



**CARACTERIZACIÓN DE GERMOPLASMA DE TOPINAMBUR (*Helianthus
tuberosus* L.) POR APTITUD AGRONÓMICA E INDUSTRIAL**

Por

Ing. Agr. CECILIA REBORA

Tesis presentada como requerimiento parcial
para obtener el grado de

MAGISTER SCIENTIAE EN HORTICULTURA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

Facultad de Ciencias Agrarias

OCTUBRE 2008

DEDICATORIA

A Bernardo, Facundo y Malena.
A mi hermana Inés.

AGRADECIMIENTOS

A Carlos Passera, por invitarme a investigar en el tema.

A Horacio Lelio, por ser el apoyo constante e incondicional para que esta tesis avanzara. Fue el principal colaborador en los muestreos, un constante “escuchador” de dudas, entusiasta y alentador inagotable, constructor del jalón para medir la altura de las plantas....

A Claudio Galmarini, por animarse a dirigir la tesis de un cultivo nuevo, ante la no aparición de un especialista en el país. También por facilitarme la realización de los ensayos en el INTA La Consulta, y por su capacidad y compromiso en la labor de director de tesis.

A Marcelo Alberto, quien nos dio el curso de Estadística en la Maestría, y quedó condicionado a ser consultado en varias oportunidades. Siempre muy dispuesto a colaborar.

A Pablo Asprelli, por su ayuda con los análisis de agrupamiento y de componentes principales de los datos morfológicos.

A Tamara Perez Valenzuela y Alejandro Ander-Egg, pasantes de investigación, que colaboraron en distintas etapas del trabajo experimental.

A Ariel Barros, compañero de trabajo en Agricultura Especial, que también colaboró en algunas tareas de campo.

A Orlando Pegorín, personal de campo encargado de la parcela de Agricultura Especial en la facultad, quien fue un apoyo constante, y manifestó mucha dedicación y cariño en su colaboración con la conducción de las parcelas experimentales.

Al personal de campo del INTA La Consulta y especialmente a Héctor Fuligna, quien fue el principal colaborador en la conducción de las parcelas de campo en la EEA La Consulta.

A la Secretaria de Ciencia, Técnica y Posgrado de la UNCuyo por otorgarme una beca para docentes que realizamos estudios de posgrado, los años 2005 y 2006.

A los alumnos de Taller, y sus docentes, que colaboraron en la cosecha de las parcelas en la facultad.

A Luis Emili, encargado de la finca experimental de la facultad, quien colaboró con todo lo relativo a la mecanización del trabajo en las parcelas de la facultad.

Al personal de finca de la facultad que participó en diversas tareas de campo y conteo de tubérculos.

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNCuyo, por otorgarme una ayuda económica de 450 pesos para financiar algunos gastos del trabajo de tesis.

A las docentes del Taller Redacción de Tesis, Hilda y Ester, quienes me brindaron elementos muy importantes para facilitar la escritura del “texto tesis”, como ellas decían.

A Daniel Romera, Viviana Guinle y Lucy Vignoni, por su ayuda en la organización de las pruebas de degustación.

A Mariana Gil y Juan Carlos Formento por la realización de pruebas de fermentación de tubérculos.

A Marina Insani, por ayudarme a entender la metodología de determinación de inulina.

A Iris Peralta, por sus recomendaciones para el herborizado de hojas de topinambur y selección de caracteres morfológicos a medir.

A Mirta Aranda, por su colaboración en aspectos formales del texto.

A Mónica Bauzá y María Sance, por facilitarme información y referentes en el tema de determinación de inulina.

A la Cátedra de Fisiología Vegetal, y especialmente a Miguel Cirrincione, por prestarme la estufa y bandejas para determinar MS.

A quienes trabajan en el Laboratorio “Planta de Frío” de la Facultad por facilitarme el material necesario y las explicaciones respectivas para determinar sólidos solubles.

Al Comité de tesis, por sugerencias y observaciones al proyecto de tesis, especialmente a José Portela.

A Bruno Cavagnaro, por escuchar y dar su valiosa opinión en diversas consultas durante el desarrollo del proyecto de tesis.

A muchos de los docentes de los cursos de la Maestría. A algunos porque fueron importantes formadores en lo relativo a investigación, y a otros porque fueron modelos de docentes, de los que siempre es bueno aprender para intentar mejorar en la labor que en ese sentido me compete.

A Bernardo, Facundo y Malena, en especial por la paciencia. Pero también por sus pruebas incondicionales de distintas comidas con topinambur, en muchos casos encontrándolas muy ricas. Además por disfrutar y compartir en nuestro jardín un cantero con esta planta que es una linda ornamental.....

CARACTERIZACIÓN DE GERMOPLASMA DE TOPINAMBUR (*Helianthus tuberosus* L.) POR APTITUD AGRONÓMICA E INDUSTRIAL

Resumen

Por Cecilia Rebora
Universidad Nacional de Cuyo
Septiembre 2008

Director: Dr. Claudio Galmarini

El topinambur pertenece a la familia de las Asteráceas, es una especie originaria de América del Norte, de la que fundamentalmente se aprovechan sus tubérculos; tiene gran potencial como alimento, materia prima para productos industriales y producción de biocombustibles. En Argentina no hay cultivares de topinambur registrados. Sin embargo hay documentación y testimonios del ingreso de distintas variedades al país a principios del siglo XX. El objetivo de esta tesis fue caracterizar el germoplasma de topinambur que se cultiva, a pequeña escala, en distintas regiones de la Argentina. Se formó una colección de trabajo con introducciones provenientes de 5 provincias del país (Río Negro, Chubut, Buenos Aires, Mendoza y Córdoba), y se condujeron ensayos experimentales en dos ambientes de la provincia de Mendoza. Se evaluaron caracteres morfológicos (altura de plantas, dimensiones y ángulo de inserción de hojas, tamaño de tubérculos), fenológicos (emergencia, inicio, fin y duración de floración, senescencia del cultivo) y rendimiento. Se detectaron diferencias morfológicas que permitieron agrupar a las introducciones en dos grupos, correspondiendo uno a introducciones de tubérculos rojos y el otro a introducciones de tubérculos blancos. Se valoró la aptitud hortícola de las introducciones mediante evaluación sensorial; se realizó una prueba de preferencia y percepción de distintos aspectos de la hortaliza (color, olor, sabor y textura), consumida cruda. El nivel de aceptación general de la hortaliza fue bueno. Se evaluó el potencial industrial (obtención de inulina y producción de etanol). Se determinó por HPLC el contenido de inulina de cada introducción, que varió de 18.07 a 22.95 % y se estimó el potencial para producir etanol a partir de los hidratos de carbono fermentables de los tubérculos, que llegó a 4.934 litros por ha, aunque sin diferencias entre introducciones.

Palabras clave: *Helianthus tuberosus* L., topinambur, “papa chanchera”, inulina, bioetanol

**AGRONOMICAL AND INDUSTRIAL CHARACTERIZATION OF
JERUSALEM ARTICHOKE (*Helianthus tuberosus* L.) GERMPLASM**

Abstract

Cecilia Reborá
Universidad Nacional de Cuyo
September 2008

Director: Dr. Claudio Galmarini

Jerusalem artichoke (Asteraceae), is a plant native to North America. Their tubers can be destined for human and animal consumption, as a raw material for the production of biological inulin, or as a biomass crop for ethanol production. In Argentina there aren't registered cultivars. However, there is evidence that some cultivars were brought to our country at the beginning of XX century. The objective of this thesis was to characterize the Jerusalem artichoke germplasm that is cultivated, in a small scale, in different regions of Argentina. A collection was formed with introductions coming from five Argentine provinces (Río Negro, Chubut, Buenos Aires, Mendoza y Córdoba), and field experiments were conducted in two environments of Mendoza. Morphological aspects (plant height, insertion angle and size of leaves, tubers size), phenology (emergence, flowering and senescence) and yield were evaluated. Some morphological differences were detected, which allowed to group the introductions in two, one corresponding to red tubers, and the other to white tubers. The aptitude as a vegetable crop was detected by sensorial trials; a preference test was made and a perception test of different tuber attributes (color, smell, taste and texture), when eaten crude. Among introductions differences were not detected, the general level of acceptance was good. Industrial potential (inulin and ethanol) of the introductions was evaluated. Inulin was determined by HPLC, and it ranged from 18.07 to 22.95 %. The potential to produce ethanol (4.934 l/ha) was estimated from the fermentable carbohydrates of the tubers; without differences between introductions.

Key words: *Helianthus tuberosus* L., Jerusalem artichoke, inulin, bioethanol

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii-iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
ÍNDICE.....	vii-viii
LISTA DE TABLAS.....	ix- x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	
1.1. Caracterización de la especie.....	2
1.2. El topinambur en Argentina.....	2
1.3. Usos del topinambur.....	3
1.4. Manejo general del cultivo.....	7
1.5. Variedades.....	10
1.6. Definición del tema de tesis.....	12
1.6.1. Hipótesis.....	12
1.6.2. Objetivos.....	12
1.7. Materiales y métodos.....	13
1.7.1. Material experimental: introducciones de topinambur.....	13
1.7.2. Los ambientes experimentales.....	14
1.7.3. Diseño general de los experimentos a campo.....	15
1.8. Estructura general de la tesis.....	15
1.9. Bibliografía.....	16
CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DE LAS INTRODUCCIONES DE TOPINAMBUR	
Resumen.....	21
2.1. Introducción.....	22
2.2. Metodología.....	23
2.2.1. Aspectos morfológicos.....	23
2.2.2. Aspectos fenológicos.....	24
2.2.3. Rendimiento.....	24
2.3. Resultados y discusión.....	25

2.3.1. Aspectos morfológicos.....	25	
2.3.2. Aspectos fenológicos.....	31	
2.3.3. Rendimiento.....	34	
2.4. Conclusiones.....	37	
2.5. Bibliografía.....	39	
CAPÍTULO 3: APTITUD HORTÍCOLA DE LAS INTRODUCCIONES DE TOPINAMBUR: EVALUACIÓN SENSORIAL		
Resumen.....	42	
3.1. Introducción.....	43	
3.2. Metodología.....	45	
3.3. Resultados y discusión.....	46	
3.4. Conclusiones.....	47	
3.5. Bibliografía.....	48	
CAPÍTULO 4: CONTENIDO DE INULINA DE LAS INTRODUCCIONES DE TOPINAMBUR		
Resumen.....	53	
4.1. Introducción.....	54	
4.2. Metodología.....	56	
4.3. Resultados y discusión.....	56	
4.4. Conclusiones.....	59	
4.5. Bibliografía.....	59	
CAPÍTULO 5: POTENCIAL PARA PRODUCIR ETANOL DE LAS DISTINTAS INTRODUCCIONES DE TOPINAMBUR		
Resumen.....	63	
5.1. Introducción.....	64	
5.2. Metodología.....	66	
5.3. Resultados y discusión.....	67	
5.4. Conclusiones.....	70	
5.5. Bibliografía.....	70	
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES GENERALES.....		74
ANEXO.....		78

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Calidad forrajera de la parte aérea y los tubérculos de topinambur comparados con alfalfa.

Tabla 1.2. Contenido de inulina en algunas especies vegetales utilizadas en alimentación humana, datos sobre peso fresco.

Tabla 1.3. Rendimiento de etanol de los cultivos más utilizados como materia prima

Tabla 1.4. Densidad y marcos de plantación de cultivo de topinambur recomendados.

Tabla 1.5. Resumen de atributos característicos de distintas variedades de topinambur y sus rangos de variación.

Tabla 1.6. Peso promedio y desviación estándar de los tubérculos “semilla” de las 5 introducciones de topinambur utilizadas en el trabajo de tesis.

Tabla 1.7. Ubicación geográfica de las parcelas experimentales (LC y FCA), coordenadas obtenidas de Google Earth (En: <http://earth.google.es/>)

Tabla 2.1. Ángulos de inserción del pecíolo de las hojas respecto del tallo (°), de las 5 introducciones de topinambur en cada ambiente experimental (LC y FCA).

Tabla 2.2. Longitud de láminas foliares (cm) de las 5 introducciones de topinambur comparadas, promedio de los ambientes experimentales (LC y FCA).

Tabla 2.3. Ancho de láminas foliares (cm) de las 5 introducciones de topinambur comparadas en cada ambiente experimental (LC y FCA).

Tabla 2.4. Relación longitud/ancho de láminas de las 5 introducciones de topinambur comparadas en cada ambiente experimental (LC y FCA).

Tabla 2.5. Altura de plantas (m) de las 5 introducciones de topinambur comparadas en cada ambiente experimental (LC y FCA).

Tabla 2.6. Peso promedio de los tubérculos (g) de las 5 introducciones de topinambur comparadas en cada ambiente experimental (LC y FCA).

Tabla 2.7. Valores promedio de las variables morfológicas medidas a las introducciones de topinambur en los dos ambientes experimentales.

Tabla 2.8. Variables de carga de los dos factores principales determinantes del agrupamiento.

Tabla 2.9. Días a inicio de floración de las 5 introducciones comparadas, en el ambiente La Consulta.

Tabla 2.10. Días a fin de floración de las 5 introducciones comparadas, en el ambiente La Consulta.

Tabla 2.11. Duración de la floración (días) en las 5 introducciones de topinambur comparadas en el ambiente La Consulta.

Tabla 2.12. Rendimiento de tubérculos de topinambur (kg/ ha) de 5 introducciones procedentes de distintas regiones de la Argentina, cultivados en La Consulta, Mendoza, ciclo 2005-2006.

Tabla 2.13. Porcentaje de materia seca de los tubérculos de topinambur de las introducciones estudiadas, cultivadas en el ambiente LC.

Tabla 2.14. Rendimiento de tubérculos de topinambur (kg/ ha) de 5 introducciones procedentes de distintas regiones de la Argentina, cultivados en Chacras de Coria, Mendoza, ciclo 2005-2006.

Tabla 2.15. Porcentaje de materia seca de los tubérculos de topinambur de las introducciones estudiadas, cultivadas en el ambiente FCA.

Tabla 4.1. Porcentaje de materia seca (MS), porcentaje de inulina y proporción de la materia seca de los tubérculos representada por inulina, para cada una de las introducciones evaluadas.

Tabla 4.2. Rendimiento de inulina de cada introducción (kg/ha)

Tabla 5.1. Rendimiento de tubérculos, % de sólidos solubles, kilos de sólidos solubles por ha y litros de etanol por ha factibles de obtener con cada introducción cultivada en el ambiente LC, ciclo 2005-2006.

Tabla 5.2. Relación entre litros de etanol por ha y kilos de tubérculos producidos por ha de cada introducción de topinambur cultivada en el ambiente LC.

Tabla 5.3. Rendimiento de tubérculos, % de sólidos solubles, kilos de sólidos solubles por ha y litros de etanol por ha factibles de obtener con cada introducción cultivada en el ambiente FCA, ciclo 2005-2006.

Tabla 5.4. Relación entre litros de etanol por ha y kilos de tubérculos producidos por ha de cada introducción de topinambur cultivada en el ambiente FCA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Agrupamiento de los distintos tratamientos en función de variables morfológicas (altura de plantas, mediciones en hojas y peso promedio de tubérculos)

Figura 2.2. Análisis de componentes principales. Proyección de las variables en las dimensiones o factores 1 y 2.

Figura 3.1. Perfiles sensoriales de las introducciones de topinambur degustadas en crudo, los atributos evaluados fueron textura, color, olor y sabor.

Figura 3.2. Grado de aceptación general del topinambur, independientemente de la forma de preparación degustada.

Figura 4.1. Estructura química de la inulina.

Figura 4.2. Contenido de inulina (%) en cada una de las introducciones de *Helianthus tuberosus* L. comparadas (1: Cipolletti, 2: Chubut, 3: Balcarce, 4: FCA, 5: Traslasierra), determinado por HPLC.

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Foto 1. Tubérculos de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) con epidermis roja.

Foto 2. Tubérculos de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) con epidermis blanca.

Foto 3. Vista del estado de las plantas después de la ocurrencia del granizo del 27/12/2005, a los 110 días desde la plantación.

Foto 4. Vista de parcela de topinambur en el ambiente LC, igual fecha que la imagen anterior del ambiente FCA afectado por granizo.

Foto 5. Emergencia del cultivo, octubre de 2005, ambiente FCA.

Foto 6. Parcela de topinambur en floración. Febrero de 2006, ambiente LC.

Foto 7. Entrega del cultivo, fin de abril de 2006, ambiente LC.

CAPÍTULO 1
INTRODUCCIÓN

1.1. Caracterización de la especie

El topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) pertenece a la familia de las Asteráceas. Es una planta originaria de América del Norte (Cosgrove *et al.*, 1991), que era cultivada por los nativos cuando los exploradores europeos llegaron tal región; rápidamente se introdujo a Europa y se difundió tanto para el consumo animal como para el humano (McCarter, 1984). Es una planta herbácea, de tallos ramificados que pueden alcanzar 2 a 3 metros de altura. Esta especie produce tallos subterráneos reservantes (tubérculos) muy ricos en carbohidratos, los que permiten la reproducción agámica (Losavio *et al.*, 1997). Su desarrollo responde al siguiente esquema general: normalmente brota en primavera, desarrolla una gran estructura aérea, usualmente con varios tallos y ramificaciones, y finalmente tuberiza y la parte aérea muere, en otoño (Meijer and Mathijssen, 1992).

Dependiendo de los cultivares, el ciclo del cultivo puede ser de 100 días hasta 9 meses (Cassells *et al.*, citados en Denoroy, 1996).

Es una especie hexaploide ($2n= 102$, $x= 17$); sus flores son generalmente estériles y la viabilidad de los achenios es baja y muy dependiente del cultivar (Swanton and Cavers, 1989). En general, las poblaciones silvestres florecen más y tienen una viabilidad mayor de los achenios (hasta 40 %) que las variedades cultivadas (Westley, 1993). La reproducción sexual está reservada para los programas de mejoramiento de la especie y también de girasol (*Helianthus annuus* L.), donde el topinambur constituye una fuente de genes de resistencia (Thompson *et al.*, citados por Berenji and Sikora, 2001), para varios hongos patógenos que afectan al cultivo (Atlagic, *et al.*, 1994).

El topinambur es un cultivo con gran potencial como alimento, para generar productos industriales y biocombustible. Su rendimiento de tubérculos es alto, y es poco susceptible a plagas y enfermedades, así como a bajas temperaturas (Kosaric *et al.*, 1984).

La producción de tubérculos (peso fresco) varía, en términos generales, entre 30 a 70 toneladas por hectárea (Denoroy, 1996). Aunque han sido registradas producciones de hasta 120 toneladas de tubérculos por hectárea en experiencias en Australia, utilizando aguas residuales urbanas para el riego (Parameswaran, 1999).

1.2. El topinambur en Argentina

En nuestro país *Helianthus tuberosus* L. fue introducido por los inmigrantes a principios del siglo XX, su cultivo ha sido limitado, de carácter familiar y su principal destino el forrajero, en sistemas de producción porcina (Bauer y Laso, 1974). En Argentina se mencionan 5 variedades de topinambur (Bauer y Laso, 1974):

Var. Roso: muy tardía, de abundante follaje. Tubérculos rojos con zonas blancas.

Var. Bianka: temprana, de gran producción de tubérculos ricos en sacáridos. Ideal para apicultura por su intensa y prolongada floración.

Var. Waldspindel: ciclo intermedio, desarrollo vegetativo rápido. Tubérculos alargados de color violáceo, con gran contenido de inulina. Apto para producción forrajera e industria por su gran rendimiento de alcohol.

Var. Topianka: gigante, con gran rendimiento de tubérculos y follaje. Apta para la producción de forraje verde.

Blanca “CR”: buen rendimiento, de tubérculos grandes y excelente productora de forraje.

Jorge von Hermann (1970) hace algunas referencias sobre la variedad Bianka, menciona su buena adaptación a las condiciones de cultivo en Argentina y su trabajo de selección realizado en la localidad de Nono, provincia de Córdoba, donde desarrolló la selección “Loncahue”, a partir de dicha variedad.

1.3. Usos del topinambur

Son cuatro los principales usos que pueden darse a *Helianthus tuberosus* L.: hortícola, forrajero, extracción de inulina y producción de etanol (Raso, 1990).

Hortícola

Aunque la utilización de esta especie como hortícola es limitada, se consume en muchos países europeos, en América del Norte y en menor medida en otras partes del mundo. Se mencionan diversas formas de preparación: crudo, cocido e incluso encurtido (Duke, 1983).

El topinambur podría considerarse un alimento funcional debido a su alto contenido de inulina (16 a 20 % del peso fresco del tubérculo, según Chubey and Dorrell, citados por Ragab *et al.* 2003). La inulina se considera funcional por proporcionar acciones benéficas para la salud humana, como por ejemplo el aumento de bifido-

bacterias presentes en el intestino humano (Alipio, y Biggs y Hancock, citados por Carvalho *et al.*, 2004, Ritsema y Smeekens, 2003) y por la disminución de los niveles de colesterol y triglicéridos en la sangre (Jackson *et al.*, citados por Carvalho *et al.* 2004).

Debido a que los tubérculos acumulan reservas en forma de fructanos y no de almidón, estos constituyen una alternativa a la papa (*Solanum tuberosum*) en dietas para diabéticos.

Una desventaja de este tubérculo para ser consumido como hortaliza es su forma irregular y más o menos ramificada. Esta característica de la forma, combinada a una relativa fragilidad hacen a la cosecha y limpieza de los mismos algo complicada (Klug-Andersen, 1992). Este autor plantea que es factible encontrar combinaciones apropiadas de cultivares y métodos de producción para obtener una alta proporción de tubérculos con buena aptitud para el consumo (lisos, redondeados y con peso superior a 20 g por tubérculo).

Forrajero

Esta especie es comúnmente considerada una excelente forrajera de doble producción (forraje verde y tubérculos). Sin embargo, la calidad de la parte aérea de la planta no tiene mayores ventajas sobre otros cultivos forrajeros y debiera clasificarse como un alimento de mantenimiento (Cosgrove *et al.*, 1991, Seiler and Campbell, 2004). La concentración de proteína bruta y la de proteína digestible es baja si se las compara, por ejemplo, con la alfalfa (Tabla 1.1). Los tubérculos son frecuentemente utilizados como reserva energética para el invierno. Para el ganado bovino generalmente son triturados y complementados con forrajes ricos en proteínas. En el ganado porcino es donde más experiencias existen del uso del topinambur como forraje. Tanto es así que en nuestro país también se la llama “papa chanchera” (Bauer y Laso, 1974). El tubérculo de este cultivo puede ser utilizado en la alimentación de cerdos con mayores ventajas comparativas que otras especies en el pastoreo directo por su capacidad de hozar el terreno (Cañas *et al.* 1987).

Quizás la mayor ventaja comparativa de este cultivo para forraje sea su capacidad de crecer bien en un rango bastante amplio de condiciones ambientales (Cosgrove *et al.*, 1991).

Tabla 1.1. Calidad forrajera de la parte aérea y los tubérculos de topinambur comparados con alfalfa (MS: materia seca, NDT: nutrientes digestibles totales, PD: proteína digestible, PB: proteína bruta, FB: fibra bruta, expresados en %). Adaptado de: Cosgrove *et al.*, 1991.

Forraje	MS	NDT	PD	PB	FB
Topinambur, parte aérea	27	67	3	5	18
Topinambur, tubérculos	21	78	6	10	4
Alfalfa, plena floración	91	53	10	14	35

Obtención industrial de inulina

La inulina constituye el principal carbohidrato de reserva de *Helianthus tuberosus* L., representando entre el 70 y el 80 % de la materia seca de los tubérculos, la que varía de 18 a 25 % (Losavio *et al.*, 1997). Esta especie es considerada como una de las candidatas más importantes para ser usada como materia prima para la producción industrial de fructosa e inulina biológicas (Baldini *et al.*, 2004, Meijer and Mathijssen, 1992, Parameswaran, 1994, Meijer and Mathijssen, 1996, Stanley and Kultur, 2005).

La inulina es considerada una fibra biológica, cuya ingestión confiere varias ventajas para la salud: disminuye el nivel de colesterol en sangre, promueve la actividad de bifidobacterias a nivel intestinal, reduce el azúcar en sangre (Farnsworth, Hiramaya and Hidaka, Sakun *et al.*, Varlamova *et al.*, todos citados por Stanley and Kultur, 2005, Biedrzycka and Bielecka, 2004). Es poco digerida por los humanos y por lo tanto tiene potencial para ser usada en formulaciones de alimentos de bajas calorías (Ritsema and Smeekens, 2003). Las cadenas de inulina largas pueden usarse para reemplazar grasa en alimentos, ya que simulan su textura. Esto es utilizado en la elaboración de lácteos bajas calorías (Davidson and Maki, 1999).

En comparación con otras especies vegetales el topinambur tiene una alta proporción de inulina (Tabla 1.2), asociado esto a un alto rendimiento por unidad de superficie; lo que representa un alto potencial de obtención de inulina por hectárea cultivada con topinambur.

Tabla 1.2: Contenido de inulina (%) en algunas especies vegetales utilizadas en alimentación humana, datos sobre peso fresco. Fuente: Gibson *et al.*, 1994.

Especie	Inulina
Topinambur	16-20
Almendras	15-20
Espárragos	1-30
Puerro	3-10
Ajo	9-16
Cebolla	2-6
Banana	0,3-0,7
Trigo	1-4
Centeno	0,5-1
Cebada	0,5-1,5
Diente de león	12-15

Producción de etanol

Se llaman cultivos energéticos a aquellos cuya biomasa se destina a la obtención de energía. Por tratarse de energía renovable, es que cada vez se estudian más como alternativa al agotamiento ya sensible de energías fósiles, como el gas y el petróleo (SAGPyA, 2006). Tan creciente es el interés por el desarrollo de cultivos energéticos y biocombustibles, que se habla de “Agroenergética”, en relación con el aprovechamiento energético de la producción agrícola (Arantxa Guereña, 1995). Actualmente los cultivos energéticos no representan un recurso importante como fuente de energía, ya que son más caros que los combustibles fósiles (Yamamoto *et al.*, 2005). La mayoría de los estudios así lo indican, aunque generalmente han basado el análisis en cultivos de granos tradicionales como maíz, trigo y cebada (Baker *et al.*, 1990). Sin embargo, ante la disminución de las reservas de los combustibles fósiles, surge la necesidad de reanalizar el uso de energías alternativas, como por ejemplo la energía proveniente de biomasa vegetal, que algunos autores mencionan como “energía verde” (Parameswaran, 1995).

La Argentina no escapa a esta realidad mundial. La ley nacional 26.093, sobre biocombustibles, establece que para el 2010 la nafta y el gasoil deberán ser cortados en un 5% con alcohol y biodiesel, respectivamente. Básicamente hay dos grandes grupos de cultivos que se usan como materias primas para elaborar estos biocombustibles: los cultivos ricos en hidratos de carbono para producción de

alcohol y los cultivos “oleaginosos”, cuyo aceite se utiliza para fabricar biodiesel (Camps Michelena, 2002).

En la actualidad el bioetanol es, con mucha diferencia, el biocarburante más utilizado. En 2004 se produjeron en el mundo alrededor de 30.000 millones de litros de bioetanol para combustible, lo que representa en torno del 2 % del consumo mundial de petróleo. Las principales materias primas para obtener etanol en el mundo son la caña de azúcar en Brasil y el maíz en Estados Unidos (Ballesteros Perdices, 2006). En Argentina, se han realizado estimaciones que indican que el consumo proyectado de nafta para el 2010 será de 4.000 millones de litros, y que con la implementación del 5 % obligatorio, la producción necesaria de bioetanol será de 200 millones de litros (SAGPyA, 2006).

Helianthus tuberosus aparece entre las especies con potencial para producir energía (Hurduc *et al.*, 1986; Meo, 1984, Caserta *et al.*, 1995). Tiene ventajas sobre otros cultivos, principalmente su alto rendimiento de biomasa, que puede llegar a 100-130 toneladas de tubérculos por ha (Schorr-Galindo and Guiraud, 1997). La producción de etanol puede realizarse a partir de la parte aérea como de los tubérculos (Parameswaran, 1995, Baker *et al.*, 1990). Hay antecedentes que señalan que a partir de 50 toneladas de tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. se obtienen 4500 litros de etanol (Reust and Dutoit, 1992). Tal rendimiento es interesante si se lo compara con el de los cultivos más utilizados en el mundo para la obtención de bioetanol (Tabla 1.3).

Tabla 1.3. Rendimiento de etanol de los cultivos más utilizados como materia prima

Cultivo	Rendimiento (l/ ha)	Fuente
Caña de azúcar	6.000	Barboza Cortez, 2006 (comunicación personal)
Maíz	3.500	Barboza Cortez, 2006 (comunicación personal)
Remolacha azucarera	5.400	UK, National Stat., 2007
Sorgo azucarado	3.500	Rajiv and Rajvanshi, 1991
Topinambur	4.500	Reust and Dutoit, 1992

1.4. Manejo general del cultivo

Se menciona que *Helianthus tuberosus* L. crece sin mayores problemas en suelos pobres (Kosaric *et al.*, 1984); sin embargo, desarrolla mejor y se obtienen mayores rendimientos en suelos fértiles. Aunque la planta se adapta a un rango relativamente amplio de pH del suelo, la producción se ve favorecida en suelos levemente alcalinos (Cosgrove *et al.*, 1991). Es un cultivo que no prospera en suelos anegadizos donde el agua se estanca por varios días (Bauer y Laso, 1974, Cosgrove *et al.*, 1991). Los suelos húmedos o hidromórficos deben evitarse porque reducen la emergencia, promueven el desarrollo de enfermedades, y dificultan el crecimiento de los tubérculos (Mezencev, citado por Denoroy, 1996). Generalmente se asume que suelos aptos para cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) también lo son para el topinambur (Schultheis, 1999).

Se sugiere la época de primavera temprana para plantar el topinambur (Duke, 1983, Schultheis, 1999). En nuestro país se menciona el período comprendido desde mediados de junio a fines de septiembre como apto para la implantación (Bauer y Laso, 1974). Si las siembras se realizan muy tempranas, los tubérculos no brotan hasta que las temperaturas sean favorables. La temperatura mínima a partir de la cual empieza la brotación está situada alrededor de los 5 °C (Denoroy, 1996), similar a la temperatura mínima de crecimiento de 6 °C citada para girasol, *Helianthus annuus* L. (OECD, 2004).

La población de plantas para obtener el máximo rendimiento de tubérculos en condiciones no limitantes, ronda las 5-8 por metro cuadrado, valor superior a los convencionales, 3-4 por metro cuadrado (Moule *et al.*, y Fernandez *et al.*, citados por Denoroy, 1996). Como generalmente es el agua el factor más limitante en las condiciones de cultivo del topinambur, la densidad de plantación depende del balance hídrico del sistema.

Tabla 1.4: Densidad y marcos de plantación de cultivo de topinambur recomendados

Densidad (plantas/ ha)	Marco de plantación: distancia entre hileras y entre plantas (m)	Fuente
20.000	1 y 0,50	Berenji and Sikora, 2001
25.000	0,80 y 0,50	Ragab <i>et al.</i> , 2003
27.750	0,90 y 0,40	Schultheis, 1999
28.600	0,70 y 0,50	Bauer y Laso, 1974
38.000	0,75 y 0,35	Klug-Andersen, 1992
57.000	0,70 y 0,25	De Mastro <i>et al.</i> , 2004

Pueden utilizarse para la plantación tubérculos enteros o cortados (Schultheis, 1999). Se recomiendan tubérculos semilla de un peso de 40-60 g (Raso, 1990, Kosaric *et al.*, citados por Denoroy, 1996). Duke (1983) señala que tubérculos o trozos mayores a 50 g no aumentan el rendimiento, pero que tamaños menores pueden reducirlo. El prebrotado de los tubérculos puede tener algún efecto benéfico sobre la emergencia, el crecimiento temprano y el rendimiento, siempre que no ocurra daño a los brotes durante la plantación (Kays y Nottingham, 2008). Generalmente se recomienda una profundidad de plantación de 10 cm (Berenji and Sikora, 2001, Baldini *et al.*, 2004, Bauer y Laso 1974, Duke, 1983).

Denoroy (1996) en su revisión sobre el cultivo afirma que la nutrición mineral es, en general, analizada superficialmente. Usualmente está ausente la caracterización inicial de los suelos; y por lo tanto aparecen fuertes contradicciones en las recomendaciones sobre fertilización. Sin embargo, es una especie con altos requerimientos de potasio, nitrógeno y calcio (Barloy and Fernandez, citados por Denoroy, 1996) para un óptimo rendimiento.

El topinambur es más resistente a sequía que muchos otros cultivos. Sin embargo hay dos períodos que presentan sensibilidad a estrés hídrico: el crecimiento de los tubérculos, coincidente con la floración, en primer lugar (Conde *et al.*, citados por Denoroy, 1996), y la emergencia en segundo lugar (Mezencev, citado por Denoroy, 1996). En estudios en el sur de Italia con cultivo de topinambur de 7 meses de longitud de ciclo, se obtuvieron los mayores rendimientos de tubérculos con láminas de riego de 550 mm (Losavio *et al.*, 1997). No sólo es importante la cantidad de agua total requerida por el cultivo, sino la frecuencia de riego, ya que según algunos

autores el rendimiento de tubérculos se limita si la humedad del suelo cae por debajo del 30 % de la capacidad de campo (Cosgrove *et al.*, 1991).

Helianthus tuberosus es considerado un cultivo muy rústico (Denoroy, 1996). A excepción del período de implantación, la competencia de las malezas es despreciable (Pilnik and Vervelde, citados por Denoroy, 1996). Esta alta competitividad puede atribuirse a un rápido crecimiento y a un gran tamaño final de plantas, que eliminan la mayoría de las malezas presentes en el cultivo por el sombreado que ejercen sobre las mismas (Schittenhelm, 1999). Generalmente es suficiente con control mecánico temprano (Cors and Falisse, Fernández *et al.*, citados por Denoroy, 1996; Ariel Mámmoli, 2004, comunicación personal). El impacto de los insectos también es prácticamente despreciable, se cita la aparición de áfidos en algunas situaciones (Cors and Falisse, citados por Denoroy, 1996). *Helianthus tuberosus* sería una planta no huésped para los nemátodos del suelo (Morrenhof and Bus, citados por Denoroy, 1996).

La cosecha no debiera realizarse antes de las primeras heladas (Schultheis, 1999). Puede llevarse a cabo con máquinas arrancadoras- recolectoras de papas previa eliminación de la parte aérea de la planta, teniendo la precaución de reducir la separación entre dientes de los peines con el fin de poder recoger los tubérculos de menor tamaño. El método más común para los pequeños cultivos es el arrancado con arado de manquera, complementado con la recolección manual de los tubérculos (Bauer y Laso, 1974).

Los tubérculos pueden cosecharse en otoño o dejarse bajo tierra para su almacenamiento hasta la cosecha primaveral. Si se guardan en cámaras debiera ser a entre 0 °C y 2 °C y a 90-95 % de humedad relativa, por un período de 4- 5 meses (Kays y Nottingham, 2008). Los tubérculos que se guarden para semilla no deben congelarse durante el almacenamiento (Cosgrove *et al.*, 1991).

1.5 Variedades

No existen en nuestro país variedades de topinambur registradas, y tampoco semilleros que vendan material identificado. Bauer y Laso (1974) mencionan y caracterizan muy brevemente 5 variedades que se supone fueron introducidas en nuestro país. Las mismas son: Roso, Bianka, Waldspindel, Topianka y Blanca CR. La mayoría de los artículos de divulgación hablan simplemente de topinambur, sin hacer referencia a las variedades.

Sin embargo, en América de Norte y Europa se ha trabajado mucho con esta especie. Son numerosas las variedades probadas en las distintas experiencias. A modo de ejemplo, Berenji y Sikora (2001) en Yugoslavia compararon la variación genética de 20 variedades en relación a la estabilidad del rendimiento de tubérculos, encontrando gran variación para rendimiento de tubérculos por planta, número de tubérculos por planta y tamaño de los mismos. Klug-Andersen (1992), en Dinamarca, probó 14 cultivares en relación a su aptitud hortícola, muy vinculado esto a la forma y tamaño de los tubérculos. Parameswaran (1999), en Australia, comparó el rendimiento de 3 variedades y 13 híbridos regados con efluentes urbanos, encontrando variación entre materiales. Baldini *et al.* (2004) compararon el rendimiento de inulina y azúcar de 6 clones de topinambur.

Entre los atributos más comunes que caracterizan a las variedades aparecen: el peso medio de los tubérculos, el color de los tubérculos, el potencial de rendimiento de tubérculos, los días de emergencia a floración, la altura media de las plantas (Baldini *et al.*, 2004).

En relación a programas de mejoramiento de la especie y a la necesidad de sincronización de la floración entre los materiales a cruzar; en la Universidad de Georgia han caracterizado la fecha de inicio de floración y la duración de la misma de 190 clones de topinambur (Stanley and Kultur, 2005).

Tabla 1.5: Resumen de atributos característicos de distintas variedades de topinambur y sus rangos de variación.

Atributo	Rango de variación	Fuente
Rendimiento de tubérculos (kg) por planta.	1,33- 3,59 0,94- 3,40	Berenji and Sikora, 2001 Ragab <i>et al.</i> , 2003
Número de tubérculos/planta	23- 59	Berenji and Sikora, 2001
Tamaño promedio (g) de los tubérculos	45- 100 33- 60	Berenji and Sikora, 2001 Ragab <i>et al.</i> , 2003
Inicio de floración (días desde plantación)	69-174	Kays and Kultur, 2005

Duración de la floración (días)	21- 126	Kays and Kultur, 2005
Categorías de tubérculos en relación a forma y tamaño (aptitud hortícola)	Grado 1 (redondeados, con más de 20 g) – descarte (dañados o enfermos y con menos de 15 g)	Klug Andersen, 1992
Altura de planta (cm)	120- 230 242-271	Ragab <i>et al.</i> , 2003 Baldini <i>et al.</i> , 2004
Duración del ciclo (días)	100-270	Denoroy, 1996
Rendimiento de tubérculos (t) por hectárea	30-70 33- 120	Denoroy, 1996 Parameswaran, 1999
Color de tubérculos	Blanco, blanco-rojizo, rojo	Baldini <i>et al.</i> , 2004

1.6. Definición del tema de tesis

El interés por el cultivo de *Helianthus tuberosus L.* es creciente, fundamentalmente asociado a sus usos industriales (obtención de inulina y de bioetanol). Investigadores de la Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria (Universidad Nacional de Cuyo) habían detectado esta situación y empezaron a trabajar en aspectos industriales de la especie. Como la producción del cultivo, materia prima básica para la industria, es clave en la definición de la viabilidad de un proyecto industrial, estos investigadores nos acercaron la inquietud sobre la factibilidad del cultivo de topinambur en Cuyo. Las primeras averiguaciones señalaron que en Argentina no existen variedades de topinambur registradas, y tampoco semilleros que vendan material identificado; su cultivo está poco difundido comercialmente y no existen muchos antecedentes de experiencias locales. Se tienen referencias de algunos productores dispersos en las provincias de Córdoba, Mendoza, Río Negro, Chubut, Buenos Aires y San Luis, que fundamentalmente han dado a esta especie un uso forrajero (Raúl Horacio Rodríguez 2004, comunicación personal). Sin embargo, no es claro el panorama varietal disponible, ni existe una caracterización de los materiales disponibles en relación con los usos del cultivo. Este trabajo de tesis pretende ser una contribución en tal sentido.

1.6.1. Hipótesis

Existe diversidad genética en el germoplasma de topinambur disponible en la Argentina, y estas diferencias permiten clasificarlo de acuerdo al uso que se le de al cultivo.

1.6.2. Objetivos

Identificar las variedades o introducciones en uso.

Comparar las variedades o introducciones en relación con sus potenciales usos: hortícola, obtención de inulina y potencial para producir bioetanol, en las condiciones de cultivo locales.

1.7. Materiales y métodos

1.7.1. Material experimental: introducciones de topinambur

La primera instancia del trabajo de tesis consistió en la generación de una colección de germoplasma de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) disponible en la Argentina. Los primeros datos respecto de posibles proveedores de tubérculos “semilla” fueron otorgados por el INTA Manfredi. Finalmente se obtuvo material de 4 regiones geográficas: Cipolletti (Río Negro), Trelew (Chubut), Balcarce (Buenos Aires), y Traslasierra (Córdoba). En ninguno de los casos se pudo confirmar de que variedad de topinambur se trataba. Después se corroboró en el INASE que no hay variedades de topinambur registradas en el país (Susana Emili, 2005, comunicación personal). A estos materiales, en adelante denominados “introducciones” (I), se les sumó topinambur “sobreviviente” de experiencias en la Cátedra de Agricultura Especial (Bajuk et al., 1997), en la Facultad de Ciencias Agrarias.

Con estas 5 introducciones se formó la colección de trabajo:

- I 1 Cipolletti (Río Negro)
- I 2 Trelew (Chubut)
- I 3 Balcarce (Buenos Aires)
- I 4 FCA (Mendoza)
- I 5 Traslasierra (Córdoba)

La única diferencia claramente perceptible entre los materiales (tubérculos “semilla”) que formaron la colección de trabajo fue el color del tegumento de los tubérculos, siendo el de las introducciones 1, 4 y 5 blanco y el de las introducciones 2 y 3 rojizo.

De todas las introducciones se pesó una muestra de 100 tubérculos seleccionados al azar para determinar el peso promedio de los mismos (Tabla 1.6).

Tabla 1.6: Peso promedio y desviación estándar de los tubérculos “semilla” de las 5 introducciones de topinambur utilizadas en el trabajo de tesis.

Introducción	Peso promedio (g)	Desv. estandar
Cipolletti	60,21	16,82
Chubut	81,03	45,11
Balcarce	84,85	59,66
FCA	43,81	23,82
Traslasierra	36,01	8,84

El criterio de selección al momento de la plantación, fue el de descarte de los tubérculos demasiado pequeños; ya que en la bibliografía se recomiendan tubérculos semilla de un peso de 40-60 g (Raso, 1990, Kosaric *et al.*, 1984). Duke (1983) señala que tubérculos o trozos mayores a 50 g no aumentan el rendimiento, pero que tamaños menores pueden reducirlo.

1.7.2. Los ambientes experimentales: La Consulta (San Carlos) y Chacras de Coria (Luján de Cuyo)

Las experiencias de campo se condujeron en dos ambientes de la provincia de Mendoza: en el campo experimental de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA La Consulta (**LC**) y en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo (**FCA**).

La ubicación de las coordenadas de las parcelas experimentales en cada ambiente se presenta en la tabla 1.7.

Tabla 1.7. Ubicación geográfica de las parcelas experimentales (LC y FCA), coordenadas obtenidas de Google Earth (En: <http://earth.google.es/>)

Ambiente experimental	Latitud	Longitud
LC	33° 42' 20" S	69° 04' 20" O
FCA	33° 00' 30" S	68° 52' 32" O

El campo experimental del INTA La Consulta, ubicado en la localidad de igual nombre en el departamento de San Carlos (Mendoza) se encuentra a una altura de 950 m sobre el nivel del mar. Presenta una temperatura media anual de 13,9 °C, una humedad relativa media de 58 % y precipitación promedio de 267 mm anuales. El suelo en la región es de origen aluvial, profundo y de textura franca.

La parcela experimental de la Cátedra de Agricultura Especial en la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCuyo), se encuentra en la localidad de Chacras de Coria, departamento de Luján de Cuyo (Mendoza), a 980 m sobre el nivel del mar. Presenta una temperatura media anual de 16,5 °C, humedad relativa media de 50 % y precipitación promedio de 225 mm anuales. Los suelos son aluviales, de escaso desarrollo del perfil, de textura franco limosa, limosa o limo arcillosa.

1.7.3. Diseño general de los experimentos a campo

Con los materiales experimentales (introducciones de topinambur) se establecieron ensayos comparativos en 2 ambientes de la provincia de Mendoza: La Consulta, San Carlos (**LC**) y Luján de Cuyo (**FCA**). Los mismos tuvieron un diseño de bloques al azar, con 3 y 4 repeticiones por introducción, respectivamente. La plantación se realizó, en ambos casos, en septiembre de 2005; el 7 en FCA y el 8 en LC. La densidad de plantación elegida fue de 0,8 m entre hileras y 0,5 m entre plantas en cada hilera. El tamaño de tubérculos “semilla” rondó los 50 g, tubérculos menores fueron descartados. La profundidad de plantación fue de 0,1 m. Cada parcela estuvo formada por 4 hileras de 12 plantas cada una. Se realizó una fertilización pre-plantación a razón de 150 kg de fosfato diamónico (18-46-0) bajo la hilera de plantación. Se repusieron las fallas en las parcelas donde hubo alguna planta sin emerger. Para tal fin se habían guardado en invernáculo “plantines” de reposición de cada introducción. Se realizó control mecánico de malezas, “carpidas”, en estadíos tempranos de desarrollo del cultivo. Se regó por surcos, la mayor frecuencia de riegos fue semanal, durante los meses de verano.

Los primeros días de junio de 2006 se cosecharon las parcelas experimentales, las hileras externas de cada parcela constituyeron las borduras, así como las plantas de los extremos en las dos hileras centrales. Las parcelas “útiles” estuvieron representadas por 20 plantas de las 2 hileras centrales (10 de cada una).

1.8. Estructura general de la tesis

A esta introducción le siguen 4 capítulos de desarrollo. El capítulo 2 aborda la caracterización morfológica, fenológica, y el rendimiento de las introducciones evaluadas; en el capítulo 3 se discute la aptitud para consumo humano (aptitud hortícola) de las introducciones de topinambur probadas en el marco de esta tesis; en el capítulo 4 se presentan los resultados de contenido de inulina de los tubérculos; y en el 5 se analiza el potencial de las introducciones evaluadas para producir etanol. A modo de cierre, en el capítulo final se abordan las conclusiones generales de este trabajo.

1.9. Bibliografía

ARANTXA GUEREÑA, T. 1995. Desarrollo de cultivos energéticos y biocombustibles. *Vida Rural*, n° 18, 50-52.

ATLAGIC, J., DOZET, B., and D. SKORIC. 1994. Meiosis and pollen viability in *Helianthus tuberosus* L. and its hybrids with cultivated sunflower. *Plant Breeding*, 111(4): 318-324.

BAJUK, M., FUENTES BERAZATEGUI, J., LELIO, H., ARENAS, F. y ANTONINI, C. 1997. Utilización de topinambur como aditivo para ensilaje de leguminosas. En resúmenes XVI Jornadas de Investigación, Universidad Nacional de Cuyo: 261-262.

BAKER, L., THOMASSIN, P. J., and J. C. HENNING. 1990. The economic competitiveness of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as an agricultural feedstock for ethanol production for transportation fuels. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 38 (4(II)): 981-990.

BALDINI, M., DANUSO, F., TURI, M., and G. P. VANNOZZI. 2004. Evaluation of new clones of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) for inulin and sugar yield from stalks and tubers. *Industrial crops and products* 19: 25-40.

BALLESTEROS PERDICES, M. 2006. Bioetanol. *Investigación y Ciencia*, número monográfico dedicado a “Energía, presente y futuro”, noviembre de 2006, pp. 78-85.

BAUER, H. A. y R. H. LASO. 1974. El cultivo del topinambur (*Helianthus tuberosus* L.). INTA, Estación Experimental Agropecuaria Manfredi, Argentina. Información técnica número 58.

BERENJI, J. and V. SIKORA. 2001. Variability and stability of tuber yield of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *Helia*, 24:25-32.

- BIEDRZYCKA, E. and M. BIELECKA. 2004. Prebiotic effectiveness of fructans of different degrees of polymerization. *Trends in Food Science and Technology* 15: 170-175.
- CAMPS MICHELENA, M. 2002. Energías renovables. Los biocombustibles. Capítulo 10: Alcoholes. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Barcelona, México.
- CAÑAS, R., AGUILAR, C. and R. BECKER. 1987. Evaluación del uso de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) en engorda de cerdos a pastoreo y en confinamiento. *Ciencia e Investigación Agraria*, 14: 3-13.
- CARVALHO, S., TOLEDO, I., ARAÚJO, F. y G. PEREIRA. 2004. Fructanos en raíces tuberosas de yacón (*Smallanthus Sonchifolius* Poep. & Endl.) expuestas al sol y almacenadas bajo condiciones ambientales. *Agro-Ciencia* 20(1): 17-23.
- CASERTA, G., BARTOLELLI, V. and G. MUTINATI. 1995. Herbaceous energy crops: a general survey and a microeconomic analysis. *Biomass and bioenergy*, 9 (1/5): 45-52.
- COSGROVE, D. R., OELKE, D. A., DOLL, J. D., DAVIS, D. W., UNDERSANDER, D. J. and E. S. OPLINGER. 1991. *Alternative Field Crops Manual*. Jerusalem artichoke. En: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/jerusart.html>
- DAVIDSON, M. and K. MAKI. 1999. Effects of dietary inulin on serum lipids. *Journal of Nutrition* 129: 1474S-1477S.
- DE MASTRO, G., MANOLIO, G. and V. MARZI. 2004. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) and chicory (*Cichorium intybus* L.): potential crops for inulin production in the mediterranean área. *Acta Hort.* 629: 365-374.
- DENOROY, P. 1996. The crop physiology of *Helianthus tuberosus* L.: a model orientated view. *Biomass and bioenergy*, 11 (1): 11-32.
- DUKE, J. A., 1983. *Helianthus tuberosus* L. Handbook of energy crops. En: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke.energy/Helianthus_tuberosus.html
- GIBSON, G., WILLIS, C. and J. VAN LOO. 1994. Non-digestible oligosaccharides and bifidobacteria; implications for health. *Int. Sugar Journal* 96: 381-387.
- GONZALEZ, S., y M. OLIVERA CARRIÓN. 2006. Nuevo alimento simbiótico. En: <http://www.conicet.gov.ar/NOTICIAS/2006/marzo/004.php>
- HURDUC, N., TEACI, D., SERBANESCU, E. and S. HARTIA. 1986. Potential for fuel production from crops. *Energy in Agriculture*, 5: 151-159.
- KAYS, S. J. and S. F. NOTTINGHAM. 2008. *Biology and chemistry of Jerusalem artichoke*. CRC Press, Taylor & Francis Group.

KLUG-ANDERSEN, S. 1992. Jerusalem artichoke: a vegetable crop growth regulations and cultivars. *Acta Horticulturae* 318: 145-152.

KOSARIC, N., COSENTINO, G. P. and A. WIECZOREK. 1984. The Jerusalem artichoke as an agricultural crop. *Biomass*, 5: 1-36.

LOSAVIO, N., LAMASCESE, N. and A. V. VONELLA. 1997. Water requirements and nitrogen fertilization in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) grown under Mediterranean conditions. *Acta Hort.* 449, 1: 205-209.

MC CARTER, S. M. 1984. Diseases limiting production of Jerusalem artichokes in Georgia. *Plant Disease* 68: 299-302.

MEIJER, W. and E. W. MATHIJSEN. 1992. Experimental and simulated production of inulin by chicory and Jerusalem artichoke. *Industrial Crops and Products*. 1 (2-4): 175-183.

MEIJER, W. and E. W. MATHIJSEN. 1996. Analysis of crop performance in research on inulin, fibre and oilseed crops. *Industrial Crops and Products* 5: 253-264.

MEO, M. 1984. Economic evaluation of ethanol fuel production from agricultural crops and residues in California. *Resources and conservation*, 11:1-25.

OECD (ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPEMENT) 2004. Consensus Document on the biology of *Helianthus annuus* L. (sunflower). Series on Harmonisation of regulatory oversight in Biotechnology, n° 31. En: www.agbios.com/docroot/decdocs/05-233-012.pdf

PARAMESWARAN, M. 1994. Turning and unloved vegetable into an industrial crop. *Food Australia*, 46(10): 473-475.

PARAMESWARAN, M. 1995. "Green energy" from Jerusalem artichoke. *Agricultural-Science*, 8 (5). 43-45.

PARAMESWARAN, M. 1999. Urban wastewater use in plant biomass production. *Resources, Conservation and Recycling*, 27: 39-56.

RAGAB, M. E., OKASHA, KH. A., EL-OKSH, I. I., and N. M. IBRAHIM. 2003. Effect of cultivar and location on yield, tuber quality, and storability of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) I. Growth, yield, and tuber characteristics. *Acta Hort.* 620:103-111.

RAJIV, M. J. and A. K. RAJVANSHI. 1991. Alcohol distillation by solar energy. *ISES Solar World Congress Proceedings, Vol I, Part. II: 772-777.*

RASO, E. 1990. Jerusalem artichoke. Effect of nitrogen-potassium fertilizing. *Terra e Sole*, 45 (575-576): 431-433.

REUST, W. and J. P. DUTOIT. 1992. Renewable raw materials and alternative crops: yield potential of Jerusalem artichoke, sweet sorghum and a spurge. *Landwirtschaft-Schweiz*, 5(10): 509-516.

RITSEMA, T. and S. SMEEKENS. 2003. Fructans: Beneficial for plants and humans. *Current Opinion in Plant Biology* 6 (3): 223-230.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA). 2006. En: <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/agricultura/otros/biodiesel/index.php>

SAGPyA. 2006. Perspectivas de los biocombustibles en Argentina. Programa Nacional de Biocombustibles. En: <http://www.rlc.fao.org/prensa/activi/agroenergia/almada.pdf>

SCHITTENHELM, S. 1999. Agronomic performance of root chicory, Jerusalem artichoke and sugarbeet in stress and nonstress environments. *Crop Science* 39: 1815-1823.

SCHORR-GALINDO, S., and J. P. GUIRAUD, 1997. Sugar potential of different Jerusalem artichokes cultivars according to harvest. *Bioresource Technology*, 15-20.

SCHULTHEIS, J. R. 1999. Growing Jerusalem artichokes. NC State University. Horticulture Information Leaflets. En: <http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/hil/hil-1-9.html>

SEILER, G. J. and L. G. CAMPBELL. 2004. Genetic variability for mineral element concentrations of wild Jerusalem artichoke forage. *Crop Science* 44: 289-292.

STANLEY, J. K., and F. KULTUR. 2005. Genetic variation in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). Flowering date and duration. *HortScience* 40(6): 1675-1678.

SWANTON, C. J. and P. B. CAVERS. 1989. Biomass and nutrient allocation patterns in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *Can. J. Bot.* 67: 2880-2887.

UK, NATIONAL STATISTICS. 2007. En: <http://statistics.defra.gov.uk/esg/default.asp>

VON HERMANN, J. 1972. Topinambur, la jungla de forraje. *Revista Agronuestro*, junio 1972, pp. 46-47.

WESTLEY, L. C. 1993. The effect of inflorescence bud removal on the tuber production of *Helianthus tuberosus* L. (Asteraceae). *Ecology* 74, 1: 2136-2144.

YAMAMOTO, H., MATSUMURA, Y., and S. SAWAYAMA. 2005. Evaluation of supply potential of energy crops in Japan considering cases of improvement of biomass productivity. *Biomass and Bioenergy*, 29(5): 355-359.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DE LAS INTRODUCCIONES DE TOPINAMBUR

Resumen

Se caracterizaron y compararon aspectos morfológicos (altura de plantas, longitud, ancho y relación longitud/ ancho de hojas, tamaño medio de tubérculos), aspectos fenológicos (inicio y fin de floración, duración, senescencia del cultivo) y rendimiento (materia fresca, materia seca) de 5 introducciones de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) cultivadas en dos ambientes de la provincia de Mendoza. Se detectaron diferencias en algunos aspectos morfológicos que permiten distinguir dos grandes grupos de topinambur con características similares, introducciones provenientes de Chubut (2) y Buenos Aires (3), por un lado, y de Río Negro (1), Mendoza (4) y Córdoba (5), por el otro, correspondiendo a introducciones de tubérculos rojos y blancos, respectivamente. En relación a la fenología en el ambiente LC, 2 y 3 fueron más precoces, iniciaron antes la floración y terminaron su ciclo a los 220 días, antes que las otras introducciones. El comportamiento fenológico en FCA, difirió significativamente del de LC. Al igual que para variables morfológicas, para variables fenológicas, las introducciones 2 y 3 se diferenciaron del resto. En LC se obtuvo mayor rendimiento promedio (57.069 kg tubérculos / ha), aunque sin diferencias significativas entre introducciones. En FCA el promedio fue de 25.431 kg, y tampoco se detectaron diferencias entre las introducciones. Los tubérculos de 2 y 3 fueron más grandes que el resto, con tamaños de alrededor de 80 g y 40 g para LC y FCA, respectivamente. No se detectaron diferencias de contenido de materia seca de tubérculos entre introducciones, pero sí entre ambientes. En LC el % promedio de MS fue de 24,67 y en FCA de 21,48.

Palabras clave: topinambur, morfología, fenología, rendimiento

2.1. Introducción

Helianthus tuberosus L. ha sido usado y mejorado principalmente en Europa y Norte América. Durante los últimos 400 años, muchos clones han sido trasladados de un país a otro, empezando por la introducción del cultivo en Francia en 1607 (Lescarbot, citado por Kays and Kultur, 2005).

Los aspectos morfológicos más sobresalientes del topinambur son los siguientes: es una planta herbácea, de tallos erguidos, de 1 a 3 metros de altura. La cantidad de tallos principales, que crecen a partir del tubérculo semilla, varía desde uno hasta más de tres (Kays y Nottingham, 2008). La ramificación de los tallos varía con los cultivares y la densidad de plantación. Las ramificaciones iniciales suelen ser de posición opuesta, aunque después comienzan a ser alternas, Kays y Nottingham, 2008.

Las hojas son caulinares, inicialmente opuestas pero que cambian a alternas a distancias variables desde la base. Usualmente hay dos hojas por nudo, aunque ocasionalmente puede haber tres. Son hojas simples, lanceoladas a lanceo-ovadas, de 10 a 20 cm de largo por 5 a 10 cm de ancho, acuminadas, aserradas y pubescentes (Kays y Nottingham, 2008). Las inflorescencias (“capítulos”) crecen solas o en grupos al extremo de los tallos o las ramificaciones. Cada inflorescencia está formada por flores tubulares en el centro, rodeadas de 10 a 20 flores liguladas amarillas, que son estériles. Los frutos son aquenios, generalmente muy pocos se desarrollan. La producción de semillas en los cultivares es muy baja, y varía de 0,08 a 0,66 semillas por capítulo (Kays y Nottingham, 2008).

Es una planta que desarrolla tubérculos de reserva como principal estrategia de propagación. Estos tubérculos suelen variar en tamaño y forma, como así también en el color de la epidermis, desde blanco a rosa o rojo (Swanton, 1994); el color interno suele ser blanco o marrón claro (Kays y Nottingham, 2008).

En relación con parámetros fenológicos tales como inicio de floración y duración de la floración hay evidencias de diferencias entre materiales (Kays and Kultur, 2005), tales evidencias se manifiestan en los amplios rangos de variaciones encontrados en experiencias con 190 clones de topinambur. Los estudios relativos a floración en esta especie generalmente se realizan vinculados a programas de mejoramiento que implican analizar la posibilidad de realizar cruzamientos (Denoroy, 1996).

Cuando se realiza un cultivo topinambur con destino forrajero o industrial, los kilos de tubérculos producidos por unidad de superficie pueden condicionar la rentabilidad. En relación al uso hortícola, no sólo interesarán los kilos totales producidos, sino también el tamaño de los tubérculos (Klug- Andersen, 1992). Hay numerosos trabajos que indican el rendimiento de tubérculos de esta especie en distintas condiciones de cultivo. Por citar algunos, Berenji and Sikora (2001), comparando 20 variedades de topinambur, obtuvieron rendimientos que variaron entre 26,6 y 71,8 t/ha, con tamaños de tubérculos dentro de un rango de variación de 45 a 100 g. Ragab *et al.* (2003) comparando dos cultivares en dos localidades y dos ciclos de cultivo, obtuvieron rendimientos que oscilaron entre 16,2 y 85 t/ha, y tamaños promedio de tubérculos que fluctuaron entre 20 y 60 g. Experiencias de Losavio *et al.* (1997) en Italia, con tres clones diferentes indican rendimientos de 37 a 41 t/ha y tamaños de tubérculos de 27 a 40 g. En una revisión muy completa sobre este cultivo, Denoroy (1996) indica rendimientos que varían entre 30 a 70 t/ha.

Con el **objetivo** central de caracterizar 5 introducciones (de distintos orígenes geográficos) de topinambur disponibles en la Argentina, se midieron y compararon algunas características morfológicas (hojas, altura de planta, peso promedio de tubérculos), fenológicas y se cuantificó y comparó el rendimiento de las mismas.

2.2. Metodología

2.2.1. Aspectos morfológicos

Hojas: a mediados de diciembre de 2005, aproximadamente a los 100 DDP (días después de plantación), sobre 4 plantas por parcela experimental en cada ambiente, y sobre la décima hoja se midió ángulo de inserción del pecíolo respecto del tallo principal (0°), y posteriormente se cosecharon dichas hojas y se llevaron a laboratorio donde se herborizaron y se midieron las siguientes características:

- 1) Longitud total (lámina + pecíolo)
- 2) Longitud del pecíolo
- 3) Ancho máximo de la hoja

A partir de esa información se calcularon: la longitud de la lámina (1-2) y la relación longitud/ ancho de la lámina, como un indicador de la forma de las hojas.

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza.

Altura de plantas: Cuando al menos la mitad de las plantas de cada parcela experimental presentó sus capítulos expandidos, se midió altura máxima de cada

planta sobre dichos individuos, en total 12 por parcela. Para realizar la medición se utilizó un jalón marcado cada 10 cm. Los datos obtenidos se analizaron mediante análisis de varianza.

Peso promedio de los tubérculos: esta variable se calculó a partir de datos de rendimiento (kg) y número de tubérculos de cada parcela experimental. La cosecha para determinar rendimiento se hizo sobre 10 plantas de cada una de las dos hileras centrales en cada parcela (20 plantas). La totalidad de esos tubérculos se contaron. De la división de kg cosechados / número de tubérculos se obtuvo el peso individual promedio de dichos órganos de reserva.

Con los valores medios de cada una de las variables morfológicas registradas, para cada combinación de ambiente por introducción, se realizó un análisis de agrupamiento y de componentes principales con el objetivo de identificar grupos homogéneos.

2.2.2. Aspectos fenológicos

Semanalmente se evaluaron las experiencias en ambos ambientes y sobre las dos hileras centrales de cada parcela (24 plantas); se cuantificó la emergencia, el número de plantas con capítulos expandidos (amarillos), el número de plantas con capítulos senescentes, el número de plantas “entregadas” (parte aérea totalmente seca).

Con la información obtenida en los registros semanales sobre número de plantas con capítulos expandidos (amarillos) y número de plantas con capítulos senescentes; se contaron los días a inicio de floración (al menos una planta con algún capítulo expandido), días a fin de floración (todas las plantas con sus capítulos senescentes) y duración de la floración (días a fin de floración - días a inicio de floración).

Los datos de cada ambiente se analizaron mediante análisis de varianza y comparación de medias.

2.2.3. Rendimiento

En ambos ambientes (LC y FCA) y para cada una de las introducciones (1 a 5), de cada parcela experimental se cosecharon 20 plantas en total, 10 de cada una de las 2 hileras centrales. El momento de cosecha fue 270 días desde plantación, una vez que el cultivo se había entregado (parte aérea completamente seca) y que había ocurrido una helada importante.

Previo a la cosecha se podó (con tijera) la parte aérea de cada planta, se pasó un “descalzador” de ajo de modo de aflojar la masa de tubérculos y facilitar la cosecha manual. La cosecha propiamente dicha consistió en invertir manualmente esa masa de tubérculos de cada planta, levantarlos y embolsarlos. Se pesó el total de tubérculos correspondientes a las 20 plantas cosechadas en cada parcela experimental. Con ese valor se estimó el rendimiento por ha (kg materia fresca/ ha).

El contenido de materia seca de los tubérculos (%) se determinó a partir de 5 tubérculos por parcela experimental, los que se lavaron para quitar la tierra, se pesaron en fresco, luego se trozaron y colocaron en bandejas de aluminio, las que se llevaron a estufa a 65 °C hasta obtener peso constante. Con los datos de peso seco (PS) y peso fresco (PF) se calculó el % de materia seca (% MS= PS x 100/ PF).

A excepción de los resultados de morfología de hojas, cuyas mediciones fueron realizadas con anterioridad a la ocurrencia de la granizada del 27 de diciembre de 2005 en el ambiente FCA, el resto de las variables morfológicas, las fenológicas y de rendimiento fueron afectadas por tal evento climático en el ambiente FCA.

2.3. Resultados y discusión

2.3.1. Aspectos morfológicos

Hojas: El ángulo de inserción de las hojas, respecto del tallo principal presentó diferencias significativas entre introducciones y entre ambientes (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Ángulos de inserción del pecíolo de las hojas respecto del tallo (°), de las 5 introducciones de topinambur en cada ambiente experimental (LC y FCA).

Introducción	LC	FCA
1	50,42 ± 11,17 a	47,81 ± 9,12 b
2	59,17 ± 12,93 ab	32,5 ± 4,08 a
3	61,25 ± 14,32 b	37,81 ± 7,74 a
4	53,75 ± 10,69 ab	58,44 ± 12,34 c
5	58,75 ± 6,44 ab	52,81 ± 8,56 bc
Promedio	56,67 ± 11,74 A	45,87 ± 12,85 B

Letras distintas indican diferencias significativas, minúsculas dentro de cada columna y mayúsculas entre columnas. $\alpha = 0,05$.

En promedio, las hojas fueron más erguidas en FCA (45,87°) y más péndulas en LC (56,67°). La diferencia entre ambientes podría atribuirse al mayor tamaño de las hojas en este último.

La longitud de las láminas presentó diferencias entre introducciones. Las láminas de I 2 e I 3 rondaron los 14 cm. y fueron significativamente más largas que el resto (Tabla 2.2). No se presentaron diferencias de longitud de láminas entre ambientes.

Tabla 2.2. Longitud de láminas foliares (cm) de las 5 introducciones de topinambur comparadas, promedio de los ambientes experimentales (LC y FCA).

Introducción	Longitud de láminas foliares
1	13,16 ± 0,73 b
2	14,31 ± 0,95 a
3	14,24 ± 0,91 a
4	13,37 ± 0,76 b
5	13,67 ± 0,76 b

Letras distintas indican diferencias significativas.
 $\alpha = 0,05$.

El ancho de las hojas resultó distinto entre introducciones y entre ambientes. Las introducciones 2 y 3 presentaron hojas más anchas que el resto, y en el ambiente LC las hojas fueron más anchas que en el ambiente FCA (Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Ancho de láminas foliares (cm) de las 5 introducciones de topinambur comparadas en cada ambiente experimental (LC y FCA).

Introducción	LC	FCA
1	8,7 ± 0,90 b	7,27 ± 0,61 c
2	10,4 ± 1,06 a	8,05 ± 0,83 a
3	10,75 ± 1,36 a	7,89 ± 1,02 ab
4	8,9 ± 0,76 b	7,7 ± 0,59 abc
5	8,73 ± 0,97 b	7,51 ± 0,55 bc
Promedio	9,50 ± 1,34 A	7,69 ± 0,77 B

Letras distintas indican diferencias significativas, minúsculas dentro de cada columna y mayúsculas entre columnas. $\alpha = 0,05$.

La relación longitud/ancho de láminas manifestó diferencias significativas entre introducciones en el ambiente LC. Las introducciones 2 y 3 tuvieron relaciones más pequeñas, asociado esto a hojas más anchas. En FCA no se manifestaron diferencias entre introducciones (Tabla 2.4). Entre ambientes hubo diferencias para la relación longitud/ ancho de láminas. En LC la relación fue 1.45 y en FCA 1.81, diferencia que se explica por el mayor ancho en las hojas en el ambiente LC.

Tabla 2.4. Relación longitud/ ancho de láminas de las 5 introducciones de topinambur comparadas en cada ambiente experimental (LC y FCA).

Introducción	LC	FCA
1	1,49 ± 0,10 b	1,84 ± 0,14 a
2	1,35 ± 0,12 a	1,82 ± 0,16 a
3	1,32 ± 0,13 a	1,84 ± 0,20 a
4	1,52 ± 0,07 b	1,73 ± 0,15 a
5	1,57 ± 0,14 b	1,83 ± 0,14 a

Letras distintas indican diferencias significativas dentro de cada columna. $\alpha=0,05$.

Altura de las plantas: se detectaron diferencias significativas entre introducciones en cada ambiente y entre ambientes (Tabla 2.5).

Tabla 2.5. Altura de plantas (m) de las 5 introducciones de topinambur comparadas en cada ambiente experimental (LC y FCA).

Introducción	LC	FCA
1	2,24 ± 0,27 b	1,78 ± 0,16 a
2	2,51 ± 0,27 a	1,55 ± 0,25 b
3	2,2 ± 0,29 b	1,46 ± 0,21 c
4	2,31 ± 0,26 b	1,60 ± 0,17 b
5	2,56 ± 0,24 a	1,58 ± 0,18 b
Promedio	2,36 ± 1,34 A	1,59 ± 0,22 B

Letras distintas indican diferencias significativas, minúsculas dentro de cada columna y mayúsculas entre columnas. $\alpha=0,05$.

Las introducciones 2 y 5 fueron las más altas en el ambiente La Consulta; en FCA, la introducción 1 resultó de mayor altura. Otros autores han comparado altura de cultivares en distintos ambientes, encontrando valores de altura que variaron entre

1,18 m a 2,41 m, para las distintas combinaciones de cultivar por ambiente (Ragab *et al.*, 2003).

Peso promedio de los tubérculos: Para esta variable se manifestaron diferencias entre introducciones y entre ambientes. Las introducciones 2 y 3 tuvieron tubérculos más pesados que el resto (Tabla 2.6).

Tabla 2.6: Peso promedio de los tubérculos (g) de las 5 introducciones de topinambur comparadas en cada ambiente experimental (LC y FCA).

Introducción	LC	FCA
1	66,66 b	28,95 b
2	81,33 a	42,27 a
3	82 a	40,66 a
4	65 b	29,68 b
5	57,33 b	27,75 b
Promedio	70,47 A	33,86 B

Letras distintas indican diferencias significativas, minúsculas dentro de cada columna y mayúsculas entre columnas. $\alpha=0,05$.

Entre ambientes también hubo diferencias. En promedio, los tubérculos de LC pesaron 70 g y los de FCA 34 g. Tal diferencia es debida al granizo que en este último ambiente tuvo un importante impacto en el tamaño final de las plantas y por lo tanto en la capacidad de producir “fotoasimilados” y traslocarlos desde la parte aérea a los tubérculos.

Si se analizan los tamaños de tubérculos en LC, observamos un rango de variación de tamaño de tubérculos que va desde 57 a 82 g. Todos estos pesos están comprendidos dentro del rango de 45 a 100 g planteado por Berenji and Sikora (2001), en un estudio donde compararon este parámetro entre 20 cultivares; y son mayores a los pesos promedio obtenidos en pruebas con otros cultivares en Egipto, donde los pesos variaron desde 20 a 60 g (Ragab *et al.*, 2003).

En síntesis, en ambos ambientes, las introducciones 2 y 3 (ambas de tubérculos con epidermis roja) presentaron tubérculos más pesados que el resto otras introducciones (de tubérculos con epidermis blanca).

Con el valor promedio de cada una de las variables morfológicas para cada combinación de ambiente, LC y FCA, por introducción, 1, 2, 3, 4 y 5 (Tabla 2.7), se realizó un análisis de agrupamiento con el objetivo de identificar grupos de datos similares.

Tabla 2.7: Valores promedio de las variables morfológicas medidas a las introducciones de topinambur en los dos ambientes experimentales.

Amb * Introd.	Altura pl. (m)	largo hoja (cm)	largo pe- cíolo (cm)	largo lá- mina (cm)	ancho lá- mina (cm)	rel. largo/ ancho	ángulo in- serción (°)	Peso tubér- culos (g)
LC 1	2,24	17,06	4,04	12,98	8,7	1,5	50,42	66,67
LC 2	2,51	18,55	4,55	14	10,4	1,35	59,17	81,33
LC 3	2,2	18,25	4,18	14,07	10,75	1,32	61,25	82
LC 4	2,31	17,59	4,03	13,56	8,9	1,53	53,75	65
LC 5	2,56	17,79	4,14	13,65	8,73	1,58	58,75	57,33
FCA 1	1,78	17,22	3,93	13,29	7,28	1,84	47,81	28,95
FCA 2	1,55	18,53	3,99	14,54	8,06	1,82	32,5	42,27
FCA 3	1,46	18,53	4,16	14,37	7,89	1,84	37,81	40,66
FCA 4	1,6	17,49	4,26	13,23	7,7	1,73	58,44	29,68
FCA 5	1,58	17,58	3,89	13,69	7,51	1,83	52,81	27,75

El análisis de agrupamiento realizado a partir de todos los datos anteriores indicó los grupos que se indican en la siguiente figura.

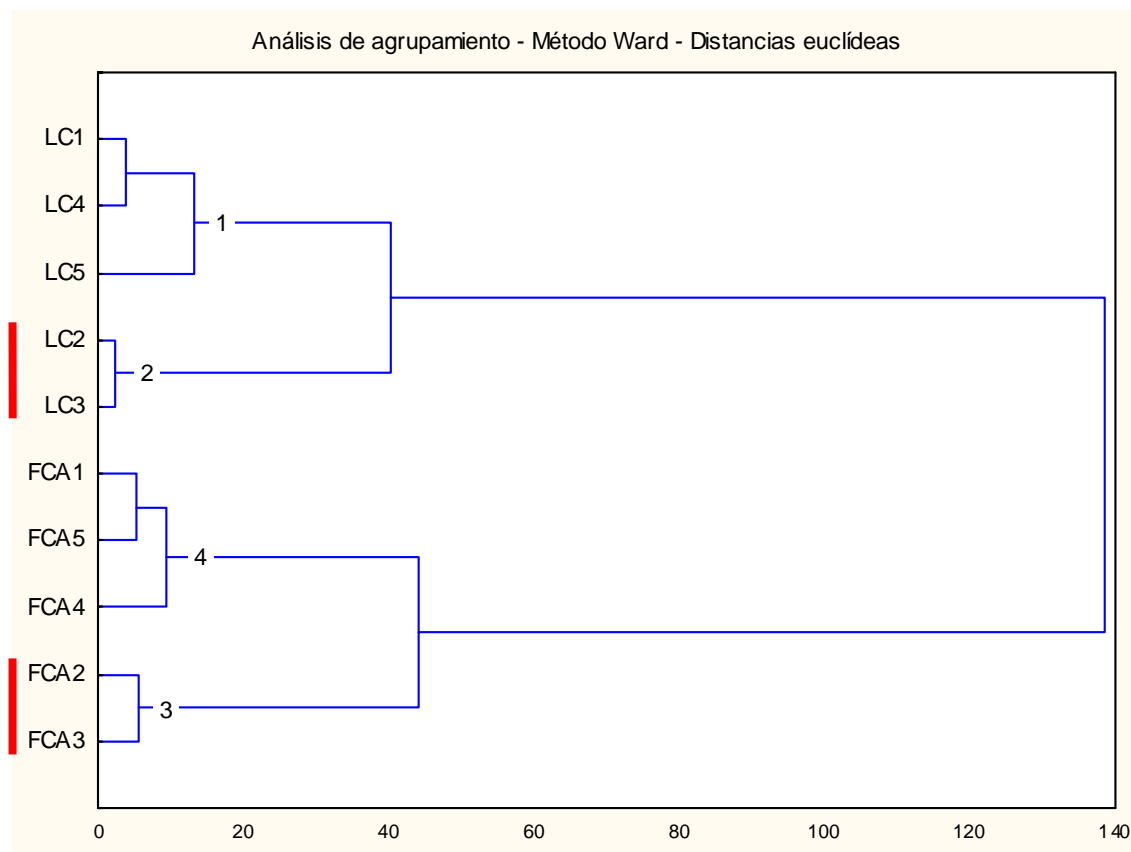


Figura 2.1: Agrupamiento de los distintos tratamientos en función de variables morfológicas (altura de plantas, mediciones en hojas y peso promedio de tubérculos)

En la figura 2.1 puede observarse que hay dos grandes grupos, que representan cada uno de los ambientes (LC y FCA), y dentro de cada ambiente, las introducciones 2 y 3 se separan del resto. La separación entre ambientes es bastante esperable, ya que el efecto granizo en FCA generó impactos importantes sobre algunas de las variables morfológicas utilizadas en el análisis de agrupamiento. La separación de 2 y 3 de 1, 4 y 5 en ambos ambientes, sugiere que las introducciones de tubérculos rojos (I 2 e I 3) corresponden a materiales de características morfológicas muy similares, y lo mismo ocurre para las introducciones de tubérculos blancos (I 1, I 4 e I 5). En definitiva, aunque la variable color de tubérculos no fue tomada en cuenta para el análisis de agrupamiento, la formación de grupos a partir del resto de las variables consideradas, generó en cada ambiente 2 grupos, uno correspondiente a introducciones de tubérculos rojos y el otro correspondiente a introducciones de tubérculos blancos.

El análisis de componentes principales que determinan la formación de los grupos indicó que con 2 factores o componentes se pudo explicar más del 86 % de tal agrupamiento. Las variables morfológicas que integran cada componente o factor se indican en la figura 2.2.

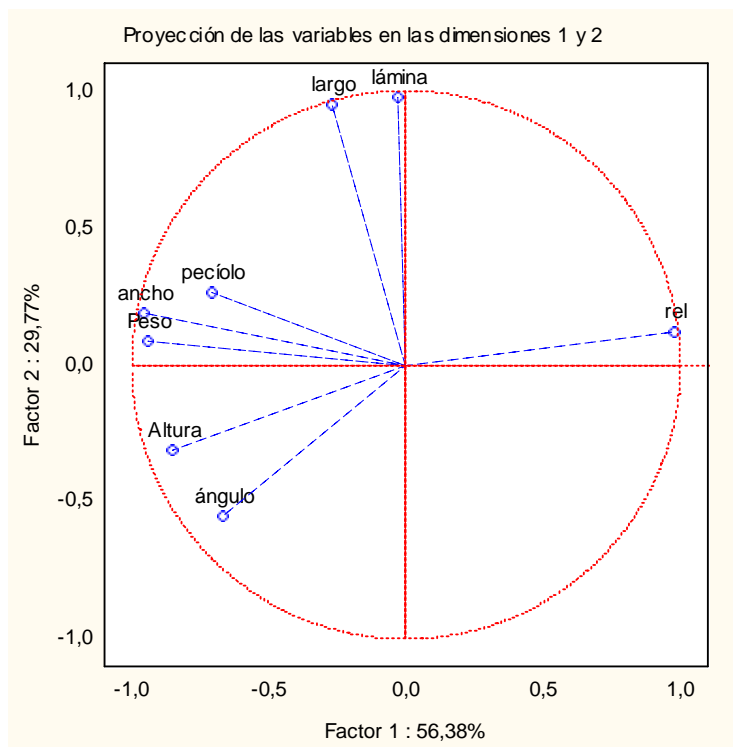


Figura 2.2: Análisis de componentes principales. Proyección de las variables en las dimensiones o factores 1 y 2.

El factor 1, estuvo determinado fundamentalmente por las siguientes variables morfológicas: relación largo/ ancho de la lámina, ancho de la lámina, peso de los tubérculos, altura de las plantas y largo de pecíolo. El factor 2, por las siguientes variables: largo de lámina y largo total de hoja (lámina + pecíolo).

En la siguiente tabla se indica la influencia de cada variable en la determinación de los dos factores principales.

Tabla 2.8: Variables de carga de los dos factores principales determinantes del agrupamiento. * indican los valores significativos.

Variable de carga	Factor 1	Factor 2
Altura	-0,85 *	-0,31
Largo total hoja	-0,27	0,95 *
largo pecíolo	-0,70 *	0,27
Largo lámina	-0,03	0,97 *
Ancho lámina	-0,96 *	0,19
Rel. Largo/ ancho lámina	0,97 *	0,11
Ángulo inserción	-0,67	-0,55
Peso tubérculos	-0,94 *	0,08

2.3.2. Aspectos fenológicos

Emergencia

Todas las introducciones en los dos ambientes completaron la emergencia a los 35 días desde plantación (**DDP**). Estos resultados coinciden con los mencionados por Hay and Offer (1992), quienes hablan de un éxito en la emergencia usualmente alto (98-100%), y que la emergencia comienza generalmente 3 a 5 semanas después de plantación, con diferencia de pocos días entre cultivares.

Floración

Se observó alta presencia de abejas en el período de floración, en ambos ambientes experimentales. Esto hace suponer de que esta especie tendría aptitud melífera; tal como lo indican algunos investigadores. Ricciardelli D' Albore e Intoppa (2000) mencionan que en general el género *Helianthus* es muy visitado por las abejas. En una revisión de la flora apícola uruguaya se hace referencia al topinambur, destacando que su floración ocurre en los meses de febrero y marzo y que básicamente ésta es una especie productora de néctar, no así de polen (Bazzurro, 1984).

Ambiente La Consulta (LC)

El **inicio de floración** (días desde plantación hasta la aparición del primer capítulo en alguna planta) manifestó diferencias entre introducciones. Las introducciones 2 y 3 fueron las más precoces, 1 tuvo un comportamiento intermedio, seguida de la 4 mientras que la introducción 5 fue la más tardía. Ver Tabla 2.9.

Tabla 2.9: Días a inicio de floración de las 5 introducciones comparadas, en el ambiente La Consulta.

Introducción	Días a inicio de floración
1	127 ab
2	118 a
3	118 a
4	141,33 b
5	161,33 c

Letras distintas indican diferencias significativas.

Los resultados encontrados para esta variable se encuentran dentro del rango de 69 a 174 días indicado en los resultados de Stanley and Kultur (2005), quienes caracterizaron aspectos relativos a la floración de 190 clones de topinambur en una experiencia realizada en Estados Unidos.

El **final de la floración** (días desde plantación hasta senescencia total de los capítulos) presentó diferencias entre las introducciones. 2 y 3 fueron las más precoces, 1 intermedia, 4 y 5 demoraron más días hasta fin de floración (Tabla 2.10).

Tabla 2.10: Días a fin de floración de las 5 introducciones comparadas, en el ambiente La Consulta.

Introducción	Días a fin de floración
1	208 b
2	200 a
3	199 a
4	214,33 c
5	214,33 c

Letras distintas indican diferencias significativas.

La **duración de la floración** estuvo comprendida entre 53 y 82 días. La menor duración correspondió a la introducción 5 y entre el resto no se presentaron diferencias estadísticas significativas (Tabla 2.11).

Tabla 2.11: Duración de la floración (días) en las 5 introducciones de topinambur comparadas en el ambiente La Consulta.

Introducción	Duración de la floración (días)	
1	81	a
2	82	a
3	81	a
4	73	a
5	53	b

Letras distintas indican diferencias significativas.

Para esta variable, duración de la floración, Stanley and Kultur (2005) plantean un rango de variación que va desde 21 a 126 días, los resultados obtenidos en La Consulta están dentro de estos límites.

Es importante destacar que en este ambiente el 100% de las plantas de las 5 introducciones florecieron.

Ambiente Facultad de Ciencias Agrarias (FCA)

El **inicio de floración** (días desde plantación hasta la aparición del primer capítulo en alguna planta) no manifestó diferencias significativas entre introducciones. Este período varió desde 170 días (I 1) a 186 días (I 2).

El **final de la floración** (días desde plantación hasta senescencia total de los capítulos) no presentó diferencias entre introducciones, y osciló entre 201 y 203 días.

La **duración de la floración** estuvo comprendida entre 16 y 33 días, y las diferencias no alcanzaron a ser significativas.

En este ambiente, a diferencia de LC, hubo una importante proporción de plantas que no florecieron. La cantidad de plantas con flores presentó diferencias entre las introducciones. I 2 e I 3 tuvieron en promedio 2,25 plantas con flores por parcela, lo que sobre un total de 24 plantas censadas representa el 9,38%, I 5 tuvo en promedio 12,25 plantas con flores (51,04 %), mientras que I 1 e I 4 tuvieron mayor proporción de plantas con flores (entre 70,83 y 78,13 %, respectivamente).

Entrega del cultivo

Se consideró al cultivo “entregado” cuando el material aéreo se apreciaba completamente seco.

En ambos ambientes se detectaron diferencias de tiempo de entrega entre introducciones. 2 y 3 resultaron las más precoces en LC (220 días) y FCA (225 días). Mientras que el resto de las introducciones en ambos ambientes se entregó entre los 232 y 234 días.

2.3.3. Rendimiento

Ambiente La Consulta (LC)

No se detectaron diferencias de rendimiento (kg de tubérculos/ ha) entre las introducciones comparadas. El rendimiento promedio fue de 57.069 kg/ha, variando desde 51.991 (I 3) hasta 67.391 (I 5). Los valores promedio y la desviación estándar de cada introducción se presentan en la tabla 2.12.

El **peso promedio de los tubérculos** de topinambur varió desde 57 g (I 5) hasta más de 80 g (I 2 y 3). Todos estos pesos están comprendidos dentro del rango de 45 a 100 g planteado por Berenji and Sikora (2001), en un estudio donde compararon este parámetro entre 20 cultivares.

Tabla 2.12: Rendimiento de tubérculos de topinambur (kg/ ha) de 5 introducciones procedentes de distintas regiones de la Argentina, cultivados en La Consulta, Mendoza, ciclo 2005-2006.

Introducción	“n”	Rendimiento tubérculos
1	3	58.133 ± 11.815
2	3	54.379 ± 8.936
3	3	51.991 ± 5.371
4	3	53.450 ± 7.189
5	3	67.391 ± 9.459

Valores promedio y desviaciones estándar. C.V.: 16,5

Aparentemente, los mayores rendimientos de tubérculos por unidad de superficie, estarían más asociados al número de tubérculos que al tamaño de los mismos. La introducción 5, la de mayor producción de tubérculos, fue la que presentó el menor tamaño promedio de los mismos.

El **% de materia seca** de los tubérculos promedió 24,67 %, valor muy similar al de 25 % encontrado por De Mastro *et al.* (2004) en experiencias en Italia con el cultivar “Violetto di Rennes”. Otros resultados experimentales donde se comparan variedades indican variaciones en el contenido de materia seca que van desde al 19 al 24 % (Reust and Dutoit, 1992). No se detectaron diferencias entre las introducciones comparadas (Tabla 2.13).

Tabla 2.13: Porcentaje de materia seca de los tubérculos de topinambur de las introducciones estudiadas, cultivadas en el ambiente LC.

Introducción	“n”	MS (%)
1	3	25,08 ± 3,80
2	3	22,76 ± 0,36
3	3	24,31 ± 2,00
4	3	26,13 ± 1,06
5	3	25,06 ± 1,94

Valores promedio y desviación estándar. C.V: 8,75

Ambiente Facultad Ciencias Agrarias (FCA)

No se encontraron diferencias de **rendimiento** (kg de tubérculos/ ha) entre las introducciones comparadas. El rendimiento promedio fue de 25.431 kg/ha, variando desde 21.937 (I 1) hasta 29.906 (I 5). Los valores promedio y la desviación estándar de cada introducción se presentan en la tabla que sigue.

Tabla 2.14: Rendimiento de tubérculos de topinambur (kg/ ha) de 5 introducciones procedentes de distintas regiones de la Argentina, cultivados en Chacras de Coria, Mendoza, ciclo 2005-2006.

Introducción	“n”	Rendimiento (kg/ ha)
1	3	21.937 ± 4623
2	3	22.375 ± 9430
3	3	27.656 ± 6478
4	3	25.281 ± 5258
5	3	29.906 ± 2797

Valores promedio y desviaciones estándar. C.V.: 24,7

El **peso promedio de los tubérculos** de topinambur varió desde 27 g (I 5) hasta 40 g (I 2 y 3). Todos estos pesos menores al rango de variación (45 a 100 g) planteado por Berenji and Sikora (2001), en un estudio donde compararon este parámetro entre 20 cultivares; aunque comprendidos en el rango indicado por Ragab *et al.* (2003) en pruebas con otros cultivares en Egipto, donde los pesos variaron desde 20 a 60 g .

El **% de materia seca** de los tubérculos promedió 21.48 %, valor comprendido entre el rango de variación indicado en investigaciones previas, el que varía del 19 al 24 % (Reust and Dutoit, 1992). No se detectaron diferencias entre las introducciones comparadas (Tabla 2.15).

Tabla 2.15: Porcentaje de materia seca de los tubérculos de topinambur de las introducciones estudiadas, cultivadas en el ambiente FCA.

Introducción	“n”	MS (%)
1	3	22,17 ± 1,11
2	3	21,09 ± 0,68
3	3	21,26 ± 2,52
4	3	21,25 ± 1,47
5	3	21,65 ± 1,26

Valores promedio y desviación estándar. C.V: 6,33

Consideraciones comunes a ambos ambientes

Aunque sin diferencias significativas, la introducción 5 en ambos ambientes, tuvo rendimientos mayores que el resto; siendo de 67.000 kg/ ha en LC y casi 30.000 kg/ ha en FCA; y el menor tamaño promedio de tubérculos, 57,33 g y 27,75 g respectivamente. La duración de la floración en esta introducción fue menor que la de los otros materiales; esto podría relacionarse con la asignación diferencial de recursos para las dos estrategias reproductivas: sexual (semillas) y agámica (tubérculos), habiéndose priorizado la asignación a tubérculos en I 5. Westley (1993) demostró en experiencias con esta especie que estos destinos son competitivos. Por otro lado, hay referencias de que el señor Jorge Von Hermann (1972) trabajó en la selección del cultivar Bianka para lograr mayor rendimiento de tubérculos. Al producto de dicha selección lo denominó “Loncahue”. La introducción 5 es procedente de Nono, Traslasierras, Córdoba; y provista por Bernardo Von Hermann, nieto del señor Jorge Von Hermann, lo que podría estar reflejando el trabajo de mejoramiento efectuado para rendimiento de tubérculos. Aparentemente el mayor rendimiento en 5 está más ligado a mayor cantidad de tubérculos que al mayor peso de los mismos, ya que en ambos ambientes el menor tamaño promedio de tubérculos corresponde a esta introducción.

2.4. Conclusiones

Se detectaron diferencias en algunas características morfológicas de las introducciones de *Helianthus tuberosus* L. comparadas. En relación a las hojas, quizás lo más relevante sea que, en términos generales las introducciones 2 y 3 tienen hojas más largas y anchas, vale decir más grandes, que el resto. Además, estas introducciones presentaron tubérculos más grandes que las otras, siendo su tamaño promedio de alrededor de 80 g en LC y de 40 g en FCA. Las características morfológicas permitieron separar a las introducciones en dos grupos; los que diferenciaron a los materiales de tubérculos rojos (I 2 e I 3) de los materiales con tubérculos blancos (I 1, I 4 e I 5). A los fines prácticos de la diferenciación el color de los tubérculos (fotos 1 y 2 anexo) sería el indicador más claro y simple de diferencias.

En relación a la evolución fenológica; para plantaciones de principios de septiembre de 2005, las 5 introducciones de *Helianthus tuberosus* L. evaluadas en dos ambientes (LC y FCA), la emergencia de las plantas se completó a los 35 días desde plantación

(DDP). En LC el inicio de floración varió entre los 118 días (1 y 2) a los 161 días (5). En FCA la floración se inició entre los 170 y 186 días, demora asociada al efecto que el granizo ocurrido el 27/12/05 pudo haber ocasionado sobre las plantas que quedaron completamente defoliadas y “golpeadas” después de tal evento climático (foto 3 anexo). El fin de la floración, coincidente con la senescencia total de los capítulos, rondó los 200 días en las introducciones del ambiente FCA y varió entre 200 (I 2 e I 3) y 214 días (I 4 e I 5) en el ambiente LC. Las diferencias de momento de ocurrencia de inicio y fin de floración generaron importantes diferencias de duración de la floración. En LC las introducciones 1 a 4 tuvieron duraciones de floración que rondaron los 80 días, en cambio la introducción 5 tuvo una floración más corta (53 días). En FCA, la floración fue más corta, de 16 a 33 días, dependiendo de las introducciones. La menor duración de la floración en este ambiente, estuvo fundamentalmente asociada al retraso en el inicio de la misma por efecto del granizo. El porcentaje de plantas que florecieron fue de 100 % en LC y varió desde el 9% (introducciones 2 y 3) hasta alrededor del 70 % en FCA. Las introducciones 2 y 3 fueron más sensibles al efecto del granizo sobre la cantidad de plantas que llegaron a floración.

Se presentaron diferencias de **rendimiento** entre ambientes, pero no entre introducciones. En el ambiente LC el rendimiento promedio fue de 57.069 kg/ ha, mientras que en FCA fue de 25.431 kg/ ha. Los mayores rendimientos, en ambos ambientes, se obtuvieron con la introducción 5, siendo de 67.000 kg/ ha en LC y casi 30.000 kg/ ha en FCA, aunque no llegaron a ser estadísticamente diferentes del resto. El mayor rendimiento en esta introducción estuvo directamente relacionado al número de tubérculos e indirectamente relacionado al tamaño de los mismos, ya que fueron los más pequeños; y probablemente asociado al período de floración más breve.

El **% de materia seca** de los tubérculos difirió entre ambientes, fue de 21.48 % en FCA y de 24.67 % en LC. Pero no hubo diferencias significativas entre introducciones.

Aunque sin diferencias entre introducciones, los valores de rendimiento obtenidos son interesantes, incluso bajo condición de granizo. Este evento climático es bastante frecuente en muchas zonas de la región cuyana, y sobre algunos cultivos, el daño puede ser total. En el caso del topinambur, y sobre todo para sus usos industriales (inulina y etanol) obtener producción, aunque menor y de tubérculos más pequeños,

no imposibilita la posibilidad de comercialización. Distinto podría ser el panorama para el destino hortícola donde es factible que tubérculos demasiado pequeños no sean seleccionados por los potenciales consumidores.

Aunque no se mencionara en los párrafos iniciales de este capítulo, es de destacar que los rendimientos más altos citados en la bibliografía corresponden a topinambur regado con aguas residuales. En tal caso, se mencionan rendimientos de hasta 120.000 kg/ha (Parameswaran, 1999). Cuando el cultivo se plantea como “cultivo energético”, vale decir para obtener bioetanol, esta modalidad de riego se torna muy interesante por el alto potencial de rendimiento asociado. Sería importante evaluar el comportamiento del topinambur regado con aguas residuales locales generadas en alguno/s de los centros urbanos más poblados de la provincia de Mendoza.

Tanto los datos morfológicos, como los fenológicos, estarían indicando la presencia de dos grupos homogéneos dentro de las introducciones de topinambur evaluadas. Las introducciones 2 y 3 formarían un grupo homogéneo y el otro grupo estaría formado por las introducciones 1, 4 y 5. Aunque el color de los tubérculos no fuera un parámetro considerado para la formación de grupos, coincidió que los grupos formados corresponden a tubérculos rojos (I 2 y 3) y tubérculos blancos (1, 4 y 5). Podría especularse sobre la existencia de dos materiales o cultivares de topinambur disponibles en nuestro país, “topinambur rojo” y “topinambur blanco”.

2.5. Bibliografía

BAZZURRO, D. 1984. Flora apícola. En: <http://www.mgap.gub.uy/Junagra/Apicultura/FloraApicola.pdf#search=%22plantas%20mel%C3%ADferas%20Helianthus%20tuberosus%22>

BERENJI, J. and V. SIKORA. 2001. Variability and stability of tuber yield of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *Helia* 24 (35): 25-32.

DE MASTRO; G., MANOLIO, G., and V. MARZI. 2004. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) and chicory (*Cichorium intybus* L.): Potential crops for inulin production in the Mediterranean area. *Acta Hort.* 629: 365-374.

DENOROY, P. 1996. The crop physiology of *Helianthus tuberosus* L.: a model orientated view. *Biomass and bioenergy*, 11 (1): 11-32.

HAY, R.K.M. and N.W.OFFER. 1992. *Helianthus tuberosus* as an alternative forage crop for cool maritime regions-a preliminary study of the yield and nutritional quality of shoot tissues from perennial stands. *J.Sci.Food Agric* 60, 2: 213-221.

KAYS, S. J. and S. F. NOTTINGHAM. 2008. *Biology and chemistry of Jerusalem artichoke*. CRC Press, Taylor & Francis Group.

KAYS, S. J., and F. KULTUR. 2005. Genetic variation in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) flowering date and duration. *HortScience* 40(6):1675-1678.

KLUG-ANDERSEN, S. 1992. Jerusalem artichoke: a vegetable crop growth regulations and cultivars. *Acta Horticulturae* 318: 145-152.

LOSAVIO, N., LAMASCESE, N., and A. V. VONELLA. 1997. Water requirements and nitrogen fertilization in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) grown under Mediterranean conditions. *Acta Hort.* 449, 1: 205-209.

PARAMESWARAN, M. 1999. Urban wastewater use in plant biomass production. *Resources, Conservation and Recycling*, 27: 39-56.

RAGAB, M. E., OKASHA, KH. A., EL-OKSH, I. I., and N. M. IBRAHIM. 2003. Effect of cultivar and location on yield, tuber quality, and storability of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.)I. Growth, yield and tuber characteristics. *Acta Hort.* 620, ISHS: 103-111.

REUST, W., and J. P. DUTOIT. 1992. Renewable raw material and alternative crops: yield potential of Jerusalem artichoke, sweet sorghum and a source. *Landwirtschaft-Schweiz*, 5 (10): 509-516.

RICCIARDELLI, D' ALBORE, G. and F. INTOPPA. 2000. Fiori e api. La flora visitada dalle Api e dagli altri Apoidei in Europa. En: http://www.bombus.it/pdf/fiori_e_api/european_bee_forage.pdf#search=%22plantas%20mel%C3%ADferas%20topinambur%22

SWANTON, C. J. 1994. Jerusalem artichoke. En: <http://www.omafr.gov.o.ca/english/crops/facts/94-077.htm>

VON HERMANN, J. 1972. Topinambur, la jungla de forraje. *Revista Agronuestro*, junio 1972, pp. 46-47.

WESTLEY, L. C. 2003. The effect of inflorescence bud renewal on tuber production in *Helianthus tuberosus* L. (Asteraceae). *Ecology* 74(7): 2136-2144.

CAPÍTULO 3

APTITUD HORTÍCOLA DE LAS INTRODUCCIONES DE TOPINAMBUR: EVALUACIÓN SENSORIAL

Resumen

El topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) no está difundido como hortaliza en nuestro país, aunque sus tubérculos se consumen en la alimentación humana en otros lugares del mundo. Desde el punto de vista hortícola, esta especie, posee una alta proporción de inulina en sus tubérculos, y por las propiedades benéficas de este carbohidrato sobre la salud, podría ser considerada una hortaliza funcional. Las introducciones de topinambur que se comparan en esta tesis fueron evaluadas sensorialmente. Se realizó una prueba de preferencia, que expresa la reacción de un evaluador que lo conduce a encontrar a un producto mejor que otro o que varios. También se valoró la percepción de los siguientes aspectos: color, olor, sabor y textura. Además se compararon distintas formas de preparación de topinambur (crudo, frito, puré, microondas y al horno) y su grado de aceptación general. Los resultados de la prueba de preferencia no mostraron diferencias entre las introducciones de topinambur probadas. Los perfiles sensoriales indican que textura y color fueron los aspectos más positivamente valorados. En relación a la preferencia por las distintas formas de preparación, no se detectaron diferencias entre el topinambur crudo, frito, puré, cocinado en microondas o en horno de gas. En términos generales el nivel de aceptación del topinambur fue positivo, independientemente de la forma de preparación degustada. Más de la mitad de los evaluadores indicó que el topinambur le gustó o le gustó mucho, el 28 % manifestó que ni le gustó ni le disgustó y sólo el 18 % señaló que esta hortaliza no le gusta.

Palabras clave: topinambur, alimento funcional, evaluación sensorial, preferencia, aceptación.

3.1. Introducción

En buena medida, la aptitud de una hortaliza para ser aceptada por los consumidores depende de su calidad. La calidad puede definirse como la totalidad de rasgos y características de un producto que influyen en su aptitud para satisfacer requerimientos de los consumidores. Entre los principales parámetros que definen la calidad de una hortaliza aparecen los siguientes: nutricional, higiénico sanitario, de presentación, de comercialización y sensorial (Vignoni, 2004). La evaluación sensorial es la disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones humanas a las características de los alimentos y otras sustancias, que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído. Por lo tanto es una herramienta que permite obtener información valiosa que no es posible obtener mediante otros métodos (Gállinger, 1998). Las evaluaciones sensoriales se hacen con diferentes objetivos. Pueden realizarse para conocer el juicio crítico del consumidor (aceptabilidad o preferencia), valorar características del producto que se evalúa, adaptación a diferentes destinos, comparación con otros productos, evaluación de nuevos productos, entre otros. La calidad sensorial de un alimento es el conjunto de sensaciones experimentadas por una persona cuando lo ingiere. Está asociada a atributos como el color, el sabor, el olor y la textura, los cuales son percibidos por el consumidor y en muchos casos determinan su elección (Roffo, 2000, Margaría, 1998). La necesidad de adaptarse a los gustos del consumidor obliga a que, de una forma u otra, se intente conocer cuál será el juicio crítico del consumidor en la valoración sensorial que realizará del alimento (Sancho *et al.*, 2002).

El topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) no está difundido como hortaliza en nuestro país, aunque sus tubérculos se consumen en la alimentación humana en otros lugares del mundo. Existen referencias históricas que indican que el topinambur era cultivado y consumido por los aborígenes de Norteamérica, de donde es originaria esta especie, cuando los exploradores europeos llegaron a América (Shoemaker y Wyse, ambos citados por Mc Carter, 1984). Pronto se difundió en Europa, tanto para alimentación animal como para alimentación humana. Actualmente se consume como hortaliza en algunos mercados, pero en escasa cantidad. Los tubérculos de topinambur acumulan reservas en forma de inulina. A este hidrato de carbono se le atribuyen una serie de propiedades benéficas para la salud (Stanley and Kultur, 2005). La inulina es un tipo de fructano; carbohidrato que se considera funcional por proporcionar acciones beneficiosas a la salud humana, como por ejemplo el aumento

de bifido-bacterias presentes en el intestino humano (Alipio, y Biggs, citados por Carvalho *et al.*, 2004, Ritsema and Smeekens, 2003) y por la disminución de los niveles de colesterol y triglicéridos en la sangre (Jackson *et al.*, citados por Carvalho *et al.*, 2004).

El topinambur podría considerarse un alimento funcional debido a su alto contenido de inulina (16 a 20 % del peso fresco del tubérculo, según Chubey and Dorrell, citados por Ragab *et al.*, 2003). Esta especie aparece en los primeros lugares cuando se citan las plantas comestibles ricas en inulina (Causey *et al.*, 2000; Ritsema and Smeekens, 2003, Kaur and Gupta, 2002, De Mastro *et al.*, 2004).

Aunque la utilización de esta especie como hortícola es limitada, se consume en muchos países europeos, en América del Norte y en menor medida en otras partes del mundo. Se mencionan diversas formas de preparación: crudo, cocido e incluso encurtido (Duke, 1983). Debido a que los tubérculos acumulan reservas en forma de fructanos y no de almidón, estos constituyen una alternativa a la papa (*Solanum tuberosum*) en dietas de diabéticos.

Las introducciones de topinambur que se comparan en esta tesis fueron evaluadas sensorialmente, con una prueba de preferencia. Las pruebas de preferencia expresan el estado emocional o reacción de un evaluador que lo conduce a encontrar a un producto mejor que otro o que varios. También se valoró la percepción de los siguientes aspectos: color, olor, sabor y textura. Además se compararon distintas formas de preparación de topinambur (crudo, frito, puré, microondas y al horno) y su grado de aceptación general, con el objetivo de valorar la aptitud de esta especie como hortaliza (*).

(* *La organización de estas evaluaciones sensoriales estuvo a cargo de Daniel Romera, estudiante de Licenciatura en Bromatología, quien utilizará parte de la información generada como parte de su tesis de grado.*

3.2. Metodología

En primera instancia se realizó una prueba de preferencia de las introducciones de topinambur; para detectar si alguna/s de ella/s eran preferida/s por los evaluadores (n= 30). Las introducciones de topinambur se dieron a probar crudas, con los tubérculos previamente pelados, lavados y cortados en rodajas finas. En general, se recomienda realizar la cata con los productos en la forma en que se consumen normalmente. Como el topinambur no se consume masivamente en Argentina, no existen hábitos respecto de la forma de consumo de esta hortaliza. Por tal motivo, se realizó una prueba preliminar con distintas formas de preparación para definir cuál sería la más apropiada para utilizar en la prueba definitiva. Se optó por la opción crudo, por considerar que era la que menos enmascararía las características del producto. En esa misma prueba se valoró la percepción de los siguientes aspectos: color, olor, sabor y textura (se adjunta, al final del capítulo, el modelo de encuesta (1) entregado a los evaluadores). La prueba se realizó en una sala tranquila, sin distractores, de forma que los degustadores pudieran concentrarse en su trabajo. El horario de realización de la misma fue entre las 11 y 12 de la mañana. El director del panel de degustación dio la información imprescindible y las instrucciones generales respecto a la organización general de la prueba. Los degustadores probaron las muestras de las 5 introducciones de topinambur, las que habían sido debidamente identificadas, y volcaron la percepción de las muestras degustadas en las encuestas diseñadas para tal fin. Con la información obtenida y ordenada, se realizó un test de Friedman para detectar el orden de preferencia de las introducciones. Además, se realizó un perfil sensorial con los aspectos percibidos por los evaluadores: color, olor, sabor y textura.

Con una de las introducciones se valoró el grado de aceptación y de preferencia de distintas formas de preparación del topinambur (se adjunta, al final del capítulo, el modelo de encuesta (2) entregado a los evaluadores). En esta prueba participaron 12 evaluadores semientrenados; las formas de preparación fueron las siguientes: crudo, frito, puré, microondas y al horno. Antes del ensayo se realizaron pruebas preliminares que permitieron sistematizar las distintas formas de preparación de los tubérculos. Se realizó un test de Friedman para detectar el orden de preferencia de las distintas formas de preparación.

3.3. Resultados y discusión

Los resultados de la prueba de preferencia no mostraron diferencias entre las introducciones de topinambur probadas ($F_m=7,56$ vs $F_c=9,49$).

Los perfiles sensoriales indican que textura y color fueron los aspectos más positivamente valorados, aunque no se detectaron diferencias entre las introducciones (Figura 3.1). En general se considera que la textura es un atributo importante en un alimento (Roffo, 2000), aparentemente es la característica de ser crujientes lo que hace agradable el consumo de estos tubérculos en crudo. El trabajo de Klug-Andersen (1992) habla de la textura crujiente de esta hortaliza. No hubo diferencias de valoración para ninguno de los aspectos medidos (color, olor, sabor y textura) entre las introducciones comparadas.

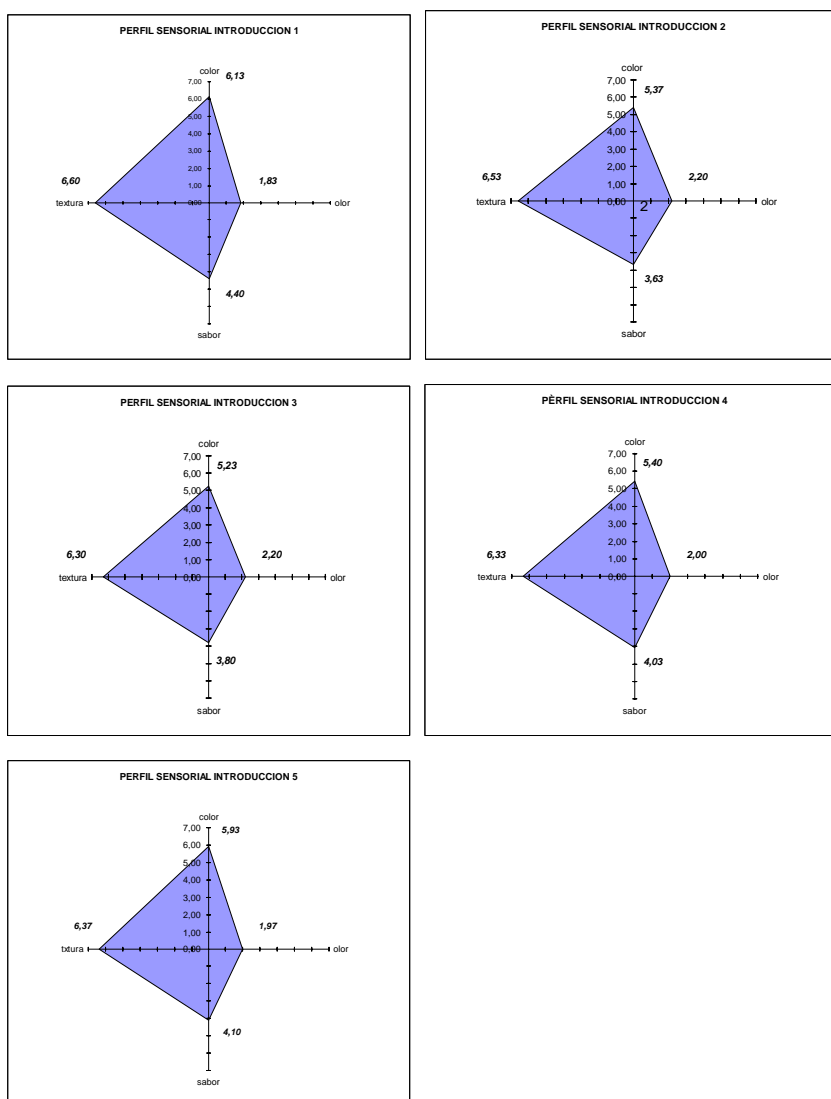


Figura 3.1. Perfiles sensoriales de las introducciones de topinambur degustadas en crudo, los atributos evaluados fueron textura, color, olor y sabor.

En términos generales el nivel de aceptación del topinambur fue positivo, independientemente de la forma de preparación degustada. Más de la mitad de los evaluadores indicó que el topinambur le gustó o le gustó mucho, el 28 % manifestó que ni le gustó ni le disgustó y sólo el 18 % señaló que esta nueva hortaliza no le gusta (Figura 3.2).

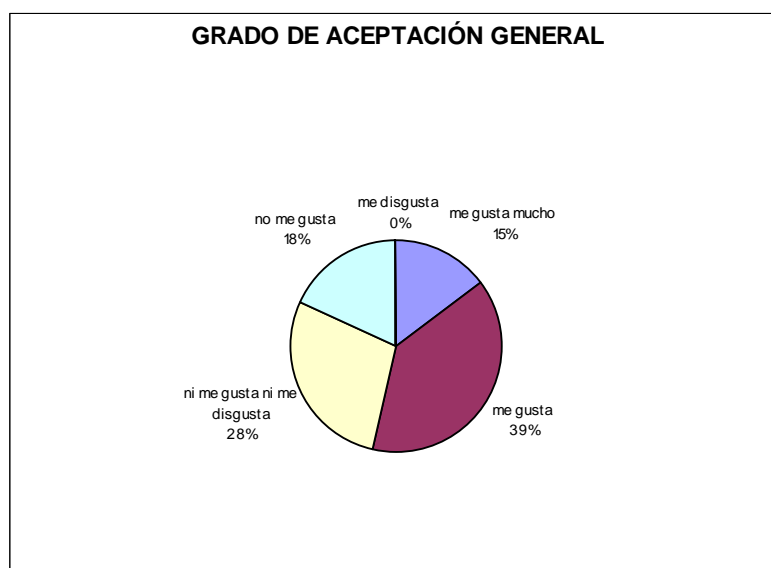


Figura 3.2. Grado de aceptación general del topinambur, independientemente de la forma de preparación degustada.

En relación a la preferencia por las distintas formas de preparación, no se detectaron diferencias entre el topinambur crudo, frito, puré, cocinado en microondas o en horno de gas ($F_m=1,33$ vs $F_c= 9,49$).

Otra información emergente de la planilla de la prueba de aceptación y preferencia de las distintas formas de preparación del topinambur fue si el topinambur le evocaba al evaluador algún otro producto. Entre aquellos mencionados aparecen, de mayor a menor cantidad de veces: zanahoria, nada conocido, papa, almendras, pepino, rabanito, repollo, nabo, batata, pepitas de girasol, haba cruda, yacón, maní, coco.

3.4. Conclusiones

No hubo diferencias de preferencia entre las introducciones de topinambur comparadas, como así tampoco entre las distintas formas de preparación degustadas

por los evaluadores de la prueba. Textura y color de los tubérculos fueron los atributos más positivamente valorados.

La aceptación general de los tubérculos de topinambur fue buena. Considerando además las propiedades funcionales de sus tubérculos, que acumulan inulina como hidrato de carbono de reserva, y las bondades asociadas al consumo de alimentos funcionales, podría generarse un mercado para esta especie, como hortaliza.

3.5. Bibliografía

CARVALHO, S., TOLEDO, I., ARAÚJO, y F., G. PEREIRA. 2004. Fructanos en raíces tuberosas de yacón (*Smallanthus Sonchifolius* Poep. & Endl.) expuestas al sol y almacenadas bajo condiciones ambientales. *Agro-Ciencia* 20(1): 17-23.

CAUSEY, J. L., FEIRTAG, J. M., GALLEAR, D. D., TUNGLAND, B. C., and J. L. SLAVIN. 2000. Effects of dietary inulin on serum lipids, blood glucosa and the gastrointestinal environment in hypercholesterolemic men. *Nutrition Research* 20 (2): 191-201.

DE MASTRO, G., MANOLIO, G., and V. MARZI. 2004. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) and chicory (*Cichorium intybus* L.): potencial crops for inulin production in the Mediterranean area. *Acta Hort.* 629: 365-374.

DUKE, J. A., 1983. *Helianthus tuberosus* L. Handbook of energy crops. En: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke.energy/Helianthus_tuberosus.html

GÁLLINGER, M. M. 1998. Análisis sensorial y descriptivo. ¿Para qué sirve? *La Alimentación Latinoamericana* 223: 33-35.

KAUR, N., and A. K. GUPTA. 2002. Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition. *Journal of Bioscience* 27 (7): 703-714.

KLUG-ANDERSEN, S. 1992. Jerusalem artichoke: a vegetable crop growth regulations and cultivars. *Acta Horticulturae* 318: 145-152.

MARGARÍA, C. A. 1998. Análisis sensorial de alimentos. Énfasis: Alimentación, 4 (6): 28-30.

MC CARTER, S. M. 1984. Diseases limiting production of Jerusalem artichoke in Georgia. *Plant Disease*, 68: 299-302.

RAGAB, M. E., OKASHA, KH. A., EL-OKSH, I. I., and N. M. IBRAHIM. 2003. Effect of cultivar and location on yield, tuber quality, and storability of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) I. Growth, yield, and tuber characteristics. *Acta Hort.* 620:103-111.

RITSEMA, T., and S. SMEEKENS. 2003. Fructans: Beneficial for plants and humans. *Current Opinion in Plant Biology* 6 (3): 223-230.

ROFFO, A. 2000. La calidad de los alimentos y sus características sensoriales. ACAECER 282: 34-36.

SANCHO, J., BOTA, E., y J. J. DE CASTRO. 2002. Introducción al análisis sensorial de los alimentos. Alfaomega Grupo Editor y Ediciones Universitat de Barcelona. 336 pp.

STANLEY, J. K., and F. KULTUR. 2005. Genetic variation in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). Flowering date and duration. HortScience 40(6). 1675-1678.

VIGNONI, L. 2004. Evaluación sensorial. Material didáctico entregado a los alumnos del Curso de Posgrado Poscosecha de Hortalizas, Maestría en Horticultura, Facultad de Ciencias Agrarias, noviembre de 2004.

EVALUACIÓN SENSORIAL DE UN ALIMENTO FUNCIONAL (Encuesta 1)

Nombre:.....

Fecha:.....

Edad: < 30 > 30

Datos del producto: esta hortaliza no muy difundida pero utilizada desde la antigüedad en otros lugares, está siendo revalorizada por alto contenido en fibra dietaria que la hace eficaz para disminuir el colesterol, controlar glucemia, disminuir incidencia del cáncer de colon, modular el metabolismo de los triglicéridos etc.

Su consumo puede ser cruda en ensalada (mezclada con otros vegetales como zanahoria, remolacha, lechuga y condimentada) o cocida en distintas preparaciones.

1. Por favor, observe el producto que se le presenta a continuación y complete colocando una cruz en el casillero que corresponda (menos favorable o negativo hacia la izquierda y más intenso o positivo hacia la derecha)

MUESTRA N°.....

Color Muy oscuro Muy claro

Olor Poco intenso Muy intenso

Sabor No dulce Muy dulce

Textura Poco crujiente Muy crujiente

Le recuerda a algo:

Si..... No.....

¿A qué?

2. Sírvase ordenar en orden de preferencia, desde la que más le agrada a la que menos le agrada

	Muestra N°
1° (agrada más)	-----
2°	-----
3°	-----
4°	-----
5°(agrada menos)	-----

EVALUACIÓN SENSORIAL DE UN ALIMENTO FUNCIONAL (Encuesta 2)

Nombre:.....

Fecha:.....

El alimento que usted está por probar, no está difundido comercialmente en nuestro país aunque sí en otras partes del mundo. Es considerado un “alimento funcional” por los efectos benéficos que su consumo implica para la salud. Entre éstos pueden citarse:

- Favorece el crecimiento y/o actividad de bacterias benéficas en la flora intestinal.
- Modula el metabolismo de los triglicéridos.
- Previene el incremento del colesterol sérico total.
- Mejora el control de la glucemia.
- Reduce la incidencia de osteoporosis.
- Disminuye la incidencia de cáncer de colon.

1. Pruebe los alimentos que se le presentan a continuación y marque con una cruz en el casillero correspondiente su opinión:

	Muestra N°	Muestra N°	Muestra N°	Muestra N°	Muestra N°
Me gusta mucho					
Me gusta					
Ni me gusta ni me disgusta					
No me gusta					
Me disgusta mucho					
¿A qué producto le recuerda?					

2. Sírvase ordenar en orden de preferencia desde la que más le agrada a la que menos le agrada.

Muestra N°

1° (agrada más)

2°

3°

4°

5° (agrada menos)

Muchas gracias por su colaboración!!!!!!!!!!

CAPÍTULO 4
CONTENIDO DE INULINA DE LAS INTRODUCCIONES DE
TOPINAMBUR

Resumen

La inulina pertenece a una clase de hidratos de carbono conocida como fructanos. El interés en estos carbohidratos se ha incrementado desde su descubrimiento por la industria alimenticia como ingredientes “saludables” para las formulaciones de alimentos. Entre sus atributos se destacan: su carácter de prebiótico y de fibra biológica, es poco digerida por los humanos y por lo tanto tiene potencial para ser usada en formulaciones de alimentos de bajas calorías. En comparación con otras especies vegetales el topinambur presenta una alta proporción de inulina, asociado esto a un alto rendimiento por unidad de superficie; lo que representa un excelente potencial de obtención de inulina por hectárea. Por este motivo es considerada como una de las candidatas más importantes para ser usada como materia prima para la obtención industrial de inulina biológica. En esta tesis se comparó el contenido de inulina de las 5 introducciones experimentales. Se trabajó con tubérculos del ambiente La Consulta. A cosecha, junio de 2006, se separaron al azar 10 tubérculos de topinambur por parcela experimental. Se lavaron, secaron y se preparó un triturado homogéneo, sobre el que se determinó inulina, mediante HPLC. Los valores de inulina encontrados en las distintas introducciones de topinambur comparadas variaron entre 18,07 % (I 5, Córdoba) y 22,3 %, (promedio de I 1 a 4, provenientes de Río Negro, Chubut, Buenos Aires y Córdoba, que no presentaron diferencias entre si). Se calculó el rendimiento de inulina por ha, que varió desde 11.931 a 12.999 kg. Con estos rendimientos esta especie se posiciona como una interesante alternativa para el sector industrial respectivo, si se compara con los rendimientos de 12.000 kg/ha de “achicoria” (*Cichorium intybus* L.), especie ampliamente citada como proveedora de inulina biológica.

Palabras clave: topinambur, inulina, HPLC, fructanos

4.1. Introducción

La inulina pertenece a una clase de hidratos de carbono conocida como fructanos. El interés en estos carbohidratos se ha incrementado desde su descubrimiento por la industria alimenticia como ingredientes “saludables” para las formulaciones de alimentos. Tal como el almidón, los fructanos son carbohidratos de reserva presentes en muchas plantas, algunas de las cuales los humanos consumimos (Ritsema and Smeekens, 2003). Desde el punto de vista de su estructura química los fructanos son polímeros de fructosa, con cadenas de distinta longitud o distinto grado de polimerización (Denoroy, 1996, Chacón Villalobos, 2006).

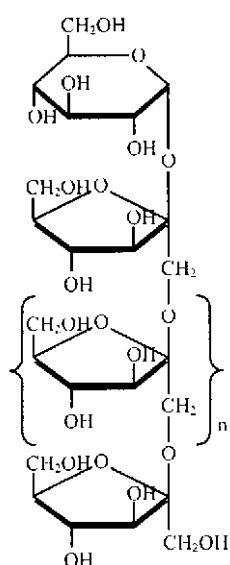


Figura 4.1: Estructura química de la inulina.

La inulina es un carbohidrato altamente soluble que consiste en una cadena lineal de fructosa que está unida a una sacarosa (Figura 4.1). Como consecuencia de su estructura química, no puede ser hidrolizada por enzimas digestivas humanas; por ello, la inulina muestra los efectos nutricionales típicos de las fibras alimentarias (Pelayo Villarejo, 2006).

Las principales fuentes de inulina que se usan en la industria alimenticia son *Helianthus tuberosus* L. (“topinambur”) y *Cichorium intybus* L. (“achicoria”), (Machado de Carvalho *et al.*, 1998, Kaur and Gupta, 2002, Monti *et al.*, 2005, Chacón Villalobos, 2006). Los fructanos constituyen el principal carbohidrato de reserva de *Helianthus tuberosus* L. (Xiang- Yang *et al.*, 2005), representando entre el

70 y el 80 % de la materia seca de los tubérculos, la que varía de 18 a 25 % (Losavio *et al.*, 1997). Esta especie es considerada como una de las candidatas más importantes para ser usada como materia prima para la producción industrial de fructosa e inulina biológicas (Meijer and Mathijssen, 1992, Parameswaran, 1994, Meijer and Mathijssen, 1996, Baldini *et al.*, 2004, Stanley and Kultur, 2005, Saenghtongpinit and Sajjaanantakul, 2005).

Entre los atributos más destacables de la inulina aparecen:

- Su carácter de prebiótico (Biacs, 2002), vale decir un ingrediente alimentario no digestible que afecta positivamente al consumidor ya que estimula selectivamente el crecimiento y/o actividad de un grupo limitado de bacterias en el colon, que pueden mejorar la salud del huésped (Gibson and Roberfroid, 1995, Akin 2005). Además, un prebiótico puede reprimir el crecimiento de patógenos, constituyendo esto un beneficio para la salud (Roberfroid, 2001). Los prebióticos no deben confundirse con los probióticos; estos últimos son microorganismos vivos no patogénicos que habitan usualmente el tracto digestivo humano (Kaplan and Hutkins, 2000, Pujato, 2002).
- Ser una fibra biológica (Cielik *et al.*, 2002), cuya ingestión confiere varias ventajas para la salud: disminuye el nivel de colesterol en sangre, promueve la actividad de bifidobacterias a nivel intestinal, reduce el azúcar en sangre (Niness, 1999, Biedrzycka and Bielecka, 2004, Farnsworth, Hiramaya and Hidaka, Sakun, Varlamova, todos citados por Stanley and Kultur, 2005).
- Ser poco digerida por los humanos y por lo tanto tiene potencial para ser usada en formulaciones de alimentos de bajas calorías (Ritsema and Smeekens, 2003).
- Las cadenas de inulina largas (con un grado de polimerización promedio de 25) pueden usarse para reemplazar grasa en alimentos, ya que simulan su textura. Esto es utilizado en la elaboración de lácteos bajas calorías (Davidson and Maki, 1999, Pujato, 2002).

En comparación con otras especies vegetales el topinambur presenta una alta proporción de inulina (tabla 1.2, capítulo 1), asociado esto a un alto rendimiento por unidad de superficie; lo que representa un alto potencial de obtención de inulina por hectárea cultivada con topinambur.

Algunos autores han comparado el contenido de inulina entre variedades de topinambur y han encontrado algunas diferencias (Baldini *et al.*, 2004). El objetivo

de este capítulo es evaluar el contenido de inulina de 5 introducciones de *Helianthus tuberosus* L.

4.2. Metodología

Al momento de cosecha, junio de 2006 (a 270 días desde la plantación) se separaron, al azar, 10 tubérculos de topinambur por parcela experimental. Los mismos se llevaron a laboratorio donde se lavaron, secaron, y la mitad distal de cada uno se utilizó para preparar un triturado homogéneo que se guardó en envase estéril y se congeló hasta su envío a la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad de Buenos Aires, donde se realizó la determinación del contenido de inulina. Tal determinación se hizo siguiendo la metodología descrita por Zuleta y Sambucetti, 2001. Básicamente es un método de HPLC (Cromatografía líquida de alta presión), después de haber realizado una extracción acuosa de la inulina contenida en la muestra.

Se realizó ANOVA y comparación de medias para detectar posibles diferencias entre introducciones. Además, como el agrupamiento según caracteres morfológicos (capítulo 2) indicó la existencia de dos grupos de introducciones; un grupo integrado por las introducciones 2 y 3 (de tubérculos rojos) y otro integrado por las introducciones 1, 4 y 5 (de tubérculos blancos), se realizó un análisis de varianza para el contenido de inulina, proporción de inulina en la materia seca y rendimiento de inulina por unidad de superficie para detectar posibles diferencias entre los grupos.

4.3. Resultados y discusión

Los valores de inulina encontrados en las distintas introducciones de topinambur comparadas variaron entre 18,07 y 22,95 g%g. El contenido de inulina de la introducción 5 fue menor que el contenido de las demás introducciones (Figura 4.2).

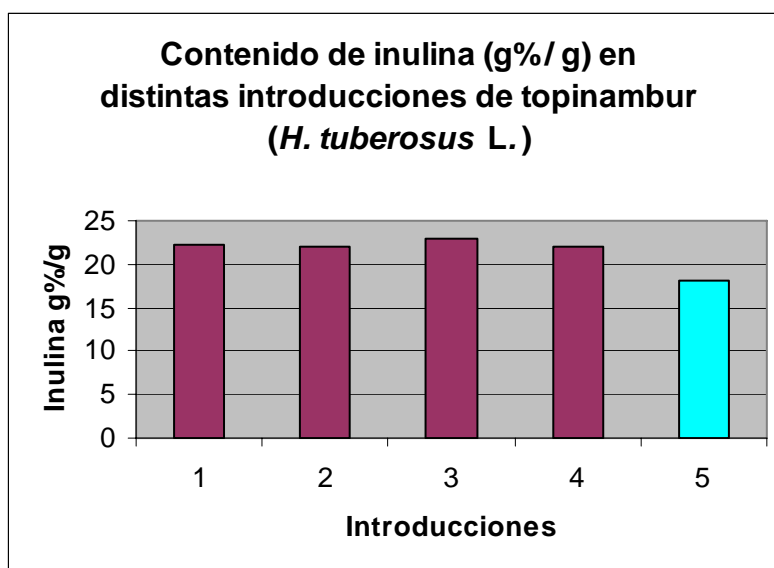


Figura 4.2: Contenido de inulina (% del peso fresco) en cada una de las introducciones de *Helianthus tuberosus* L. comparadas (1: Cipolletti, 2: Chubut, 3: Balcarce, 4: FCA, 5: Traslasierra), determinado por HPLC. Colores diferentes indican diferencias significativas.

Los valores obtenidos son relativamente altos, si se comparan con el rango del 16 al 20 % que se indica en la bibliografía para el contenido de inulina en topinambur (Gibson *et al.*, 1994). Además si se los contrasta con el contenido de materia seca de los tubérculos, que en promedio de las 5 introducciones fue de 24,67 %, la inulina estaría representando en promedio el 87 % de la materia seca, lo que es bastante alto si se compara con el 70- 80 % indicado en la bibliografía (Losavio *et al.*, 1997).

En función de estas evidencias, y asumiendo un error sistemático en la determinación del contenido de inulina, es que el resultado más importante es el de la diferencia de 5 respecto del resto y no tanto el valor absoluto de cada determinación, el que se supone sobreestimado.

Cuando se comparó el contenido de inulina por grupos de introducciones asociados a color de los tubérculos, no se encontraron diferencias significativas. Las introducciones de tubérculos blancos (1, 4 y 5) tuvieron 20,78 % de inulina y las de tubérculos rojos (2 y 3), 22,44 %.

En la tabla siguiente se presentan los contenidos de materia seca, de inulina y la proporción de la materia seca representada por la inulina.

Tabla 4.1. Porcentaje de materia seca (MS), porcentaje de inulina y proporción de la materia seca de los tubérculos representada por inulina, para cada una de las introducciones evaluadas.

Introducción	% MS	% inulina	% de inulina en la MS
1	25,08	22,36	89,15
2	22,76	21,94	96,39
3	24,31	22,95	94,41
4	26,13	21,93	83,93
5	25,06	18,07	72,11
Promedio	24,67	21,45	87

La proporción de la materia seca representada por inulina fue del 81.73 % en las introducciones de tubérculos blancos (I 1, I 4 e I 5) y del 95.4 % en las introducciones de tubérculos rojos; sin que estas diferencias sean significativas.

En la tabla 4.2 se presentan los cálculos de rendimiento de inulina por ha para cada introducción, utilizando los resultados de rendimiento de tubérculos (kg) y el % de inulina de cada una.

Tabla 4.2: Rendimiento de inulina de cada introducción (kg/ha)

Introducción de topinambur	Rendimiento (kg/ha)	% inulina	Rendimiento inulina (kg/ha)
1	58.133	22,36	12.999
2	54.379	21,94	11.931
3	51.991	22,95	11.932
4	53.450	21,93	11.722
5	67.391	18,07	12.178
Promedio	57.069	21,45	~12.200

En promedio, sería factible obtener alrededor de 12.200 kg de inulina por hectárea (Tabla 4.2). Cuando se comparó el potencial para producir inulina entre grupos, se obtuvo un rendimiento de 12.299,2 kg de inulina por ha en las introducciones de tubérculos blancos y 11.931,5 kg de inulina por ha en las introducciones de tubérculos rojos.

Con estos valores de rendimiento de inulina, esta especie se posicionaría como una interesante alternativa para el sector industrial respectivo, si se compara con los rendimientos de 12.000 kg/ ha indicados para *Cichorium intybus* L. (Meijer, citado por Machado de Carvalho *et al.*, 1998), especie que se menciona como una de las candidatas más importantes para proveer de materia prima al sector industrial dedicado a la obtención de inulina.

4.4. Conclusiones

Se detectaron diferencias en el contenido de inulina de las introducciones comparadas. Las provenientes de Río Negro (I 1), Chubut (I 2), Buenos Aires (I 3) y Mendoza (I 4) presentaron mayor contenido que la introducción de Córdoba (I 5), siendo el valor promedio de las primeras de 22.3 % y el de la última de 18.07 %. Entre grupos de introducciones generados a partir del análisis de caracteres morfológicos, y diferenciadas empíricamente por color de tubérculos, se obtuvo 20.78 % de inulina en el grupo de introducciones con tubérculos blancos y 22.44 % en el grupo de tubérculos rojos, aunque sin diferencias entre grupos. No hubo diferencias de rendimiento de inulina por unidad de superficie entre las introducciones comparadas ni entre los grupos; en promedio se podría obtener alrededor de 12.200 kg de inulina por hectárea de topinambur de las introducciones evaluadas. Estos rendimientos de inulina obtenidos a partir de los materiales evaluados, confirmarían que *Helianthus tuberosus* L. es una interesante y prometedora especie vegetal para proveer a la industria respectiva en las condiciones de cultivo de La Consulta y con los materiales disponibles en nuestro país.

4.5. Bibliografía

AKIN, M. S. 2005. Effects of inulin and different sugar levels on viability of probiotic bacteria and the physical and sensory characteristics of probiotic fermented icecream. *Milchwissenschaft* 60(3): 297-301.

BALDINI, M., DANUSO, F., TURI, M., and G. P. VANNOZZI. 2004. Evaluation of new clones of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) for inulin and sugar yield from stalks and tubers. *Industrial crops and products* 19: 25-40.

BIACS, P. A. 2002. Probiotics and prebiotics. Ninth Seminar on Inulin, Hungary. En: http://www.mete.mtesz.hu/inulin/absr_inulinseminar_2002.htm

BIEDRZYCKA, E., and M. BIELECKA. 2004. Prebiotic effectiveness of fructans of different degrees of polymerization. *Trends in Food Science and Technology* 15: 170-175.

CHACÓN VILLALOBOS, A. 2006. Perspectivas agroindustriales actuales de los oligofruetosacáridos (FOS). Revisión bibliográfica. *Agronomía Mesoamericana* 17(2): 265-286.

CIELIK, E., KOPEĆ, A., and P. WERNER. 2002. Functional properties of fructans. Ninth Seminar on Inulin, Hungary. En: http://www.mete.mtesz.hu/inulin/absr_inulinseminar_2002.htm

DAVIDSON, M., and K. MAKI. 1999. Effects of dietary inulin on serum lipids. *Journal of Nutrition* 129: 1474S-1477S.

DENOROY, P. 1996. The crop physiology of *Helianthus tuberosus L.*: a model orientated view. *Biomass and bioenergy*, 11 (1): 11-32.

GIBSON, G. R., and M. B. ROBERFROID. 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *Journal of Nutrition*, 125: 1404-1412.

GIBSON, G., WILLIS, C. and J. VAN LOO. 1994. Non-digestible oligosaccharides and bifidobacteria; implications for health. *Int. Sugar Journal* 96: 381-387.

KAPLAN, H., and R. W. HUTKINS. 2000. Fermentation of fructooligosaccharides by lactic acid bacteria and bifidobacteria. *Applied and Environmental Microbiology* 66(6): 2682-2684.

KAUR, N., and A. K.GUPTA. 2002. Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition. *Journal of Bioscience*, 27: 703-714.

LOSAVIO, N., LAMASCESE, N., and A. V. VONELLA. 1997. Water requirements and nitrogen fertilization in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) grown under Mediterranean conditions. *Acta Hort.* 449, 1: 205-209.

MACHADO DE CARVALHO, M. A., MECCA PINTO, M. and DE CÁSSIA LEONE FIGUEIREDO-RIBEIRO, R. 1998. Inulin production by *Vernonia herbacea* as influenced by mineral fertilization and time of harvest. *Rev. bras. Bot.* [online], vol. 21, no. 3. En http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-84041998000300006&lng=en&nrm=iso

MEIJER, W., and E. W. MATHIJSSSEN. 1992. Experimental and simulated production of inulin by chicory and Jerusalem artichoke. *Industrial Crops and Products*. 1 (2-4): 175-183.

MEIJER, W., and E. W. MATHIJSSSEN. 1996. Analysis of crop performance in research on inulin, fibre and oilseed crops. *Industrial Crops and Products* 5: 253-264.

MONTI, A., AMADUCCI, M. T., PRITONI, G., and G. VENTURI. 2005. Growth, fructan yield, and quality of chicory (*Cichorium intybus* L.) as related to photosynthetic capacity, harvest time, and water regime. *Journal of Experimental Botany* 56(415): 1389-1395.

NINESS, K. R. 1999. Inulin and oligofructose: what are they? *Journal of nutrition*, 129: 14025-14065.

PARAMESWARAN, M. 1994. Turning and unloved vegetable into an industrial crop. *Food Australia*, 46(10): 473-475.

PELAYO VILLAREJO, E. 2006. Vigilancia tecnológica e inteligencia económica para la industria de zumos: Aplicación práctica para el caso de zumos funcionales y nutraceúticos obtenidos de olivo, romero y alcachofa. Tesis doctoral Universidad Miguel Hernández. En:

http://eprints.rclis.org/archive/00008374/Nutrac%C3%A9uticos_en_zumos.pdf

PUJATO, D. 2002. Los alimentos prebióticos. En: <http://www.gineconet.com/articulos/1361.htm>

RITSEMA, T., and S. SMEEKENS. 2003. Fructans: Beneficial for plants and humans. *Current Opinion in Plant Biology* 6 (3): 223-230.

ROBERFROID, M. B. 2001. Prebiotics: preferential substrates for specific germs? Davidson, M., and K. Maki. 1999. Effects of dietary inulin on serum lipids. *Journal of Nutrition* 129: 1474S-1477S.

SAENGTONGPINIT, W., and T. SAJJAANANTAKUL. 2005. Influence of harvest time and storage temperature on characteristics of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. *Postharvest Biology and Technology*, July 2005: 93-100.

STANLEY, J. K., and F. KULTUR. 2005. Genetic variation in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Flowering date and duration. *HortScience* 40(6): 1675-1678.

XIANG-YANG, G., and W. ZHANG. 2005. A shortcut to the production of high ethanol concentration from Jerusalem artichoke tubers. *Food technology and biotechnology* 43(3):241-246.

ZULETA, A., and M. E. SAMBUCETTI. 2001. Inulin determination for food labeling. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 4570-4572.

CAPÍTULO 5

POTENCIAL PARA PRODUCIR ETANOL DE LAS DISTINTAS INTRODUCCIONES DE TOPINAMBUR

Resumen

Helianthus tuberosus L se menciona entre las especies con potencial para producir etanol, sustituto de la nafta, y que deberá incorporarse a la misma en un 5 % partir del 2010 en Argentina, según lo indica la ley nacional 26.093 sobre biocombustibles. Es un cultivo que puede ser interesante materia prima para obtener alcohol en zonas templadas y templado/frías. Hay antecedentes que señalan que a partir de 50 toneladas de tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. pueden obtenerse 4500 litros de etanol. El objetivo en este trabajo fue estimar y comparar el potencial para producir bioetanol de las introducciones de topinambur evaluadas en el marco de esta tesis. El potencial para producir bioetanol de las introducciones se estimó a partir de la cantidad de hidratos de carbono fermentables en los tubérculos. La cantidad de dichos hidratos de carbono se calculó a partir de los datos de rendimiento de tubérculos (kg/ ha) y sólidos solubles (%) de cada introducción en cada ambiente experimental. No se encontraron diferencias en el potencial de producción de etanol entre las introducciones de topinambur comparadas, en ninguno de los ambientes experimentales. Tampoco entre grupos de similares características morfológicas (B: tubérculos blancos y R: tubérculos rojos) dentro de cada ambiente.

La estimación del potencial para producir etanol genera un valor (promedio de las 5 introducciones) cercano a los 5000 litros en el ambiente LC. Para obtener 1 litro de alcohol a partir de los tubérculos serían necesarios 11,55 kilos, relacionado a un valor de sólidos solubles de 15,56 % en los mismos.

Palabras clave: topinambur, sólidos solubles, rendimiento, etanol, biocombustibles

5.1. Introducción

Los cultivos energéticos, aquellos cuya biomasa se destina a la obtención de energía, se estudian cada vez más como alternativa al agotamiento ya sensible de energías fósiles, como el gas y el petróleo (SAGPyA, 2007). La Argentina no escapa a esta realidad mundial, y en la ley nacional 26.093, sobre biocombustibles, establece que para el 2010 la nafta y el gasoil deberán ser “cortados” con alcohol y biodiesel, respectivamente. Tan creciente es el interés por el desarrollo de cultivos energéticos y biocombustibles, que se habla de “Agroenergética”, en relación con el aprovechamiento energético de la producción agrícola (Arantxa Guereña, 1995).

Entre los cultivos energéticos destinados a la producción de biomasa se suelen distinguir:

- **Cultivos productores de biomasa lignocelulósica.** Apropriados para producir calor mediante combustión directa en calderas. Fundamentalmente son especies leñosas que se cultivan en turnos de rotación cortos.
- **Cultivos ricos en hidratos de carbono** (azúcares, almidones, fructanos). Estos hidratos de carbono fermentados dan alcohol, que puede ser mezclado con la nafta o sustituirla completamente.
- **Cultivos oleaginosos.** Destinados a la obtención de aceites vegetales, materia prima para la fabricación de biodiesel. Entre las especies vegetales que se mencionan como fuentes de aceite aparecen: colza, girasol, soja, etc. (Huergo, 1998).

Los biocombustibles más conocidos y usados a nivel mundial son el **etanol**, como un aditivo o sustituto de las naftas, y el **biodiesel**, sólo o combinado con gasoil para motores diesel. El primero se obtiene de la fermentación de granos amiláceos, como el maíz, de la caña de azúcar o de órganos de reserva ricos en hidratos de carbono (topinambur, remolacha azucarera, entre otros). El segundo parte de los aceites vegetales, a través de un proceso químico denominado “transesterificación” (Huergo, 2001).

Actualmente los cultivos energéticos no representan un recurso importante como fuente de energía, ya que son más caros que los combustibles fósiles (Yamamoto *et al.*, 2005). La mayoría de los estudios así lo indican, aunque generalmente han basado el análisis en cultivos de granos tradicionales como maíz, trigo y cebada (Baker *et al.*, 1990). Sin embargo, ante la disminución de las reservas de dichos combustibles, surge la necesidad de reanalizar el uso de energías alternativas, como

por ejemplo la energía proveniente de biomasa vegetal, que algunos autores mencionan como “energía verde” (Parameswaran, 1995). Por otro lado, las energías renovables se presentan como una de las alternativas para lograr un desarrollo sustentable (Goldemberg, 2007, Stephanopoulos, 2007).

En la actualidad el bioetanol es, con mucha diferencia, el biocarburante más utilizado. En 2004 se produjeron en el mundo alrededor de 30.000 millones de litros de bioetanol para combustible, lo que representa en torno del 2 % del consumo mundial de petróleo. En Argentina, se han realizado estimaciones que indican que el consumo proyectado de nafta para el 2010 será de 4.000 millones de litros, y que con la implementación del corte del 5 % obligatorio, la producción necesaria de bioetanol será de 200 millones de litros (SAGPyA, 2006).

Brasil es el mayor productor y consumidor mundial de etanol. En respuesta a la crisis del petróleo de comienzos de los setenta, el gobierno brasileño creó el programa “PROALCOOL”, con el objetivo de aumentar la producción de alcohol de caña de azúcar destinado a sustituir la gasolina. Desde entonces, el etanol se ha empleado mezclado con nafta. La extensión dedicada al cultivo de caña de azúcar en los últimos años está aumentando de manera considerable para hacer frente a la demanda interior y exterior en fase de expansión. En Estados Unidos, el bioetanol producido a partir de maíz se utiliza desde la entrada en vigor en 1978 de la Ley del Impuesto de la Energía, que introdujo incentivos fiscales para su extracción. La capacidad de producción de etanol en Estados Unidos, cifrado hoy en 10.000 millones de litros, está experimentando una expansión sin precedente (Ballesteros Perdices, 2006).

La caña de azúcar es la principal materia prima para obtener bioetanol en los países de clima cálido; en Europa se emplea remolacha. Los cereales (maíz en Estados Unidos y trigo y cebada en Europa) son las materias primas para el etanol de almidón. El precio de las materias primas viene regido por el mercado alimentario, su destino tradicional. Para las necesidades del mercado de la energía deben desarrollarse nuevos cultivos más productivos y rentables. Para liberarse de las fluctuaciones que suelen caracterizar los cultivos destinados a la alimentación (animal y humana), se están investigando otras especies como el topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) y el sorgo azucarado (*Sorghum bicolor* L.). Estos cultivos, además de su menor costo de producción, serían más rentables para la obtención de etanol, ya que se podrían emplear los tallos secos (del topinambur) o el bagazo (del

sorgo) para la generación del vapor y la electricidad necesarios en el proceso de fabricación de etanol (Ballesteros Perdices, 2006). En relación al primero, numerosos trabajos lo señalan entre las especies con potencial para producir energía (Duke, 1983, Margaritas and Bajpai, 1983, Hurduc *et al.*, 1986; Meo, 1984, Swanton, 1994, Caserta *et al.*, 1995, Denoroy, 1996, Losavio *et al.*, 1997, Parameswaran, 1999, Berenji and Sikora, 2001). Tiene ventajas sobre otros cultivos, principalmente su alto rendimiento de biomasa, que puede llegar a 100 toneladas de tubérculos por ha (Schorr-Galindo and Guiraud, 1997). La producción de etanol puede realizarse tanto a partir de la parte aérea como de los tubérculos (Parameswaran, 1995, Baker *et al.*, 1990). Hay antecedentes que señalan que a partir de 50 toneladas de tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. se obtienen 4500 litros de etanol (Reust and Dutoit, 1992), o investigaciones en España (Fernandez, 1998) que indican que en términos generales se puede obtener 1 litro de etanol a partir de 12 kilogramos de tubérculos de topinambur. El **objetivo** en este trabajo fue estimar y comparar el potencial para producir bioetanol de 5 introducciones de topinambur en las condiciones de cultivo de Mendoza.

5.2. Metodología

Se estimó el potencial para producir bioetanol de *Helianthus tuberosus* L. a partir de la siguiente relación: por cada kilogramo de hidratos de carbono fermentable se obtiene 0,5563 litro de etanol (Farm crops for alcohol fuel, 1980).

Para determinar la cantidad de hidratos de carbono fermentables se utilizaron los datos de rendimiento de tubérculos (kg/ ha.) y sólidos solubles (%) de cada introducción en cada ambiente experimental. Entonces, del producto del valor de rendimiento por la proporción de sólidos solubles, se obtuvieron los kg de hidratos de carbono fermentables para cada tratamiento.

La determinación de sólidos solubles en los tubérculos se realizó con un refractómetro de mano (ATAGO, Brix 0-32%). La determinación se hizo sobre 15 tubérculos por tratamiento (combinación de introducción por ambiente). Para extraer la muestra se cortó cada tubérculo por la mitad, de una de las mitades se extrajo con cuchillo una pequeña porción (que entrara en el prensa ajos utilizado para obtener el “jugo” necesario para la determinación). Cada porción se envolvió en un trozo de

muselina, se colocó en el prensa ajos y se prensó para obtener el líquido (“jugo”), el que se recibía sobre el refractómetro.

La determinación del % de sólidos solubles se realizó mediante lectura directa de la escala del refractómetro, el que debía estar calibrado, y ser perfectamente higienizado (con agua destilada y secado) entre cada determinación.

Con la estimación de rendimiento de alcohol (l/ ha) dividido el rendimiento de tubérculos (kg/ ha) y multiplicado por 100, se calculó la proporción de los kilos de tubérculos cosechados que representan los litros de alcohol producidos. Se realizó análisis de varianza para comparar el rendimiento de alcohol entre introducciones. Las medias se compararon con test de Tukey.

5.3. Resultados y discusión

El rendimiento de tubérculos y el porcentaje de sólidos solubles, las variables utilizadas para estimar hidratos de carbono fermentables, presentaron diferencias significativas entre ambientes ($p= 0,00001$, para ambas variables), pero no entre introducciones dentro cada ambiente ($p= 0,1113$ para rendimiento y $p= 0,4110$ para % de sólidos solubles). El rendimiento promedio en LC fue de 57.000 kg/ ha y el de FCA de 25.400 kg/ ha. El porcentaje de sólidos solubles promedio en los tubérculos de LC fue de 15,56, y en los tubérculos FCA 13,18. En ambos casos el valor presentado es el promedio entre los valores encontrados en los tubérculos de las 5 introducciones, ya que entre las mismas no se manifestaron diferencias significativas.

Ambiente La Consulta

El potencial para producir etanol no manifestó diferencias entre introducciones. En promedio sería factible obtener 4934 litros de etanol por hectárea con las introducciones probadas en esta tesis (Tabla 5.1).

El rendimiento de carbohidratos fermentables, indicado en la tabla siguiente por kilos de sólidos solubles por ha, cuyo promedio es de 8870 kg/ ha se encuentra dentro del rango de 5.930 a 14.580 kilos de azúcar por ha y por año que se indica en la bibliografía (Chubey and Dorell, 1974, Dorell and Chubey, 1977).

Tabla 5.1. Rendimiento de tubérculos, % de sólidos solubles, kilos de sólidos solubles por ha y litros de etanol por ha factibles de obtener con cada introducción cultivada en el ambiente LC, ciclo 2005-2006.

Introducción	Rendimiento tubérculos (k/ ha)	% sólidos solubles en tubérculos	Kilos sólidos solubles/ ha	Litros etanol/ ha
1	58.133	14,8	8603,68	4786
2	54.379	15,9	8646,26	4809
3	51.991	15,4	8006,61	4454
4	53.450	15,9	8498,55	4727
5	67.391	15,8	10647,78	5923
Promedio	57.000	15,56	8870	4934

Tabla 5.2. Relación entre litros de etanol por ha y kilos de tubérculos producidos por ha de cada introducción de topinambur cultivada en el ambiente LC.

Introducción	l alcohol/ kg tubérculos * 100
1	8,23
2	8,85
3	8,57
4	8,85
5	8,79
Promedio	8,66

Por cada 100 kilos de tubérculos de topinambur es factible obtener 8,66 litros de alcohol. Esto implicaría que para obtener 1 litro de alcohol, serían necesarios 11,55 kilos de tubérculos. Esto es bastante coincidente con los resultados de Fernandez (1998), quien indica que son necesarios 12 kilos de tubérculos de esta especie para obtener 1 litro de etanol.

La densidad del etanol (96° a 20 °C) es de 0,7936. Por lo tanto, los 4934 litros de etanol por ha equivalen a 3916 kg de etanol. Si a partir de 8870 kilos de hidratos de carbono fermentables se obtienen 3916 kg de alcohol; a partir de un kilo se obtendrían 0,44 kilos de etanol. Este resultado, es coincidente con el mencionado por Margaritis and Bajpai (1983), quienes informaron un rendimiento de 0.45 g de etanol por cada gramo de azúcar puesto a fermentar.

Ambiente FCA

En este ambiente tampoco se detectaron diferencias significativas entre las introducciones de topinambur evaluadas. En promedio sería factible obtener 1865 litros de etanol por hectárea en las condiciones de cultivo del ambiente FCA, ciclo 2005-2006, se recuerda que este ambiente fue afectado por un granizo a los 100 días de cultivo, y cuyo resultado fue la defoliación completa de las plantas.

Tabla 5.3. Rendimiento de tubérculos, % de sólidos solubles, kilos de sólidos solubles por ha y litros de etanol por ha factibles de obtener con cada introducción cultivada en el ambiente FCA, ciclo 2005-2006.

Introducción	Rendimiento tubérculos (kg/ ha)	% sólidos solubles en tubérculos	Kilos sólidos solubles/ ha	Litros etanol/ ha
1	21.937	13,13	2880	1602
2	22.375	12,89	2884	1604
3	27.656	13,61	3764	2093
4	25.281	12,95	3274	1821
5	29.906	13,34	3989	2219
Promedio	25.431	13,18	3352	1865

La proporción de los kilos de tubérculos de topinambur que representan los litros de alcohol factibles de obtener se presenta en la tabla 5.4.

Tabla 5.4. Relación entre litros de etanol por ha y kilos de tubérculos producidos por ha de cada introducción de topinambur cultivada en el ambiente FCA.

Introducción	l alcohol/ kg tubérculos * 100
1	7,30
2	7,17
3	7,57
4	7,20
5	7,42
Promedio	7,34

El resultado promedio de la tabla anterior indica que por cada 100 kilos de tubérculos de topinambur se pueden obtener 7,34 litros de alcohol. Esto implicaría que para

obtener 1 litro de alcohol, serían necesarios 13,62 kilos de tubérculos; valor algo superior al de 12 kilos de tubérculos, indicado por Fernandez (1998), en experiencias con topinambur en España.

En ambos ambientes el grupo B (tubérculos blancos) fue levemente más rendidor que el grupo R (tubérculos rojos) y comportamiento inverso se observó para el porcentaje de sólidos solubles, aunque para ambas variables sin diferencias significativas.

5.4. Conclusiones

No se encontraron diferencias en el potencial de producción de etanol entre las introducciones de topinambur comparadas, en ninguno de los ambientes experimentales.

Tampoco entre grupos de similares características morfológicas (B y R) dentro de cada ambiente.

La estimación del potencial para producir etanol genera un valor (promedio de las 5 introducciones) cercano a los 5000 litros en el ambiente LC.

Hasta el momento no se contaba con datos regionales sobre el potencial para producir alcohol a partir de topinambur; sin embargo a esta información necesitaría sumarse la relativa a costos, tanto en la producción primaria (tubérculos) como en la producción industrial (etanol). Ya que como manifestaran Yamamoto *et al.* (2005), los cultivos energéticos representarán un recurso importante como fuente de energía, cuando sean económicamente competitivos con los combustibles fósiles.

Otro aspecto sobre el que sería importante trabajar es en el cultivo de esta especie, cuando el destino sea la producción de alcohol, regado con aguas residuales. Al respecto, experiencias en Australia demuestran que se pueden obtener rendimientos muy altos, hasta 120.000 kilos de tubérculos por hectárea con ese tipo de riego (Parameswaran, 1999).

5.5. Bibliografía

ARANTXA GUEREÑA, T. 1995. Desarrollo de cultivos energéticos y biocombustibles. *Vida Rural*, nº 18, 50-52.

BAKER, L., THOMASSIN, P. J., and J. C. HENNING. 1990. The economic competitiveness of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) as an agricultural

feedstock for ethanol production for transportation fuels. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 38 (4(II)): 981-990.

BALLESTEROS PERDICES, M. 2006. Bioetanol. *Investigación y Ciencia*, número monográfico dedicado a “Energía, presente y futuro”, noviembre de 2006, pp. 78-85.

BERENJI, J., and V. SIKORA. 2001. Variability and stability of tuber yield of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*). *Helia*, 24:25-32.

CASERTA, G., BARTOLELLI, V., and G. MUTINATI. 1995. Herbaceous energy crops: a general survey and a microeconomic analysis. *Biomass and bioenergy*, 9 (1/5): 45-52.

CHUBEY, B.B., and D. G. DORELL. 1974. Jerusalem artichoke: a potential fructose crop for the prairies. *Canadian Institute of Food Science Technology Journal*, 7: 98-106.

DENOROY, P. 1996. The crop physiology of *Helianthus tuberosus L.*: a model orientated view. *Biomass and bioenergy*, 11 (1): 11-32.

DORELL, D.G., and B. B. CHUBEY. 1977. Irrigation, fertilizer, harvest dates and storage effects on the reducing sugar and fructose concentration of Jerusalem artichoke tubers. *Canadian Journal of Plant Science* 57: 591-596.

DUKE, J. A., 1983. *Helianthus tuberosus L.* Handbook of energy crops. En: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke.energy/Helianthus_tuberosus.html

Farm crops for alcohol fuel. 1980. En: http://journeytoforever.org/biofuel_library/ethanol_motherearth/meCh2.html

FERNANDEZ, J. 1998. Production costs of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) for ethanol production in Spanish irrigated lands. En: <http://www.eeci.net/archive/biobase/B10245.html>

GOLDEMBERG, J. 2007. Ethanol for a sustainable energy future. *Science*, Vol. 315. Nº 5813, pp. 801-804.

HUERGO, H. 1998. La visión de un participante argentino en la Conferencia Internacional de biocombustibles. *ACAECER* (266), 29-31.

HUERGO, H. 2001. El biodiesel, una contribución de agro para mejorar el medio ambiente. *Bolsa de Cereales* (3026), 3-5.

HURDUC, N., TEACI, D., SERBANESCU, E., and S. HARTIA. 1986. Potential for fuel production from crops. *Energy in Agriculture*, 5: 151-159.

LOSAVIO, N., LAMASCESE, N., and A. V. VONELLA. 1997. Water requirements and nitrogen fertilization in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) grown under Mediterranean conditions. *Acta Hort.* 449, 1: 205-209.

MARGARITIS, A., and P. BAJPAI. 1983. Effect of sugar concentration in Jerusalem artichoke extract on *kluyveromyces marxianus* growth and ethanol production. *Applied and Environmental Microbiology* 45(2): 723-725.

MEO, M. 1984. Economic evaluation of ethanol fuel production from agricultural crops and residues in California. *Resources and Conservation*, 11:1-25.

PARAMESWARAN, M. 1995. "Green energy" from Jerusalem artichoke. *Agricultural-Science*, 8 (5). 43-45.

PARAMESWARAN, M. 1999. Urban wastewater use in plant biomass production. *Resources, Conservation and Recycling*, 27: 39-56.

REUST, W., and J. P. DUTOIT. 1992. Renewable raw materials and alternative crops: yield potential of Jerusalem artichoke, sweet sorghum and a spurge. *Landwirtschaft-Schweiz*, 5(10): 509-516.

SAGPyA. 2006. Perspectivas de los biocombustibles en Argentina. Programa Nacional de Biocombustibles. En:
<http://www.rlc.fao.org/prensa/activi/agroenergia/almada.pdf>

SAGPyA, 2007. <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/agricultura/otros/biodiesel/index.php>

SCHORR-GALINDO, S., and J. P. GUIRAUD. 1997. Sugar potential of different Jerusalem artichokes cultivars according to harvest. *Bioresource Technology*, 15-20.

STEPHANOPOULUS, G. 2007. Challenges in engineering microbes for biofuels production. *Science*, Vol. 315. N° 5813, pp. 804-807.

SWANTON, 1994. Jerusalem artichoke. En:
<http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/94-077.htm>

YAMAMOTO, H., MATSUMURA, Y., and S. SAWAYAMA. 2005. Evaluation of supply potential of energy crops in Japan considering cases of improvement of biomass productivity. *Biomass and Bioenergy*, 29(5): 355-359.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES GENERALES

Se encontraron diferencias en el germoplasma de topinambur disponible en la Argentina, básicamente en aspectos morfológicos y fenológicos de las introducciones comparadas.

Las **diferencias morfológicas** detectadas correspondieron a tamaño de hojas y de tubérculos. Las introducciones 2 (Chubut) y 3 (Buenos Aires) tuvieron hojas más largas y anchas, vale decir más grandes, que el resto. Además, estas introducciones presentaron tubérculos más grandes que las otras, siendo su tamaño promedio de alrededor de 80 g en LC y de 40 g en FCA.

Las características morfológicas permitieron agrupar a las introducciones en grupos que separaron a los materiales de tubérculos rojos (I 2 e I 3) de los materiales con tubérculos blancos (I 1 (Río Negro), 4 (Mendoza) y 5 (Córdoba)). A los fines prácticos de la diferenciación el color de los tubérculos sería el indicador más claro y simple de diferencias. Esta agrupación se evidenció en ambos ambientes, los que se diferenciaron entre sí significativamente, pero aún así, dentro de cada uno de ellos las introducciones de tubérculos rojos (I 2 e I 3) se separaron de las introducciones de tubérculos blancos (I 1, I 4 e I 5).

En relación a la **evolución fenológica**; para plantaciones de principios de septiembre de 2005, las 5 introducciones de *Helianthus tuberosus* L. evaluadas en dos ambientes (LC y FCA) completaron su emergencia a los 35 días desde plantación (DDP). En LC el inicio de floración varió entre los 118 días (I 1 e I 2) a los 161 días (I 5). El fin de la floración, coincidente con la senescencia total de los capítulos varió entre 200 (I 2 e I 3) y 214 días (I 4 e I 5). Las diferencias de momento de ocurrencia de inicio y fin de floración generaron importantes diferencias de duración de la floración. En LC las introducciones 1 a 4 tuvieron duraciones de floración que rondaron los 80 días, en cambio la introducción 5 tuvo una floración más corta (53 días). El porcentaje de plantas que florecieron en este ambiente fue de 100 %. En FCA la floración se inició entre los 170 y 186 días, demora asociada al “efecto granizo”; el fin de floración rondó los 200 días. La floración fue más corta, de 16 a 33 días, dependiendo de las introducciones. La menor duración de la floración en este ambiente, estuvo fundamentalmente asociada al retraso en el inicio de la misma por efecto del granizo. Tanto aspectos morfológicos como fenológicos de las introducciones permiten detectar dos grupos de introducciones. El germoplasma asociado a epidermis roja en sus tubérculos (I 2, Chubut, e I 3, Buenos Aires) y el germoplasma asociado a epidermis blanca en sus tubérculos (I 1, Río Negro, I 4, Mendoza, e I 5, Córdoba).

Se presentaron diferencias de **rendimiento** entre ambientes, pero no entre introducciones. En el ambiente LC el rendimiento promedio fue de 57.069 kg/ha, mientras que en FCA fue de 25.431 kg/ha. Los mayores rendimientos, en ambos ambientes, se obtuvieron con la introducción 5, siendo de 67.000 kg/ ha en LC y casi 30.000 kg/ ha en FCA, aunque no llegaron a ser estadísticamente diferentes del resto. El **% de materia seca** de los tubérculos difirió entre ambientes, fue de 21.48 % en FCA y de 24.67 % en LC; pero no hubo diferencias significativas entre introducciones. Aunque sin diferencias entre introducciones, los valores de rendimiento obtenidos son interesantes, incluso bajo condición de granizo. Este evento climático es bastante frecuente en muchas zonas de la región cuyana, y sobre algunos cultivos, el daño puede ser total. En el caso del topinambur, y sobre todo para sus usos industriales (inulina y etanol) obtener producción, aunque menor y de tubérculos más pequeños, no imposibilita su comercialización. Distinto podría ser el panorama para el destino hortícola donde es factible que tubérculos demasiado pequeños no sean seleccionados por los potenciales consumidores.

Es importante señalar que en casi todas las variables medidas en esta tesis existe dispersión de los datos respecto del valor medio, o dicho de otra manera hay variabilidad dentro de las introducciones de topinambur evaluadas, lo que estaría generando la posibilidad de selección para mejorar los materiales disponibles.

Respecto de los **usos** de los tubérculos (hortícola, obtención de inulina y producción de bioetanol) no se detectaron diferencias significativas entre las introducciones de topinambur evaluadas en esta tesis.

No hubo diferencias de **preferencia** entre las introducciones comparadas, como así tampoco entre las distintas formas de preparación degustadas (crudo, frito, puré, microondas, horno de gas). Textura y color de los tubérculos fueron los atributos más positivamente valorados. La aceptación general de los tubérculos de topinambur fue buena. Considerando además las propiedades funcionales de sus tubérculos, que acumulan inulina como hidrato de carbono de reserva, y las bondades asociadas al consumo de alimentos funcionales, podría generarse un mercado para esta **hortaliza**. Aunque no hubo diferencias de rendimiento de inulina por unidad de superficie entre las introducciones comparadas; en promedio se podría obtener alrededor de 12.200 kg de inulina por hectárea de topinambur de las introducciones evaluadas. Sin embargo, se detectaron diferencias en el **contenido de inulina (%)** de las introducciones comparadas. I 1 a I 4 presentaron mayor contenido que I 5, siendo el

valor promedio de las primeras de 22,3 % y el de la última de 18,07 %. Entre grupos de introducciones generados a partir del análisis de caracteres morfológicos, y diferenciadas empíricamente por color de tubérculos, se obtuvo 20,78 % de inulina en el grupo de introducciones con tubérculos blancos y 22,44 % en el grupo de tubérculos rojos, aunque sin diferencias entre grupos. Estos rendimientos de inulina obtenidos a partir de los materiales evaluados, confirmarían que *Helianthus tuberosus* L. es una interesante y prometedora especie vegetal para proveer a la industria con los materiales disponibles en nuestro país.

No se encontraron diferencias en el **potencial de producción de etanol** entre las introducciones de topinambur comparadas, en ninguno de los ambientes experimentales. La estimación del potencial para producir etanol genera un valor (promedio de las 5 introducciones) cercano a los 5000 litros en el ambiente LC y algo menos de 2000 litros en FCA. Hasta el momento no se disponía de datos regionales sobre el potencial para producir alcohol a partir de topinambur; sin embargo a esta información necesitaría sumarse la relativa a costos, tanto en la producción primaria (tubérculos) como en la producción industrial (etanol). Ya que como manifestara Yamamoto (2005), los cultivos energéticos representarán un recurso importante como fuente de energía, cuando sean económicamente competitivos con los combustibles fósiles.

Otro aspecto, sobre el que sería importante trabajar es en el cultivo de esta especie, cuando el destino sea la producción de alcohol, regado con aguas residuales. Al respecto, experiencias en Australia demuestran que se pueden obtener rendimientos muy altos, hasta 120.000 kilos de tubérculos por hectárea con ese tipo de riego (Parameswaran, 1999).

Para concluir, los resultados de este trabajo de tesis indican que habría sólo dos orígenes entre los materiales de *Helianthus tuberosus* L. cultivados en nuestro país, los de tubérculos blancos y los de tubérculos rojos. Ambos con bastante variabilidad interna; lo que abriría posibilidades de mejoramiento genético. Tales posibilidades podrían desarrollarse a partir de selección dentro de cada grupo; con la generación de variabilidad a través de cruzamientos entre los grupos y posterior selección; o inclusive podría introducirse nuevo germoplasma para aumentar la variabilidad disponible.

ANEXO

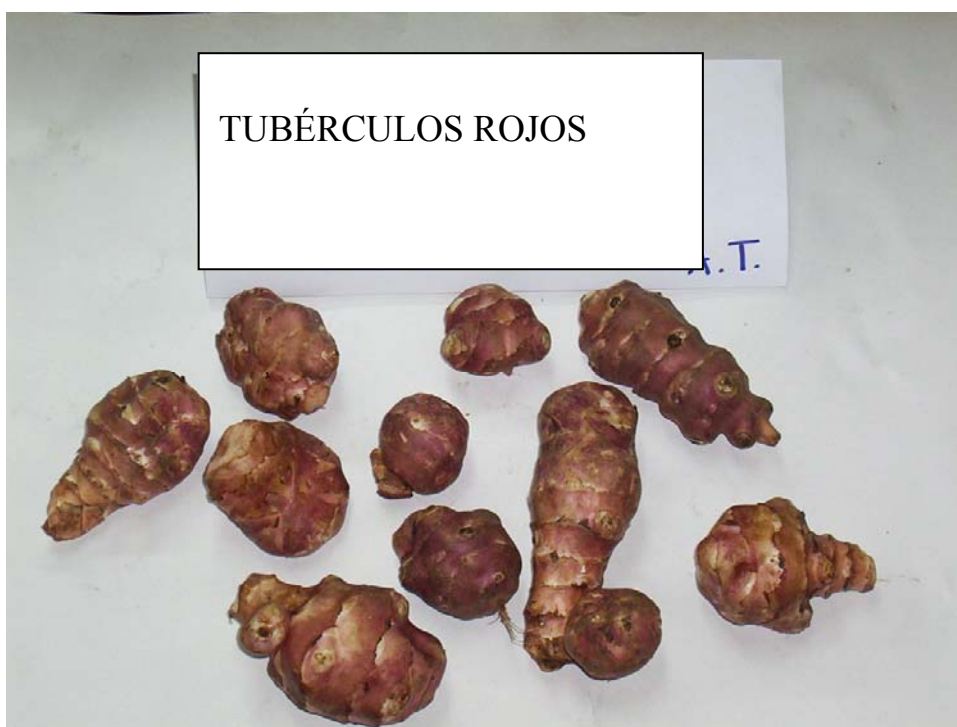


Foto 1: Tubérculos de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) con epidermis roja.



Foto 2: Tubérculos de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) con epidermis blanca.



Foto 3: Vista del estado de las plantas después de la ocurrencia del granizo del 27/12/2005, a los 110 días desde la plantación.



Foto 4: Vista de parcela de topinambur en el ambiente LC, igual fecha que la imagen anterior del ambiente FCA afectado por granizo.



Foto 5: Emergencia del cultivo, octubre de 2005, ambiente FCA.



Foto 6: Parcela de topinambur en floración. Febrero de 2006, ambiente LC.



Foto 7: Entrega del cultivo, fin de abril de 2006, ambiente LC.