. Los tubérculos de raíz más gruesos se encuentran en Neira, Calarca, Palocabildo, e Ibagué. Las de menor diámetro es Pereira, seguida por Santa Rosa y Trujillo (Tabla 25).



Figura 16. Tubérculos de raíz de *S. sonchifolius* A) Forma tuberosa, color externo rojizo crema; B) Formas tuberosa, color externo amarillo crema; C) Forma napiforme, color externo crema. Foto Autor.

El análisis cluster de los caracteres cuantitativos, se establecieron tres grupos, dentro de los cuales las accesiones mantienen un grado de similitud muy fuerte. Los grupos formados se describen en la tabla 25

Tabla 24. Análisis Clúster de las 10 accesiones de yacón para 21 variables evaluadas.

Clúster	Autovalor	% de Varianza
1	7.6133	58.77
2	3.0924	23.87
3	2.2490	17.36

El primer grupo explica el 58.77% de la variación, a este se relacionaron las accesiones de Calarcá, El Dovio, Ibagué, Palocabildo, Neira y Rio sucio. Estos materiales se caracterizan por mayor peso y diámetro de los tubérculos de raíz, son de localidades ubicadas entre los 1120 y 1693 m.s.n.m., que coinciden con la zona más apta para la producción de café en Colombia, incluyendo sus zonas marginal baja y alta, por cuanto puede ser alternativa al cultivo del café, en lugares de baja rentabilidad, sobre todo en las zonas marginales.

En el segundo grupo Salento, Santa Rosa de Cabal y Trujillo. El 23.87% de la variación. Las características más sobresalientes son, mayor altura de la planta (148.68 cm en promedio), hojas más anchas y largas, entrenudos más largos; tubérculos de raíz con mayor diámetro.

En el tercer grupo Pereira explica el 17.36% de la variación. Esta accesión presentó mayor altura, mayor cantidad de hojas, y mayor cantidad de ramas (20 en promedio), lo que explica, que a pesar de tener entrenudos más cortos, las plantas son más altas por un mayor número de estos. También es la accesión con menor peso en sus tubérculos, menor diámetro, y mayor número de hojas caídas.

Al conocer que muchas de las variables evaluadas, influyen para explicar la variabilidad de la especie; se realizó análisis factorial, el cual permitió visualizar las contribuciones de cada uno de los descriptores evaluados sobre los ejes factoriales, que mayormente explican la variabilidad. Se encontró que el primer factor (rendimiento en tubérculos de raíz) explica el 42.3% de la variabilidad, donde el peso de la raíz, el diámetro de la raíz, ancho de la hoja y longitud de la hoja son sus mayores contribuyentes.

El segundo factor con un 17.2% de la variabilidad total, es explicado por las variables longitud de raíz y número de capítulos. En el tercer grupo, el aporte de las variables, peso de 100 semillas, altura de la planta y número de hojas en el tallo principal, explicaron el 12.5% del polimorfismo de la especie.

Todo lo anterior sugiere que, a pesar del yacón ser silvestre, ha existido una selección antrópicas, orientada a obtener un tubérculo de raíz de mayor tamaño, el cual está determinado por plantas de altura media, con intermedio número de ramas y de hojas, y con baja producción de capítulos florales.

Al hacer un corte transversal en el dendograma derivado del coeficiente de distancia, a la altura de un R^2 semiparcial de 0.20, (Figura 16) se puede observar la estructuración de los tres grupos mencionados.

Con la variabilidad encontrada no se puede precisar el patrón de distribución de la especie en la región. Además son los agricultores los que la han distribuido aleatoriamente la especie, al compartir en los intercambios de germoplasma que se suceden en las regiones.

Igualmente, los caracteres cuantitativos son grandemente afectados por el ambiente. Así al evaluar una colección *ex situ*, muchos de los materiales provenientes de condiciones ambientales distintas, en donde seguramente, ya tienen algún grado de adaptación, se vieron desfavorecidos en el sitio evaluado.

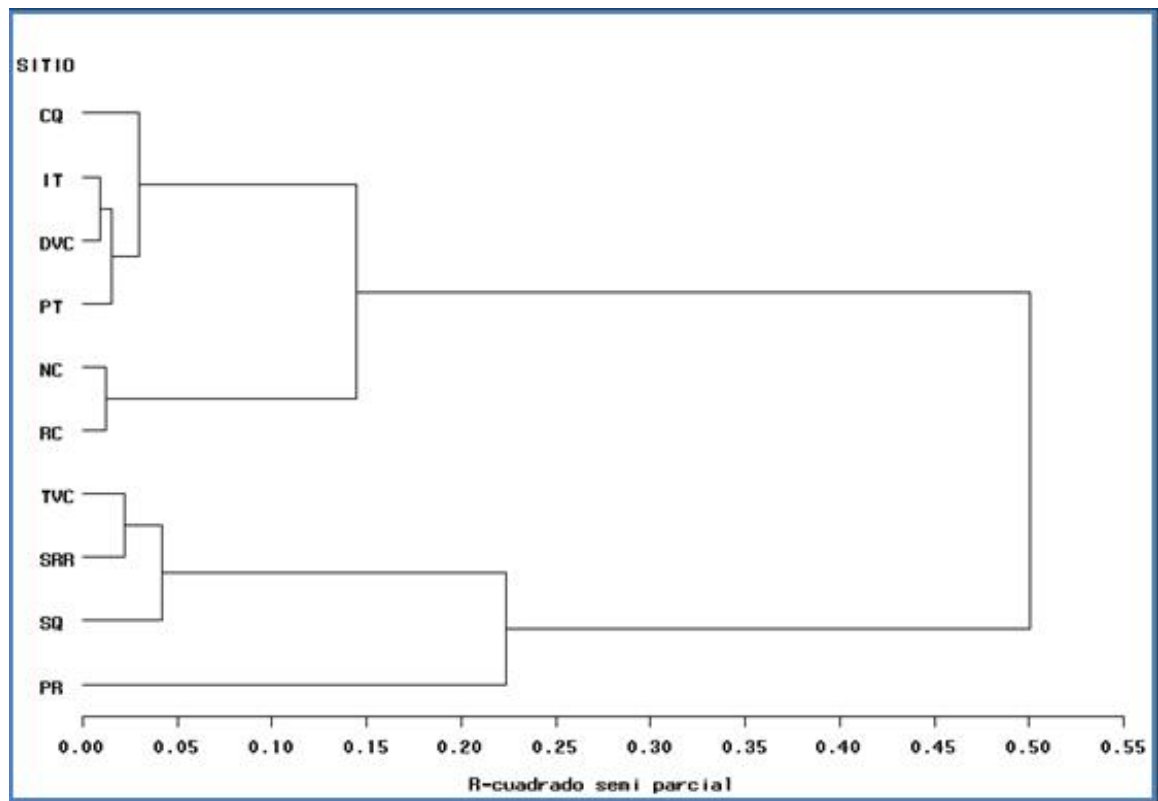


Figura 17 Dendograma de los caracteres cuantitativos de las 10 accesiones de yacón evaluadas.

3.4.4 Caracteres morfoagronómicos cualitativos evaluados

Se emplearon ocho descriptores cualitativos de los cuales se evaluaron estadísticamente seis porque los otros mostraron poca variación, como forma

(base truncada en el material colectado de Ibagué en lugar de hastada) y el color de la flor (igual para todos).

El análisis de correspondencia múltiple, encontró variabilidad entre las accesiones y las clasifico en cuatro grupos. El primer grupo constituido, de accesiones de color del tallo verde oscuro, hojas de color verde claro, color externo de los tubérculos de raíz crema y pulpa blanca, con una explicación del 65.33% de la variabilidad (Tabla 26).

Tabla 25. Contribuciones parciales de los caracteres morfoagronómicos cualitativos a la variabilidad genética de las accesiones colectadas

Descriptor	Variaciones	Dim 1 (34.4%)	Dim 2 (24.1%)	Dim 3 (15.2%)	Dim 4 (11.0%)
Color Tallo	Verde Claro	0.2021	0.0105	0.0027	0.0011
	Verde Oscuro	0.0473	0.076	0.018	0.1325
Color de la hoja	Verde Purpura	0.0101	0.1213	0.0293	0.1158
	Verde Claro	0.2021	0.0105	0.0027	0.0011
Color externo del tubérculo	Verde Oscuro	0.0505	0.0026	0.0007	0.0003
	Café crema	0.0484	0.0424	0.0611	0.1518
	Crema	0.1082	0.0541	0.0121	0.0014
Color Interno del tubérculo	Morado	0.0237	0.0014	0.2553	0.2475
	Amarillo	0.0308	0.0037	0.2818	0.0286
	Amarillo Crema	0.0042	0.2217	0.0002	0.094
Forma del Tubérculo	Blanco	0.1409	0.064	0.0346	0.0475
	Crema	0.0037	0.021	0.2376	0.0083
	Napiforme	0.0528	0.1674	0.038	0.1138
Color de Rizoma	Tuberosa	0.0132	0.0419	0.0095	0.0285
	Purpura	0.0124	0.0323	0.0033	0.0056
	Rojizo	0.0495	0.1291	0.0131	0.0222

Un segundo grupo de accesiones de color del tallo verde purpura, color de la pulpa del tubérculo de raíz amarillo crema, forma napiforme del tubérculo de raíz y rizomas de color rojizo. La variabilidad explicada por este grupo fue del 63.95%

En el grupo tres, se encuentran las accesiones de color externo del tubérculo de raíz morado; interno amarillo. En este grupo, el 53,71% de la variabilidad es explicada por estos dos caracteres.

En el cuarto y último grupo están las accesiones con color del tallo verde oscuro, tubérculos de raíz de color externo morado y napiforme.

3.4.5 Otras variables morfoagronómicas evaluadas.

- Fenología: en el proceso de manejo agronómico de las accesiones introducidas en la colección de trabajo *ex situ* de germoplasma en Dosquebradas Risaralda, se determinaron los tiempos promedios de las fases fisiológicas de las plantas (Tabla 28).

Tabla 26 Duración de las fases fenológicas de las accesiones de *Smallanthus sonchifolius* colectadas en promedio

Característica	Tiempo en días	Tiempo acumulado desde la siembra (días)
Brotamiento de las yemas	15	15
Floración	125	150
Cosecha	250	290

3.4.6 Entomofauna asociada al cultivo.

Las plantas de yacón tienen una apariencia succulenta y gran número de flores vistosas, lo que podría atraer a un gran número de insectos; pero a la vez sus hojas son corchosas y pilosas, su tallo duro y piloso y sus flores no tiene olor aparente, por lo que es más una planta con alto grado de rusticidad que soporta grandemente los problemas de plagas y enfermedades. Los insectos, que visitaron las plantas de la colección, fueron en su gran mayoría benéficos, entre depredadores y polinizadores. (Figura 18)

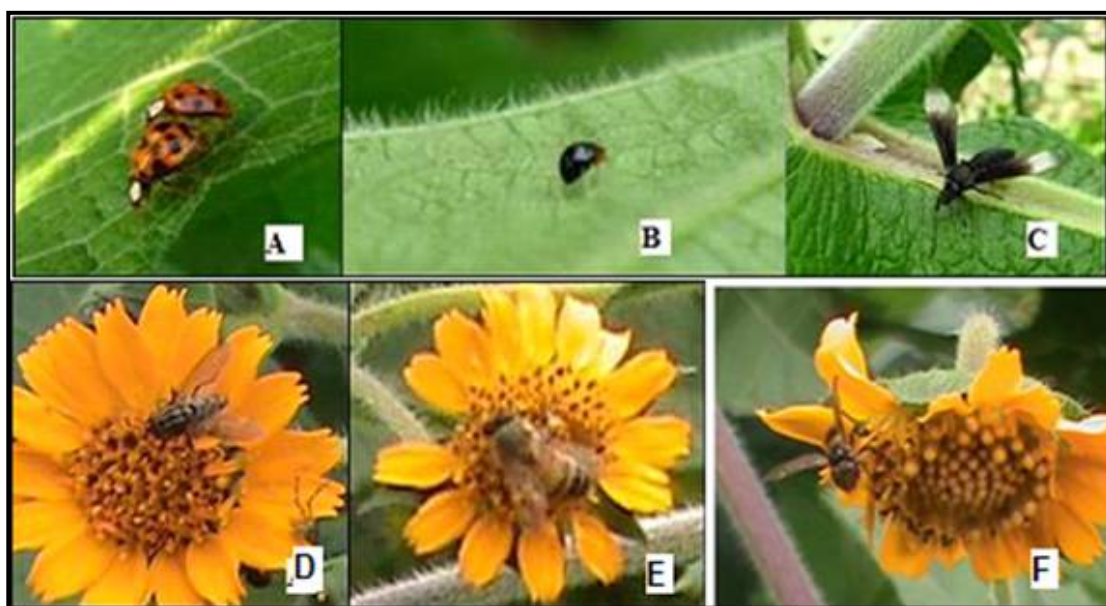


Figura 18 Insectos benéficos asociados al yacón A) *Hippodamia convergens*, B) *Olla* sp. C) *Entypus* sp., D) *Tachinidae*, E) *Apis mellifera*, F) aveja angelita *Tetragonisca angustula*. Foto Autor

El problema plaga que en las etapas iniciales afecto severamente a las plántulas fue un perforador de ramas, de la orden lepidóptera, familia *Tortricidae*, que se introduce en el punto de inserción de la rama con el tallo, cuando la rama esta brotando, en esas etapas tempranas de la planta, puede causar su muerte. (Figura B). En la tabla 28 se presenta los órdenes y familias de los insectos más importantes que se identificaron en las plantas.

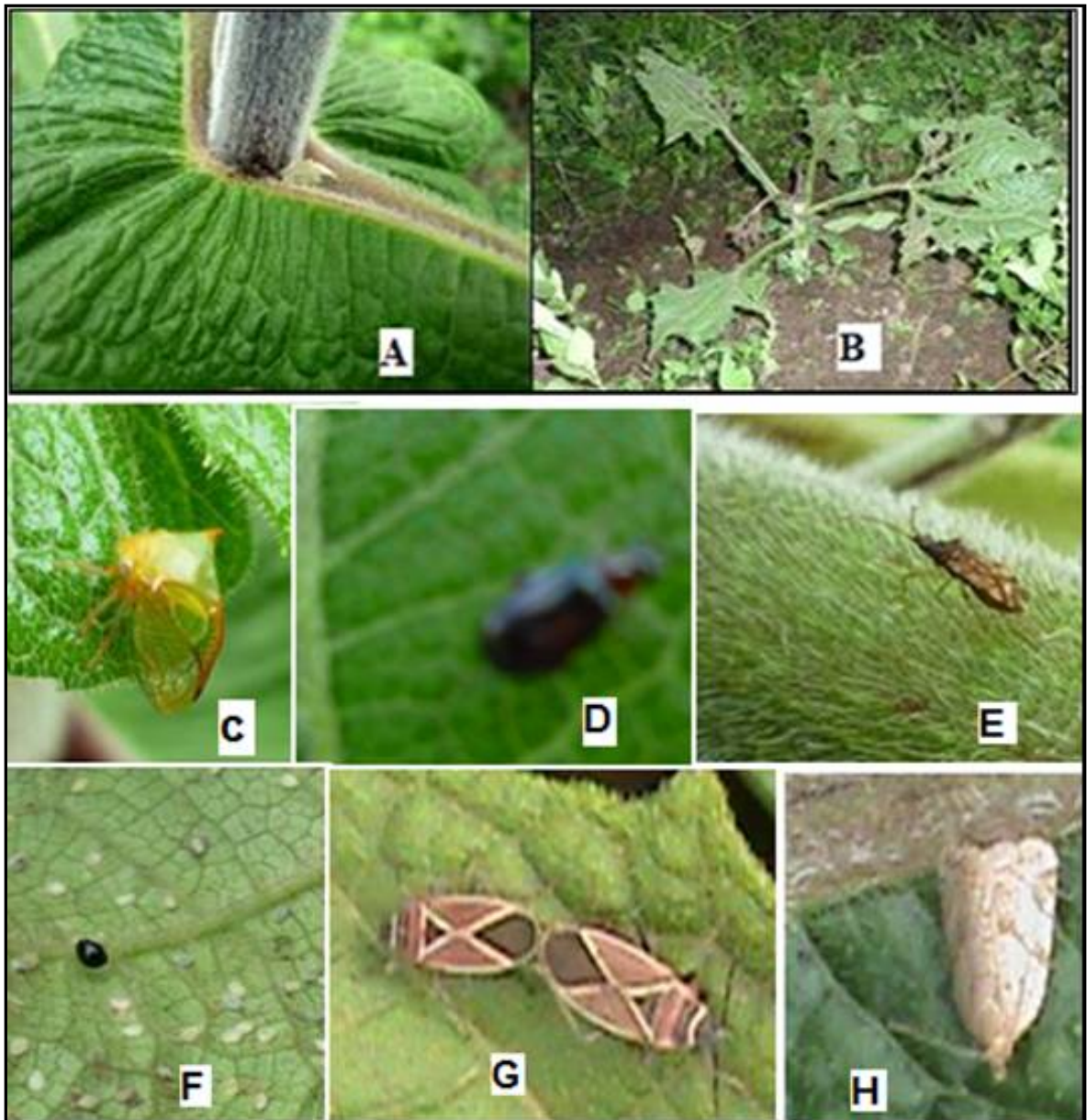


Figura 19 Daños causado al yacón por un Lepidóptero del a Familia Tortricidae. A) Ataque inicial al salir la rama, B) Planta en sus fases iniciales severamente afectada, c) Homóptero Membracidae D) Coleóptero, Chrysomelidae, E) Hymenptero, Pompilidae, F) Homóptero, Aphididae G) Hemíptero Pyrrhocoridae H) Lepidoptero Tortricidae. Fotos: autor

Tabla 27 Entomofauna asociada a *Smallanthus sonchifolius*

Orden	Familia	Genero
Benéficos		
Coleoptera	Coccinelidae	<i>Hippodamia</i> sp, <i>Olla</i> sp.
Diptera	Tachinidae	
Himenóptera	Apidae	<i>Apis mellifera</i>
Himenóptera	Pompilidae	<i>Entypus</i> sp
Plagas		
Coleóptera	Chrysomelidae	<i>Altica</i> sp.
Díptera	Agromizidae	<i>Lyriomisa</i> sp
Lepidóptera	Tortricidae	<i>Platinota</i> sp
Hemíptera	Pentatomidae	<i>Nezara</i> sp
Hemíptera	Pyrrhocoridae	<i>Dysdercus</i> sp
Hemíptera	Miridae	<i>Collaria</i>
Homóptera	Aleiroide	<i>Aleurothrixus</i> sp
Homóptera	Aphididae	<i>Aphis</i> sp
Homóptera	Membracidae	<i>Ceresa</i> sp

3.4.7 Enfermedades que afectaron al cultivo.

El yacón es aparentemente muy rústico y casi no se ve muy afectada por las enfermedades. Uno de los materiales ya afectado propagó fuertemente una infección de *Agrobacterium tumefaciens*, causando grandes deformaciones en todas las partes aéreas de la planta (Figura 20)



Figura 20 A) Rama afectada por *Agrobacterium tumefaciens* B) Planta severamente afectada por *A. tumefaciens*. Fotos autor

3.4.8 Peso de las hojas secas

Entre el 55.7% y el 60% del peso de la hoja es agua. Esta información es importante para realizar los cálculos en el proceso de comercialización de las hojas secas.

3.4.9 Extracción del Jarabe de yacón

Por kilogramo de tubérculos de raíz de yacón se obtienen 70 gr de jarabe al 65% de grados brix en promedio

3.5 CARACTERIZACIÓN MOLECULAR DE LAS ACCESIONES DE YACÓN

Los seis primers generaron 86 bandas polimórficas, número suficientemente confiable para la realización de los análisis estadísticos.

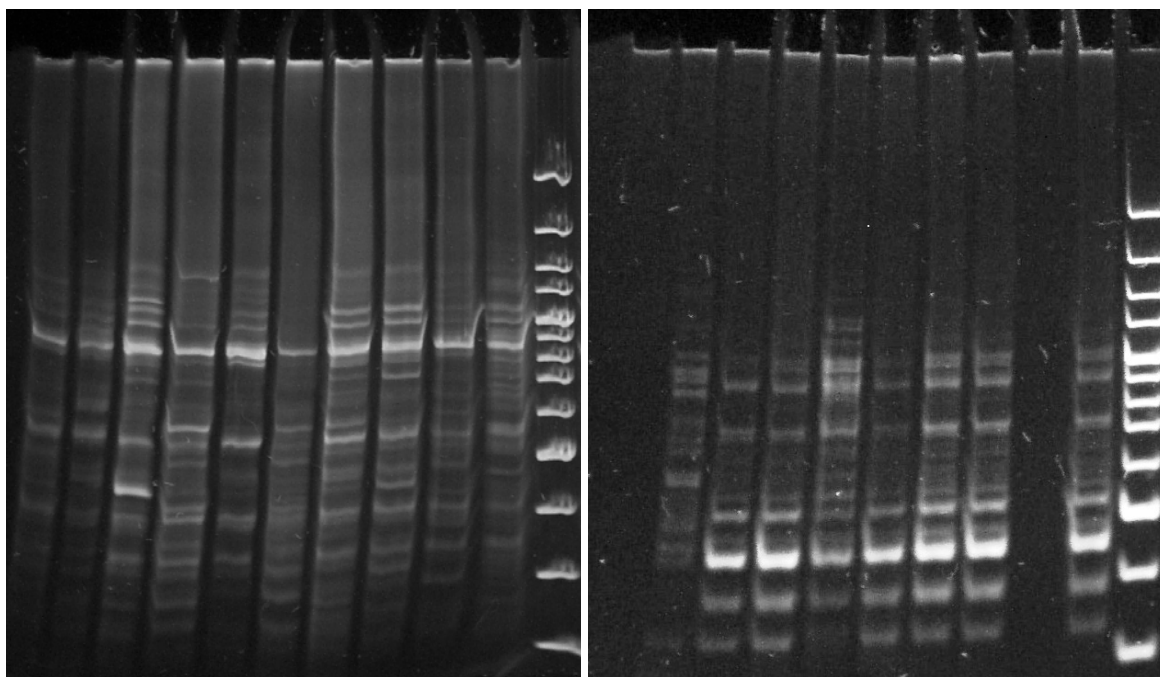


Figura 21 Patrones de bandas generadas por el primer CGA (izquierda) y CT (derecha) en las 10 accesiones de *S. sonchifolius*, en geles de acrilamida al 6%.

En el dendograma (Figura 22) se observa cuatro grupos con una similaridad del 68%. En un primer grupo se encuentran las accesiones de Calarcá y Santa Rosa de Cabal. En el segundo las de El Dovio, Pereira, Neira, Rio Sucio y Trujillo, en el tercer grupo Salento y Palo cabildo. Finalmente el cuarto está conformado por la accesión de Ibagué

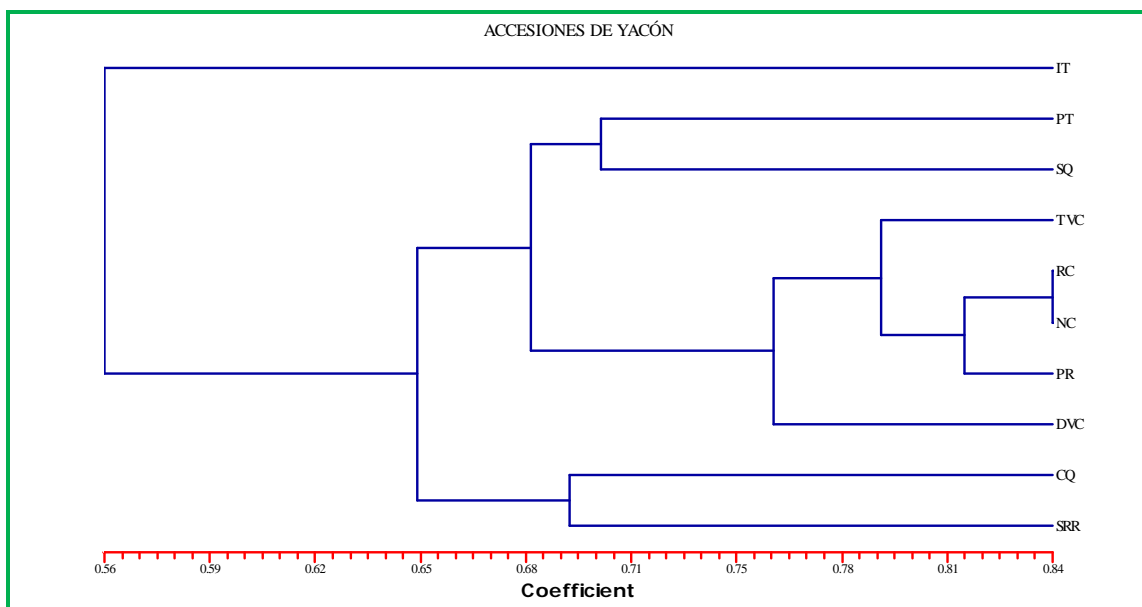


Figura 22. Dendrograma de análisis molecular de accesiones de yacón

El agrupamiento es coherente con ciertos caracteres morfológicos cualitativos de las plantas, como la forma de la hoja; la única accesión diferente, con la base de la hoja truncada fue la accesión de Ibagué, que en dendrograma la clasifica sola en un grupo.

Las accesiones del grupo conformado por el Dovio, Trujillo, Pereira, Neira y Rio Sucio, son plantas con tallos púrpura a verde oscuro y hojas verde oscuro.



Figura 23 Coloración verde púrpura de los tallos y verde oscura de las hojas de yacón. Foto autor

El grupo conformado por las accesiones de Calarcá y Santa Rosa de Cabal, se caracteriza por poseer tubérculos de raíz con color externo de morado a crema y la pulpa crema. Las características que hacen cercanos las accesiones de Salento y Palocabildo son forma (napiforme), el color externo crema y el interno amarillo crema. (Figura 24)

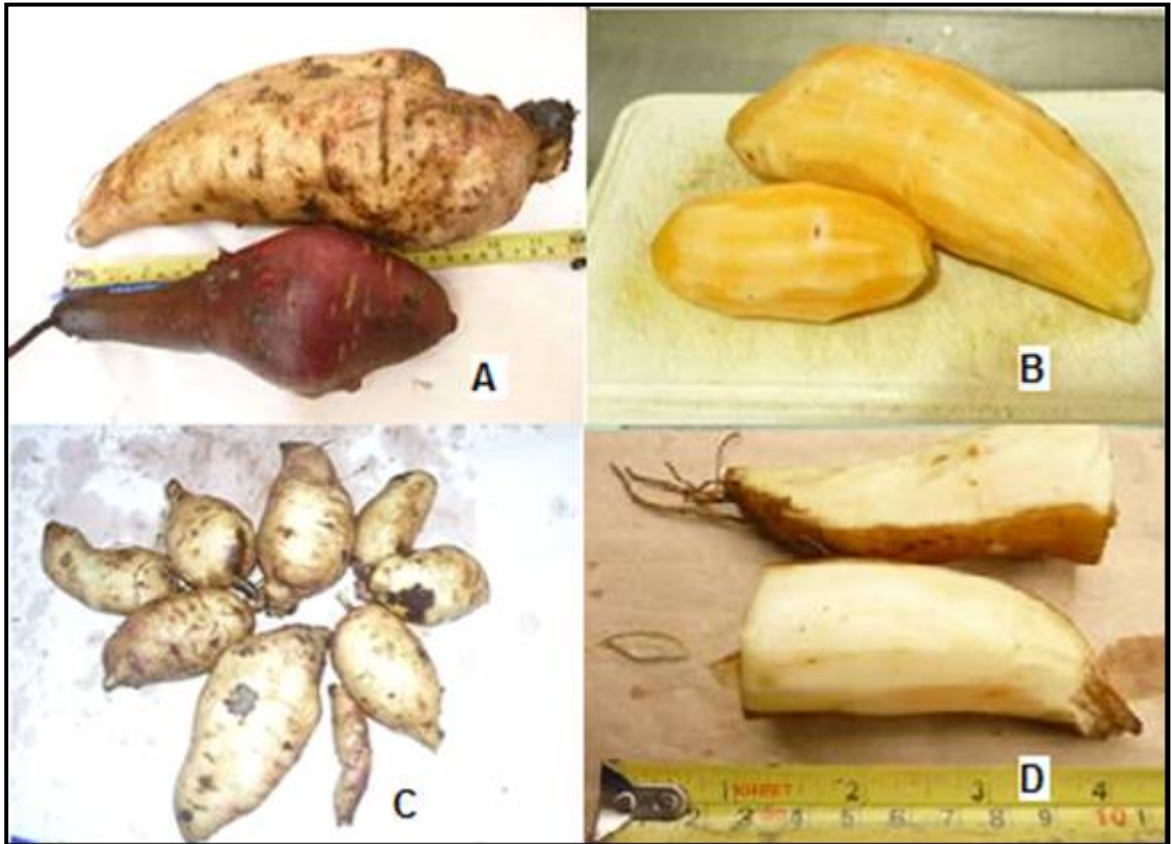


Figura 24 Izquierda color externo y forma tuberosa, B) color interno crema, C) forma napiforme y color externo crema, D) color interno amarillo crema. Fuente autor

En la figura 25 se observa el análisis de correspondencia múltiple realizado para los caracteres cualitativos de las diferentes accesiones, permitió analizar la conformación de grupos en cada uno de los cuadrantes, esta información indica que en el germoplasma existe caracteres importantes, puede servir para la selección de posibles parentales con caracteres cualitativos deseables para mejoradores, agricultores y consumidores

Análisis de Correspondencia Múltiple para Acciones.

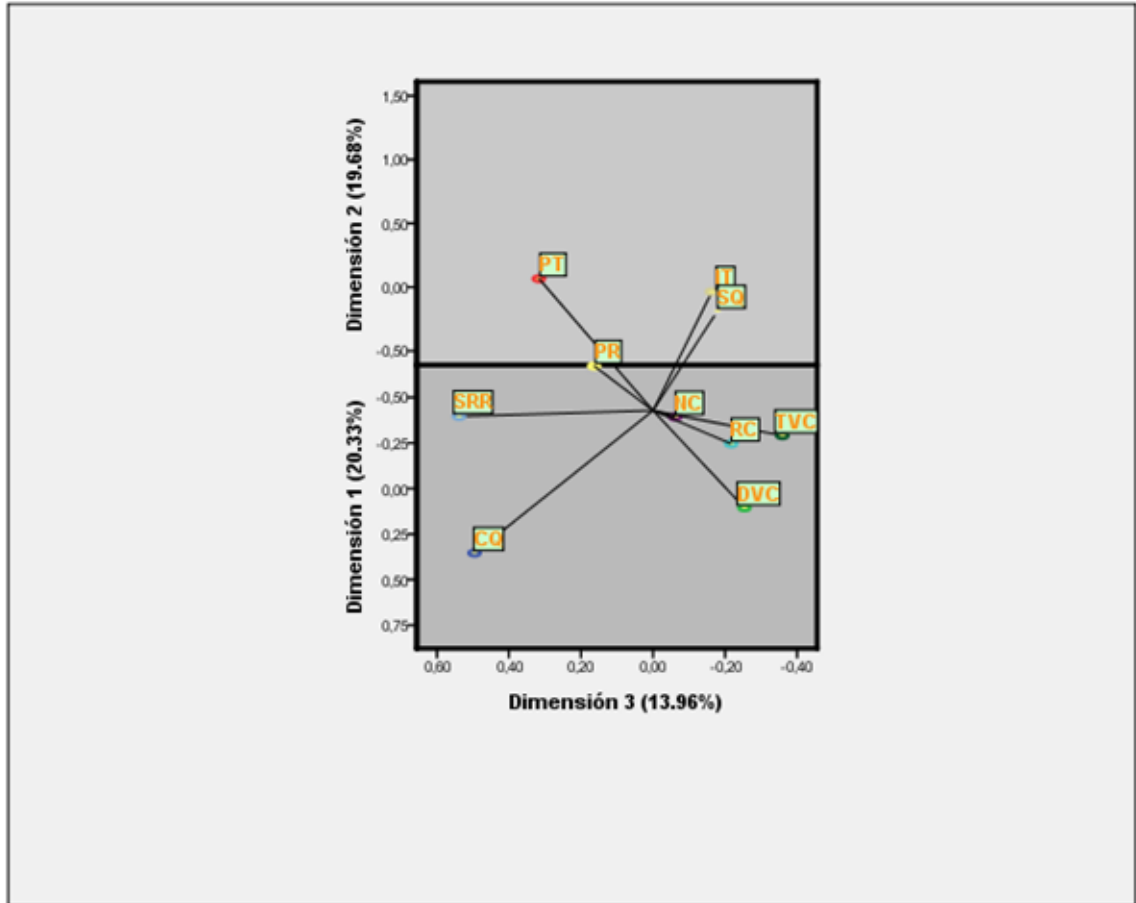


Figura 25. Análisis de correspondencia múltiple para acciones

CONCLUSIONES

La planta de yacón presenta un amplio rango altitudinal de adaptación, que va desde los 1000 m. a los 2400 m. sobre el nivel del mar, obteniéndose los mayores rendimientos en peso de tubérculos, entre los 1120 y 1693 m.s.n.m., que coinciden con la zonas de producción de café en Colombia. Puede ser una alternativa de diversificación o sustitución del café.

Todos los caracteres cuantitativos exhibieron diversidad. El análisis de cluster conformo tres grupos. Con una contribución 58.77% de los atributos de los tubérculos de raíz, en el componente rendimiento en peso de los tubérculos, se agruparon en un primer cluster las accesiones, que proceden de Calarcá, El Dovio, Ibagué, Neira y Rio sucio. Un segundo grupo con un porcentaje de contribución del 23.87% para el atributo plantas doble propósito, las accesiones de Salento, Santa Rosa de Cabal y Trujillo. En el tercer grupo con el 17.36% para el atributo plantas exuberantes, se encuentra la accesión procedente de Pereira, la cual presenta la mayor altura, mayor cantidad de hojas, ramas (20 en promedio) y hojas caídas, pero es la de menor peso y diámetro de sus tubérculos. Se concluye que las accesiones del grupo uno, son las más apropiadas para la producción de tubérculos, las del grupo dos, para la producción doble propósito (Tubérculos y hojas) y la accesión del grupo tres, para la producción de hojas.

El análisis de correlación con respecto al rendimiento de la planta en peso de tubérculos, los caracteres con mayor correlación positiva fueron, el numero de tubérculos y el diámetro ($r=0.8382$. y 0.8654 respectivamente). En cambio aquellos descriptores relacionados con la exuberancia de la planta como numero de ramas, número de hojas por rama, ancho de la hoja y producción de capítulos florales son los que más influyen negativamente, sobre el peso final de los tubérculos.

El análisis de correspondencia múltiple, que evaluó la variabilidad de los materiales en correspondencia con los descriptores morfoagronómicos cualitativos, clasificó los materiales colectados en cuatro grupos.

Los datos moleculares diferenciaron cuatro grupos que guardan concordancia con los caracteres morfológicos cualitativos que difieren en color del tallo y hojas, color externo e interno de los tubérculos como de la forma del tubérculo y ratifica que la accesión procedente de Ibagué Tolima es diferente.

El análisis de correspondencia múltiple realizado para los caracteres cualitativos de las diferentes accesiones, suministra información que indica que en el germoplasma existe caracteres importantes, que puede servir para la selección de posibles parentales con caracteres cualitativos deseables para mejoradores, agricultores y consumidores

BIBLIOGRAFIA

- A Narai-Kanayama, N. T. (2007). Dependence of Fructooligosaccharide Content on Activity of Fructooligosaccharide-Metabolizing Enzymes in Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Tuberous Roots during Storage. *Journal of Food Science*, 72(6), , 381.
- Acero, D. L., & Barrera, M. N. (1996). *Chachafruto o Balú. Erythrina edulis T, Cultivo y aprovechamiento*. Bogotá, Colombia.
- Alvarez, Z. R. (1975). *Adaptación de dos variedades de porte enano de higuera Hale y Beber en Moniquirá-Boyacá*. Bogotá.
- Arango. (2008). Cuatro insumos para el desarrollo sostenible de la Ecorregión Eje Cafetero. En CARDER, *Hacia el desarrollo sostenible en la Ecorregión Eje Cafetero. Memorias Foro Regional, Evaluación de la Política Ambiental y Perspectivas del SINA en la Ecorregión* (págs. 43-96). Pereira: CARDER.
- Arango, G. O. (2008). Eco-región Eje Cafetero: Una experiencia de Desarrollo Regional en Colombia. *ACE Arquitectura, Ciudad y Entorno* , 1999-220.
- Aranzazu, H. y. (2002). *El Cultivo del Plátano*. Manizales. Colombia: CORPOICA.
- Arbizui, C. (12 de 02 de 2010). *PERUNATURAL.net, Revista de Medicina Natural* . Recuperado el 18 de 3 de 2010, de <http://www.perunatural.net>
- Asami, T., Kubota, M., & Minamisawa, K. a. (1989). Chemical composition of yacón, a new root crop from the Andean Highlands. *Soil Sci. Plant Nutri* , 122-126.
- Aybar, M., Sanchez, R., Grau, A., & Sanchez, S. (2001). Hypoglycemic effect of the water extract of *Smallanthus sonchifolius* (yacón) leaves in normal and diabetic rats. *Journal of ethnopharmacology* , 125 - 132.
- Bohorquez, A. J. (1995). *Producción de Cultivos II*. Bogotá.
- Boisier, E. S. (2008). Fundamentación teórica de la planificación y desarrollo territorial. En R. H. Rodríguez, *Cuaderno de clase No. 1. Desarrollo regional y planificación territorial* (págs. 33- 96). Manizales- Colombia: Universidad Autónoma de Manizales.
- Bustillo, P. y. (1998). *Manejo Integrado de la Broca del Café en Colombia*. Chinchina. Colombia: CENICAFÉ.

Cadavid, M., & Mosquera, V. (2007). *Estimacion de un mecanismo de valoración de un incentivo por el recambio de y/o conservación de usos del suelo en la parte media de la cuenca del río Otún*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias Ambientales.

CARDER . (2002). *Agenda ambiental del Municipio de Pereira*. Pererira: Opciones Gráficas Editores Ltda.

CARDER . (15 de SEP de 2010). *CARDER* . Recuperado el 15 de Septiembre de 2010, de www.carder.org

CARDER. (2007). *Agenda para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Eje Cafetero - Colombia 2007-2019*. Pereira. Colombia: INCUBO.

CARDER. (2002). *Ecorregión Eje Cafetero un Territorio de Oportunidades*. Pereira: CARDER.

CARDER; Gobernación de Risaralda, Universidad Tecnológica de Pereira y CATIE. (2006). *Plan de desarrollo forestal del departamento de Risaralda*. Pereira: Centro de recursos informaticos y educativos CRIE - UTPE.

CARDER-PNN (Corporacion Regional de Risaralda-Parques Naturales Nacionale). (2008). *Plan de ordenacion y manejo de la cuenca hidrográfica del río Otún*. Pereira Colombia.

Castellanos, C. (1999). *Manejo Integrado del cultivo de cebolla rama (Allium fistulosum) para el Departamento de Risaralda*. Pereira: Universidad de Caldas, Facultad de Cs. Agropecuarias, Maestría en Agroecología.

Castillo, A. M., & Vidal, M. S. (23 de Enero de 2009). *Producción Farmacéutica*. Recuperado el 26 de Julio de 2010, de El Yacón: Una Nueva Alternativa en la Prevención y Tratamiento de la Salud.: http://produccionfarmaceutica.blogspot.com/2009/01/el-yacn-una-nueva-alternativa-en-la_23.html

Castro, I., & Lerida, L. (2000). *Agrotecnología para el cultivo de la Sábila o Aloe*. Bogotá.

Castro, I., & Lerida, L. (2000). *Agrotecnología para el cultivo de Sábila o Aloe*. Bogotá.

Castro, J. (2002). *La Cuestión Territorial*. Bogotá: Oveja Negra.

Celedón, M. A. (2000). *Curso básico de agricultura para clima cálido*. Bogotá.

- Celedon, M. A. (2000). *Curso Básico de Agricultura para Clima Cálido*. Bogotá. Colombia.
- Chacon, A. (2006). Perspectivas agroindustriales actuales de los oligofruetosacáridos (FOS). *Agronomía Mesoamericana*. Vol. 17, No. 2 , 265 - 280.
- Chaparro, C. A., & Suescum, C. J. (1996). *Estudio Exploratorio sobre fertilización en Espárrago Asparagus officinalis en Combita- Boyaca*. Bogotá. Colombia.
- Chaparro, C., & Suescum, C. (1996). *Estudio Exploratorio sobre fertilización en Espárrago Asparagus officinalis en Combita- Boyacá*. Boyacá.
- Chávez, F., Jiménez, G., Pinzon, D., & Hernández, U. (2002). *El Yacón y su aprovechamiento industrial*. Armenia: Universidad del Quindío. Línea de Agroindustria y poscosecha de productos tropicales.
- CIAT Centro Internacional de Agricultura Tropical. (2004). *Curso Multi-institucional a Distancia sobre conservación ex situ de Recursos Fitogenéticos. Modulo 4*. Cali.: CIAT- IPGRI- Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, REDCAPA.
- Cordova, A. G. (2006). Identificación y evaluación agronómica de los biotipos de Yacón (*smallanthus sochifolius*) en la microcuenca la. *Universalía* , 13 - 22.
- Coronel, Y. R. (2009). *Patrones de relación entre información biológica e información física y socioeconomica. Cuenca alta del río Otún, Risaralda Colombia* . Bogotá: Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Magister en Hidrosistemas, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingenierías.
- CORPOCALDAS. (2001). *Plan de Gestión Ambiental Regional para Caldas* . Manizales: CORPOCALDAS.
- CORPOICA. (2003). *Resumen Ejecutivo Plan Estratégico Plátano 2003*. Recuperado el 23 de 06 de 2010, de CORPOICA: <http://www.corpoica.org.co>
- CORPOICA. (1994). *El Cultivo del Plátano y su Perspectiva en el Piedemonte Llanero*. Bogotá. Colombia .
- Correa, G. F. (1987). El Cultivo de la Habichuela. *Revista ESSO Agrícola*. ESSO Agrícola , 34 (2), 18.
- Cuarán, G., & Fajardo, J. (2008). Extracción, cristalización y caracterización de inulina a partir de yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) para su utilización en la industria alimentaria y farmacéutica. *Facultad de Ciencias Agropecuarias Vol. 6 No. 2* , 14-20.

Durán, R. F. (2003). *Cultivo de Plantas Aromáticas y Medicinales. Manual de Cultivos Orgánicos y Alelopatía*. Bogotá. Colombia.

Escobar, G. G., Lopez, M., & Puerta, G. (2010). *Formulación de una propuesta sostenible para la surregión centro sur del Departamento de Caldas. Trabajo de grado para optar al título de Magister en Desarrollo Regional y Planificación Territorial*. Manizales : Universidad Autonoma de Manizales. Facultad de Estudios Sociales y Empresariales .

FAO (Food and Agricultural Organization). (1996). *Global Plan of Action for the Conservation and Sustainable Utilization of Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*. Rome. P 63.

FAO. (2010). *Sistemas de producción agropecuaria y pobreza*. Recuperado el 18 de 09 de 2010, de FAO: <http://www.fao.org/DOCREP/003/Y1860S/y1860s09.htm#zz>

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Centro Nacional de Investigaciones del Café "CENICAFE. (2008). *Disciplina de Agroclimatología. Archivos Climáticos*. Chinchina Caldas.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. . (2005). *El Cultivo del Plátano en Zona Cafetera. Colombia*. Bogotá.

Ferreira, M., & Grattapaglia, D. (1998). *Introducción al uso de marcadores moleculares en el analisis genetico*. Brasilia, DF: EMBRAPA-CENARGEN.

Fon Quer, P. (1970). *Diccionario de botánica*. . Barcelona. España: Labor.

Franco, T., & Hidalgo, R. (2003). *Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de los Recursos Fitogenéticos* . Cali Colombia: IPGRI.

Garcia, G. M. (2009). *Identificación de escenarios de calidad de habitat para la fauna silvestre. Caso de estudio; Cuenca media y alta del Río Otún. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de magister en hidrosistemas*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de ingenierias. Magister en Hidrosistemas.

Garcia, P. R. (2003). *Estudio fitoquimico y nutricional de Smallanthus sonchifolius (Poepp. & Endl). H. Robinsosn. Distribucion geografica y adaptacion del vegetal en tres pisos termicos colombianos. Tesis programa de biología*. Ibague. Tolima. 106 pag.: Universidad del Tolima. Facultad de Ciencias.

Giraldo, H. E. (1999). *La Guadua Una alternativa sostenible*. Armenia: Corporacion Autonoma Rregional del Quindio CRQ.

Giraldo, O. (2007). *Propuesta de gestión para el desarrollo de una región metropolitana en la Ecorregión Eje Cafetero. Trabajo de Grado para Optar al Título de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo Facultad de Arquitectura e Ingeniería.* Manizales: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

Gomez, L. (2008). Políticas públicas y Gestión Territorial. En R. Rodríguez, *Cuaderno de Clases No. 1 Desarrollo regional y planificación territorial* (págs. 97-124). Manizales: Artes Graficas Tizan Ltda.

Grau, A., & Rea, J. (1997). Yacon *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl) H. Robinson. En M. H. Hermann, *Andean roots and tubers: Achipa, arracacha, maca and yacon. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 21. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/Internatioanl Plant Genetics Resources Institute.* (págs. 199- 242). Rome.

Guerrero, H. (2007). *Competencias Laborales. Vicerrectoría académica, Grupo de Evaluación Académica.* Bogotá: UNAD.

Guzman, S., & Palacios, M. (2008). *Instrumentos de política para gestión de servicios ecosistémicos en agorecosistemas cebolleros de la cuenca del río Otún, Colombia .* Pereira, Colombia: CIEBREG, Instituto Alexander von Humboldt, Grupo Políticas intersectoriales.

Guzmán, S., & Palacios, M. (2007). *Línea base de instrumentos de políticas para gestionar bienes y servicios ambientales en sistemas productivos .* Bogotá, Colombia: CIEBREG. Instituto Alexander von Humboldt. Grupo políticas intersectoriales.

Henao, T. M. (2001). Caracterización de algunos de los suelos derivados de cenizas volcánicas de la zona cafetera central. En P. U. GTZ, *Suelos del Eje Cafetero* (págs. 57-77). Pereira: Fondo Editorial.

Hernández, U. (2004). *Ensayos de adaptación del yacón en zona cafetera.* Tesis de Maestría de Agroecología., Universidad de Caldas, Manizales.

Hidalgo, R. (2003). *Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. Boletín técnico No. 8.* Cali. Colombia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI).

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, . (1983). *Hortalizas. Manual de asistencia técnica No. 28 .* Bogotá: ICA.

Jaramillo, R. A. (2005). *Clima Andino y Café en Colombia, .* Chinchina, Caldas: CENICAFE.

Jaramillo, R. A. (1997). *Climatología de las regiones Andinas de Colombia*. Chinchina, Colombia: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, CENICAFE.

Leon, V. G. (2007). *Control de Plagas y Enfermedades en los Cultivos*. Bogotá. Colombia: Grupo Latino Editores.

Lizárraga, L., Ortega, R., Vargas, W., & y Vidal, A. (1997). Cultivo de yacón (*Polymia sonchifolia*). en Resúmenes Curso Pre Congreso. *IX Congreso Internacional de Cultivos Andinos*, (págs. 65-70). Cusco, Peru.

Lobo, A. (2006). Recursos genéticos y mejoramiento de frutales andinos: una visión conceptual. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria. CORPOICA*, 40-54.

Londoño, T. (2007). Estandarización de técnicas para la producción in-vitro de Yacón (*Smallanthus sonchifolius*) y Curcuma (*Curcuma longa* L). *Investigaciones de Unisar. Vol. 5 No. 1*, 12-18.

MADR. (2003). *Acuerdo de Competitividad de la Cadena Productiva del Plátano en Colombia*. Ministerio de Agricultura,. Bogotá.

MADR. (2008). *Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2008 Evaluaciones Agropecuarias Municipales. Secretarías de Agricultura Departamentales - UMATA. Años 2006, 2007 y 2008 Convenio MADR - CCI*. Bogotá.

Maestre, F. (19 de Septiembre de 2007). *Hongos tropicales*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2007, de <http://www.engormix.com>

Manrique, I. H. (2004). *Yacón Ficha Técnica*. . Lima, Perú : Centro Internacional de la Papa CIP.

Manrique, I., Párraga, A., & Hermann, M. (2005). *Jarabe de yacón: Principios y procesamiento. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003) No. 8A*. Lima Perú: Centro Internacional de la Papa, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Fundación Erbacher, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.

Mansilla, S., Lopez, B., Blas, S., W.J, C., & Baudoin, J. (2006). Análisis de la Variabilidad molecular de una colección Peruana de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp & Endl) H. Robinson "Yacón". *Ecología Aplicada*. 5(1,2), 1-6.

Martinez, J., & Bernal, H. Y. (2000). *Fundamentos de Agrotecnología de Cultivo de Plantas Medicinales Iberoamericanas*. Bogotá. Colombia.

Martínez, M. L. (2004). *Instrumento de ordenamiento territorial y Urbano*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Artes.

Mayor, G. (2003). *Revista de investigación Copyrighth (©)*,. Recuperado el 15 de Agosto de 2010, de Instituto de Educación Técnica Profesional INTEP de Roldanillo Valle del Cauca, .

Mayta, P., Payano, J., Peláez, J., Pérez, M., Pichardo, L., & Puycán, L. (11 de 9 de 2004). *Imbiomed*. Recuperado el 19 de 12 de 2010, de Ciencia e investigación Médica Estudiantil Latinoamericana.: http://imbiomed.com/1/1/articulos.php?method=showDetail&id_revista=126&id_seccion=2047&id_ejemplar=3169&id_articulo=30904

Mendoza y Olarte Ltda. (1979). *Plan de desarrollo de Pereira y Dosquebradas, Contaminacion del río Otún, diagnostico y Recomendaciones*. Pereira: Mendoza y Olarte Ltda Consultores.

MinAmbiente. (2004). *Ministerio de Medio Ambiente, Corporaciones Regionales (CORPOCALDAS, CARDER CRQ, CVC, CORTOLIMA), FOREC, Corporación Alma Mater y otros. Ecorregión Eje Cafetero, Territorio de Oportunidades*. Pereira: CARDER 2 Edición .

Mizuno, A., Nakanishi, T., & K., a. N. (1993). Bacterial wilt of yacon strawberry caused by *Erwinia chrysanthemi*. *Ann. Phytopathol. soc. Jpn* 59 , 702-708.

Muñoz, J., Murillo, C., & Murillo, C. (2009). *Aplicaciones de la técnica de microsátelites amplificados al azar RAMs (Radom Amplified Microsatellites) en estudios de diversidad genética*. Palmira : Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.

Niness, K. (19 de Julio de 1999). *Experts 123*. Recuperado el 23 de 10 de 2010, de Inulin and oligofructose what are they? *J Nutr* 1999 Jul;129(7 Suppl)1402S-6S: <http://www.experts123.com/q/niness-kr-inulin-and-oligofructose-what-are-they.html>

Ordoñez, S. (1997). *Estudio en las Enfermedades Fungosas del Espárrago Asparagus officinalis en predios de la Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia*. Tunja. Colombia: Universidad Pedagógica de Tunja.

Orejuela, G. (2009). *Valoración de la biodiversidad en la Ecorregión del Eje Cafetero*. Pereira: PUBLIPRINT Ltda.

Osorio, G. (1991). *La higuera y su situación actual en Colombia*. Medellín. Colombia: ICA.

Perez, A. J. (2000). *Cultivos II (Hortalizas y Frutales)*. Bogotá. Colombia: UNAD.

Piacente, P. J. (15 de Abril de 2010). *Innatia*. Recuperado el 2 de Agosto de 2010, de Jarabe de yacón, un poderoso edulcorante natural: <http://www.innatia.com/s/c-yacon/a-propiedades-jarabe-yacon.html>

Pizano, D. (2001). *El café en la encrucijada. Evolución y Perspectivas*. Bogotá: Alfaomega.

Restrepo, B. (20 de Junio de 2004). *Formación investigativa e investigación formativa: Aceptaciones y operacionalizaciones de esta última*. Recuperado el 20 de Junio de 2010, de http://hermesoft.esap.edu.co/esap/hermesoft/portal/home_1/rec/arc_3529.pdf

Restrepo, G. A. (2010). *Estudio Gerencial de Proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio Forestales en la Cuenca del Río Otún y su Área de Amortiguamiento. Trabajo presentado como requisito de Grado para optar al título de Magister Ambiental*. Medellín : Universidad de Antioquia. Corporación Académica Ambiental.

Rivera-Rondon, C. E. (2009). Efecto de los sistemas productivos sobre la calidad del agua y la diversidad en los ríos de la Ecorregión Cafetera. En J. M. Rodríguez, *Valoración de la biodiversidad en la Ecorregión del Eje Cafetero* (págs. 110-126). Pereira: CIEBREG - PUBLIPRINT LTDA.

Rivera-Rondon, C., & Valderrama, L. o. (2009). Efecto de los sistemas productivos sobre la calidad del agua y la diversidad en ríos de la Ecorregión Cafetera. En J. y. Rodríguez, *Valoración de la Biodiversidad en la Ecorregión del Eje Cafetero* (pág. 238). Pereira, Colombia: CIEBREG.

Rodas, A. (05 de Marzo de 2009). *Gestiopolis.com*. Recuperado el 17 de Septiembre de 2009, de <http://www.gestiopolis.com/administracion-estrategia/sina-sistema-nacional-ambiental-ecoregional.htm>

Rojas, C. (2009). *Introducción a la gestión integrada del recurso hídrico (GIHR) Conceptualización del Gihr y el Género*. Recuperado el 28 de 06 de 2010, de http://publicacion05.unipamplona.edu.co/hidroinformatica/portal/home_1/rec/arc_707.pdf

Roldan, F. E. (2009). Evaluación del efecto de los diferentes usos del suelo sobre grupos funcionales microbianos edáficos en la Ecorregión Cafetera Colombiana. En R. J. M., *Valoración de la Biodiversidad de la Ecorregión del Eje Cafetero* (pág. 238). Pereira Risaralda: CIEBREG.

Rural, M. M. (2005). *La Cadena del Plátano en Colombia. Documento de trabajo N° 61. Observatorio de cadenas productivas*. Bogotá.

Saralequi, R. (27 de Junio de 2006). Con el ritmo del Caracol. Productores locales participan de feria alimenticia en Italia. *La Nación, de Miami*, pág. 1.

Seminario, J., Valderrama, M., & Manrique, I. (2003). *El Yacon: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio*. Lima, Peru. 60 pag.: Centro

Internacional de la Papa (CIP). Universidad Nacional de Cajamarca. Agencia Suisa para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE).

SENA. (2003). *Sistema nacional de formación para el trabajo. Enfoque colombiano*. Servicio Nacional de Aprendizaje, Bogotá.

Tafur, R. (13 de Febrero de 2010). *Nutricion y recetas.com*. Recuperado el 12 de Marzo de 2010, de La cantinflora del Ica: http://www.nutricionyrecetas.com/andino/la_cantimplora_del_inca.htm

Tobon, S. (2006). *Formación basada en competencias. Pensamiento complejo, diseño curricular y didáctica*. (Segunda edición ed.). Bogotá: ECOE.

Torres, M. (24 de Abril de 2004). *esteviacolombiana.com*. Recuperado el 15 de 12 de 2009, de Edulcurantes Naturales. Investigación de mercados de edulcurantes naturales. Proyecto, Conservación y uso sostenible de la biodiversidad en los Andes. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos. Alexander von Humboldt: <http://www.esteviacolombiana.com/Biblioteca/Mercadeo/dos.pdf>

Trejos, G., Isaza, V., & Paredez, C. (2003). Estrategias para disminuir la contaminación por organismos bacterianos patógenos, en la fuente abastecedora de agua del acueducto de la ciudad de Pereira. *Scientia et Technica*, 6.

UNAD. (2006). *Acuerdo No. 015 del 13 de diciembre de 2006*. Bogotá: UNAD.

Uribe, G. (2009). La Dimensión Ambiental en la Construcción de la Ecorregión Eje Cafetero. En J. C. Rodríguez, *Valoración de la biodiversidad en la Ecorregión Eje Cafetero*. CIEBREG (págs. 21-40). Pereira: PUBLIPRINT.

UTP UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA. (1998). *Diagnóstico de la calidad del agua de los ríos Otún, San Eugenio, Consota, Risaralda, quebrada Dosquebradas*. Pereira : UTP.

Velez, A. (1997). *Plagas Agrícolas de Impacto Económico en Colombia: Bionomía y manejo integrado*. Medellín: Universidad de Antioquia.

Velez, S. (2009). *Actualidad y futuro de la arquitectura del Bambu en Colombia*. Recuperado el 25 de Julio de 2010, de <http://search.conduit.com/Results.aspx?q=la+guadua+en+la+zona+cafetera&meta=all&hl=es&gl=co&SearchSourceOrigin=10&SelfSearch=1&ctid=CT2431232>

Vignale, N., & Guarny, A. (2005). Identificación Micrográfica de las Hojas de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson (Asteraceae). *Acta Farm. Bonaerense* 24 (1): , 96-98.

Wilches, A. (2004). *Descripción de las herramientas moleculares y sus aplicaciones en la agricultura*. Guatemala, Guatemala: Universidad Rafael Landívar (Guatemala). Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente.

Wilches, M. A. (Septiembre de 2004). *infoiarna.org.gt*. Recuperado el 10 de 12 de 2010, de Descripción de las herramientas molculares y sus aplicaciones en agricultura:

http://www.infoiarna.org.gt/media/file/publicaciones/proprias/doc_tecnicos/15_Descripcion_herramientas_moleculares_aplicaciones.pdf

Zardini, E. (1991). Ethnobotanical Notes "Yacón" *Polymnia sonchifolia* (Asteraceae). *Economy botanic*. 45 (1) , 72 - 85.

ANEXOS

ANEXO A

FICHA DE REGISTRO CARACTERIZACION MORFOLOGICA DE YACON *Smallanthus sonchifolius*

Fecha: 09-11/2020		Departamento: <i>Bolívar</i>		Municipio: <i>Pereña</i>		Ficha No. <i>01</i>	
Finca: <i>Los Genaro</i>		Propietario: <i>Carlos Genaro</i>		Vereda: <i>La Florida</i>			
1. CONDICIONES AGROECOLOGICAS							
Altura S.N.M.: <i>2022</i>		T° Promedio: <i>18</i>		Precipitación: <i>2900</i>		HR%: <i>65</i>	Luminosidad: <i>4</i>
Características del suelo							
RELIEVE		Pendent e %	Prof efectiva cm	Textura	Drenaje		Impedimentos
Plano			<i>85</i> Profundo	Fr	Exc/te drenado		Piedra
Ondulado		<i>30</i>	<i>30</i> Media	A	Bien drenado		Hardpan
Pendiente		<i>20</i>	<i>50</i> Superficia	Ar	Dren moderado		Nivel freático
Color:		<i>Negro</i>		FA	Drenaje lento		Compactación
pH				Far	D. impedido		<i>Ninguna</i>
% Materia orgánica		<i>12</i>		Otra:			
2. MATERIAL VEGETAL							
Tipo		Tipo crecimiento		Características Tallo		Tipo de ramificación	
Criollas		<i>X</i> Monopodico		Longitud <i>85</i>		Apical	
Nativas		Simpodico		<i>X</i> Diámetro <i>20</i>		En todo el tallo <i>X</i>	
Mejoradas				Color <i>Verde oscuro</i>		Ausente	
Características de las hojas							
Forma		<i>Tri</i>	Traslape aurículas: <i>X</i>		Longitud: <i>26</i>		
División limbo		<i>As+</i>	Color ligula		Ancho: <i>29</i>		
Apice		<i>Arcu</i>	Forma ligula		N° hojas/Tallo <i>18</i>		
Base		<i>Acu+</i>	N° dientes ligula		Color: <i>Verde oscuro</i>		
Borde		<i>Acu</i>	Pubescencia				
Características Flores							
Color		Flores masculinas		Flores femeninas		Semillas	
N° capítulos /tallo		<i>32</i>	N° flores <i>75</i>	N° Flores <i>12</i>		N° semillas/inflorescencia <i>12</i>	
Diámetro capítulo		<i>2.5</i>	N° estambres <i>1</i>			Color <i>Cafe mdo</i>	
Longitud pedunculo		<i>6</i>	Long. Pedunculo <i>1</i>	Long. Pedunculo		Peso 100 semillas <i>2.5</i>	
						% Germinación <i>0</i>	
Característica tuberculos							
Peso total planta		Color cascara <i>Cafe crema</i>		Color propágulo <i>negro</i>			
Peso tuberculos		<i>100</i>	Color pulpa <i>crema</i>		Cantidad propágulos <i>15</i>		
Longitud X tuberculos		<i>22</i>	Consistencia <i>Dura</i>				
Diámetro tuberculos		<i>8</i>	Grados Brix				
Forma		<i>tuberosa</i>					
Observaciones Generales <i>Apreciada con cultivo de mora, en Agroecología</i>							

NEXO B

Libreta de campo

6

Sitio 1 Acoronados Murales 2

No	Espejo	Altura	Diám.	No. Tuberías	No. Acoronados	No. Tuberías	No. Acoronados	No. Tuberías	No. Acoronados	Long. Tubería	Long. Acoronado
1	12	100	3.5	2	22	18	10	30	20	12	10
2	8	52	2.0	2	10	14	8	32	25	15	15
3	12	101	3.0	2	24	18	9	25	20	12	12
4	10	101	2.5	3	22	16	12	30	20	15	15
5	8	96	2.0	4	18	14	6	35	22	20	20
6	10	97	2.2	2	20	16	8	32	25	18	18
7	10	92	2.2	2	18	16	8	32	20	12	12
8	12	128	2.5	4	24	16	10	32	25	15	15
9	6	97	2.0	2	22	16	10	33	20	20	20
10	20	124	3.5	2	24	16	10	32	20	30	30
198 de muros											
1	10	128	3.7	2	24	16	14	24	20	20	20
2	20	74	2.0	2	22	16	8	28	22	15	15
3	12	120	3.5	2	28	14	10	24	18	12	12
4	10	128	3.0	2	26	18	8	28	26	15	15
5	6	124	2.5	4	20	20	6	32	28	15	15
6	10	136	2.5	2	24	20	8	28	25	15	15
7	8	121	2.5	2	22	14	8	30	20	20	20
8	8	130	4.0	4	28	16	14	28	20	15	15
9	10	124	3.0	2	26	16	10	30	28	15	15
10		153	4.0	7	30	16	10	31	22	15	15
Abord. 2 2000											
1	20	114	4.	2	38	12	16	27	25	15	15
2	10	90	2	2	26	14	8	27	13	15	15
3	18	145	4	1	2	20	20	24	15	15	15
4	14	158	2.5	30	30	16	10	27	20	15	15
5	12	148	2.5	3	18	18	9	24	25	15	15
6	14	149	2.5	2	28	17	10	18	25	15	15
7	16	141	2	3	26	18	12	12	25	15	15
8	18	176	4	2	20	17	17	24	28	15	15
9	12	157	2	1	20	18	14	30	24	15	15
10	14	127	3	2	20	18	16	27	21	15	15