

TOPINAMBUR, UN CULTIVO DEL SIGLO PASADO CON PROPIEDADES DE ALIMENTO FUNCIONAL EN LA ACTUALIDAD

Maino, Andrea; Crespi, María Florencia; Esain, Marianela; Grassi, Daniela; Menchi, Ariadna; Zalazar, Vanesa.

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Medicina, Escuela de Nutrición, Buenos Aires, Argentina

RESUMEN

El TOPINAMBUR (*Helianthustuberosus* L) es un cultivo con gran potencial, cuyos principales usos son: hortícola, forrajero, extracción de inulina y derivados, y producción de etanol.

Esta especie produce tubérculos que almacenan polisacáridos en forma de fructanos y, dentro de éstos, se destaca la inulina como el principal carbohidrato de reserva, lo que lo define como un alimento funcional.

La inulina produce efectos beneficiosos para la salud humana, dentro de los cuales se destaca su función como fibra soluble.

Se considera necesario realizar una revisión bibliográfica de la literatura científica existente, con el objeto de describir los diversos aspectos referentes al Topinambur, sus características generales, propiedades nutricionales, posibles usos, y establecer aquellos beneficios que podría tener su incorporación en la alimentación humana.

Palabras claves: Topinambur, *Helianthustuberosus*, inulina, alimento funcional.

ABSTRACT

Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) is a crop with high potential, which main usages are: horticultural, fodder, inulin extraction and derivative and ethanol production.

This species produces tubers which stores polysaccharides as fructans, and inulin stands out as main reserve carbohydrate, which defines it as a functional nutriment.

Inulin generates positive effects in human health, one of their outstanding benefits is their function as soluble fiber.

It is considered necessary to do a bibliographic review of scientific literature, with the objective of describing different aspects concerning Jerusalem Artichoke, their general characteristics, nutritional properties, possible uses; and to establish the benefits that could have their incorporation to human alimentation.

Key words: Jerusalem Artichoke, *Helianthus Tuberosus*, inulin, functional food.

I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El topinambur (*H. tuberosus* L.) pertenece a la familia de las Asteráceas.

Es originaria de América del Norte y fue introducida en Europa a principios del siglo XVII, comercializándose como una hortaliza para consumo humano.

Llegó a nuestro país, a principios del Siglo XX, utilizándose para la alimentación de ganado porcino.

Actualmente se encuentran explotaciones principalmente en la región de Cuyo y Traslasierra, Córdoba.

Se trata de una planta herbácea que inicialmente desarrolla una estructura aérea con tallos ramificados que luego tuberizan.

Este cultivo posee una gran adaptación a climas áridos y suelos pobres debido a su gran rusticidad.

Son cuatro los principales usos que pueden darse a esta especie: hortícola, forrajero, e industrial para extracción de inulina y producción de etanol.

Dentro de sus características químicas, los tubérculos de topinambur acumulan reservas en forma de fructanos y, dentro de éstos, la inulina es el principal.

Los tubérculos almacenan, en vez de almidón, el polisacárido inulina, carbohidrato que por acción enzimática y/o medio ácido y calor se transforma en fructosa.

La presencia de Inulina hace de este tubérculo un alimento funcional es decir, que además de su valor nutricional, sus componentes provocan efectos fisiológicos positivos.

Como forrajera principalmente se la utiliza para producción porcina y no presenta ventajas comparativas destacables respecto de otras especies, salvo su aptitud para producirse en un amplio rango de condiciones ambientales.

Es un cultivo de los considerados “energéticos” por su potencial para producir bioetanol.

En Argentina no se encuentra muy difundida como hortaliza, en comparación con otros países del mundo, como Chile, Alemania, Bélgica y EE.UU., donde existe una gran variedad de productos alimenticios elaborados a partir de este tubérculo. Sin embargo, en las regiones nacionales en las que se han registrado consumos de topinambur, estas han sido: como preparaciones en crudo, cocido e incluso encurtido.

Ante lo planteado anteriormente, el objetivo general propuesto es:

- Describir los diversos aspectos referentes al topinambur, sus características generales, manejo general del cultivo, propiedades nutricionales y posibles usos.

Objetivos específicos:

- Describir la fisiología y características de la planta topinambur.
- Describir las diferentes etapas del cultivo.
- Investigar acerca de los diferentes usos del topinambur.
- Investigar acerca de la composición química del tubérculo.
- Explicar las características nutricionales del tubérculo.

- Definir los posibles efectos benéficos que podría tener la incorporación de topinambur en la alimentación humana.

II. DESARROLLO DEL TRABAJO

HISTORIA Y ANTECEDENTES

El topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) pertenece a la familia de las Asteráceas. Este cultivo es originario de América del Norte, donde era utilizado por los pueblos originarios mucho antes de la llegada de Colón. Algunos historiadores indican que el explorador francés Samuel de Champlain lo encontró en 1605 en la península Cabo Cod, en el extremo oriental del estado de Massachusetts, para ser importado a Europa (1).

El cultivo llegó a Europa en 1616 a través de Roma y se hizo conocido comúnmente en España y el Mediterráneo alrededor de 1650. Durante este siglo, cuando apenas se conocía la papa, el topinambur se consideraba un componente alimentario común en países como Inglaterra, Alemania y Francia (2).

En Argentina *Helianthus tuberosus* L. fue introducido por los inmigrantes a principios del siglo XX (3), principalmente para la alimentación de cerdos.

Actualmente en la Argentina está muy poco difundido y se encuentra en manos de unos pocos productores, principalmente en la región de Cuyo y Traslasierra, Córdoba. Sin embargo por condiciones edáficas y climáticas podría ser mayor el uso de este cultivo, incluso con éxito en la Pampa Húmeda (1).

Presenta diferentes denominaciones (son más de 200), según países, regiones y culturas diversas, algunas son:

Español: pataca, aguaturma, alcachofa de tierra, batata de caña, pera de tierra, topinambo, tupinambo, topinamburo, papa de caña, papa chanchera.

Aleman: Knollensonnenblume.

Frances: Artichaut de terre, topinambour.

Portugués: batata tupinamba, girasol batateiro, tupinambo.

Inglés: Jerusalem artichoke, sunroot, sunchoke.

El nombre más utilizado en la bibliografía de lengua inglesa es Jerusalem artichoke. Este nombre es un poco engañoso ya que la planta no es una alcachofa y no es oriunda de Jerusalén. La palabra “Jerusalem” tiene varias explicaciones; una de ellas es que se convirtió en un alimento básico para los peregrinos de América del Norte y se pensó como un nuevo alimento “Nuevo Jerusalén” (4).



Imagen 1: Flor de Topinambur. Fuente: INTA

TOPINAMBUR: FISIOLÓGÍA DE LA PLANTA

La formación de rizomas comienza entre la primera y octava semana después de la emergencia. Si la densidad de plantas es elevada, la aparición de los rizomas se retrasa y disminuye su número debido a la limitada translocación de carbohidratos (5).

En el caso de suelos con texturas más pesadas y mayor densidad aparente, los rizomas suelen poseer menor tamaño y entrenudos cortos. Mientras que en suelos friables suelen desarrollar mayor longitud. Los rizomas emergen de la parte subterránea del tallo, a una profundidad aproximada de 4 a 5 cm por debajo de la superficie del suelo.

Estos tubérculos, muy ricos en hidratos de carbono, son los que permiten la reproducción asexual de las plantas (6).

VARIEDADES

En nuestro país no existen variedades de topinambur registradas y, tampoco, semilleros que provean material identificado. Se han mencionado y caracterizado, brevemente, cinco variedades que se supone fueron introducidas en nuestro país. Las mismas y sus principales características se citan a continuación:

Roso: Muy tardía, de abundante vegetación. Tubérculos rojos con zonas blancas.

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

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

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 (3).

CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO

- **DESARROLLO**

Es un cultivo cuyo desarrollo responde al siguiente esquema general: normalmente brota en primavera, desarrolla una gran estructura aérea, usualmente con varios tallos y ramificaciones, finalmente tuberiza y la parte aérea muere (6).

La tuberización es un proceso complejo que se inicia en la parte distal del rizoma y que lleva a la formación de órganos reproductivos de almacenaje. La misma se desarrolla en cuatro etapas:

1. Iniciación;
2. Formación del tubérculo;
3. Llenado del tubérculo;
4. Dormancia.

1. Iniciación: Los mecanismos moleculares que controlan la tuberización en topinambur son desconocidos, pero se han encontrado ciertas similitudes con los de la papa (*Solanum tuberosum* L). Los azúcares proveen de energía y carbono para la síntesis de diversos compuestos químicos en la planta; actuando de esta forma como reguladores del metabolismo. En la inducción a la formación de tubérculo en papa, la sacarosa regula la expresión génica que permite posteriormente el flujo de fotoasimilados, a través del floema, a la región del rizoma, iniciando el desarrollo del tubérculo.

2. Formación del tubérculo: Al inicio de la tuberización se produce una rápida división y expansión celular, y al mismo tiempo comienzan a almacenarse sustancias de reserva. El mayor incremento en el número de tubérculos ocurre entre la semana 14 y la 16 luego de la plantación, alcanzando su punto máximo a las 24 semanas. Generalmente, el número de tubérculos está inversamente relacionado con el tamaño de los mismos.
3. Llenado del tubérculo: Durante esta etapa se produce un incremento progresivo de materia seca, principalmente debido a la acumulación de fructanos. Cuando finaliza esta etapa, el tubérculo se ha convertido en un órgano con potencial de dar origen mediante su brotación a una planta.
4. Dormancia: Los tubérculos se tornan dormantes al comienzo del otoño y no brotan hasta que las condiciones ambientales sean favorables para el desarrollo de la planta. El momento en que se inicia la dormancia se modifica en función de la madurez de los tubérculos en la planta, de la translocación de fotoasimilados y del genotipo. En general, se observa que los tubérculos grandes y más maduros son los últimos en entrar en dormición. Ésta ocurre en forma gradual y no todos los tubérculos comienzan simultáneamente (6).



Imagen 2: Plantación de topinambur florecido. Fuente: INTA

- **ELECCIÓN Y PREPARACIÓN DEL TERRENO**

En cuanto a la elección del terreno, *H. tuberosus* L. crece sin mayores problemas en suelos pobres, por lo que se lo considera un cultivo de zonas marginales. Sin embargo, prospera mejor y se obtienen mayores rendimientos en suelos fértiles (6).

Para obtener los mejores resultados, se debe plantar en margas arenosas fértiles o en fondos fluviales bien drenados en los cuales, los tubérculos son más fáciles de excavar (7). Deben evitarse los suelos anegadizos donde el agua se estanca por varios días (6).

Los suelos húmedos o hidromórficos deberían descartarse porque reducen la emergencia, promueven el desarrollo de enfermedades, y dificultan el crecimiento de los tubérculos.

Aunque la planta se adapta a un rango relativamente amplio de pH del suelo, la producción se ve favorecida en suelos levemente alcalinos.

En general, los suelos aptos para cultivo de papa (*Solanumtuberosum* L.) también lo son para el topinambur.

La preparación de la cama de plantación es similar a la que se realiza para papa. Se comienza arando, rastreando y armando los camellones de plantación. Ésta puede ser manual o con sembradoras mecánicas de papa (6).

El topinambur es una especie con altos requerimientos de potasio, nitrógeno y calcio para un óptimo rendimiento (7).

- **FERTILIZACIÓN**

La respuesta del cultivo a la fertilización varía significativamente según el tipo de suelo; aquellos con alto contenido de materia orgánica producen más tubérculos y de mayor tamaño (6).

Los requerimientos nutricionales del topinambur son:

- 70 a 100 kg/ha-1 de N;
- 80 a 100 kg/ha-1 de P;
- 150 a 250 kg/ha-1 de K.

Sin embargo, debe tenerse una precaución especial con los fertilizantes nitrogenados, debido a que la producción de tubérculos se reduce si se agregan nitratos en exceso al suelo. Un elevado nivel de NO₃ altera la relación entre la parte aérea y subterránea de la planta, a favor del crecimiento vegetativo.

La adición de fertilizantes cálcicos al suelo puede producir efectos beneficiosos sobre el rendimiento de tubérculos, siempre que el pH del suelo se encuentre en el rango para el desarrollo del topinambur, que es de 4,5 a 8,6 (6).

- **CLIMA**

En relación al clima, el topinambur puede desarrollarse bajo condiciones ambientales muy diversas, no obstante el rendimiento es afectado por:

- radiación solar,
- temperatura,
- fotoperíodo,
- condiciones de manejo del cultivo.

La intercepción de la radiación solar es función del área foliar. El topinambur puede crecer a la sombra, pero con reducción de su crecimiento; por lo cual la luz solar directa es esencial para obtener rendimientos óptimos. Las hojas del cuarto superior de la planta interceptan la mitad de la radiación diaria absorbida; mientras que las hojas situadas en la base de la planta, interceptan menos del 5 %, debido al sombreado que produce su parte superior.

Las plantas son sensibles a la duración del día. El fotoperíodo ha sido uno de los factores ambientales más estudiados en esta especie, al regular prácticamente todas las fases del desarrollo; influyendo en el crecimiento vegetativo y la tuberización. Los días largos promueven el crecimiento de tallos y hojas, mientras que los días cortos son determinantes en la inducción a la floración y tuberización (6).

El topinambur es más resistente a sequías que muchos otros cultivos (8). Sin embargo hay dos periodos que presentan sensibilidad al estrés hídrico: el crecimiento de los tubérculos, coincidente con la floración, en primer lugar, y la emergencia en segundo lugar. Si las etapas mencionadas anteriormente no coinciden con el período de lluvias, es de fundamental importancia realizar riegos suplementarios; ya que que el exceso en el riego genera un crecimiento vegetal excesivo, reduciendo el rendimiento y el índice de cosecha (9). Para lograr un crecimiento y desarrollo óptimo, el cultivo requiere más de 1.250 mm durante todo su ciclo (6).

Las heladas producen la muerte de los tallos y hojas, pero no afectan los tubérculos que resisten a la congelación por meses (-20°C) (10).

- **SIEMBRA**

En cuanto a la siembra, pueden utilizarse para la plantación tubérculos enteros o cortados. Se recomiendan tubérculos semilla de un peso de 40 a 60 g, aunque tubérculos o trozos mayores a 50 g no aumentan el rendimiento y, 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 (8).

Los tubérculos semilla son plantados en filas en la zona alta del camellón de plantación. Una distancia de 50 o 60 cm entre los tubérculos semillas de la misma fila, y de 70 a 130 cm entre filas, es la recomendada. Se estiman

necesarios 30.000 tubérculos semilla por hectárea, lo que representan 1.400 a 1.800 kg/ha de tubérculos.

En condiciones no limitantes, la densidad de plantas con la que se logra el máximo rendimiento de tubérculos es de 5 a 8 plantas/m².

La profundidad de plantación recomendada es alrededor de 10 a 15 cm; si es mayor, los nuevos tubérculos a formarse, lo harán muy profundamente y se dificultará la cosecha.

Es un cultivo anual, pudiendo variar su ciclo entre 100 y 270 días. El topinambur se propaga por tubérculos, que se deben plantar tan pronto como sea posible en la primavera cuando el suelo puede ser trabajado satisfactoriamente. La siembra tardía generalmente reduce el rendimiento y el tamaño del tubérculo (6).

Normalmente los tubérculos comienzan a formarse en agosto (10), brotan en primavera, desarrollan una gran estructura aérea, con varios tallos y ramificaciones.

La temperatura mínima a partir de la cual empieza la brotación está situada alrededor de los 5° C. Si las siembras se realizan muy tempranas, los tubérculos no brotan hasta que las temperaturas sean favorables (8).

El ciclo de la planta finaliza con las primeras heladas, alcanzando su madurez fisiológica (abril-mayo) donde comienzan a secarse las hojas hasta su totalidad.

En ese momento, los tubérculos comienzan una etapa de latencia y están listos para ser cosechados de una sola vez o a medida que se lo necesite.

En nuestro país se menciona el período comprendido desde mediados de junio a fines de septiembre como apto para la implantación.

El *H. tuberosus* es considerado un cultivo muy rústico. A excepción del período de implantación, la competencia de las malezas es despreciable. Esta alta competitividad puede atribuirse a un rápido crecimiento y a un gran tamaño final de plantas, que no permiten el desarrollo de la mayoría de las malezas presentes en el cultivo por la sombra que produce el canopeo del topinambur sobre las malezas.

El impacto de los insectos también es prácticamente despreciable, se cita la aparición de áfidos en algunas situaciones (6).

- **COSECHA**

La cosecha no debiera realizarse antes de las primeras heladas (8). La senescencia ocurre al final del ciclo del desarrollo del cultivo y puede observarse en los tejidos y órganos de la planta. Cuando esto ocurre, los órganos por encima y por debajo de la superficie mueren, aguardando condiciones propicias para su posterior desarrollo. Luego de la primera helada, las células colapsan y la planta muere, exceptuando los tubérculos y las semillas (si es que están presentes). Antes de la muerte de la planta, se produce la translocación de los carbohidratos y proteínas desde la parte aérea a los órganos de reserva. Por este motivo se recomienda la cosecha después de la primera helada, para asegurarse que todos los nutrientes de la planta, fueron translocados a los tubérculos (6).

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 mancera, complementado con la recolección manual de los tubérculos (8).



Imagen 3: tubérculos de Topinambur. Fuente: INTA

- **POSTCOSECHA**

Los tubérculos pueden cosecharse en otoño o dejarse bajo tierra para su almacenamiento hasta la cosecha primaveral.

Si se guardan en cámaras debería ser a 0 °C y entre 90 y 95 % de humedad relativa, por un período de 4 a 5 meses. Los tubérculos que se guarden para semilla no deben congelarse durante el almacenamiento (8).

El promedio de producción entre tallos y tubérculos es de unas 100 toneladas por hectárea. La parte aérea puede arrojar cosechas anuales del orden de las 60 toneladas por hectárea de follaje rico en fibra y proteínas (1).

USOS Y APLICACIONES

El topinambur es un cultivo con gran potencial como alimento, productos industriales y producción de combustibles. Los principales usos que pueden darse a los tubérculos son: hortícola, forrajero, extracción de inulina y derivados y producción de etanol.

- 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.

Los tubérculos de topinambur acumulan reservas en forma de fructanos y, dentro de éstos, la inulina es el principal (16 a 20 % del peso fresco del tubérculo), considerándose un alimento funcional (8).

Estos se pueden consumir crudos, cocidos, en encurtidos y, aunque se cocinen, la inulina no pierde las propiedades debido a su alta estabilidad térmica (4).

Además, se estudia la obtención de harina del tubérculo dadas las ventajas asociadas a la alimentación humana, tanto por sus características de prebiótico, como por sus beneficios a pacientes que sufren de celiaquía y diabetes (1).

Debido a que los tubérculos acumulan reservas en forma de fructanos (inulina) y no de almidón, estos constituyen una alternativa en dietas para diabéticos (8).

- FORRAJERO

El topinambur es considerado un excelente forraje de doble producción (forraje verde y tubérculos). 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”. 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. Quizás la mayor ventaja comparativa de este cultivo para forraje sea su capacidad de crecer bien en un rango bastante amplio de condiciones ambientales (8).

- **INDUSTRIAL: FRUCTANOS Y ETANOL**

La aplicación industrial de topinambur comprende la obtención de fructanos, espacialmente inulina, y etanol.

- **Fructanos**

Como se mencionó anteriormente, los fructanos constituyen el principal carbohidrato de reserva del tubérculo, representando entre el 70 y el 80 % de la materia seca del mismo, la que varía de 18 a 25 %. 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 (8).

Actualmente, el fructano comercialmente más importante que se encuentra disponible es la inulina, que se obtiene de la raíz de achicoria o de los tubérculos de topinambur (11).

Esta contiene una gran cantidad de cadenas de longitud media que pueden extraerse mediante procesos similares a la extracción de azúcar de la caña de azúcar.

Un proceso típico de producción de inulina incluye tres pasos principales: pretratamiento, extracción y purificación (12).

Su principal uso es como aditivo alimentario (11). Puede utilizarse para reemplazar la grasa, el azúcar y la harina en los productos lácteos, helados, en los cereales y en los productos horneados para reducir las calorías (12).

Contribuye a las características organolépticas de los alimentos, mejora la estabilidad de las espumas y las emulsiones (13).

En general, se considera que todos estos efectos promueven la salud y son la razón por la que la inulina es uno de los ingredientes funcionales más prometedores descubiertos hasta la fecha (11).

La inulina puede hidrolizarse por completo a su monómero, la fructosa, que se usa ampliamente como edulcorante en lugar de sacarosa o glucosa en alimentos funcionales, productos farmacéuticos y bebidas (13).

Convencionalmente, la fructosa se produce a partir de la hidrólisis del almidón, que implica tres enzimas amilasas o alfa amilasa y glucoamilasa en tres pasos, mientras que el hidrolizado resultante contiene un 45% de fructosa y un 55% de glucosa. La inulina es una materia prima más ventajosa que el almidón, ya que

en su hidrólisis se necesita la inulinasa como único biocatalizador, con rendimientos de fructosa del 95% (13).

Elevados niveles de fructosa encontrados a partir del topinambur, son una buena alternativa a la utilización de la sacarosa, especialmente porque la fructosa se extrae fácilmente de los tubérculos. Los aumentos en los precios mundiales de sacarosa fomentan el uso de azúcares alternos y, dado que la fructosa es 1,5 veces más dulce que la sacarosa, da como resultado una relación de calorías a dulzor más baja. El primero en usar fructosa fue la industria de refrescos y también se recomienda para mermeladas, jaleas y conservas (14).

- Etanol:

El topinambur se reconoce actualmente como un cultivo energético emergente para la producción de bioetanol; sin embargo esto, tiene una larga historia.

En el siglo XIX, un químico francés, Anselme Payen, promovió el uso del tubérculo para la producción de cerveza en Francia (12).

Durante y después de la Primera Guerra Mundial, el Departamento Británico de Investigación Científica e Industrial realizó una amplia investigación para desarrollar el etanol a partir del topinambur. Se demostró que éste podía producir la misma cantidad de carbohidratos fermentables por acre para el alcohol como la remolacha azucarera y más que la papa irlandesa (12).

Sin embargo, con el auge de la industria petrolera moderna, el interés por el etanol, disminuyó (12).

En la década de 1980, resurgió el interés en el etanol a partir de éste tubérculo, el cual fue estimulado por la crisis del petróleo de 1973; sin embargo, esta

investigación fue nuevamente interrumpida con precios del petróleo más bajos después de la crisis.

En la actualidad se ha vuelto a generar interés sobre el topinambur como fuente de producción de etanol y esta vez se debe principalmente al rápido declive de las reservas de combustibles fósiles (12).

Hoy en día las aplicaciones de biorrefinería están recibiendo un interés creciente debido a los problemas climáticos y de eliminación de desechos y la falta de recursos petroleros.

Con la biorrefinería es posible convertir casi cualquier tipo de biomasa en casi cualquier tipo de biocombustible, bioquímico o biomaterial, si solo se combinan las técnicas biotecnológicas y químicas adecuadas sobre recursos renovables de biomasa en lugar del petróleo que es la materia prima para las refinerías de hoy (13).

El topinambur posee características importantes que lo hacen interesante como cultivo de biorrefinería, incluyendo: alta tasa de crecimiento, buena tolerancia a las heladas, sequías y suelos pobres, fuerte resistencia a las plagas y enfermedades de las plantas, con requisitos mínimos o nulos de fertilizantes (12).

Los tubérculos son ricos en inulina, que pueden hidrolizarse fácilmente y luego convertirse en etanol. El rendimiento, a partir del topinambur, es equivalente al de la caña de azúcar y el doble que el obtenido a partir del maíz. Estas características hacen que el topinambur sea un sustrato sobresaliente para la

producción de etanol, y haya sido catalogado como uno de los cultivos energéticos más prometedores en China, Europa y Nueva Zelanda (12).

Hay antecedentes que señalan que a partir de 50 toneladas de tubérculos se obtienen 4.500 litros de etanol (8).

Generalmente, hay dos rutas para la producción de bioetanol a partir de los tubérculos de topinambur: hidrólisis y fermentación por separado y sacarificación y fermentación simultánea (12).

- Hidrólisis y fermentación separadas:

Se caracteriza porque la hidrólisis de inulina y la fermentación de azúcar se llevan a cabo en dos reactores separados. Típicamente, los tubérculos se procesan en puré de pulpa y luego se hidrolizan en azúcares fermentables (fructosa y glucosa) usando ácidos minerales diluidos o enzima inulinasa. Posteriormente, el azúcar fermentable se separa de los residuos sólidos y se transfiere a un fermentador donde el azúcar se fermenta en etanol empleando levaduras tales como *Zymomonasmobilis*, *Kluyveromycesmarxianus* y *Saccharomycescerevisiae* (12).

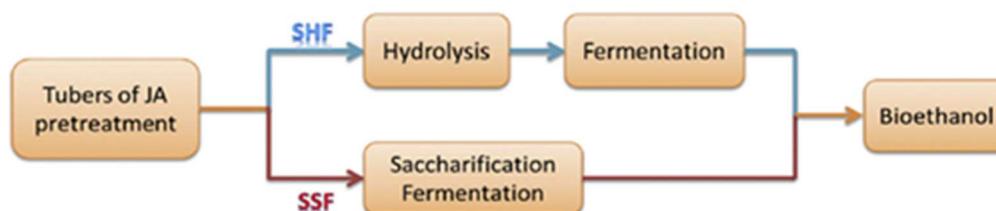
- Sacarificación y fermentación simultáneas:

Se caracteriza como la hidrólisis de inulina y la fermentación de azúcar que se lleva a cabo en un biorreactor utilizando biocatalizadores combinados (12).

Además de utilizar al topinambur como materia prima para producir biocombustibles y productos químicos biológicos (inulina y fructosa), también

puede usarse como producto de valor agregado para hacer que el proceso de biorrefinería sea más competitivo desde el punto de vista económico (15).

Imagen 4: Dos rutas para la producción de bioetanol a partir de tubérculos de alcachofa de Jerusalén.



Fuente: Linxi yang. Las perspectivas de la alcachofa de Jerusalén en ingredientes alimentarios funcionales y producción de bioenergía (12)

En comparación con la refinería de petróleo convencional, la biorrefinería con recursos renovables, no sólo es sostenible para el suministro de combustibles y productos químicos, sino también amigable con el medio ambiente debido a su mitigación de las emisiones de CO2 (15).

El tubérculo es adecuado para la producción de productos químicos, como 2,3-butanodiol, ácido láctico, ácido butírico, butanol, acetona, ácido succínico, ácido acético y sorbitol (16).

Tabla I. Usos y aplicaciones del Topinambur

Productos	Biomasa
Uso alimentario (inulina, oligofructosa,	Tubérculos

fructosa)	
Alimentación animal	Tallos y hojas
Biocombustibles (etanol, butanol)	Tallos y tubérculos
Productos químicos de base biológica (furfural, hidroximetilfurfural)	Tubérculos
Pulpa para papel / tablero de fibras	Tallos
Biogas	Aguas residuales y residuos del proceso de biorrefinería
<p>Fuente: Xiao-hualong, Hong-boshao, Lingliu, Li-pingliu, Zhao-puliu. Alcachofa de Jerusalén: una materia prima de biomasa sostenible para biorrefinería. Revista Elsevier. 2016; 54 (2016) : 1382-1388.(15)</p>	

OTROS USOS

El valor nutritivo de las proteínas presentes en el tubérculo es relevante para la industria alimentaria. El contenido de aminoácidos que contienen azufre puede indicar que las proteínas tienen buena capacidad espumante, de importancia para la industria alimentaria pero también, por ejemplo, para la producción de materiales de aislamiento (13).

Las proteínas también pueden tener la capacidad de formar películas de buenas propiedades, ya que los aminoácidos que contienen azufre están relacionados con la formación de enlaces disulfuro, por lo que se forman proteínas poliméricas. Además de la opción de utilizar las proteínas directamente en la industria de alimentos o materiales, las proteínas también son una fuente interesante para la producción de químicos de plataforma a través de un primer paso de degradar las proteínas a aminoácidos a partir de los cuales se pueden construir químicos (13).

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL TOPINAMBUR

Los tubérculos de topinambur se encuentran mayoritariamente compuestos por agua (80%), seguido por hidratos de carbono (alrededor del 15%), y un 1 a 2% de proteínas (17).

Los hidratos de carbono representan hasta el 80% del peso seco del tubérculo y el principal es la inulina, que es un polímero de fructosa, con una unidad de glucosa al final de la cadena (18). El contenido de azúcares simples de los tubérculos de topinambur es alrededor del 4% a 5% del peso seco (13).

Debido a la elevada cantidad de inulina presente en el topinambur, este se considera una buena fuente de fibra dietética (18).

Dentro de los azúcares simples, el principal en los tubérculos es sacarosa, y contienen muy poca fructosa y apenas glucosa. Esto es cierto durante la mayor parte de la temporada, excepto justo antes de la brotación, donde se ha observado un aumento considerable en el contenido de fructosa (17).

Las proteínas están presentes con aproximadamente 5-10% de peso seco (18).

El topinambur es rico tanto en aminoácidos esenciales como en aminoácidos azufrados, lo que hace que las proteínas de este cultivo sean de interés, para ser evaluadas en la aplicación de la industria alimenticia, y como una alternativa para la industria de plásticos (13).

Los aminoácidos lisina y metionina se pueden encontrar en los tubérculos en un contenido más grande que en otros cultivos de raíces similares, lo que también explica por qué el topinambur se considera como alimento de calidad (18).

Su valor calórico es de 25 a 27 kcal / 100 g dependiendo de la variedad, el cual resulta bajo en comparación a las 2000 kcal diarias recomendadas (17).

Tienen un alto contenido en minerales (potasio, calcio, hierro) (19).

Como consecuencia de su alto contenido de minerales y especialmente de su relación sodio/potasio, el topinambur es adecuado para patologías que presentan hipertensión. (20)

También contienen varios metabolitos secundarios, como: cumarina, terpenos y ácidos fenólicos (19).

El ácido clorogénico, el ácido cafeico y un ácido fenólico no identificado son los principales ácidos fenólicos en los tubérculos (19).

Los tubérculos de topinambur son una buena fuente de vitaminas, especialmente vitaminas del complejo B, vitamina C (ácido ascórbico) y beta caroteno. Tienen niveles relativamente altos de folatos y ácido fólico, junto con otras vitaminas del complejo B (tiamina, riboflavina, niacina, B6, ácido pantoténico, biotina y cobalamina) (17).

Tabla II. Composición química del Topinambur

CONSTITUYENTES	UNIDAD	VALOR
PRINCIPALES		
Agua	g/100g	78,9
Nitrógeno total	g/100g	0,39

Proteína Nx6,25	g/100g	2,44
Grasas	g/100g	0,41
Hidratos de Carbono	g/100g	4,01
Fibra dietaria total	g/100g	12,1
Ácidos orgánicos totales	g/100g	0,44
Minerales	g/100g	1,74
MINERALES		
Potasio	mg/100g	478
Magnesio	mg/100g	20
Calcio	mg/100g	10
Hierro	mg/100g	3,7
Fósforo	mg/100g	78
Sodio	mg/100g	22
VITAMINAS		
Equivalente de retinol	µg/100g	2,01

Carotenoides totales	µg/100g	12
B-carotenos	µg/100g	12
Vitamina B1	µg/100g	200
Vitamina B2	µg/100g	60
Nicotinamida	mg/100g	1,3
Vitamina C	mg/100g	4,1
ÁCIDOS ORGÁNICOS		
Ácido Málico	mg/100g	200
Ácido Cítrico	mg/100g	235
Ácido Succínico	mg/100g	7
Ácido Fumárico	mg/100g	12
ÁCIDOS GRASOS		
Ácido Palmítico (16:0)	mg/100	90
Ácido Estearico (18:0)	mg/100	5,1
Ácido Oleico (18:1)	mg/100	7,7

Ácido Linoleico (18:2)	mg/100	166
Ácido Linolénico (18:3)	mg/100	43
FUENTE:Scollo D, Ugarte M, Vicente F, Giraudo M, Sánchez Tuero H, Mora V. El potencial del topinambur en la salud y la nutrición. Diaeta [Internet]. 2011 Dic; 29 (137): 7-13.(21)		

ASPECTOS NUTRICIONALES

El topinambur es un tubérculo considerado un alimento funcional debido a su alto contenido de fibra soluble, constituido mayoritariamente por polímeros lineales de fructosa, pertenecientes a la familia de los carbohidratos, denominados fructanos, de los cuales, en este, se destaca la inulina (22).

Un alimento funcional es aquel que posee un *beneficio* para la salud más allá de los nutrientes que aportan y la capacidad de ser promotores de la misma. Según ADA son *"Alimentos que tienen potencialmente un efecto beneficioso en la salud, cuando se consumen como parte de una dieta variada, en forma regular y a niveles efectivos, incluidos los alimentos fortificados, enriquecidos, ó mejorados"* (22).

El CAA define como alimento funcional a aquel que contiene un componente, sea o no un nutriente, que afecta una o varias funciones del organismo en forma específica y positiva, promoviendo un efecto fisiológico que va más allá de su valor nutritivo tradicional (23).

Dentro de la gama de alimentos funcionales, el topinambur se clasifica como un prebiótico natural. Este término se refiere a sustancias no digeribles por el hombre que forman parte de los alimentos (24). Producen efectos beneficiosos estimulando selectivamente el crecimiento y/o actividad de uno o más tipos de bacterias en el colon, las que tienen a su vez la propiedad de elevar el potencial de salud del huésped (25).

Los prebióticos son fundamentalmente polisacáridos no amiláceos y oligosacáridos no digeribles por enzimas humanas (26), incluida la fibra dietética (25), que nutren a grupos seleccionados de microorganismos que habitan en el intestino (26).

Los prebióticos más conocidos son (26):

- Oligofruktosa
- Inulina (presente en el tubérculo de topinambur)
- Galacto-oligosacáridos
- Lactulosa
- Oligosacáridos de la leche materna

Estas sustancias se encuentran naturalmente en el topinambur y algunas plantas, como las cebollas, el ajo, los plátanos y la raíz de achicoria (27). La industria suele utilizarlos como ingredientes de alimentos tales como galletitas, cereales, chocolates, productos de untar, y productos lácteos, por ejemplo (26).

Las principales acciones de los prebióticos ocurren a nivel gastrointestinal. Debido a su configuración β en C2 llegan al colon sin ser digerido (24).

Bajo el enfoque tradicional, la fibra dificulta la absorción de minerales al ser “secuestrados” por ésta. Sin embargo, la evidencia científica actual indica que los minerales unidos a la fibra llegan al colon y allí son liberados, lo que permite entonces su absorción. Más aún, los hidratos de carbono de cadena corta aumentan la absorción colónica de zinc, calcio y magnesio al provocar la atracción de agua por ósmosis, en la que se disuelven dichos minerales (24).

Se señalan acciones favorables de los prebióticos con respecto al estreñimiento, las diarreas por infección, la osteoporosis (al incrementar la

biodisponibilidad del calcio), aterosclerosis y enfermedad cardiovascular (al corregir la dislipemia y la resistencia insulínica), obesidad, diabetes mellitus tipo 2 e incluso contra el cáncer de colon (24).

FIBRA

Como se ha mencionado anteriormente, la presencia de inulina y sus derivados, hace de los tubérculos de topinambur una buena fuente de fibra soluble.

Según el Código Alimentario Argentino (CAA), en su capítulo V: Normas para la rotulación y publicidad de los alimentos, define fibra alimentaria como “cualquier material comestible que no sea hidrolizado por las enzimas endógenas del tracto digestivo humano”.

La fibra dietética es la parte comestible de los vegetales, resistente a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso. Esta incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas al vegetal (28).

Se ha ampliado la definición previa de fibra dietética, añadiéndose el nuevo concepto de fibra funcional que incluye otros hidratos de carbono no digeribles, como el almidón resistente, fructanos como la inulina, presente en grandes cantidades en el topinambur, diversos oligosacáridos y disacáridos como la lactulosa (28).

Se habla entonces de fibra total como la suma de fibra dietética más fibra funcional (28).

La fibra dietética se puede clasificar según diferentes criterios: origen, naturaleza química de sus componentes, relación con la estructura de las paredes celulares, etc.

Desde el punto de vista funcional y nutricional resulta más práctica la clasificación que está relacionada con las características que determinan sus efectos beneficiosos para la salud: la solubilidad en agua y la capacidad de ser fermentada en el colon por la flora bacteriana.

Todos los componentes de la fibra pueden ser fermentados, en mayor o menor medida, por las bacterias colónicas. Atendiendo a estas características hablamos de fibra insoluble y fibra soluble:

- Fibra insoluble o escasamente fermentable: Son compuestos que debido a su composición química presentan una escasa capacidad para retener agua y crear así soluciones viscosas tanto en el estómago como en el intestino delgado. Este tipo de fibra actúa principalmente en el intestino grueso aumentando el peso y el volumen de las heces. Este hecho provoca una aceleración del tránsito intestinal y, por consiguiente, un efecto laxante. Forman parte de este grupo: la celulosa, algunas hemicelulosas y la lignina.

- Fibra soluble o fermentable: Son compuestos que forman soluciones muy viscosas en agua tanto en el estómago como en el intestino delgado. La propiedad que presentan de retener agua le proporciona sus efectos fisiológicos: enlentecimiento del vaciamiento gástrico.

La fibra soluble, una vez que abandona el estómago y llega al colon, es un sustrato altamente fermentable por la microbiota colónica desencadenando varios efectos beneficiosos como el control de la colesterolemia y de la glucemia entre otros.

Forman parte de este grupo: las gomas, mucílagos, pectinas, determinadas hemicelulosas, el almidón resistente, la inulina, fructooligosacáridos y los galactooligosacáridos.

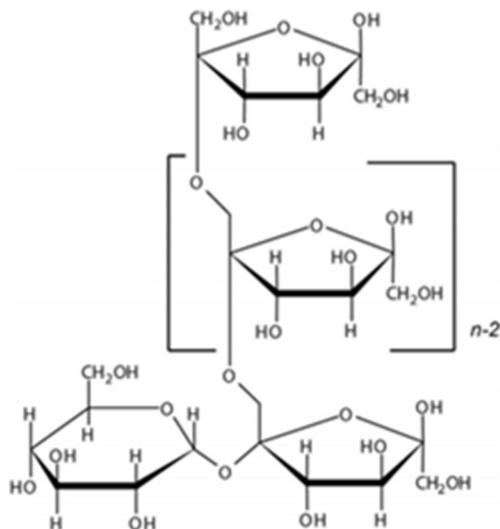
INULINA

La inulina es un carbohidrato de almacenamiento presente en muchas plantas, vegetales, frutas y cereales y por tanto forma parte de nuestra dieta diaria. La propiedad más extensivamente estudiada es su comportamiento como prebiótico (29).

Los primeros estudios de los efectos de la inulina en la salud humana se llevaron a cabo a inicios del siglo XX, aunque la inocuidad de inulina se demostró algunos años después por Shannon y Smith, en el año 1935, cuando uno de los autores se inyectó intravenosamente 160 gramos de inulina, comprobando la ausencia de efectos adversos para el organismo humano (30).

La inulina es una mezcla de polímeros con diferentes grados de polimerización formado a partir de 2-60 unidades de D-fructosa conectadas a través de enlaces glucosídicos β (2 \rightarrow 1) con una glucosa D enlazada a α (1 \rightarrow 2) terminal. Los polímeros de inulina con menos de 10 unidades de fructosa a menudo se denominan fructooligosacáridos (29).

Imagen 4: Estructura química de la inulina



Fuente: Madrigal Lorena, Sangronis Elba (29).

La inulina es el carbohidrato más abundante de los tubérculos de topinambur, pudiendo alcanzar entre un 10 y un 20% del peso fresco del tubérculo (19).

Contienen 10,5 a 17,6 g de carbohidratos totales cada 100 g de peso fresco, de los cuales 7,4 a 12,0 g son inulina y 1,6 a 2,2 g son fructosa, glucosa y sacarosa que componen el total de azúcares (19)

Tabla III. Contenido promedio de inulina en diferentes especies vegetales.

Carbohidratos	Contenido en 100 g de peso fresco
Carbohidratos totales (g)	10,5-17,6

Azúcares totales	1,6-2,2
Inulina	7,4-12,0
Otra fibra	0,6-4,0
ALIMENTO	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
Fuente: Madrigal L, Sangronis E. La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. ALAN [Internet]. 2007 Dic; 57 (4): 387-396. (29)	

PROPIEDADES FUNCIONALES

Desde la década de los '80 se observa el desarrollo constante de alimentos que, además de nutrir, tienen efectos positivos sobre la salud, denominados alimentos funcionales. La actual tendencia en los hábitos alimentarios diarios se acentúa no sólo en la composición nutricional de los mismos, sino también en sus propiedades (32).

Las características tecnológicas de la inulina permiten su uso como sustituto de grasas y azúcares, actuando como mejoradora de sabor y textura. Por dichas propiedades, la inulina y sus derivados se transformaron en excelentes ingredientes de alimentos funcionales con propiedades prebióticas (32).

A nivel industrial, la inulina se usa como ingrediente en los alimentos, ofreciendo ventajas tecnológicas e importantes beneficios a la salud. Se presenta como un polvo blanco, sin olor, con sabor neutral (29), higroscópico (30) y sin efecto residual (29), cuyo punto de fusión es 165 °C (30); además se consigue como jarabe viscoso (75% de materia seca), ambos incoloros (29).

Es insoluble en agua fría y alcohol pero soluble en agua caliente y se precipita en refrigeración (cristalización) (30).

La inulina y sus derivados ofrecen múltiples usos como ingredientes en la formulación de productos; mejora la estabilidad de emulsiones y espumas, por lo que se usa como estabilizante en diversos productos alimenticios (29).

Es utilizada como sustituto de grasas, ya que forma un gel con el agua que adquiere una textura similar a la de las grasas pero con mucho menor valor calórico. Este gel al proporcionar estabilidad es útil en la preparación de

postres como helados, jaleas y yogurt, al igual que en productos de panadería como galletas, panes y pastas (29).

Los fructanos hidratados en concentraciones de 40-45 %, adoptan una textura y una palatabilidad muy similar a la grasa. La tasa de reemplazo equivale a 0,25 g de inulina por 1 g de grasa, reduciéndose el contenido energético de 8,98 kcal/g de las grasas a 0,7 kcal/g de la inulina hidratada (33).

En yogures elaborados con leche descremada, la inulina mejora la aceptabilidad, impartiendo una mayor cremosidad, también actúa como agente espesante, retiene el agua y estabiliza geles (29) favoreciendo la textura y firmeza de los yogures (34). Una cantidad máxima de 1 % de inulina en leche descremada es capaz de generar un producto comparable en atributos sensoriales con un yogur fabricado con leche entera, sin efectos contrarios en la acción de los cultivos lácteos empleados inicialmente en su elaboración (33).

La capacidad de formar gel es determinante en su uso como sustituto de grasas en productos lácteos, untables, aderezos, salsas y otros productos en los que las propiedades funcionales, que otorgan las grasas, son indispensables para lograr los efectos sensoriales deseados por los consumidores (29).

Tabla IV. Propiedades funcionales de la inulina y derivados.

Aplicación	Funcionalidad
Productos lácteos	Cuerpo, palatabilidad, capacidad de formar gel, emulsionantes, sustituto de azúcares y grasas, sinergismo con edulcorantes.
Productos congelados	Textura, depresión en el punto de congelación, sustituto de azúcares y grasas, sinergismo con edulcorantes.
Productos untables	Estabilidad de emulsión, textura y capacidad de ser untado, sustituto de grasas.
Productos horneados	Disminución del factor de actividad de agua, sustituto de azúcares.
Cereales de desayuno	Crujencia, capacidad de expansión.
Preparación con frutas (no ácidas)	Cuerpo y palatabilidad, capacidad de formar gel, estabilidad de emulsión, sustituto de azúcares y grasas, sinergismo con edulcorantes.
Aderezos de ensaladas	Cuerpo y palatabilidad, sustituto de grasas.
Productos cárnicos	Textura, estabilidad de emulsión, sustituto de grasas.
Chocolate	Sustituto de azúcares, humectante.
Fuente: Madrigal L, Sangronis E. La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. ALAN [Internet]. 2007 Dic; 57 (4): 387-396 (29).	

En los postres congelados, la inulina permite reemplazar el 100% de las grasas, garantizando estabilidad, sabor cremoso, suave y similar a las mismas. Provee una textura idéntica al producto tradicional (35), reduce la pérdida de fluidos, mejora la viscosidad (33), da estabilidad durante el proceso de congelado-descongelado, desciende el punto de congelación y no interfiere en el proceso de overrun (35).

En la elaboración de panes con adición de inulina para sustituir la grasa vegetal, no se produce modificación de las características reológicas de la masa antes de hornear, y la calidad sensorial del producto terminado (29).

Cuando se emplean fructanos con la intención de sustituir el azúcar (que suele inhibir la formación del gluten al competir por agua disponible), se ha observado que se obtiene un endurecimiento menor de la masa, por lo cual los productos generados a partir de dicha masa presentan un menor esfuerzo mecánico a la mordida (36).

El uso de inulina en la formulación de pastas da como resultado productos con propiedades sensoriales sin diferencias significativas de aquellas elaboradas con solo trigo. Se han logrado formulaciones a base de chocolate (tortas, muses), barras energéticas y cereales extruidos con un desempeño similar o incluso mejorado en sabor, color y textura (29).

En los productos cárnicos, la grasa contribuye al sabor, textura y la sensación en general de lubricidad del producto (37).

La inulina es utilizada en productos cárnicos emulsionados porque retienen agua, disminuyen pérdidas al cocimiento y proveen un sabor neutro. Funciona

como una grasa mimética, asegurando suavidad, cremosidad y una sensación grasosa en la boca, manteniendo las cualidades organolépticas de la grasa (37).

La adición de esta fibra puede ser utilizada no solo como sustitutos de grasa, si no para obtener un efecto benéfico sobre la salud del consumidor (37).

La inulina junto con otro carbohidrato no digerible, el galactooligosacárido (GOS), cumple una función muy importante en el mejoramiento de las formulaciones alimenticias infantiles. La leche materna contiene una mezcla compleja de carbohidratos no digeribles que cumplen con la función de prebiótico, lo cual justifica la adición de oligosacáridos a fórmulas lácteas que se administran a los niños (29).

Los fructooligosacáridos (FOS) son utilizados como edulcorantes de bajo índice glucémico en el desarrollo de alimentos funcionales, ya que poseen baja dulzura (aproximadamente 1/3 comparada con la sacarosa), bajo aporte energético, no son cariogénicos, son altamente solubles y sus propiedades tecnológicas están estrechamente relacionadas con las del azúcar y las de los jarabes de glucosa (38). Además son estables a las altas temperaturas, con propiedades humectantes, reducen la actividad de agua y por tanto propician la estabilidad microbiológica y afectan los puntos de fusión y ebullición (29).

Frecuentemente son utilizados junto con intensificadores de dulzura, como aspartame o acesulfame K, ya que proveen un sabor sostenido, reducen el resabio amargo, mejoran la estabilidad y ejercen sinergismo del poder edulcorante en estas mezclas (38).

Tanto en la inulina como en la oligofructosa, a pH menores de 4, los enlaces tipo β de las unidades de fructosa, se hidrolizan con la consecuente formación de fructosa. Por esta razón, estos compuestos no pueden ser usados en alimentos muy ácidos (29).

Tanto la inulina presente en los tubérculos de topinambur, como aquella utilizada en la industria, confieren varias ventajas para la salud, generando así un menor riesgo de obesidad, diabetes, aterosclerosis y cáncer colorrectal (17), colon y mama (12).

INULINA Y LIPIDOS:

La inulina influye en el metabolismo de los lípidos al reducir la concentración de triacilglicéridos y colesterol (39), así como también en la distribución de estos entre las diferentes lipoproteínas a favor de un patrón más beneficioso para la salud (40).

El aumento en el consumo de fibra disminuye los niveles de LDL colesterol entre un 10 y un 15 %a través de varios mecanismos: por una parte la fibra dietética se une al colesterol de la alimentación impidiendo su absorción. También se une a las sales biliares evitando su reabsorción e induciendo un mayor catabolismo del colesterol (39).

La fibra soluble es degradada en compuestos menores que al absorberse inhiben la síntesis de colesterol (39), contribuyendo a mantener o mejorar la composición lipídica en sangre y disminuyendo el riesgo de aterosclerosis.

La hipotriglicemia se explica por el descenso en el plasma sanguíneo de lipoproteínas VLDL (lipoproteínas de muy baja densidad), ya que los fructanos inhiben la capacidad de interesterificación del palmitato hacia triacilglicéridos reduciéndose como resultado la lipogénesis hepática. La reducción puede llegar a ser hasta de un 19-27% (36).

Se sugiere que 25 g de fibra dietética total es la ingesta mínima requerida para lograr un efecto protector significativo contra la enfermedad cardiovascular, sin embargo, la ingesta total de fibra dietética de 30- 35 g/día proporcionará un efecto protector aún mayor (41).

INULINA, MINERALES Y SALUD ÓSEA:

Posee la propiedad de mejorar la disponibilidad del calcio cuando es incluida en la dieta (17), así como también la disponibilidad de magnesio y hierro, disminuyendo el riesgo de osteoporosis, e incrementando la mineralización y la densidad mineral de los huesos.

SOBREPESO Y OBESIDAD:

El consumo de alimentos con bajo contenido de fibra dietaria, está relacionado con el sobrepeso y obesidad; considerada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como una epidemia de escala mundial que afecta a las personas de todas las edades y de diferentes estratos sociales (42).

Se recomienda aumentar el consumo de fibra dietética (14 g/1000 kcal) para mantener el peso corporal saludable y/o disminuirlo; y es conocida la relación entre la ingestión de fibra con los cambios del peso a largo plazo (39).

El consumo de fibra provoca distintos efectos físicos en el organismo, prolongando el tiempo de masticado, lo cual permite la secreción de una mayor cantidad de saliva y jugos gástricos, que resulta en una expansión del estómago y el incremento de la saciedad (42).

Por otro lado, dietas con alto contenido de fibra dietaria, desplazan la disponibilidad de calorías y nutrientes de la dieta (42): por ejemplo, el valor calórico del topinambur es menor que el encontrado para otros vegetales: 100 g de papa hervida aportan 76 kcal mientras que la misma cantidad de topinambur proveen 41 kcal.

La fibra también genera efectos fisicoquímicos, formando soluciones viscosas; propiedad que impide parcialmente el contacto entre las enzimas digestivas y los nutrientes, tal como los ácidos biliares y la grasa. Esto disminuye la digestión y absorción de los nutrientes en el intestino delgado, obligando a movilizar glucógeno y grasa como fuentes de energía y para mantener los niveles adecuados de glucosa en la sangre (42).

Existen efectos colónico-hormonales que se producen cuando la fibra dietaria es fermentada por las bacterias del colon hasta convertirse en ácidos grasos de cadena corta (AGCC), tales como el acetato, propionato y butirato. Los AGCC son potentes mediadores en células enteroendócrinas secretoras de hormonas reguladoras del apetito y saciedad, las cuales ejercen efectos anorexígeno a nivel del sistema nervioso central, teniendo como resultado el incremento de la saciedad y la disminución del apetito (42).

Los fructanos poseen valores calóricos más bajos, en comparación con otros carbohidratos complejos, debido a los enlaces β (2→1) que unen las moléculas

de fructosa. Estos enlaces los hacen no digeribles por las enzimas digestivas humanas, llegando al intestino delgado sin ser metabolizados (43).

La inulina ingerida llega al colon donde es fermentada por la microfloracolónica. La energía derivada de la fermentación es en gran medida el resultado de la producción de ácidos grasos de cadena corta y lactato, que se metabolizan y aportan 1,5 kcal/g de energía útil (43).

INULINA Y DIABETES:

Los beneficios del consumo de la fibra sobre la diabetes tipo 2 radican principalmente en el consumo de la fracción soluble, la cual es la más eficaz en el control de la glucemia. Esta retrasa el vaciamiento gástrico y disminuye la absorción de glucosa al quedar atrapada por la viscosidad de la fibra. Como consecuencia queda menos accesible a la acción de la amilasa pancreática (44). Al agregar la inulina en las harinas destinadas a la elaboración de pastas se logra un mejor índice nutricional y un menor índice glucémico, reducido en un 15% (33).

INULINA Y MECANISMOS DE DEFENSA DEL CUERPO:

Las funciones de defensa del cuerpo son múltiples, involucran diferentes órganos, mecanismos y se dirigen a diferentes agresores potenciales (40).

Uno de los principales objetivos de la ciencia de los alimentos funcionales es identificar los componentes que tienen la capacidad de modular positivamente las funciones de defensa para ayudar a las personas a fortalecerlas,

restaurarlas o reequilibrarlas. La inulina se encuentra entre los principales ingredientes funcionales de los alimentos que desempeñan dichos roles (40).

Los fructanos afectan beneficiosamente una serie de funciones gastrointestinales, gracias a la modulación de su estructura, de la composición y de varias actividades de la mucosa y de la microflora. Se sabe también que afectan el epitelio intestinal mejorando la morfología de su mucosa, la composición de las mucinas, así como la resistencia a la colonización y las funciones químicas y enzimáticas del tracto gastrointestinal, reduciendo el riesgo de enfermedades relacionadas a la disfunción de la defensa gastrointestinal (45).

La inulina también afecta beneficiosamente al sistema inmunitario, especialmente a las funciones inmunitarias intestinales al atacar el tejido linfoide asociado al intestino y especialmente las placas de Peyer, y consecuentemente ha demostrado reducir el riesgo de enfermedades relacionadas con la disfunción de las funciones de la defensa gastrointestinal, una evidencia fuerte sobre un efecto beneficioso (40).

INULINA Y PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES:

La inulina también ha demostrado poseer propiedades para reducir el riesgo de enfermedades, especialmente enfermedades intestinales (EII) y cáncer de colon (40).

Manejo de las EII:

Los efectos beneficiosos de la inulina sobre las EII incluyen a la reducción de los síntomas clínicos y puntuaciones histológicas de la inflamación, así como la reducción en la producción de moléculas proinflamatorias y aumento en la

secreción de citoquinas antiinflamatorias. Tales cambios se correlacionan con el aumento en bifidobacteriascolónicas y lactobacilos (efecto prebiótico) (40).

Riesgo de cáncer de colon:

Entre los factores que pueden aumentar el riesgo de padecer cáncer de colon se encuentran los malos hábitos alimentarios, pues con ello se induce a la microbiota intestinal a producir sustancias con actividad carcinogénica. Estudios epidemiológicos recientes han demostrado que dietas suplementadas con Lactobacilos y Bifidobacterias reducen el riesgo de contraer cáncer de colon (46).

El consumo de inulina favorece el crecimiento de probióticos, resultando muy eficaz en la reducción del adenocarcinoma de colon. Además, contribuye a diluir los carcinógenos fecales y los promotores tumorales por la presencia de un mayor volumen fecal y por su capacidad para inducir la secreción colónica; es reconstituyente de la microflora intestinal y corrige el estreñimiento, mejorando el balance intestinal y contribuyendo de esta manera a reducir el contacto de agentes carcinógenos con el epitelio colónico y por ende a prevenir el desarrollo de cáncer de colon (46).

RESEÑAS DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN

Ante la dificultad de llevar a cabo la elaboración de un producto alimenticio a partir del Topinambur, dada la imposibilidad de conseguir el mismo, se realizó la búsqueda bibliográfica de distintos trabajos experimentales que tuvieran como objetivo la utilización del tubérculo como ingrediente principal en la elaboración de un alimento. De ellos se extrajeron los siguientes:

- Título del trabajo: “Topinambur: una especie con grandes cualidades como alimento funcional” (47). (2014), Universidad FASTA, Mar del Plata.

En el trabajo desarrollado por María Eugenia Eguía, se realizó un estudio del Topinambur, especialmente en lo que respecta a su contenido de inulina, tanto en el tubérculo fresco como sometido a diferentes métodos de cocción, como así también en el grado de aceptación del mismo. Para esto se llevó a cabo una degustación de dos preparaciones, un puré que se elaboró mediante una cocción por hervido y una tarteleta, realizada al horno.

Asimismo, se desarrolló un análisis bioquímico, para determinar el contenido de inulina de tres muestras de topinambur: el tubérculo fresco, el puré y la tarteleta.

Los resultados obtenidos con respecto a la determinación de inulina, en la muestra cruda fueron de un valor de 11,66 % del peso fresco del tubérculo, mientras que al ser sometido a cocción se produjo una reducción del contenido de la misma a 8,89% (método por hervido) y 9,73% (método de cocción al horno), respectivamente.

El nivel de aceptación del topinambur, en las muestras realizadas, fue positivo, independientemente de la forma de preparación degustada, ya que el 91% de los encuestados, refirió que incorporaría el topinambur a su dieta habitual.

En relación a la preferencia, se observó mayor aceptación por la tarteleta, ya que un 94% de los encuestados indicó “me gusta” o “me gusta mucho”, considerando el aroma, sabor y textura.

En relación al puré de topinambur, un 40% eligió la opción “me gusta”. En ningún caso, las calificaciones negativas superaron el 17%.

Las conclusiones a las cuales arribó este estudio, indicaron que el topinambur fue aceptado favorablemente y que constituye una alternativa saludable a la alimentación habitual.

- Título del trabajo: “Productos panificados a base de topinambur” (2014), Universidad Argentina de la Empresa, Ciudad Autónoma de Buenos Aires. (48). El Proyecto Final de Ingeniería “Productos panificados a base de topinambur”, realizado por María Paz Viano, se ideó teniendo en cuenta a dos grupos de poblaciones de riesgo, diabéticos y celíacos.

Tuvo como objetivo, promover el cultivo de Topinambur, dando a conocer sus propiedades nutricionales y los beneficios para la salud que genera al ser consumido, ya sea para ésta población específica, como para el resto de los individuos.

En este proyecto se llevó a cabo la elaboración de un producto alimenticio:

Galletitas dulces de limón, a partir del tubérculo.

El proceso de elaboración se realizó utilizando como materia prima: tubérculos de topinambur, fécula de mandioca, almidón de maíz, huevo en polvo, sucralosa, aceite neutro de uso alimenticio, polvo de hornear sin TACC, emulsionante: Goma xántica sin TACC, conservante: Sorbato de potasio sin TACC, y esencia de limón.

Luego de su elaboración, se desarrolló una serie de análisis microbiológicos, que dieron por resultado que el producto cumplía con la reglamentación del Código Alimentario Argentino y por lo tanto, apto para consumo.

Por último, mediante una prueba de degustación llevada a cabo en el producto terminado, donde se tuvieron en cuenta: el aspecto, textura, olor y sabor, se obtuvo como resultado entre un 40% y 50% de aceptación.

De lo descripto se pudo concluir que el producto elaborado obtuvo un alto grado de aceptación por parte de los encuestados y que por sus cualidades, resulta una buena alternativa para la alimentación habitual.

- Título del trabajo: “Estudio de las Propiedades físico-químicas, organolépticas y nutricionales de productos panificados desarrollados utilizando ingredientes no tradicionales con propiedades funcionales” (2015), Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca (49).

Esta tesis fue llevada a cabo por Irene Albertina Rubel.

El objetivo general planteado fue obtener inulina a partir de tubérculos de topinambur, caracterizarla y luego agregarla a masas de harinas de trigo para la obtención de pan blanco enriquecido con fibra dietaria.

Para tal fin se llevó a cabo el proceso de extracción y purificación de inulina, el análisis de la composición y capacidad prebiótica de la misma.

Luego se procedió a la elaboración del pan para el cual se utilizó, además de los ingredientes tradicionales, el agregado de carbohidratos ricos en inulina extraídos de tubérculos de topinambur en una muestra e inulina de achicoria industrial en otra. Ambas presentaban distintas características como el grado de polimerización, la pureza y el score de actividad prebiótica.

Una vez obtenidos los panes se realizaron diferentes pruebas para poder determinar los efectos de la adición de inulina sobre las propiedades reológicas de la masa y la calidad del pan, evaluado en términos de las propiedades físicas y sensoriales.

A partir de lo anterior se concluyó que el enriquecimiento del pan blanco con 5,0 g de inulina en polvo extraída del topinambur por 100 g de harina de trigo produjo cambios significativos en las propiedades viscoelásticas de la masa y en las propiedades físicas del pan, dando una calidad inaceptable. Sin embargo, la adición de una concentración menor (2,5 g/100 g de harina) no produjo cambios significativos en la reología de la masa, como así tampoco en los parámetros de calidad del pan, excepto en la uniformidad del grano de la miga y en el color.

Lo más relevante fue que no se encontraron diferencias significativas en los atributos sensoriales evaluados, en comparación con la muestra control. Estos hallazgos indican que el pan de trigo puede ser apto para enriquecerse con la fibra soluble, es decir inulina obtenida del tubérculo, hasta un 2,5 g/100 g de harina, sin consecuencias desfavorables en la “extensibilidad” de la masa, ni en

la capacidad de retención de gas, y manteniendo los atributos de calidad del pan convencional. Resultados similares se encontraron con la inulina de achicoria comercial.

En base a los resultados obtenidos queda en evidencia que la inulina obtenida a partir de topinambur es un ingrediente de gran potencial para ser incorporado en un producto de consumo masivo, como es el pan blanco, y así contribuir al aumento de la ingesta diaria de fibra soluble.

- Título del trabajo: “Alimento con alto contenido de fructanos, puré de topinambur” (2014) Facultad de Ciencias Agrarias,. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza (17).

En el presente trabajo, se plantea como objetivo general elaborar un puré de alto contenido de fructanos, a partir de tubérculos de topinambur.

Para la elaboración del puré se utilizaron tubérculos de topinambur de las variedades Roja y Blanca, albúmina (contenida en clara de huevo), leche fluida descremada, manteca, cloruro de sodio y pimienta blanca.

Los equipos utilizados para su elaboración fueron procesadora manual, horno de secado por convección y balanza.

En el desarrollo del presente ensayo se empleó el análisis sensorial afectivo con medida del grado de satisfacción de los consumidores o jueces no expertos.

El objetivo del análisis fue evaluar el grado de satisfacción generado en los consumidores por las dos muestras de puré de topinambur elaboradas cada una con una de las dos variedades de topinambur ensayadas y valorar la

actitud de los mismos frente a la posibilidad de adquirir el producto en el mercado.

Al comparar la composición nutricional de muestras de puré de topinambur junto con la composición nutricional de topinambur sin procesar, se observa un incremento en la cantidad de fructanos. Por lo tanto es posible obtener puré de alto contenido de fructanos elaborado con tubérculos de topinambur de variedades Roja y Blanca.

A pesar de ello se concluye que los tubérculos de variedad Roja, así como los purés elaborados con esta, poseen mayor contenido de fructanos que los de variedad Blanca.

Y por último, no existe preferencia de una variedad de topinambur sobre la otra, por parte de los consumidores, para la elaboración de puré.

Los consumidores aceptarían comprar puré de topinambur, si se ofreciera en el mercado a igual costo que un puré de papas tradicional.

III. CONCLUSIÓN

La presente tesis de finalización de grado fue llevada a cabo con el fin de dar a conocer al Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.), cultivo originario de América del Norte, introducido en nuestro país por inmigrantes a principios del Siglo XX. Originalmente fue utilizado principalmente para la alimentación del ganado porcino.

Aunque en la actualidad se encuentra poco difundido como alternativa alimentaria, uno de los objetivos propuestos en este trabajo fue realizar una revisión de la literatura científica acerca del Topinambur e identificarlo como un tubérculo con gran potencial como alimento funcional.

Se trata de un cultivo de gran versatilidad gracias a su capacidad de adaptación a climas y suelos variados. Esto permite ser utilizado no sólo como alimento para consumo humano sino también como forraje para uso ganadero, además de otras aplicaciones a nivel industrial, en el cual se destaca la obtención de Fructanos como la Inulina y la producción de combustibles como el bioetanol a partir de esta, logrando mayores rendimientos que con otros biocombustibles (maíz).

La consideración de alimento funcional está basada en el contenido de inulina, la cual cumple la función de fibra dietética y actúa como prebiótico.

Posee bajo contenido en lípidos, alto contenido en minerales como K, Ca, Fe y bajo contenido en Na, es fuente de vitaminas del complejo B, C y Betacarotenos.

Debido a su riqueza nutricional, este tubérculo presenta propiedades benéficas como lo son: la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles, la osteoporosis, el cáncer de colon y mama, actuando además como modulador de manera positiva de los mecanismos de defensa del organismo, entre otras.

A pesar de ser una alternativa saludable a la alimentación y como su consumo no se encuentra muy difundido en nuestro país, es de nuestro interés dar a conocer sus características nutricionales y organolépticas de modo que en un futuro pueda ser incorporado a la dieta de consumo habitual.

A manera de ejemplificar la utilización del Topinambur, se realizó una búsqueda bibliográfica donde ha sido empleado como ingrediente para la elaboración de productos alimentarios.

En todos los trabajos experimentales realizados se obtuvo un alto grado de aceptación por parte de la población.

Concluimos que el Topinambur no solo es importante a nivel nutricional por sus propiedades, sino que también es un alimento sensorialmente aceptable por la población general para consumir solo, como hortaliza, o en la elaboración de productos alimenticios a base de él.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad de Buenos Aires y a la Escuela de Nutrición, a nuestras tutoras de tesis Lic. Andrea Maino y Lic. Vanesa Zalazar por su acompañamiento y por haber estado siempre presentes durante el desarrollo de este trabajo.

Al Ingeniero Agrónomo Martín Chichahuala, investigador del INTA de San Luis por brindarnos sus conocimientos acerca de este cultivo.

A nuestras familias y amigos por habernos apoyado en el desarrollo del presente trabajo y a lo largo de toda nuestra formación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Chichahuala M. Evaluar la adaptabilidad y potencialidad agronómica del Topinambur. [Internet]. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/evaluan-la-adaptabilidad-y-potencialidad-agronomica-del-topinambur>.
2. Van Loo J, Coussement P, De Leenheer L, Hoebregs H, Smits G. On the presence of Inulin and Oligofructose as natural ingredients in the western diet. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 1995;35(6):525-552. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8777017>
3. Rébora C. Caracterización de germoplasma de topinambur por aptitud agronómica e industrial [Maestría]. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias; 2008.
4. Sanz Gallego M. Utilización del cultivo plurianual de pataca (*helianthustuberosus* L) para la producción de hidratos de carbono fermentables a partir de tallos. Madrid, España; 2012.
5. Krarup C., Moreira I. Familia Asteraceae [Internet]. Hortalizas de estación fría. 1998. Disponible en: http://www7.uc.cl/sw_educ/hort0498/HTML/p018.html
6. Ibarguren, I, Rebora, C. El cultivo de topinambur: generalidades sobre su ecofisiología y manejo. *Horticultura Argentina*. [Internet] 2013; 32 (77): 1-7. Disponible en: <http://www.produccion->

animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/181-lbarguren.pdf .

7. Universidad Estatal de Carolina del Norte (1999). *Growing Jerusalem Artichokes*. [Internet] Estado de Carolina del Norte. Disponible en: <https://content.ces.ncsu.edu/growing-jerusalem-artichokes>.

8. Ibarguren, L. and Reborá, C. (2013). El cultivo de topinambur: generalidades sobre su ecofisiología y manejo. *Horticultura Argentina*, [Internet] 32(77), pp.35-41. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/181-lbarguren.pdf.

9. Rossi, R. and Chichahuala, M. (2017). Evaluación productiva de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) bajo diferentes densidades y fertilización en el semiárido central de la Argentina. *Horticultura Argentina*, [Internet] 36 (90), pp.49-58. Disponible en: [http://file:///C:/Users/User/Downloads/Evaluaci%C3%B3n%20productiva%20de%20topinambur%20\(em%20Helianthus%20tuberosus%20em%20L.\)%20bajo%20diferentes%20densidades%20y%20fertilizaci%C3%B3n%20en%20el%20semi%C3%A1rido%20central%20de%20la%20Argentina%20\(3\).pdf](http://file:///C:/Users/User/Downloads/Evaluaci%C3%B3n%20productiva%20de%20topinambur%20(em%20Helianthus%20tuberosus%20em%20L.)%20bajo%20diferentes%20densidades%20y%20fertilizaci%C3%B3n%20en%20el%20semi%C3%A1rido%20central%20de%20la%20Argentina%20(3).pdf).

10. Duke, J. (1983). *Helianthus tuberosus* L. En: J. Duke, ed., *Manual de cultivos energéticos*, 1ra ed. [Internet] Disponible en: https://hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Helianthus_tuberosus.html

11. Tita ritsema, Sjefsmeeckens. Fructanos: beneficioso para las plantas y los humanos. *Opinión actual en biología vegetal*. 2003; 6 (1): 223-230.

12. Linxi yang. Las perspectivas de la alcachofa de Jerusalén en ingredientes alimentarios funcionales y producción de bioenergía. *Revista*

Elsevier. [Internet] 2015; 5 (2015): 77-88. Disponible en:

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/D3A63AD63909671E01EC105806E0F85A52C43BD2E0F5808424AA17E0D5E40EE12F474E913989D16D6B7332D22F701338>.

13. Eva johansson, Thomas Prade, IriniAngelidaki, Sven-Erik Svensson. Componentes económicamente viables de la alcachofa de Jerusalén (*Helianthustuberosus* L) en un concepto de biorrefinería. Revista Internacional de Ciencias Moleculares. [Internet] 2015 ; 16 (4): 8997 - 9016. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4425120/>

14. Swanton, C. and Hamill, A. (1994). *Jerusalem Artichoke*. [Internet] Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Disponible en: <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/94-077.htm>.

15. Xiao-hualong, Hong-boshao, Lingliu, Li-pingliu, Zhao-puliu. Alcachofa de Jerusalén: una materia prima de biomasa sostenible para biorrefinería. Revista Elsevier. 2016; 54 (2016) : 1382-1388.

16. Lili li, Li li, Yipengwang, Yuguang du, Song qin. Productos de biorrefinería del cultivo de inulina, alcachofa de Jerusalén. Saltador. 2013; 35 (1): 471-477.

17. Tessaro S. Alimento con alto contenido de fructanos: Puré de Topinambur (*Helianthustuberosus* L.). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo; 2014.

18. Terzic S, Atlagic J. Nitrogen and sugar content variability in tubers of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*). Genetika. 2009; 41(3): 289-295.

19. Bach V, Clausen M, Edelenbos M. Production of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) and Impact on Inulin and Phenolic Compounds. *Processing and Impact on Active Components in Food*. 2015; 97-102.
20. Acosta, N., Sihufe, G., Marino, F. y Olivares, M. (2016). *Análisis físico-químico y sensoriales de los alimentos: trabajos completos: VI Congreso*. [libro electrónico] Córdoba: Baroni, M., Calandri, E., Di Paola Naranjo, R. nMartinez, M., Moiraghi, M. Disponible en: <http://cicytac.cba.gov.ar/PDF/AnalisisFisico-QuimicosSensoriales.pdf>.
21. Scollo D, Ugarte M, Vicente F, Giraud M, Sánchez Tuero H, Mora V. El potencial del topinambur en la salud y la nutrición. *Diaeta* [Internet]. 2011 Dic; 29 (137): 7-13. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/diaeta/v29n137/v29n137a01.pdf>
22. Millone MV, Olagnero GF, Santana EC. Alimentos funcionales: análisis de la recomendación en la práctica diaria. *Diaeta* [Internet]. 2011 Mar; 29 (134): 7-15. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73372011000100002&lng=es.
23. Alimentos Funcionales Probióticos [Internet]. ANMAT; Disponible en: http://www.anmat.gov.ar/consumidores/alimentos/Alimentos_Funcionales_Probioticos.pdf
24. Silveira Rodríguez M, MonereoMegías S, Molina Baena B. Alimentos funcionales y nutrición óptima: ¿Cerca o lejos?. *Rev. Esp. Salud Pública* [Internet]. 2003 Jun; 77 (3): 317-331. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272003000300003&lng=pt.

25. De las CagigasReig A, Blanco Anesto J. PREBIÓTICOS Y PROBIÓTICOS, UNA RELACIÓN BENEFICIOSA. *Revista Cubana AlimentNutr* [Internet]. 2002; 16(1):8-63. Disponible en: http://bvs.sld.cu/revistas/ali/vol16_1_02/ali10102.pdf
26. Francisco Guarner, AamirGhan, James Garisch, Rami Eliakim, Alfred Gangl. *Probióticos y prebióticos*. EEUU; 2011.
27. SCOTT, K. (2013). *PREBIÓTICOS*. [Internet] International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics. Disponible en: <https://isappsience.org/prebiotics/>.
28. Escudero Álvarez E, González Sánchez P. La fibra dietética. *Nutr. Hosp.* [Internet]. 2006 Mayo; 21(2): 61-72. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112006000500007
29. Madrigal L, Sangronis E. La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. *ALAN* [Internet]. 2007 Dic; 57 (4): 387-396. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222007000400012
30. Fuentes Campos, M., Cotrina Pedraza, L. y Romero Guzmán, B. (2013). Extracción y caracterización de la inulina presente en los tubérculos de la *Dahlia* spp. *Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas.*, [Internet] 16 (31), pp.81-85. Disponible en: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11283/10120>.

31. Flamm, G., Glinsmann, W., Kritchevsky, D., Prosky, L. y Roberfroid, M. (2001). Inulina y oligofructosa como fibra dietética: una revisión de la evidencia. *Crit Rev Food SciNutr*, [Internet] 41(5), pp.353-362. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11497328>.
32. IV Jornadas RedVITEC Relación Universidad-entorno socioproductivo- Estado: la cooperación interinstitucional para afrontar los desafíos del desarrollo.
33. Benítes-Cortés I, Pérez-Martínez A, Julián-Ricardoll M, Lara-Gordillo P, Lara-Fiallosl M. Avances en la producción de inulina. *Revista Tecnología Química* [Internet]. 2017; 37(2) .Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S222461852017000200016&script=sci_arttext&lng=ptt
34. Goncalvez de Oliveira E, Paz NF, Budde EN, Cravero AP, Ramón AN. Utilización de inulina en la formulación de yogur descremado de leche de cabra. *Diaeta* [Internet]. 2012 Sep; 30(140): 25-30. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73372012000300004&lng=es
35. Barrionuevo MR, Carrasco JMN, Cravero BAP, Ramón AN. Formulación de un helado dietético sabor arándano con características prebióticas. *Diaeta* [Internet]. 2011 Mar; 29(134): 23-28. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73372011000100004&lng=es.
36. Chacón Villalobos A. Perspectivas agroindustriales actuales de los oligofructosacáridos (FOS). *AGRONOMÍA MESOAMERICANA*. [Internet] 2006;

17 (2) : 265-286. Disponible en:

http://www.mag.go.cr/rev_meso/v17n02_265.pdf.

37. Vásquez villalobos C, Soto Simental S, Villalobos Delgado L. Efecto de la Fibra Dietética sobre la Textura de Salchichas Tipo Viena. Nacameh. [Internet] 2010; 4 (2) : 37-43.

38. Ávila Fernández Á. Prebióticos: Alternativas mexicanas. HORIZONTE SANITARIO. 2014; 12 (1): 4-6 Disponible en:

<http://revistas.ujat.mx/index.php/horizonte/article/view/149/94>

39. Socarrás Suárez M M, BoletAstoviza M. Alimentación saludable y nutrición en las enfermedades cardiovasculares. Rev Cubana InvestBioméd [Internet]. 2010 Sep; 29 (3): 353-363. Disponible en:

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03002010000300006&lng=es

40. Roberfroid M. Fructanos de tipo inulina: ingredientes alimentarios funcionales. The Journal of Nutrition. [Internet] 2007; 137 (11): 2493-2502. Disponible

en:<https://academic.oup.com/jn/article/137/11/2493S/4664495?searchresult=1>

41. Lairon D, Arnault N. Consumo de fibra dietética y factores de riesgo de enfermedad cardiovascular en adultos franceses. El diario americano de nutrición clínica. [Internet] 2005; 82 (6): 1185 - 1194. Disponible en:

https://academic.oup.com/ajcn/search-results?page=1&q=Dietary%20fiber%20intake%20and%20risk%20factors%20of%20cardiovascular%20disease%20in%20French%20adults&fl_SiteID=6122&allJournals=1&SearchSourceType=1

42. Vilcanqui Pérez F, Vilchez Perales C. Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud. Revisión. ALAN [Internet]. 2017; 67(2): 146-156. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222017000200010&lng=es.
43. García Peris P, I bretón lesmes, C de la cuerda compes, M camblor Álvarez. Metabolismo colónico de la fibra. Nutrición Hospitalaria. 2002; 2 (1): 11-16.
44. Navarro Ramírez J. Efecto del consumo de fibra en la dieta del paciente diabético. REVISTA MEDICA DE COSTA RICA Y CENTROAMERICA LXIX. [Internet] 2012; 21 (23): 21-23. Disponible en: <http://www.medigraphic.com/pdfs/revmedcoscen/rmc-2012/rmc121e.pdf>.
45. Ulloa J, Espinosa Andrews H, Cruz Rodríguez G, Ulloa Rangel B, Ramírez Ramírez J. Los fructanos y su papel en la promoción de la salud. Revista Fuente. [Internet] 2010; 2 (5): 57-62. Disponible en: <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/02-05/7.pdf>
46. Castor L. INULINA: Polisacárido con interesantes beneficios a la salud humana y con aplicación en la industria farmacéutica. Infarmate [Internet]. 2011; 27 (7): 99-106: Disponible en: <http://www.zukara.com.mx/inulina%202011.pdf>
47. Eguia M. Topinambur. Una especie con grandes cualidades como alimento funcional. [Licenciatura en Nutrición.]. Universidad FASTA; 2014.
48. Viano M. Productos panificados a base de topinambur. [Ingeniería.]. UADE; 2014.

49. Rubel I. "Estudio de las Propiedades físico-químicas, organolépticas y nutricionales de productos panificados desarrollados utilizando ingredientes no tradicionales con propiedades funcionales" [Doctorado]. Universidad Nacional Del Sur.; 2015.

50. International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE). Uniform Requirements for Manuscripts Submitted to Biomedical Journals: Sample References [Internet]. Bethesda (MD): National Library of Medicine (US); 2003.

Disponible en: http://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html