

EFECTO DEL MÉTODO DE CONSERVACIÓN SOBRE LA CALIDAD DEL TOPINAMBUR

Diez, Susana^{1,2}; Bidiuk, Jennifer¹; Bajda, Leonardo²; Vullioud, Mabel^{1,2}; Salvatori, Daniela^{1,2}; Franceschinis, Lorena^{1,2*}

1 Facultad de Ciencias y Tecnología de los Alimentos, Universidad Nacional del Comahue, 25 de mayo 131, 8336, Villa Regina, Río Negro, Argentina.

2 PROBIEN (CONICET-UNCO), Universidad Nacional del Comahue, Buenos Aires 1400, 8300, Neuquén, Neuquén, Argentina.

lorena.franceschinis@probien.gob.ar

RESUMEN: Se realizó un ensayo de conservación con tubérculos de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) de dos biotipos de piel blanca: alargados (A) y redondos (R). Se cosecharon, acondicionaron y almacenaron en bolsas de polietileno a dos temperaturas: 0°C (C) y 7°C (H). Se compararon con 3 condiciones de tubérculos sin acondicionamiento, a temperatura ambiente: en bolsas y al abrigo de la luz (E), en arena (S) y sin cosechar (T). Se registró la pérdida de peso, la aparición de brotes y el desarrollo de hongos semanalmente. Mensualmente se determinaron sólidos solubles, materia seca, color epidermis y pulpa, firmeza, pH, acidez y contenido de inulina. La mayor pérdida de peso durante el ensayo se registró en la condición S (30,36% R y 20,60% A), la cual duró solamente un mes, mientras que la condición C permitió prolongar 12 meses la vida útil, observando muy poca deshidratación ($\Delta P \approx 2\%$) para ambos biotipos, y una disminución significativa del contenido de inulina solamente en el biotipo R ($p < 0,05$). La conservación en la condición C permitió prolongar la vida poscosecha de ambos biotipos sin brotación ni deshidratación significativa, manteniendo la calidad nutricional aceptable, haciendo posible la disponibilidad del tubérculo a lo largo del año para su consumo.

PALABRAS CLAVE: *Helianthus tuberosus* L., tubérculo, poscosecha, conservación, inulina.

QUALITY OF JERUSALEM ARTICHOKE AS AFFECTED BY CONSERVATION METHOD

ABSTRACT: A conservation study was carried out with Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus* L.) with white skin and two phenotypes: elongated (A) and round (R). They were harvested, conditioned and stored in polyethylene bags at two refrigeration temperatures: 0°C (C) and 7°C (H). They were compared with 3 assays of tubers without conditioning, at ambient temperature: in bags and protected from light (E), in sand (S) and in the field without harvesting (T). Weight loss, sprouting, and fungal development were recorded weekly. Soluble solids, dry matter, color of epidermis and pulp, firmness of the pulp, pH, acidity and inulin content were determined monthly. The greatest weight loss was recorded under S (30.36% R and 20.60% A), with only one month of duration, while C allowed to extend the shelf life up to 12 months, observing very little dehydration ($\Delta P \approx 2\%$) for both phenotypes, and a significant decrease in inulin content only in R ($p < 0.05$). C assay conservation allowed the postharvest life of both phenotypes to be prolonged without sprouting or significant dehydration, maintaining acceptable nutritional quality, making it possible the availability of the tuber to be consumed over the course of a year.

KEYWORDS: *Helianthus tuberosus* L., tuber, postharvest, conservation, inulin.

INTRODUCCIÓN

El topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) perteneciente a la familia de las Asteráceas, se encuentra distribuido principalmente en zonas templadas, sobre todo en el Este de América del Norte y ha sido utilizado como hortaliza, forraje, para la extracción de inulina y para la producción de etanol. Es un cultivo anual muy rústico, cuyo desarrollo inicia con la brotación en primavera, formando una gran estructura aérea, usualmente con varios tallos y ramificaciones, finalmente tuberiza y la parte aérea muere [1]. La tuberización es un proceso complejo que consta de cuatro etapas: inicio, formación, llenado del tubérculo y dormancia. Es así que los tubérculos, se desempeñan como órgano de almacenamiento y propagación, deben plantarse en la primavera cuando las condiciones

climáticas son favorables para la brotación. El ciclo de la planta finaliza con las primeras heladas, alcanzando su madurez fisiológica (abril-mayo), momento en el cual comienzan a secarse las hojas hasta su totalidad, mientras los tubérculos comienzan una etapa de latencia y están listos para ser cosechados [2].

Los tubérculos de topinambur son una fuente importante de inulina y fructooligosacáridos (FOS); representan entre el 16-20% del peso del vegetal fresco, por lo cual se consideran un alimento funcional con capacidad prebiótica y fuente de fibra soluble [3].

Varios autores, además, han destacado que los tubérculos son fuente de compuestos fenólicos principalmente ácidos fenólicos, entre ellos ácido

clorogénico, gálico y derivados del ácido cafeico, los que se concentran aún más en tallos y hojas [4]. También, se han identificado algunos elementos minerales, entre los cuales se destacan potasio, hierro, magnesio, calcio y fósforo [5].

Aunque la utilización de los tubérculos como hortaliza es limitada en Argentina, se consume en muchos países europeos, de forma cruda, cocida, en encurtidos, etc. Al no contener almidón, es una alternativa al consumo de papa para las personas diabéticas. Sin embargo, para lograr la disponibilidad del tubérculo fresco, es necesario estudiar las formas de conservación poscosecha que eviten la deshidratación y la brotación, y al mismo tiempo conserven el valor nutricional.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes condiciones de almacenamiento sobre el tiempo de conservación y la calidad del topinambur como hortaliza.

METODOLOGÍA

2.1 Materia prima

En este trabajo se han rescatado dos tipos de tubérculos de piel blanca, ya adaptados a las condiciones edafoclimáticas de la Norpatagonia. Ambos son de piel blanca y debido a que se desconoce la variedad de la cual proceden, se decidió denominar los biotipos o fenotipos como alargados (A) y redondos (R), según la forma o apariencia geométrica que presentan. Los tubérculos A fueron seleccionados a partir de un cerco vivo de la ciudad de General Roca en el año 2018, y a partir de esa temporada fueron cultivados todos los años, en una chacra de la localidad de Chichinales. En el caso de los tubérculos R se visualizó su crecimiento en la zona rural de Villa Regina en el año 2021, y según la información proporcionada por los dueños de la chacra provenían de una plantación realizada en forma de prueba para alimentación animal, específicamente de cerdos, conducida por el dueño anterior de la tierra, la cual hace años se encontraba abandonada. Ambos biotipos se plantaron en septiembre 2021 en la zona de Chichinales y Villa Regina (Río Negro, Patagonia, Argentina), en parcelas experimentales llevadas a cabo por el grupo de investigación. Una vez pasadas las heladas, los tubérculos se cosecharon en forma manual en Junio de 2022.

2.2 Acondicionamiento

Se llevó a cabo el lavado y cepillado para eliminar todo resto de tierra visiblemente adherida. A continuación, los tubérculos se desinfectaron sumergiéndolos durante 20 min en una solución de hipoclorito de sodio (280 ppm). Luego fueron enjuagados con agua potable durante 10 min, y se secaron con papel absorbente.

2.3 Preparación de muestras

Se seleccionaron los tubérculos (1200 g. aproximadamente) a conservar en cada condición. En el caso de utilizar bolsas para los ensayos de conservación la muestra se subdividió en cuatro submuestras, de aproximadamente 300 g. de topinambur en cada bolsa de polietileno de baja densidad (PEBD) de 20 micrones de espesor.

2.4 Ensayos de conservación

Se llevaron a cabo cinco condiciones de ensayos de conservación:

- 1) Conservación en cámara (C): los tubérculos previamente acondicionados se almacenaron en bolsas PEBD en cámara

frigorífica a una temperatura de $0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ y 85% de humedad relativa.

- 2) Conservación en heladera doméstica (H): los tubérculos previamente acondicionados se almacenaron en bolsas PEBD en refrigerador a una temperatura de $7 \pm 1^\circ\text{C}$.
- 3) Conservación sin acondicionamiento (E): los tubérculos recién cosechados se almacenaron en bolsas a temperatura ambiente exterior (min/máx: $-2/15^\circ\text{C}$) y al resguardo de la luz.
- 4) Conservación en arena (S): los tubérculos recién cosechados se agruparon en 4 submuestras de aproximadamente 300 g. cada una y se sumergieron en arena húmeda, a temperatura ambiente exterior (min/máx: $-2/12^\circ\text{C}$).
- 5) Conservación a campo (T): los tubérculos se mantuvieron bajo tierra, sin cosechar, a temperatura ambiente de las chacras (min/máx: $0/11^\circ\text{C}$).

Tiempo máximo de conservación (TMC): la finalización de los ensayos de conservación, se estableció para cada condición estudiada debido a la pérdida de la aptitud comercial de los tubérculos por alguna de las siguientes causas como brotación, deshidratación excesiva o aparición de podredumbres y/o desarrollo de hongos.

2.5 Determinaciones

Se tomaron al azar tubérculos de las cuatro submuestras almacenadas en cada condición para hacer un pool representativo y realizar todas las determinaciones.

2.5.1 Brotación, signos de podredumbre y/o desarrollo de hongos

Mediante observación visual y con frecuencia semanal se determinó presencia de brotes, signos de podredumbre y desarrollo de hongos. En cada caso se expresó como porcentaje.

2.5.2 Pérdida de peso

Todas las muestras almacenadas en las condiciones C, H, E y S se pesaron en balanza granataria al inicio de la conservación y una vez por semana para calcular la diferencia de peso.

2.5.3 Color de epidermis y pulpa

En el caso de los tubérculos almacenados sin acondicionamiento (E, S y T) los mismos fueron lavados, cepillados y secados. Se procedió a medir el color de la epidermis en diferentes puntos de los tubérculos, y luego se cortaron a la mitad y se midió el color en la pulpa. Se utilizó un colorímetro Konica Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing Inc, Japon), con iluminante C y 2° de ángulo de observador. En todos los casos, se registraron los parámetros L^* , a^* , b^* del espacio CIELAB, donde L^* indica luminosidad, que se representa en una escala que toma valores entre 0 y 100, correspondientes a negro y blanco respectivamente. El parámetro a^* indica cromaticidad sobre un eje que va del verde (-) al rojo (+), mientras que el parámetro b^* indica cromaticidad sobre un eje que va del azul (-) al amarillo (+).

El cambio de color global manifestado en cada condición final respecto al inicio, se calculó utilizando la Fórmula de Diferencia de Color CIEDE2000 [6]. Esta determinación se realizó con frecuencia mensual.

2.5.4 Determinación de firmeza de la pulpa

Se utilizó un penetrómetro para medir firmeza de la pulpa. Los tubérculos se cortaron a la mitad, se ejerció presión con el penetrómetro, y por lectura directa sobre el instrumento se determinó la resistencia a la penetración en kg. Esta determinación se realizó con frecuencia mensual.

2.5.5 Determinación de materia seca

Los tubérculos se rallaron con un multi rallador de uso doméstico marca "Moulinex". Se pesaron 10 g de muestra en placas de Petri y se secaron en estufa a $105 \pm 1^\circ\text{C}$ por 24 horas. Esta determinación se realizó con frecuencia mensual.

2.5.6 Preparación de muestra para determinaciones químicas

La muestra previamente rallada se trituró con un mixer marca "Philips" hasta obtener una pasta con consistencia de puré para llevar a cabo el resto de las determinaciones.

2.5.7 Determinación de sólidos solubles

Se realizó según AOAC 1990 (932.12) [7] con un refractómetro ABBE, modelo DR A1 (Atago, Tokyo, Japón) con sensibilidad de 0,01 °Brix. El refractómetro se calibró con agua destilada ajustando la escala a 0°Brix. Luego se procedió a la medición de las muestras, para lo cual se colocó una parte del puré sobre un trozo de tela filtrante, se hizo presión obteniendo un jugo filtrado que se midió en el refractómetro. La determinación del porcentaje de sólidos solubles se realizó mediante la lectura directa de la escala del refractómetro y se expresó como °Brix. Esta determinación se realizó con frecuencia mensual.

2.5.8 Determinación de pH y acidez total

Se pesaron 10 g del puré y se le adicionaron 50 ml de agua destilada hervida y enfriada. Se realizó la medición de pH según AOAC 1990 (981.12) [7] y luego se procedió a medir acidez total según AOAC 1990 (942.15) [7] haciendo una titulación con solución 0,1 N de NaOH hasta pH 8,1, utilizando un analizador de iones, modelo EA 940 (Orion, Beverly, USA) y un electrodo combinado de pH. El resultado se expresó en g de ácido málico cada 100 g de tubérculo fresco. Esta determinación se realizó con frecuencia mensual.

2.5.9 Determinación del contenido de inulina

Se procedió a la extracción de inulina siguiendo la metodología propuesta por Zuleta y Sambucetti [8]. A 1 g del puré, se le añadió 100 mL de agua destilada (pH 6-8) en ebullición y se mantuvo en agitación constante durante 15 minutos a 85°C . Una vez enfriado a temperatura ambiente, la muestra se filtró y se llevó a 100 mL con agua destilada. Se utilizó un equipo cromatográfico HPLC Agilent 1260 (Quat Pump VL, ALS, TCC, DAD, RID) equipado con detector de índice de refracción IR y una columna HIPLEX H de 300 mm x 7,7 mm a 75°C , con 5 μL de volumen de inyección. Se empleó H_2SO_4 0,001 M a una velocidad de flujo de 0,4 mL/min como fase móvil. La cuantificación se realizó por comparación de áreas a través del método de estándar externo. Los resultados se expresaron en g de inulina/100 g de tubérculo fresco. Esta determinación se realizó con frecuencia mensual.

2.5.10 Obtención de los extractos para compuestos bioactivos

Se obtuvieron extractos acuosos para la determinación de compuestos fenólicos, flavonoides y capacidad antioxidante al inicio y al final de cada condición de conservación. Los extractos se obtuvieron a partir de 1 g de puré y realizando dos extracciones sucesivas con 15 y 10 mL de agua destilada, a 65°C con agitación de 500 rpm durante 30 minutos cada una. Se filtró para obtener el extracto y se llevó a un volumen final de 25 mL. Todos los extractos fueron conservados en ultrafreezer a -80°C hasta el momento de las determinaciones.

2.5.11 Determinación de polifenoles totales (PFT)

El contenido de polifenoles totales se determinó mediante la técnica de Folin-Ciocalteu [9]. Se mezclaron 100 μL de extracto con 900 μL de agua más 100 μL del reactivo de Folin-Ciocalteu, se agitó con vórtex y luego de 3 minutos se agregaron 600 μL de Na_2CO_3 al 20%. Finalmente, si incubó durante 30 minutos a 40°C . Inmediatamente la muestra se retiró del baño y se realizó la lectura de absorbancia a 765 nm con un espectrofotómetro (Shimadzu, UV 1800, Kioto, Japón). Se realizó una curva estándar de ácido gálico (mg/L). Los resultados finales se expresaron como mg de ácido gálico equivalente (AGE) por cada 100 g de tubérculo fresco.

2.5.12 Determinación de flavonoides totales (F)

Los flavonoides totales se determinaron por el método de formación de complejo con AlCl_3 [10] realizando una curva estándar con quercetina (mg/L). Se mezcló 1 mL de etanol con 1 mL del extracto, más 300 μL de NaNO_2 5%. Luego de 5 min se añadieron 300 μL AlCl_3 10% y después de 6 min, se adicionaron 2 mL NaOH 1N. Se llevó a 10 mL con agua destilada, se homogenizó en vórtex. Las lecturas de absorbancia fueron realizadas con un espectrofotómetro (Shimadzu, UV 1800, Kioto, Japón), a 510 nm. Los resultados finales se expresaron como mg de quercetina (Qu) equivalente/100 g de tubérculo fresco.

2.5.13 Determinación de la capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante se determinó mediante dos métodos espectrofotométricos utilizando en ambas técnicas un espectrofotómetro (Shimadzu, UV 1800, Kioto, Japón) y una curva de calibrado con ácido gálico, y los resultados se expresaron como mg de ácido gálico equivalente por cada 100 g de tubérculo fresco (mg AGE/100 g).

2.5.13.1 Método de decoloración del radical catión del ácido 2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) (ABTS^{•+}): se llevó a cabo siguiendo la metodología propuesta por Sozzi y col. [11] una alícuota de 100 μL de extracto se mezcló con 1,9 mL de solución de trabajo de ABTS^{•+}, se homogenizó y se incubó a 25°C durante 30 min. Se midió la absorbancia a 734 nm.

2.5.13.2 Método reductor férrico con el reactivo de FRAP: se siguió la metodología propuesta por Benzie y Strain [12]. Se mezcló una alícuota de 160 μL de extracto con 240 μL de agua destilada y 2,4 mL de solución FRAP. Se homogenizó con vórtex y se incubó a 25°C por 30 min. Inmediatamente la muestra se retiró del baño y se realizó la lectura de absorbancia a 593 nm.

2.6 Análisis Estadístico

Todas las determinaciones se llevaron a cabo por triplicado, excepto para las determinaciones de color (n=9) y firmeza de pulpa (n=8). Los resultados se expresaron en términos de la media y su desvío estándar. Se aplicó un análisis de la varianza (ANOVA) y un test de comparaciones múltiples (test de Tukey) con un nivel de significancia de 5% para las variables de inicio y punto final de cada condición. Se realizó un análisis de componente principales (ACP) para ilustrar la relación entre todas las variables medidas y las muestras. Todos los resultados se analizaron mediante el software estadístico InfoStat versión 2020 [13].

RESULTADOS Y DISCUSION

En la figura 1 se muestra el porcentaje de pérdida de peso (ΔP) durante el tiempo máximo de conservación (TMC) en todas las condiciones en las que se midió este parámetro (S, E, H y C). La mayor pérdida de peso se observó en los tubérculos almacenados en arena, siendo de un 30,36% para R y de un 20,60% para A, lo que permitió conservarlos solamente un mes por la deshidratación excesiva. Luego, siguió la condición E con una duración de tres meses y pérdidas de peso del 8,19% en R y 9,29% en A. En la situación H se observó una diferencia notoria en el tiempo de conservación entre los biotipos (5 meses para A con 4,36% de ΔP y 8 meses para R con 6,18% de ΔP). En la condición C se logró el mayor TMC permitiendo mantener los tubérculos sin brotación durante un año, con la menor pérdida de peso registrada (1,64% para R y 2,30% para A). Por último, en la condición T, no se midió la pérdida de peso porque los tubérculos se mantuvieron sin cosechar en el campo, lo cual imposibilitó seguir el peso de la misma muestra y el TMC fue de dos meses. La pérdida de peso se debe principalmente al proceso de transpiración, cabe destacar que los tubérculos de topinambur carecen de una capa superficial corchosa, a diferencia de la papa (*Solanum tuberosum*), presentando una epidermis muy delgada que se daña fácilmente y causa pérdida de agua rápidamente [14]. El uso de la bolsa de polietileno fue efectivo para evitar deshidratación significativa.

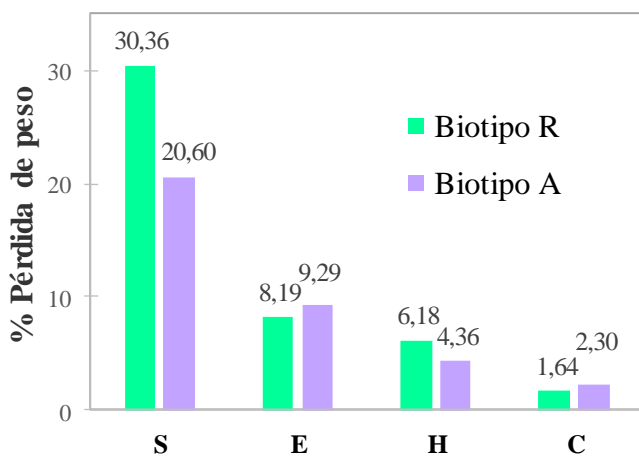


Figura 1 - Porcentaje de pérdida de peso total al TMC

En la Figura 2 se observan fotografías de los tubérculos acondicionados de los biotipos A y R al inicio de la conservación en estado de dormancia, y las fotografías al TMC de diferentes condiciones de conservación. En el ciclo del cultivo de topinambur la parte aérea ante las primeras heladas produce la translocación de los carbohidratos hacia los órganos de reserva (tubérculos). Al momento de ser cosechados, los tubérculos se encuentran en estado de dormancia, y cuando las condiciones climáticas

son favorables, durante la primavera este estado se interrumpe para generar un nuevo ciclo vegetativo [15]. La dormancia es el período inducido con el inicio de la tuberización en el cual no ocurre ningún crecimiento visible de los brotes. La duración de este período depende del genotipo, las condiciones ambientales precosecha, la madurez del tubérculo al momento de la cosecha y las condiciones poscosecha: temperatura de almacenamiento, cantidad y tipo de luz, sanidad y manejo de los tubérculos [16]. Todas estas condiciones hacen que los tubérculos broten en distintos momentos, razón por la cual se dió por terminada la prueba cuando se observó el 100% de tubérculos brotados, para determinar incluso si las otras propiedades variaban significativamente en la aparición del primer brote. Generalmente se considera que la dormancia se pierde cuando un tubérculo contiene uno o más brotes con una longitud mayor de dos milímetros [16].

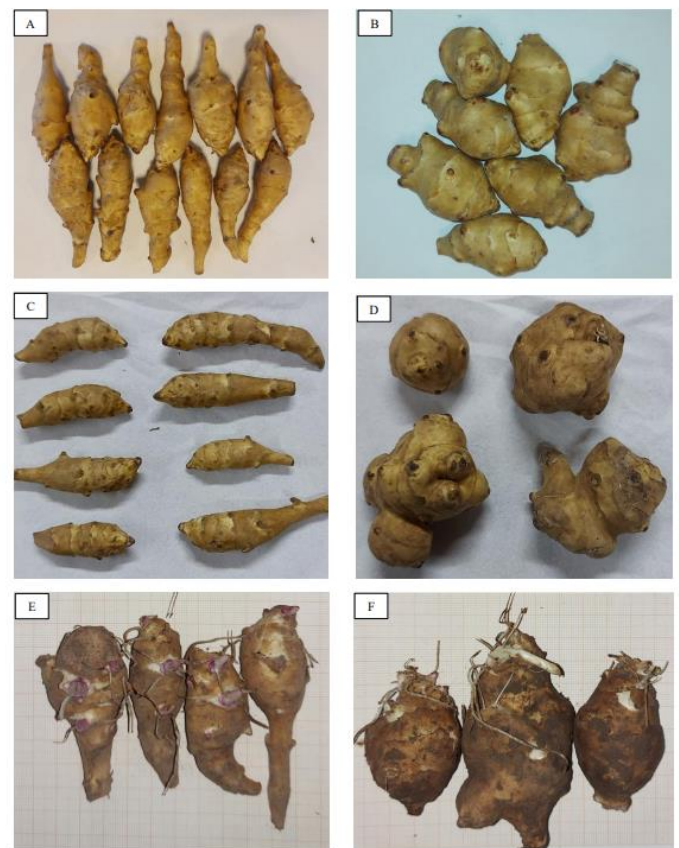


Figura 2 - Imágenes de los tubérculos de topinambur en diferentes condiciones.

A: topinambur biotipo A al inicio, B: topinambur biotipo R al inicio, C: biotipo A al final de condición C (TMC: 12 meses), D: biotipo R al final de condición C (TMC: 12 meses), E: biotipo A al final de E (TMC: 3 meses), F: biotipo R al final de E (TMC: 3 meses).

De todas las formas de almacenamiento, la conservación a 0°C evitó la brotación, lo que coincide con lo reportado por Konvalinková (2003) y Rodríguez y Moreno (2010) quienes señalan ausencia de brotación en tubérculos conservados a temperaturas inferiores a 3°C, independientemente del grado de avance fisiológico de la dormancia [15, 16].

Por otro lado, el desarrollo de hongos no tuvo lugar en las condiciones H y C, lo cual indicó efectividad en los procesos de lavado y desinfección. Los tubérculos conservados a campo y en arena, no presentaron desarrollo de podredumbres ni hongos, mientras que los del ensayo E sí presentaron indicios de desarrollo de hongos en el tercer mes, al mismo tiempo en que se consideró el TMC por presentar brotes. Los tubérculos de la condición E, almacenados en bolsas y al no haber sido

acondicionados previamente, tuvieron un comportamiento diferente en cuanto al cese de la dormancia, presentándose brotación uniforme en todas las submuestras al mismo tiempo y no en forma escalonada como en el resto de los ensayos. Particularmente se observó que la utilización de la bolsa en este ensayo, ayudó a la condensación de vapor de agua, lo cual también fue propicio para el desarrollo de hongos.

Se llevó a cabo un análisis de componentes principales (ACP), que representa todas las variables medidas de forma mensual (Figura 3). El ACP representó el 65,4% de la variabilidad total del sistema, donde el componente principal 1 (CP1) permitió explicar el 48,6% y el componente principal 2 (CP2) el 16,8% del total de la varianza. Las variables que aportaron al CP1 son sólidos solubles (Bx), materia seca (MS), inulina (In), firmeza de la pulpa (F), los tres parámetros de color de la epidermis (L*E, a*E y b*E) y los parámetros cromáticos de la pulpa (a*P y b*P), mientras que al CP2 aportaron las variables: L* de la pulpa (L*P) y acidez (Ac).

En primer lugar, puede observarse en el diagrama una diferencia global dada por las muestras de ambos biotipos, donde el alargado se presentó en la mitad derecha del diagrama, mientras que el biotipo redondo principalmente en la mitad izquierda del mismo. Cada biotipo caracterizado inicialmente se encontró relativamente un poco más alejado (valores más negativos del CP2) del resto de las condiciones las cuales se comportaron como nubes más densas en el caso de la conservación del biotipo R, mientras que para el biotipo A se encontró mayor dispersión entre las diferentes muestras sometidas a los ensayos de conservación.

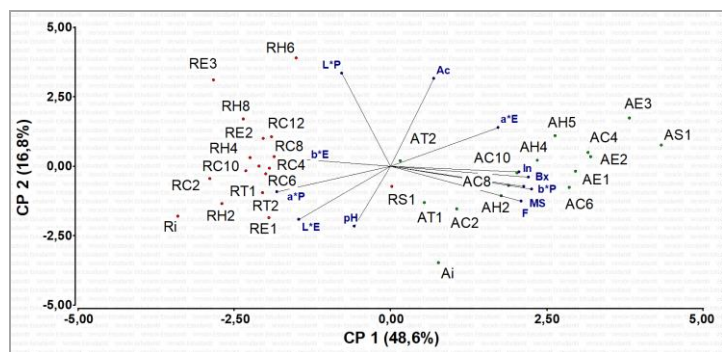


Figura 3 - Análisis de componentes principales (ACP)

Del análisis de la matriz de correlaciones entre las variables incluidas en el estudio, se observó que la variable inulina correlacionó significativamente ($p < 0.001$) con otras variables que aportan información sobre el CP1. Según el coeficiente de correlación de Pearson (r) se observó correlación positiva con materia seca ($r = 0,93$), sólidos solubles ($r = 0,78$), firmeza de la pulpa ($r = 0,66$) y con b^* de la pulpa ($r = 0,63$).

Cabe resaltar que la determinación de inulina por HPLC, como muchas otras técnicas de análisis cromatográficos, es costosa y muy laboriosa en cuanto a pasos previos de extracción y purificación de extractos, por lo que poder utilizar indicadores sencillos y más baratos, como análisis de materia seca, sólidos solubles, etc., que permitan de manera indirecta analizar las variaciones en el contenido de inulina, resulta de gran interés. La evolución de las variables de calidad hortícola se muestra en la Tabla 1. Tanto el pH como la acidez presentaron el mismo valor para ambos biotipos al momento de iniciar el ensayo y conforme avanzó el tiempo de conservación, el pH fue disminuyendo y la acidez total aumentando. No se

encontraron datos de dichas variables en topinambur, aunque si en papa, con valores de pH muy similares entre 6,30 y 6,90 [17].

Por otro lado, las variables firmeza de la pulpa y materia seca presentaron inicialmente valores muy diferentes entre ambos biotipos y al final de la conservación mostraron el mismo comportamiento. Se registraron cambios significativos en las condiciones S, E y H para el biotipo redondo, mientras que el biotipo alargado solamente cambió en la condición S. La firmeza está asociada a la turgencia del tubérculo, por lo tanto, puede verse afectada si hay deshidratación importante, lo que coincide con el comportamiento observado en las condiciones campo (T) y cámara (C), en las que no se observaron diferencias significativas con respecto al inicio y precisamente son las que sufrieron menor deshidratación.

Tabla 1. -Variables de calidad hortícola: inicio y final de cada conservación

Biotipo redondo						
	Inicio	S	T	E	H	C
pH	6,68±0,02	6,63±0,02	6,37±0,03	6,28±0,01	6,51±0,03	6,53±0,01
Ac	0,08±0 ^a	0,09±0 ^b	0,10±0 ^b	0,16±0 ^d	0,13±0 ^c	0,14±0 ^c
F	3,8±0,4 ^c	3±0,2 ^a	3,8±0,2 ^c	3,3±0,2 ^{a,b}	3,2±0,3 ^{a,b}	3,5±0,3 ^{b,c}
%M	19,6±0,6 ^{b,c}	24,6±0,6 ^e	20,1±0,2 ^{c,d}	17,9±0,1 ^a	21,1±0,5 ^d	18,6±0,2 ^a
Biotipo alargado						
	Inicio	S	T	E	H	C
pH	6,68±0,02	6,57±0,02	6,27±0,01	6,25±0,02	6,37±0,03	6,53±0,03
Ac	0,08±0 ^a	0,15±0 ^b	0,16±0 ^c	0,17±0 ^c	0,20±0 ^d	0,15±0 ^b
F	5,4±0,38 ^b	4,4±0,4 ^a	5,2±0,4 ^b	5,1±0,5 ^b	5,4±0,3 ^b	5,5±0,3 ^b
%M	27,4±1,3 ^a	35,4±0,4 ^c	26,5±0,1 ^a	26,8±0,1 ^a	27,8±0,1 ^b	26,2±0,2 ^a

Las medias en una fila con el mismo superíndice no presentan diferencias significativas.

El biotipo alargado se diferenció notoriamente del biotipo redondo en el porcentaje de materia seca inicial, lo que se atribuye a un menor contenido de agua y a un mayor contenido de inulina y sólidos solubles como pudo observarse al cuantificarlos. Los valores hallados de MS son similares a los referenciados por Ibarguren (2015) [18], entre 19,98 y 24,50% en dos variedades de tubérculos estudiadas. Los aumentos hallados a lo largo de la conservación se podrían explicar por una concentración de los sólidos presentes en el vegetal a causa de la deshidratación sufrida. Sólo en el final de la condición E, el biotipo redondo experimentó una disminución significativa de los sólidos, reportado también por Saengthobpinit y Sajjaanantakul (2005) [19] atribuyéndolo a un aumento de la tasa respiratoria. En éste caso, podría haberse generado por las mayores temperaturas en el exterior, dadas por el inicio de la estación primaveral.

El cambio de color global (DE 2000) para cada condición final respecto al inicio del ensayo, tanto en piel como en pulpa, se muestra en la Tabla 2. El biotipo A presentó los mayores cambios de color en piel y pulpa en la condición arena (S), mientras que el biotipo R manifestó el mayor DE 2000 en la piel para la condición S y en la pulpa para la condición E. Resulta evidente que la deshidratación influyó de forma muy significativa en el color. Si bien se considera que los cambios de color global superiores a 2,7 unidades son perceptibles para el ojo humano, en el procesamiento frutihortícola suelen utilizarse tolerancias amplias de

desviación de color. Por ello se extiende al valor a 5 unidades de cambio de color, ya que naturalmente existe mucha variabilidad en el color presente en frutas y hortalizas [20]. En este sentido, mantener el topinambur en el campo, bajo tierra (T) resultó ser la condición que produjo los menores cambios de color, no observándose además modificaciones significativas en la firmeza y materia seca. Cabe resaltar que el TMC fue sólo de 2 meses por lo cual en lapsos de tiempos tan cortos probablemente no se producen grandes cambios en las variables estudiadas.

Tabla 2 - Cambio de color global (DE 2000) en piel y pulpa de los tubérculos

Condición	Biotipo redondo (R)		Biotipo alargado (A)	
	piel	pulpa	piel	pulpa
S	8,5±0,9 ^c	3,7±0,7 ^b	10,6±1,1 ^d	8,6±0,9 ^d
T	4,8±0,8 ^a	2,5±0,4 ^a	1,86±0,3 ^a	5,9±0,7 ^{a,b}
E	4,8±0,5 ^a	7,9±0,5 ^d	8,4±0,8 ^c	7,3±0,8 ^c
H	5,6±0,9 ^{a,b}	6,8±0,7 ^c	4,8±0,7 ^b	6,3±0,8 ^{b,c}
C	6,9±0,8 ^b	2,9±0,6 ^a	8,9±0,6 ^c	4,9±0,6 ^a

Las medias en una columna con el mismo superíndice no presentan diferencias significativas.

En la Figura 4 se presentan las variables de sólidos solubles y contenido de inulina en las diferentes condiciones de conservación durante el TMC. Inicialmente, el biotipo alargado presentó más sólidos solubles (27,9±0,4%) con respecto al redondo (19,7±0,5%) y casi el doble del contenido de inulina (21,6±1,7% contra 11,1±0,5%). En todas las condiciones de conservación que superaron los seis meses de almacenamiento (C y H) se pudo apreciar un aumento considerable de los sólidos solubles en el mes seis (Figura 4), es decir para ambos biotipos en C, y solamente en el redondo para H. Sin embargo, no se pudo comparar con otras referencias bibliográficas ya que los estudios encontrados no superan los 6 meses de conservación. Este comportamiento podría estar relacionado con una activación en los tubérculos de ciertas rutas metabólicas debido al cese de la dormancia. El incremento en los sólidos solubles registrado, podría provenir de la activación de la enzima inulinasa naturalmente presente en los tubérculos. Sin embargo, no se registraron descensos significativos para el mismo período de tiempo del contenido de inulina y tampoco se observó la aparición de brotes. Probablemente el almacenamiento en cámara al continuar a bajas temperaturas (C: 0±0,5°C) haya provocado que los tubérculos se mantengan en estado dormante y en tiempos sucesivos los sólidos solubles nuevamente desciendan a valores similares antes del pico del mes 6 de conservación.

El contenido de inulina se mantuvo a lo largo del tiempo en R y A para todas las situaciones estudiadas y en los casos donde se observaron aumentos como en las condiciones T, S y E se pueden explicar por la concentración de las sustancias presentes debido a la deshidratación de los tubérculos. La única excepción ocurrió en el biotipo redondo para la condición C, caso en el que se observó mayor variabilidad durante la conservación y el menor porcentaje de retención final: 53,6% (Figura 4) observándose un descenso del contenido de inulina a partir del mes 10 de conservación. Es de esperar que los sólidos solubles se vean afectados por un aumento de la tasa respiratoria de los tubérculos condicionada por factores como el tiempo y la temperatura, que además determinan el

grado de polimerización de los fructanos y el nivel de actividad de las enzimas que hidrolizan la inulina [18,19].

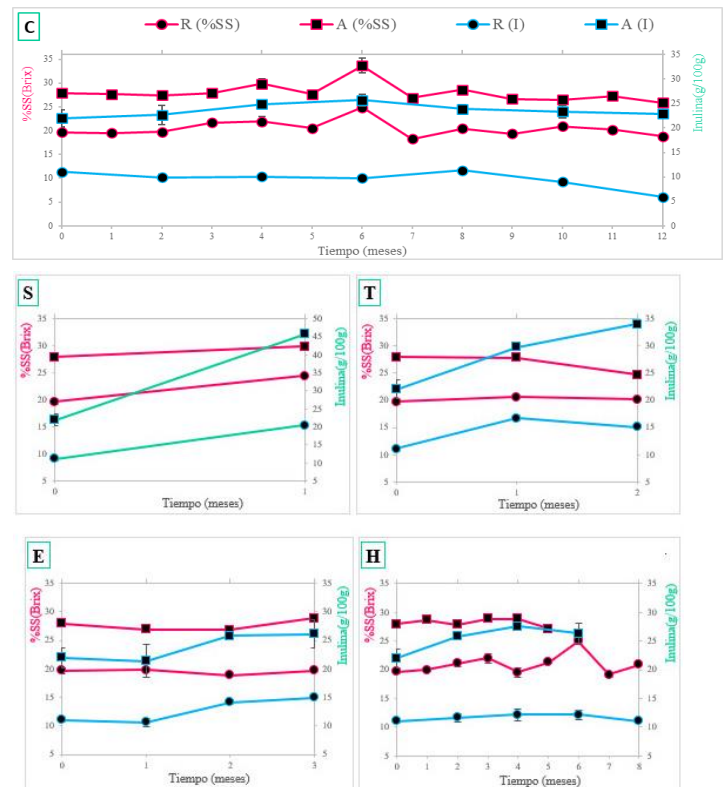


Figura 4 - evolución de los sólidos solubles y contenido de inulina en las diferentes condiciones de conservación. C: cámara, S: arena, T: campo, E: exterior, H: refrigeración.

En la Figura 5 se encuentran representados los porcentajes de retención de compuestos fenólicos y flavonoides en comparación a los contenidos al inicio de la conservación. En cuanto a los compuestos bioactivos estudiados, el biotipo A presentó más del doble de polifenoles (99,71 AGE/100 g) y flavonoides (243,77 Qu/100 g) que el biotipo R (39,48 mg AGE/100 g y 102,96 mg Qu/100 g respectivamente). Estos resultados indican que los compuestos bioactivos del topinambur en comparación con otros tubérculos como la papa (polifenoles: 38 mg AGE/100 g) [21] son superiores sobre todo en el biotipo A. Amarowicz y col. (2020) [1] reportaron valores similares al biotipo A, y Takeuchi y Nagashima (2010) [22], presentaron resultados similares al biotipo R en cuanto al contenido fenólico, indicando una mayor concentración en la cáscara.

El contenido de compuestos bioactivos puede verse afectado por la variedad, el cultivo, la fecha de cosecha y las condiciones de almacenamiento que pueden generar estrés y causar deterioro de los mismos [20]. Como se puede apreciar en la Figura 5, hubo una muy buena retención (superior al 75%) de ambos compuestos en todas las condiciones estudiadas.

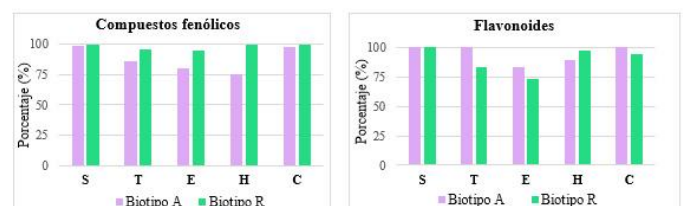


Figura 5 - porcentaje de retención de compuestos fenólicos y flavonoides

En la Tabla 3 se presenta la capacidad antioxidante medida por las dos metodologías. El biotipo A duplica al biotipo R, mediante los dos test

utilizados, FRAP y ABTS⁺, lo que coincide con el contenido de polifenoles y flavonoides.

Tabla 3 - Capacidad antioxidante medida por ABTS⁺ y FRAP

	Inicio	S	T	E	H	C
Capacidad antioxidante por ABTS⁺						
Biotipo A	52,1±2,6 ^c	53,8±1,3 ^c	40,7±0,4 ^a	48,2±0,9 ^b	45,8±1,2 ^b	54,8±0,3 ^c
Biotipo R	16±0,9 ^b	20,7±0,7 ^e	14,3±1,1 ^a	18,1±0,4 ^c	18,6±0,8 ^{c,d}	20,1±0,1 ^{d,e}
Capacidad antioxidante por FRAP						
	Inicio	S	T	E	H	C
Biotipo A	14,1±0,7 ^{a,b}	15,3±0,4 ^b	14,1±0,6 ^{a,b}	12,8±0,4 ^a	13,3±1,3 ^a	12,8±0,1 ^a
Biotipo R	6,4±0,3 ^{a,b,c}	8,2±0,4 ^d	5,7±0,5 ^{a,b}	6,9±0,2 ^c	6,5±0,2 ^{b,c}	5,6±0,4 ^a

Las medias en una fila con el mismo superíndice no presentan diferencias significativas.

La capacidad antioxidante determinada por el método de ABTS⁺ indica la capacidad antirradicalaria de la muestra, es decir el poder de atrapar y estabilizar radicales libres. El biotipo A conservó la capacidad antirradicalaria de los tubérculos iniciales recién cosechados a la finalización del almacenamiento en cámara (12 meses) y en arena (1 mes). Las condiciones H y E presentaron menores valores de actividad antirradicalaria, siendo T la condición que más disminuyó en cuanto a esta propiedad. El biotipo R presentó un comportamiento distinto por cuanto la única condición que disminuyó la capacidad antirradicalaria fue la de conservarlos en el campo bajo tierra (T), el resto de las condiciones en sus TMC presentaron incluso mayor capacidad antirradicalaria en comparación al inicio de la conservación, lo cual podría explicarse por una concentración de los compuestos fenólicos dada por la deshidratación durante las diferentes condiciones de almacenamiento.

Por otro lado, al utilizar el método de FRAP que mide el poder antioxidante reductor férrico, se observó para el biotipo A que ninguna de las condiciones de conservación ensayadas afectó dicha capacidad, siguiendo el mismo comportamiento para el biotipo R, aunque los tubérculos almacenados en arena presentaron mayor capacidad de reducir el ion férrico en comparación al inicio, debido a la deshidratación. Estos resultados resultan promisorios ya que muestran la aptitud de esta hortaliza de ser conservada por largos períodos de tiempo, sin perder los fitoquímicos naturalmente presentes y su actividad antioxidante.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo fue posible establecer las propiedades fisicoquímicas características de los dos biotipos de topinambur en estudio, observando incluso diferentes comportamientos bajo las mismas condiciones de almacenamiento. El biotipo alargado posee menos contenido de agua en su composición y un valor nutricional mayor, puntualmente en lo que respecta al contenido de inulina y compuestos fitoquímicos como polifenoles y flavonoides, con una elevada actividad antioxidante.

Las pérdidas durante el almacenamiento se debieron principalmente al brotado de los tubérculos y a la deshidratación en el caso de no utilizar bolsa, motivos que producen una reducción de la calidad y/o aptitud comercial.

En cuanto a los ensayos de conservación realizados a temperatura ambiente, se encontraron dos alternativas posibles de corta vida útil o conservación. La forma más económica reside en dejarlos sin cosechar en campo (T), o bien para incrementar un mes de vida útil cosecharlos y guardarlos en bolsas adecuadas para evitar deshidratación. Ambas maneras permiten retener muy bien los flavonoides y polifenoles y completamente la inulina, aunque no es posible evitar la brotación cuando se aproxima la primavera. En las condiciones que contemplaron el acondicionamiento, embolsado y el uso de bajas temperaturas (H y C), se observó que el acondicionamiento fue efectivo para el control de hongos y podredumbres, y la bolsa para prevenir la deshidratación. En H se lograron conservaciones de mediano plazo (5 meses para el biotipo A y 8 meses para el biotipo R), los tubérculos del biotipo R perduraron más tiempo por presentar una brotación más tardía, aunque ambos biotipos mostraron una muy buena retención de sustancias bioactivas (inulina y fitoquímicos). Por último, la conservación a 0°C permitió prolongar la vida poscosecha de los biotipos sin brotación ni deshidratación significativa, manteniendo la calidad nutricional aceptable a lo largo de un año, momento en el que ya se encuentran disponibles tubérculos de la nueva temporada.

El presente trabajo permitió registrar que el topinambur puede conservarse en estado fresco a lo largo de 12 meses, la retención de sustancias de valor nutricional fue muy buena para el biotipo A, mientras que el biotipo R presentó una disminución del contenido de inulina a partir del mes 10 de conservación.

Los resultados presentaron diferentes alternativas para mantener la disponibilidad del topinambur para consumo como hortaliza en forma continua a lo largo del año.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero de la Universidad del Comahue (PROIN 04/ L007) y de ANPCyT de Argentina (PICT 2658 y 3528).

REFERENCIAS

- [1] R. Amarowicz, B. Cwalina-Ambroziak, M. Janiak, B. Bogucka. "Effect of N Fertilization on the Content of Phenolic Compounds in Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Tubers and Their Antioxidant Capacity". *Agronomy* 10, 2020, 1215-1227.
- [2] L. Iburguren, C. Rebora. "El cultivo de topinambur: generalidades sobre su ecofisiología y manejo". *Horticultura Argentina* 32, 2013, 35-41.
- [3] A. Ribeiro, M. da Silva, B. Tagliapietra, B. Brum Junior, M. Ugalde, N. Richards. "Development of symbiotic yoghurt and biological evaluation (New Zealand White Rabbits) of its functional properties". *Food. Sci.* 39, 2019, 418-425.
- [4] V. Bach, M. Clausen, M. Edelenbos. "Production of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) and Impact on Inulin and Phenolic Compounds". En *Processing and Impact on Active Components in Food*. V. Preedy. Ed. London: Academic Press, 2015, 97-102.
- [5] L. Catană, M. Catană, E. Iorga, A. Lazăr, M. Lazăr, R. Teodorescu, A. Asănică, N. Belc, A. Iancu. "Valorification of jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus*) for achieving of functional ingredient with high nutritional value". *Agriculture for life* 1, 2018, 276-283.
- [6] G. Sharma, W. Wu, E. Dalal. "The CIEDE2000 colour-difference formula: Implementation Notes, Supplementary Test Data, and Mathematical Observations". *Color Res Appl* 30, 2005, 21-30.

- [7] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). *Official Methods of Analysis*, Fifteenth Edition. Virginia, USA: Aoac Intl, **1990**.
- [8] A. Zuleta, M. Sambucetti. "Inulin determination for food labeling". *J. Agric. Food Chem.* 49, **2001**, 4570-4572.
- [9] V. Singleton, y J. Rossi. "Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents". *Am J Enol Vitic.* 16, **1965**, 144–158.
- [10] J. Zhishen, T. Mengcheng y W. Jianming. "The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals". *Food Chem.* 64, **1999**, 555-559.
- [11] A. Sozzi, M. Zambon, G. Mazza y D. Salvatori. "Fluidized bed drying of blackberry wastes: Drying kinetics, particle characterization and nutritional value of the obtained granular solids". *Powder Technol.* 385, **2021**, 37-49
- [12] I. Benzie y J. Strain. "Ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay". *Anal Biochem.* 239, **1996**, 70-76.
- [13] J. Di Rienzo, F. Casanoves, M. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, C. Robledo. *InfoStat versión 2020* [online]. Argentina: Universidad Nacional de Córdoba, 2020. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar> Visitado en agosto de 2023.
- [14] H. Danilčenko, E. Jarienė, P. Aleknavičienė, M. Gajewski. "Quality of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Tubers in Relation to Storage Conditions". *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj* 36, **2008**, 23-27
- [15] P. Konvalinková. "Generative and vegetative reproduction of *Helianthus tuberosus*, an invasive plant in central Europe". En *Plant Invasions: Ecological Threats and Management Solutions*, L. Child, Ed. Backhuys Publishers: Netherlands, **2003**, 289-299.
- [16] L.E. Rodríguez, L.P. Moreno. "Factores y mecanismos relacionados con la dormancia en tubérculos de papa. Una revisión". *Agronomía Colombiana* 28, **2010**, 189-197.
- [17] A. Obregón, R. Repo. "Evaluación fisicoquímica y bromatológica de cuatro variedades nativas de papa (*Solanum* spp.)". *Ciencia e Investigación* 16, **2013**, 38-40.
- [18] L. Ibarguren. "Efecto del momento de cosecha sobre la calidad hortícola del topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) conservado en cámara frigorífica". Tesis de maestría, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, **2015**.
- [19] W.T. Saengthobpinit, T. Sajjaanantakul. "Influence of harvest time and storage temperature on characteristics of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers". *Postharvest Biol. Technol.* 37, **2005**, 93-100.
- [20] L. Franceschinis, P. Sette, D. Salvatori, C. Schebor. "Valorization of postharvest sweet cherry discard for the development of dehydrated fruit ingredients: compositional, physical, and mechanical properties". *J. Sci. Food Agric.* 98, **2018**, 5450–5458.
- [21] Instituto Universitario de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA), *Base de Datos de Actividad Antioxidante (ORAC) y de Contenido de Polifenoles Totales (PFT) en Hortalizas*. [online]. Chile: Universidad de Chile, 2004 Disponible en: <https://portalantioxidantes.com/base-de-datos-de-actividad-antioxidante-orac-y-de-contenido-de-polifenoles-totales-pft-en-frutas/> Visitado en octubre de 2023.
- [22] J. Takeuchi, T. Nagashima. Preparation of dried chips from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers and analysis of their functional properties. *Food Chem.* 126, **2011**, 922–926.