

Variabilidad morfológica de las vainas y propiedades nutricionales de la harina de *Prosopis flexuosa* en el gradiente latitudinal del Monte, Argentina

Morphological variability of the pods and nutritional properties of the flour of *Prosopis flexuosa* in the latitudinal gradient of Monte, Argentina

M Celeste Fernández ^{a*}, Valeria Aschero ^b, Javier E Chaar ^c,
Natalia S Naves ^d, Juan A Alvarez ^{b,e}, Pablo E Villagra ^{b,e}

* Autor de correspondencia: ^a Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria La Rioja, Chamental 5380, La Rioja, Argentina, tel. 54 2634223403, fernandez.mariaceles@inta.gov.ar

^b Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, CCT CONICET Mendoza, Mendoza 5500, Argentina.

^c Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Agencia de Extensión Rural Guaymallén, Guaymallén 5519, Mendoza, Argentina.

^d Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial, Centro Tecnológico de la Madera, Luján de Cuyo 5507, Mendoza, Argentina.

^e Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias, Luján de Cuyo 5507, Mendoza, Argentina.

ABSTRACT

Prosopis species (mesquite trees) provide one of the main Non-Timber Forest Products of the Monte Desert and their pods have played an important role as a source of livelihood for the inhabitants of most arid regions of America. Our goals for this study were to analyze the morphological variability of *P. flexuosa* (mesquite) fruits and the chemical-nutritional properties (moisture content, ash, total protein, total lipids, total crude fiber, soluble sugars and total carbohydrates) of the endocarp-free flour in eight provenances distributed along the latitudinal gradient of the Monte desert (Pipanaco, Fiambalá, Chilecito, Telteca, Montecaseros, Las Catitas, Ñacuñán and San Rafael). The fruits were collected from locations isolated from each other by mountain ranges or by a distance of more than 100 km. A latitudinal differentiation in fruit morphology was observed between the locations. Those from the northernmost location (latitude 27° 58' - 29° 29' S) differed in their morphological characteristics in that they were longer, and therefore have more knots and seeds than the fruits of the southernmost populations (latitude 32° 22' - 35° 18' S). However, there was no observed effect of geographical location on the chemical characterization of the flour. Only the total fat content was higher in the southern population. *P. flexuosa* flour from Mendoza contained high levels of soluble sugars and carbohydrates in Telteca, which could be related to the water stress tolerance of mesquite trees.

Keywords: nutritional composition, morphology, pods, Monte.

RESUMEN

Las especies del género *Prosopis* (algarrobos) proveen uno de los principales productos forestales no maderables del desierto del Monte y sus vainas han tenido un rol relevante como fuente alimenticia para los habitantes de la mayoría de las regiones áridas de América. Nuestro objetivo fue analizar la variabilidad morfológica de los frutos de *P. flexuosa* (algarrobo), y las propiedades químico-nutricionales (contenido de humedad, cenizas, proteína total, lípidos totales, fibra bruta total, azúcares solubles y carbohidratos total) de la harina sin endocarpio en ocho procedencias distribuidas en el gradiente latitudinal del Monte (Bolsón de Pipanaco, Bolsón de Fiambalá, Bolsón de Chilecito, Telteca, Montecaseros, Las Catitas, Ñacuñán y San Rafael). Los frutos fueron colectados en procedencias aisladas unas de otras por estar separadas por cordones montañosos o por estar a una distancia mayor a 100 km. Se observó una diferenciación latitudinal en la morfología de los frutos entre las procedencias. Las procedencias más norteñas (latitud 27° 58' - 29° 29' S) presentaron frutos más largos, con más artejos y semillas que los frutos de las procedencias más sureñas (latitud 32° 22' - 35° 18' S). En cambio, la caracterización química de la harina fue similar entre procedencias, no observándose un patrón de variación geográfico. Únicamente el contenido de grasas totales fue mayor en las procedencias del Sur. Además, la harina de *P. flexuosa* de Telteca presentó elevados contenidos de carbohidratos solubles comparada con el resto y esto podría relacionarse con la tolerancia al estrés hídrico de los algarrobos.

Palabras clave: composición nutricional, morfología, algarroba, Monte.

INTRODUCCIÓN

Los bosques cubren el 30,8 % de la superficie global, y la pérdida y degradación de las superficies forestales son uno de los principales forzantes que afectan al clima y provocan la disminución de las contribuciones de la naturaleza a la sociedad. El 41 % de estos bosques se encuentran en zonas áridas y semiáridas, los que están sometidos a un retroceso en superficie y soportan diversas amenazas, mayoritariamente de origen antrópico. Los bosques de zonas áridas y semiáridas son poco estudiados comparados con otros bosques de climas más húmedos debido a que tienen menor biodiversidad y tasa de producción de productos forestales aprovechables (Villagra y Álvarez 2019). Sin embargo, son importantes ya que afectan la abundancia y distribución de la biodiversidad en ambientes adversos. Además, los productos y contribuciones a la sociedad que brindan de forma directa a los pobladores locales los convierte en una prioridad de conservación y manejo sustentable a nivel regional y global (Villagra y Álvarez 2019).

El interés de los gobiernos, organizaciones no gubernamentales, e investigadores por promover y racionalizar la utilización y comercialización de los PFM (Productos forestales no madereros) ha ido en aumento y se basa en la premisa de que esta actividad simultáneamente permite generar beneficios en las comunidades que los aprovechan y contribuye a la conservación del bosque (Peri *et al.* 2021). Las especies del género *Prosopis* (algarrobos) son proveedoras de PFM en el desierto del Monte y han tenido un rol relevante como fuente de subsistencia para las comunidades habitantes de la mayoría de las regiones áridas de América (Roig 1993). A partir de sus frutos (vainas) se preparan distintos productos, tanto bebidas (aloja y ñapa) como harina (Roig 1993). A pesar de ello, la harina de trigo incorporada por los españoles fue relegando el consumo y la valoración de los productos del algarrobo, marginando su presencia en la dieta (Luchini 2013). Las tendencias actuales de alimentación consciente y el consumo creciente de productos naturales orgánicos han generado una nueva valoración y demanda de PFM de *Prosopis* spp. (Moreno *et al.* 2018). Recientemente, la harina de algarroba ha sido incorporada al Código Alimentario Argentino (CAA) en el Artículo 681 tris – (Resolución Conjunta SPReI N°282/2014 y SAGyP N° 298/2014). “Con el nombre de Harina de fruto (vaina completa con sus semillas) de algarrobo, se entiende el producto de la molienda de los frutos completos limpios, sanos y secos, del algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb) y/o algarrobo negro [*Prosopis nigra* (Grisebach) Hieronymus] y/o *Prosopis chilensis* (Molina) Stuntz emend. Burkart y/o *Prosopis flexuosa* (DC).” (CAA 2015). Lo cual permite pensar en que su utilización podrá extenderse a formas de comercialización que antes no se podían (comercios habilitados, industrias y productos manufacturados).

Los algarrobales de la Provincia Biogeográfica del Monte, dentro de la zona árida templada Argentina, son bosques azonales caracterizados por un estrato arbóreo

abierto dominado por especies del género *Prosopis*. La especie más extendida en la región del Monte es *P. flexuosa* DC. que forma bosques en áreas con disponibilidad de un suplemento de agua en la capa freática o cauces de agua (Alvarez y Villagra 2009, Villagra y Alvarez 2019). Los bosques de *P. flexuosa* presentan una gran variabilidad inter e intrapoblacional en caracteres morfológicos y fisiológicos, entre la que puede seleccionar caracteres deseables (ausencia de espinas, rápido crecimiento, resistencia a factores causantes de estrés) para diferentes usos productivos (Alvarez y Villagra 2009). Esta variabilidad responde en parte a diferencias genéticas fijadas por diferencias ambientales en un gradiente latitudinal al que se le superpone el aislamiento de las poblaciones por cordones montañosos (Cony 1993, Villagra *et al.* 2004, Mantovan 2005, Besega 2019, Villagra y Alvarez 2019).

Los productos de *Prosopis* spp. han sido recientemente destacados con fines de uso forestal no maderable con estrategia sustentable de la flora del Monte (Moreno *et al.* 2018). Dado el creciente interés sobre los usos alimenticios del género *Prosopis*, se han llevado a cabo diferentes estudios sobre la composición química y nutricional de la harina de las distintas especies del género (*P. alba*, *P. chilensis*, *P. flexuosa*, *P. pallida*, *P. alpataco* Phil., *P. laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd) M. C. Johnston, *P. nigra*, *P. juliflora* (Sw) DC., *P. glandulosa* Torrey, entre otras) en el mundo, y en particular en Argentina (Prokopiuk *et al.* 2000, Silva *et al.* 2000, Llano *et al.* 2012, Mom 2012, Sciammaro *et al.* 2015, Diaz Batalla *et al.* 2018, Campos *et al.* 2021, Grados *et al.* 2021, Isla *et al.* 2021). Se registra en dichos estudios que la harina de estas especies presenta un alto valor alimenticio, ya que son fuente importante de proteínas, minerales y fibra siendo un potencial ingrediente en dieta de humanos, apto para celíacos y con multiplicidad de usos (panificaciones, sustituto del cacao, bebidas, formulaciones en alimentos especiales). La variabilidad morfológica de los frutos y química de la harina de *P. flexuosa* DC. ha sido poco estudiada en la región del Monte. Solo un par de investigaciones incorporan a su estudio la harina de *P. flexuosa* (Llano *et al.* 2012, Mom 2012). Algunos de los resultados obtenidos por Mom (2012) nos demuestran que presenta más proteína y fibra dietaria total y menos carbohidratos que la harina de trigo, lo que sugiere la relevancia de incorporar este tipo de harina en la dieta. Su conocimiento puede contribuir a planificar el uso y la selección de poblaciones de mayor potencialidad para aprovechar el recurso.

Este trabajo busca analizar y comparar la variación morfológica y química de los frutos de *Prosopis flexuosa* DC. entre procedencias distribuidas en el gradiente latitudinal del Monte. Este objetivo puede aportar a evaluar la posibilidad de seleccionar procedencias con mayor potencial para la cosecha de vainas de algarrobo y con esto potenciar el uso no maderable de los bosques del Monte. Se postula que los procesos evolutivos que generaron variabilidad inter-poblacional en esta especie llevaron a diferenciar la morfología y calidad nutricional de las vainas

de algarrobo de las distintas unidades boscosas según un gradiente latitudinal.

MATERIAL Y MÉTODO

Especie de estudio. *Prosopis flexuosa* DC. denominado comúnmente “algarrobo dulce” se distribuye en las regiones áridas de Sudamérica (oeste árido de Argentina y centro-norte de Chile) (Alvarez y Villagra 2009). En Argentina, habita la totalidad de la provincia biogeográfica del Monte y los amplios ecotonos con las provincias Chaqueña y del Espinal. Las poblaciones se distribuyen desde el nivel del mar (sur de Buenos Aires) hasta los 2.200 m s.n.m. en valles de la cordillera de los Andes. El área donde se distribuye la especie presenta una precipitación anual media que va desde los 50 mm (centro-sur de San Juan) hasta los 500 mm (oeste de Córdoba); y una temperatura cuya amplitud varía desde los 48 °C de máxima absoluta hasta los -12 °C de mínima absoluta (Alvarez y Villagra 2009). Dentro del Monte, *P. flexuosa* forma bosques abiertos al norte de los 37 °S, en zonas aledañas a los ríos permanentes y en las llanuras con disponibilidad de agua subterránea (Villagra et al. 2004, Alvarez y Villagra 2009).

Recolección de frutos. Para la caracterización morfológica y química de los frutos se colectaron vainas de distintas áreas de material genético determinadas en el programa de Conservación y Mejoramiento de *Prosopis* (Cony 1993). Estas áreas de material genético se consideran poblaciones aisladas unas de otras por estar separadas por cordones montañosos o por estar a una distancia mayor a 100 km (Bessega et al. 2019). Las poblaciones seleccionadas se distribuyen desde los 27° 22' 48" S hasta los 36° 09' 30" S; y desde los 68° 25' 15" O hasta 66° 10' 48" O. Las áreas estudiadas fueron Bolsón de Pipanaco, Bolsón de Fiambalá, Bolsón de Chilecito, Telteca, Montecaseros, Las Catitas, Ñacuñán y San Rafael (tabla 1). La cosecha de frutos se realizó entre diciembre y febrero de la temporada 2017-2018.

La recolección de frutos se realizó de la siguiente forma: recolección masal en cada procedencia, se colectaron frutos de 20 árboles, los frutos fueron mezclados y se tomó una submuestra en forma aleatoria de 30 frutos para cada procedencia a lo largo del Monte. A continuación, se puede observar en la tabla 1 una breve descripción de las variables geográficas y climáticas de las procedencias (Fick y Hijmans 2017).

Análisis morfométrico. Se midieron 11 características morfológicas siguiendo la metodología de Verga (2000) sobre 30 frutos obtenidos de muestras de diferentes procedencias. En la figura 1, se puede ver el esquema de las mediciones realizadas sobre las vainas de *P. flexuosa*, y sus diferentes vistas: A- fruto entero vista longitudinal y B- corte y vista transversal del fruto. Se utilizaron dos formas para medir el largo de los frutos: la longitud y el arco. La longitud (cm): con regla se registró la medida en línea recta de un extremo al otro de la vaina (sin tener en cuenta el pedúnculo y sin importar la curvatura). El arco (cm) del fruto, se midió registrando el largo del contorno del fruto entre un extremo y otro de la vaina (sin tener en cuenta el pedúnculo). Para esto se dispuso un cable siguiendo el contorno y luego se midió con regla dicho cable previamente enderezado. El ancho (mm) de fruto: se midió sobre la región media del fruto y sobre la parte más ancha del artejo, usando calibre digital. Se incluyó también, el grosor (mm) de fruto: se midió sobre un artejo central que contenga semilla, con calibre digital. El número de artejos: se contó cada una de las divisiones que conforman la vaina (sin incluir el pedúnculo ni el mucrón). El peso seco (g): se secaron las vainas en estufa a 60 °C por 7 días, y se pesaron una por una en balanza digital. Además, se midió como carácter la relación ancho/grosor del fruto (teniendo en cuenta de medirlo sobre el mismo artejo central). Incluimos también, dentro de los caracteres medidos, la relación arco/longitud como una medida del espiralamiento de la vaina.

Tabla 1. Descripción de las variables geográficas y climáticas de las procedencias (Fick y Hijmans 2017).

Description of the geographical and climatic variables of the different geographical origins (Fick y Hijmans 2017).

Provincia	Localidad	Latitud (S)	Longitud (O)	Altitud (m s.n.m)	Temperatura media (°C)	Precipitación media Anual (mm)
Catamarca	Fiambalá	27° 58'	67° 38'	1.310	17,4	127
Catamarca	Pipanaco	27° 69'	66° 21'	900	19,9	341
La Rioja	Chilecito	29° 29'	66° 08'	740	20,5	180
Mendoza	Telteca	32° 22'	68° 01'	510	18,4	280
Mendoza	Montecaseros	33°00'	68° 23'	663	16,7	200
Mendoza	Las Catitas	33°18'	68° 02'	650	16,6	230
Mendoza	Ñacuñán	33° 86'	67° 72'	578	15,7	340
Mendoza	San Rafael	35° 18'	67° 11'	701	14,0	298

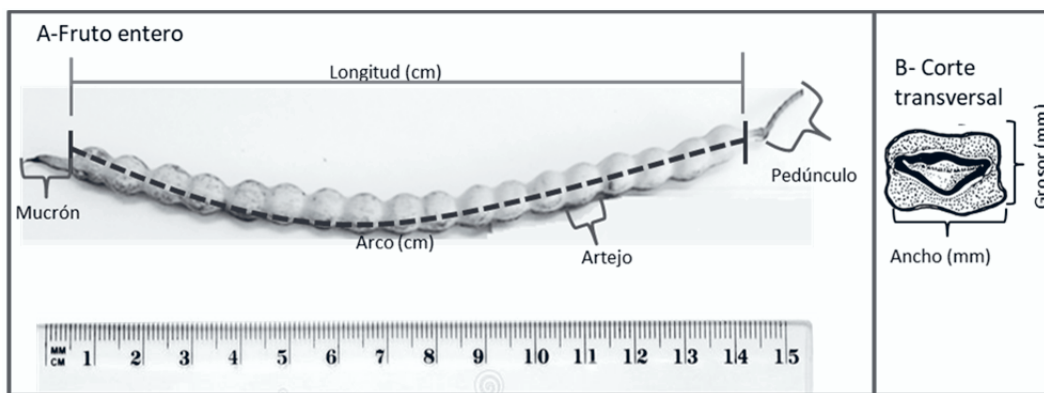


Figura 1. Esquema de las mediciones realizadas sobre las vainas de *P. flexuosa*. A- Fruto entero vista longitudinal. B- Corte y vista transversal del fruto.

Diagram of the measurements taken of the *P. flexuosa* pods. A- Whole fruit longitudinal view. B- Section and cross-sectional view of the fruit.

Análisis químico. Para obtener las muestras de harina se realizó la molienda con molino eléctrico y tamizado (granulometría fina) del total de los frutos colectados de las diferentes procedencias. Las determinaciones analíticas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Fitoquímica del IADIZA- CCT Mendoza- CONICET, se realizaron siguiendo el método de Weende, que sirve para examinar la calidad nutricional de los forrajes y, en general, determinar el valor nutritivo de los alimentos (Reyes y Mendieta 2000). Se realizaron las siguientes determinaciones analíticas para cada muestra: (1) contenido de humedad (estufa 105 °C); (2) cenizas (calcinación en mufla a 550 °C); (3) proteína total (método Kjeldahl, $f = 6,25$); (4) lípidos totales (Soxhlet); (5) fibra bruta total (Van Soest); (6) azúcares solubles (Fehling Causse Bonnans); (7) carbohidratos total (por diferencia).

Análisis de datos. Se analizaron las variables morfológicas del fruto a través de Análisis de la Varianza (ANOVA) y se realizó la prueba post-hoc de comparación de medias de Tukey. Se calcularon para las variables morfológicas la tendencia central y dispersión para cada procedencia.

Se utilizó el análisis de componentes principales (ACP) para reducir la dimensionalidad de los datos y describir las relaciones entre las ocho variables morfológicas medidas en la totalidad de los frutos ($N = 932$) y la procedencia de estos.

Se realizó un análisis descriptivo para las propiedades químicas de la harina entre las procedencias, se calcularon la media y los coeficientes de variación para cada una de las variables. Además, se debieron transformar los datos ya que se trabajó con porcentajes, a través de la siguiente fórmula de “arco seno” (ecuación 1):

$$y * = \text{arc sen} \sqrt{y/100} \quad [1]$$

Donde, y es el valor de los datos originales en porcentaje. Se utilizó el software estadístico INFOSTAT 2020 (Di Rienzo *et al.* 2020).

RESULTADOS

Comparación de variables morfológicas en frutos de *Prosopis flexuosa* entre procedencias. En la figura 2 se muestra la comparación de la morfología en frutos de *P. flexuosa* entre procedencias y cuyas variables significativas fueron: A) arco, B) grosor, C) número de artejos y D) peso seco.

Las vainas de Pipanaco, Fiambalá y Chilecito (Región del Norte) presentaron un arco de mayor largo y un mayor número de artejos que las vainas de San Rafael, Ñacuñán, Las Catitas, Montecaseros y Telteca (Región del Sur) (figura 2 A y C). Con respecto al peso seco, se pudo observar una disminución “clinal” con la latitud siendo mayor en las dos procedencias más al Norte y disminuyó gradualmente hacia el sur (figura 2 D). Por su parte, el grosor del fruto fue menor en Chilecito, Las Catitas y Ñacuñán (figura 2 B).

Relación entre las características morfológicas de las vainas de *P. flexuosa* y su origen geográfico. Se realizó un ACP para las diferentes características morfológicas de los frutos de algarrobo, clasificados por procedencia como se observa en la figura 3. Los dos componentes principales extraídos explicaron en un 86,1 % la varianza total presente en las muestras de vainas. El primer componente principal (CP1) representó el 51,2 %, el segundo componente (CP2) el 34,9 % de la variabilidad total de los datos (figura 3). La CP1 estuvo representada principalmente por las variables: N° de artejos, peso seco, arco y ancho. La CP2 por el grosor y la relación arco/longitud.

Se distinguieron dos grupos en el gráfico de ordenamiento, las muestras procedentes del Norte (Fiambalá, Pipanaco y Chilecito) se ubicaron hacia la derecha del eje CP1 (figura 3), caracterizado principalmente por tener mayor: N° de artejos, peso seco, arco, ancho, relación arco/longitud y relación ancho/grosor, que se distinguen del grupo de muestras colectadas en la región Sur (Telteca,

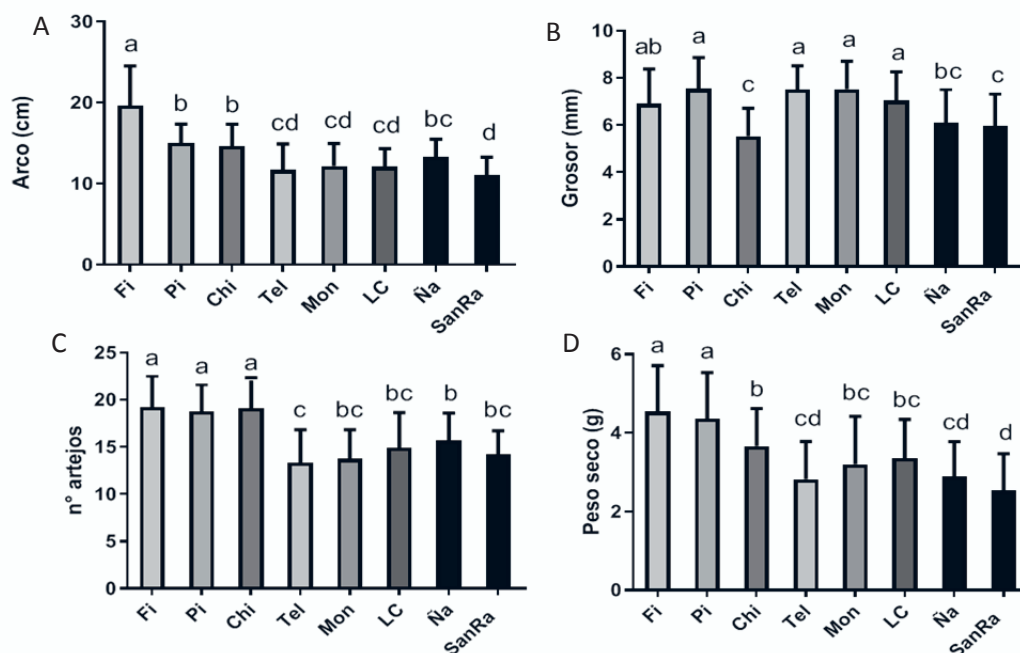


Figura 2. Comparación de la morfología en frutos de *P. flexuosa* entre procedencia. Las procedencias son Fiambalá (Fi), Pipanaco (Pi), Chilecito (Chi), Telteca (Tel), Montecaseros (Mon), Las Catitas (LC), Ñacuñán (Ña) y San Rafael (SanRa) y están ordenadas de Norte a Sur en el eje horizontal. A) arco, B) grosor, C) número de artejos y D) peso seco. Las barras representan la media \pm el error standard de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las procedencias según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

Comparison of the morphology of *P. flexuosa* fruits among geographical origins. The geographical origins are Fiambalá (Fi), Pipanaco (Pi), Chilecito (Chi), Telteca (Tel), Montecaseros (Mon), Las Catitas (LC), Ñacuñán (Ña) and San Rafael (SanRa) and are ordered from North to South on the horizontal axis. A) arch, B) thickness, C) number of joints and D) dry weight. The bars represent the mean \pm the standard error of the mean. According to the Tukey test ($P < 0.05$), different letters indicate significant differences between the localities.

Ñacuñán, Las Catitas, Montecaseros y San Rafael) ubicada a la izquierda.

Además, según el CP2 se separa los frutos de Pipanaco del resto de las procedencias presentando el mayor grosor de todas las vainas, después le sigue Telteca, también con el mayor grosor de sus frutos dentro de las del Sur. Chilecito presentó el menor grosor de vainas de todos los frutos, y San Rafael el menor en los frutos del Sur (figura 3).

Caracterización química de la harina y comparación entre diferentes procedencias. Se compararon las propiedades químicas de la harina obtenida por frutos de distintas procedencias, dicha información se resume en la tabla 2. Las propiedades químicas de la harina de *P. flexuosa* presentaron una relativa homogeneidad entre las distintas procedencias, no observándose un patrón geográfico claro en las distintas variables estudiadas como se había observado en las variables morfológicas (tabla 2). Solamente se observó que las muestras de harina de las procedencias del Sur presentaron mayor contenido de grasas totales que las del sector Norte. La harina analizada presentó en promedio para todas las procedencias: proteína total ($10,63 \pm 0,83\%$), humedad ($8,29 \pm 1,63\%$), grasa total ($2,17 \pm 0,42\%$), cenizas ($3,85 \pm 0,20$), fibra bruta total ($20,05 \pm 1,08\%$),

azúcares solubles ($59,12 \pm 3,32\%$) y carbohidratos totales ($42,12 \pm 3,98$). El porcentaje de proteínas varió entre el 9,1 y el 11,8, el de humedad entre el 7 y el 11,8, el de grasas entre 1,62 y 2,6, la ceniza entre 3,6 y 4,3, la fibra bruta entre 18,86 y 21,25, los azúcares solubles entre 54,49 y 63,85 y los carbohidratos entre 35,34 y 47,45. El contenido de grasas presentó la mayor variación entre todas las variables (coeficiente de variación de 19,3 %) (tabla 2).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Nuestros resultados muestran que los frutos de *P. flexuosa* presentan una importante variabilidad morfológica diferenciando principalmente las procedencias del Norte de las del Sur. Por el contrario, la variabilidad química observada no se relaciona claramente con el gradiente latitudinal, limitándose al contenido de grasas, que se incrementa en la región Sur con respecto a la región Norte.

Desde el punto de vista morfológico, las procedencias estudiadas se dispusieron separadamente a la izquierda (Sur) y derecha (Norte) de acuerdo al eje principal de ordenamiento, que se asocia en parte al número de artejos, peso seco y la relación arco/longitud, entre otras variables. Las características morfológicas mencionadas fue-

ron mayores en las poblaciones más norteñas. Estos datos coinciden con Brizuela *et al.* (2000), que al comparar el largo entre individuos de tres procedencias de *P. flexuosa* reportaron que la procedencia más al Sur, en Mendoza, se diferencia de Catamarca y San Juan. En comparación a los parámetros morfológicos de otras especies del género, se observa que para frutos de *P. alba* y *P. pallida*, ambos con resultados similares (Prokopiuk *et al.* 2000), las vainas de *P. flexuosa* presentaron menor largo, ancho y peso seco que

las anteriores. El gradiente de temperatura, con estaciones de crecimiento más largas y cálidas hacia el Norte, podría explicar la mayor productividad de semillas, y frutos más largos, con más artejos. Si bien el inicio de la floración es independiente de las condiciones climáticas, la maduración de los frutos se retarda hacia el sur, indicando que la menor temperatura media posiblemente se compense hacia el sur con un mayor tiempo para la maduración (Mantovan 2005, Debandi *et al.* 2020). Mantovan (2005) propone que

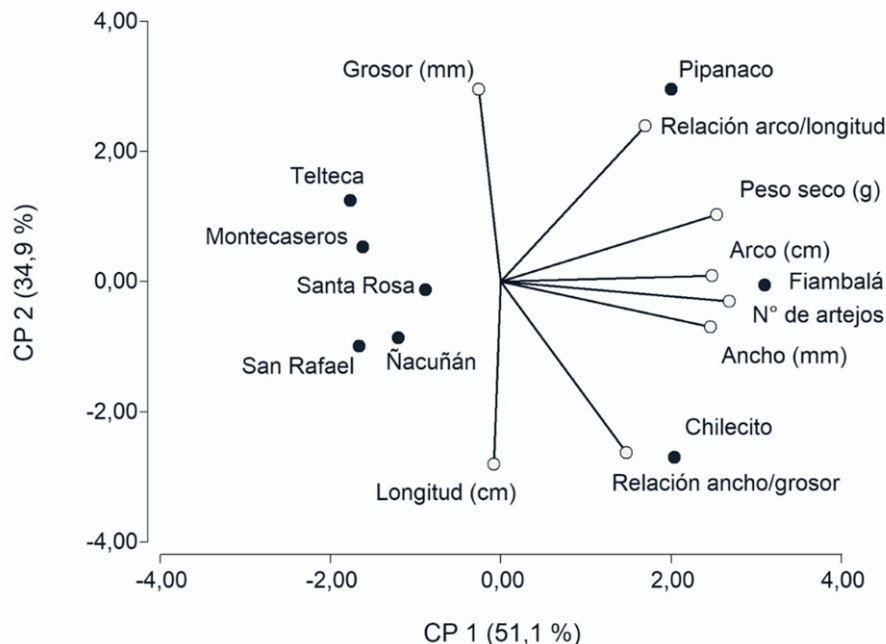


Figura 3. Análisis de componentes principales (CP) para las diferentes características morfológicas de los frutos de algarrobo, clasificados por procedencia. Los puntos negros representan la media de cada procedencia.

Main components for the different morphological characteristics of mesquite fruits, classified by origin. The black dots represent the mean of each origin.

Tabla 2. Comparación de las propiedades químicas de la harina obtenida por frutos de distintas procedencias.

Comparison of the chemical properties of the flour processed from fruits of different origins.

Localidad	Proteína Total (%)	Humedad (%)	Grasas Totales (%)	Ceniza (%)	Fibra Bruta Total (%)	Azúcares solubles (%)	Carbohidratos Totales (%)
Fiambalá	9,1	8,5	1,63	3,76	20,52	54,49	42,35
Piñanaco	10,9	7	1,62	3,85	19,02	56,11	43,8
Chilecito	11,8	8,6	1,83	3,8	18,86	63,85	46,17
Telteca	10,6	11,8	2,17	3,9	21,59	62,87	47,45
Montecaseros	10	6,9	2,4	4,3	20,65	57,9	41,66
Las Catitas	11,4	7,7	2,6	3,6	19,1	57,9	42,21
Ñacuñán	10,7	6,9	2,6	3,86	21,25	58,17	38
San Rafael	10,5	8,8	2,47	3,76	19,39	61,68	35,34
Promedio	10,63±0,83	8,29±1,63	2,17±0,42	3,85±0,20	20,05±1,08	59,12±3,32	42,12±3,98

las condiciones climáticas se asocian también a los caracteres foliares y fenológicos en *P. flexuosa*, y sugiere que parte de esta variabilidad está determinada genéticamente. Por lo tanto, las variaciones morfológicas detectadas entre las procedencias que ocupan ambientes distintos deberían complementarse a futuro con investigaciones para conocer si se deben a una respuesta a las condiciones ambientales o a una variación genética heredable y, por lo tanto, si pueden ser seleccionables para optimizar el uso de este recurso en plantaciones.

La harina de *P. flexuosa* a lo largo del Monte presentó propiedades químicas similares entre procedencias, exceptuando el contenido de grasa, que fue mayor ~ 1 % en las muestras de las procedencias del Sur. Las grasas, en relación con las propiedades organolépticas, constituyen un componente importante dado que intensifican el sabor (Freyre *et al.* 2003). Además, se observaron diferencias con respecto a los carbohidratos presentadas en Telteca, esto podría deberse a que *P. flexuosa* crece bajo condiciones de mayor estrés hídrico y salino allí. Diversos estudios han descubierto una fuerte correlación entre la concentración de azúcares solubles y la tolerancia al estrés abiótico, mayor contenido de azúcares produciría un ajuste osmótico en las células siendo un mecanismo de adaptación a la sequía y a la desecación (Tofiño *et al.* 2007, Wang *et al.* 2019).

Mom (2012) describe los contenidos nutricionales para la harina de *P. flexuosa*, *P. alba* y *P. Chilensis*. Los registros bibliográficos de la harina de *P. flexuosa* han reportado: un contenido de proteína 13,1 %, de grasas 1,7 %, de carbohidratos 51,3 % y de cenizas 3,9 (Mom 2012). Comparado a lo registrado, la harina de *P. flexuosa* analizada tuvo menor contenido de proteínas y carbohidratos que dichas especies, y similar cantidad de cenizas que el contenido descrito para su misma especie (Mom 2012, Llano *et al.* 2012, Silva *et al.* 2000). En cuanto al contenido de cenizas cuantificadas en este trabajo (entre 3,6 y 4,3 %), se observó que duplica los valores referidos a harinas usuales, como las de trigo integral y de maíz (1,7 y 1,1 %, respectivamente) (Surco y Alvarado 2010). Esto sugiere un mayor contenido de minerales de la harina de *P. flexuosa* como pueden ser nutrientes de calcio y hierro (u otros como potasio y magnesio) que las harinas convencionales.

Al comparar la harina de *P. flexuosa*, con otras especies que se ubican en otras regiones, como *P. pallida* se observó que esta harina presenta menores contenidos de humedad, cenizas, proteínas, lípidos y fibra bruta, no ocurriendo lo mismo para el contenido de hidratos de carbono (Prokopiuk *et al.* 2000, Grados *et al.* 2021). En cambio, en el caso de *P. laevigata* su harina tiene mayor contenido de proteínas y grasas, y similares valores de cenizas y de humedad con respecto a la harina de *P. flexuosa* (Díaz Batalla *et al.* 2018). Según los registros, si bien hay diferencias en la composición química entre las distintas harinas de las especies de *Prosopis*, se observa que la mayoría presen-

tan mejores valores de proteínas, minerales y fibra, que las harinas de uso convencional (trigo, sorgo, etc). Esto las hace interesantes para utilizarlas como enriquecedoras de otras harinas, para la dieta de celíacos y como ingrediente funcional en una alimentación saludable (Sciammaro *et al.* 2015, Campos *et al.* 2022).

Mediante este estudio hemos contribuido al conocimiento de las propiedades nutricionales y morfológicas de frutos de *P. flexuosa*, avanzado en describir la variabilidad nutricional entre diferentes procedencias para la producción de harina. La especie, dado su aporte proteico, de fibras y carbohidratos, debe ser considerada un importante alimento para humanos y animales, y puede ser un valioso recurso alimentario para el mundo. Por último, debe destacarse que su aprovechamiento artesanal, va ligado a la preservación de las masas forestales en regiones áridas y semiáridas, y a sus culturas asociadas, lo que contribuye directamente a mitigar la crisis ambiental actual, y promueve la conservación de la biodiversidad y la mejora de las economías regionales.

AGRADECIMIENTOS

Los estudios realizados en este trabajo se llevaron a cabo en las instalaciones de la Estación Experimental Agropecuaria Junín- INTA en un convenio de pasantías con la Agencia de Extensión Forestal del Ministerio de Agroindustria de la Nación.

Los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de Fitoquímica del IADIZA- CCT Mendoza- CONICET. El trabajo fue financiado por CONICET y la Provincia de San Juan (PIO-SECITI otorgado a Villagra) y la UNCUYO.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Celeste Fernández, Valeria Aschero y Javier Chaar han contribuido en todo el proceso de investigación, en la búsqueda bibliográfica, metodología y diseño experimental, en el análisis de resultados, discusión y conclusiones. Además, Celeste Fernández y Valeria Aschero trabajaron en el análisis estadístico de los datos y en la elaboración de los gráficos y figuras. Pablo Villagra ha contribuido en la adquisición de financiamiento, análisis de resultados y discusión y conclusiones. Juan Alvarez y Pablo Villagra han contribuido en la recolección de las muestras, en la metodología y el diseño experimental. Natalia Naves ha contribuido en la toma de datos y en la metodología.

Todos los autores han contribuido en la redacción y revisión final del manuscrito.

REFERENCIAS

- Alvarez J, PE Villagra. 2009. *Prosopis flexuosa* DC. (Fabaceae, Mimosoideae). *Kurtziana* 35(1): 49-63.
- Besega C, M Cony, BO Saidman, R Aguiló, PE Villagra, JA Alvarez, C Pometti. 2019. Genetic diversity and differen-

- tiation among provenances of *Prosopis flexuosa* DC (Leguminosae) in a progeny trial: Implications for arid land restoration. *Forest Ecology and Management* 443: 59-68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.016>
- Brizuela MM, AD Burghardt, D Tanoni, RA Palacios. 2000. Estudio de la variación morfológica en tres procedencias de *Prosopis flexuosa* y su manifestación en cultivo bajo condiciones uniformes. *Multequina* 9: 7-15.
- Campos N, P Felker, MC Puppo. 2021. Regional traditional foods from *Prosopis* spp. of the northwest of Argentina. In Puppo MC, P Felker eds. *Prosopis as a Heat Tolerant Nitrogen Fixing Desert Food Legume. Prospects for Economic Development in Arid Lands*. USA. Academic Press. p. 253-262. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823320-7.00013-4>
- CAA (Código Alimentario Argentino, AR). 2015. Capítulo IX: Alimentos farináceos –cereales, harinas y derivados. Buenos Aires, Argentina. ANMAT.
- Cony M. 1993. Programa de Conservación y Mejoramiento de Especies del Género *Prosopis* en la Provincia Fitogeográfica del Monte, Argentina. Convenio CIID-IADIZA. Contribuciones Mendocinas a la Quinta Reunión de Regional para América Latina y el Caribe de la Red de Forestación del CIID. Conservación y Mejoramiento de Especies del Género *Prosopis* (ed. by IADIZA), IADIZA-CRICYT-CIID, Mendoza, Argentina. p. 37-71.
- Debandi G, BE Rossi, PE Villagra, MA Giantomasi, NG Mantován. 2020. Spatial and temporal synchronicity in the phenological events of *Prosopis flexuosa* in the Central Monte Desert. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 52(1): 148-160.
- Díaz Batalla L, JP Hernández Uribe, R Gutiérrez Dorado, A Téllez Jurado, J Castro Rosas, R Pérez Cadena, CA Gómez Aldapa. 2018. Nutritional Characterization of *Prosopis laevigata* Legume Tree (Mesquite) Seed Flour and the Effect of Extrusion Cooking on its Bioactive Components. *Foods* 7(8): 1-9. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods7080124>
- Di Rienzo JA, F Casanoves, MG Balzarini, L Gonzalez, M Tablada, CW Robledo. 2020. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Fick SE, RJ Hijmans. 2017. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37 (12): 4302-4315
- Freyre M, E Astrada, C Blasco, C Baigorria, V Rozycki, C Bernardi. 2003. Valores nutricionales de frutos de vinal (*Prosopis ruscifolia*): consumo humano y animal. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 4(1): 41-46. DOI: <https://doi.org/10.1080/11358120309487617>
- Grados N, G Cruz, L Albán, P Felker. 2022. Peruvian *Prosopis pallida*: Its potential to provide human and livestock food for tropical arid lands of the world. In Puppo MC, P Felker eds. *Prosopis as a Heat Tolerant Nitrogen Fixing Desert Food Legume. Prospects for Economic Development in Arid Lands*. USA. Academic Press. p. 241-251. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823320-7.00018-3>
- Isla MI, J Pérez, F Cattaneo, IF Rodríguez, FM Correa Uriburu, IC Zampini. 2022. In Puppo MC, P Felker eds. *Prosopis as a Heat Tolerant Nitrogen Fixing Desert Food Legume. Prospects for Economic Development in Arid Lands*. USA. Academic Press. p. 275-286. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823320-7.00022-5>
- Llano C, A Ugan, A Guerci, C Otaola. 2012. Arqueología experimental y valoración nutricional del fruto de algarrobo (*Prosopis flexuosa*): inferencias sobre la presencia de macrorestos en sitios arqueológicos. *Intersecciones en Antropología* 13(2): 513-524.
- Luchini L. 2013. Harina de Algarrobo. Herencias para Valorar. *Alimentos Argentinos* 60: 64-68.
- Mantovan NG. 2005. Variabilidad intra-específica de *Prosopis flexuosa* DC. var. *flexuosa* en el Monte. Su estudio morfofisiológico. Tesis doctoral en Biología. Mendoza, Argentina. Universidad Nacional de Cuyo. 179 p.
- Mom MP. 2012. Caracterización estructural y propiedades funcionales de las harinas de los frutos de *Prosopis alba* Griseb., *P. chilensis* (Molina) Stuntz emend. Burkart y *P. flexuosa* DC. Desarrollo de un proceso de secado, molienda y mezcla para optimizar la calidad del producto. Tesis doctoral en Biología. Buenos Aires, Argentina. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. 231 p.
- Moreno C, L Torres, C Campos. 2018. Nuevos aportes al uso de *Prosopis flexuosa* en el centro oeste de Argentina y su interpretación en el marco general de la ecorregión del monte. *Revista Etnobiología* 16(3): 18-35.
- Peri PL, G Martínez Pastur, T Schlichter. 2021. Uso sostenible del bosque: Aportes desde la Silvicultura. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación. 889 p.
- Prokopiuk D, G Cruz, N Grados, O Garro, A Chiralt. 2000. Estudio comparativo entre frutos de *Prosopis alba* y *Prosopis pallida*. *Multequina* 9: 35-45.
- Reyes Sanchez N, B Mendieta Araica. 2000. Determinación del valor nutritivo de los alimentos. Managua, Nicaragua. Facultad de Ciencia Animal, Universidad Nacional Agraria. 77 p.
- Roig FA. 1993. Aportes a la etnobotánica del género *Prosopis*. Contribuciones mendocinas a la quinta reunión regional para América Latina y el Caribe de la red de forestación del CIID. Conservación y mejoramiento de especies del género *Prosopis*. Mendoza, Argentina. Unidades de botánica y fisiología vegetal (IADIZA). p. 99-119.
- Sciammaro L, C Ferrero, C Puppo. 2015. Agregado de valor al fruto de *Prosopis alba*. Estudio de la composición química y nutricional para su aplicación en bocaditos dulces saludables. *Revista de la Facultad de Agronomía* 114(1): 115-123.
- Silva M, M Martínez, R Coirini, M Brunetti, M Balzarini, U Karlin. 2000. Valoración nutritiva del fruto del algarrobo blanco (*Prosopis chilensis*) bajo distintos tipos de almacenamiento. *Multequina* 9: 65-74.
- Surco Almendras JC, JA Alvarado Kirigin. 2010. Harinas Compuestas de Sorgo-Trigo para Panificación. *Revista Boliviana de Química* 27(1): 19-28.
- Tofiño A, H Romero, H Ceballos. 2007. Efecto del estrés abiótico sobre la síntesis y degradación de almidón. Una revisión. *Agronomía Colombiana* 25(2): 245-254.
- Verga A. 2000. Clave para la identificación de híbridos entre *Prosopis chilensis* y *P. flexuosa* sobre la base de caracteres cuantitativos. *Multequina* 9: 17-22.
- Villagra PE, JA Alvarez. 2019. Determinantes ambientales y desafíos para el ordenamiento forestal sustentable en los algarrobales del Monte. *Ecología Austral* 29: 146-155. DOI: <https://doi.org/10.25260/EA.19.29.1.0.752>

- Villagra PE, MA Cony, NG Mantován, BE Rossi, MM González Loyarte, R Villalba, L Marone. 2004. Ecología y manejo de los algarrobales de la Provincia Fitogeográfica del Monte. *Ecología y manejo de bosques nativos de Argentina*. Universidad Nacional de La Plata. 32 p.
- Wang Y, L Liu, Y Wang, H Tao, J Fan, Z Zhao, Y Guo. 2019. Effects of soil water stress on fruit yield, quality and their relationship with sugar metabolism in 'Gala' apple. *Scientia Horticulturae* 258: 1-10. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108753>

Recibido: 10.04.22

Aceptado: 14.12.22

