

# Morphological, physical and chemical analysis of acorns from three oak species from Durango, Mexico

## Caracterización morfológica, física y química de bellotas de tres especies de encino del estado de Durango, México

Raymundo F. Ramírez-Roacho<sup>1</sup>; Maribel Guerrero-Cervantes<sup>2</sup>; José Á. Prieto-Ruíz<sup>3</sup>; Melissa Bocanegra-Salazar<sup>3</sup>; Jorge A. Chávez-Simental<sup>4</sup>; José R. Goche-Télles<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Juárez del Estado de Durango, Maestría Institucional en Ciencias Agropecuarias y Forestales. Río Papaloapan y bulevar Durango s/n, col. Valle del Sur. C. P. 34120. Durango, Durango, México.

<sup>2</sup>Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Carretera Durango-El Mezquital km 11.5. C. P. 34307. Durango, Durango, México.

<sup>3</sup>Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Forestales. Río Papaloapan y bulevar Durango s/n, col. Valle del Sur. C. P. 34120. Durango, Durango, México.

<sup>4</sup>Universidad Juárez del Estado de Durango, Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera. Bulevar Guadiana 501, fracc. Ciudad Universitaria. C. P. 34120. Durango, Durango, México.

\*Corresponding author: jgoche@ujed.mx; tel.: 618 177 6806.

### Abstract

**Introduction:** In Mexico, there is a lack of information on morphological, physical and chemical characteristics of acorns of *Quercus*, which makes it difficult to make decisions on the use that can be made to the fruits.

**Objectives:** To identify the morphological, physical and chemical characteristics of *Quercus rugosa* Née, *Q. sideroxylla* Humb. & Bonpl. and *Q. deserticola* Trel. acorns.

**Materials and methods:** From each species, 10 trees were selected and 30 acorns per tree were collected. Mature acorns were characterized morphologically (polar and equatorial diameter, shell weight and total weight) and in physicochemical characterization (moisture, dry matter, ash, crude fiber and protein, ethereal extract and tannins) green and mature acorns were used. Differences among species and among maturity stages were determined with an analysis of variance ( $P \leq 0.05$ ) and subsequent Tukey's test.

**Results and discussion:** Morphology varied among species and among trees of the same species ( $P < 0.05$ ); *Q. deserticola* had the largest acorn size (15.69 mm) and weight (1.94 g), and *Q. sideroxylla* produced the smallest acorns. Maturity stage and species significantly ( $P < 0.05$ ) influenced chemical composition; mature acorns had higher content of ethereal extract (8.88 %) and protein (8.40 %). Pearson's correlation indicated that acorn weight was strongly associated with crown diameter and diameter at breast height.

**Conclusion:** Significant differences were found in morphology and chemical composition of acorns of each species, although they inhabit sites with similar characteristics.

### Resumen

**Introducción:** En México se carece de información sobre las características morfológicas, físicas y químicas de las bellotas del género *Quercus*, lo cual dificulta tomar decisiones sobre el uso que pueda darse a los frutos.

**Objetivos:** Caracterizar morfológica, física y químicamente bellotas de *Quercus rugosa* Née, *Q. sideroxylla* Humb. & Bonpl. y *Q. deserticola* Trel.

**Materiales y métodos.** De cada especie se seleccionaron 10 árboles y se colectaron 30 bellotas por árbol. Las bellotas maduras se caracterizaron morfológicamente (diámetro polar y ecuatorial, peso de la cáscara y peso total) y en la caracterización fisicoquímica (humedad, materia seca, cenizas, fibra y proteína crudas, extracto etéreo y taninos) se utilizaron bellotas verdes y maduras. Las diferencias entre especies y entre estados de madurez se determinaron con análisis de varianza ( $P \leq 0.05$ ) y posterior prueba de Tukey.

**Resultados y discusión:** La morfología varió entre especies y entre árboles de la misma especie ( $P < 0.05$ ); *Q. deserticola* tuvo bellotas de mayor tamaño (15.69 mm) y peso (1.94 g), y *Q. sideroxylla* produjo las más pequeñas. El estado de madurez y la especie influyeron significativamente ( $P < 0.05$ ) en la composición química; las bellotas maduras tuvieron mayor contenido de extracto etéreo (8.88 %) y proteína (8.40 %). La correlación de Pearson indicó que el peso de la bellota se asoció en mayor grado con el diámetro de copa y diámetro normal.

**Conclusión:** Existen diferencias notables en la morfología y en la composición química de las bellotas de cada especie, pese a que habitan en sitios con características similares.

**Keywords:** *Quercus deserticola*; *Quercus sideroxylla*; *Quercus rugosa*; morphological variation; acorn maturity.

**Palabras clave:** *Quercus deserticola*; *Quercus sideroxylla*; *Quercus rugosa*; variación morfológica; madurez de bellotas.

## Introduction

Oaks (*Quercus* sp.) are widely distributed in forest ecosystems. Oaks live in mixed stands with species of the genus *Pinus* and are harvested for commercial purposes to produce *parquet* and tool handles; branches with a diameter of less than 5 cm are used for charcoal production. *Quercus* species are carbon dioxide capture systems, leaf litter allows the incorporation of organic matter into the soil and helps as protection and food for wildlife (de la Paz-Pérez & Dávalos-Sotelo, 2008; Uribe-Salas, Rocha-Ramírez, Gregorio-Cipriano, Fernández-Pavia, & Alvarado-Rosales, 2019). There are about 450 species of the genus *Quercus* in the world (Sánchez-Burgos et al., 2013), of which 161 inhabit the American continent and 109 are native to Mexico, representing 68 % of the oaks in the American continent (Arizaga, Martínez-Cruz, Salcedo-Cabrales, & Bello-González, 2009); of these, 30 are found in the state of Durango (González-Elizondo, González-Elizondo, Tena-Flores, Ruacho-González, & López-Enríquez, 2012).

Acorns can have diverse uses based on morphological and chemical characteristics; for example, in Spain they are used as feed for pigs and represent an important source of food for humans, although their use has decreased in recent years (Arizaga et al., 2009). Bread supplemented with acorn flour has been found to develop resistance to aging and to have better sensory acceptance, because of its enrichment with protein, minerals and dietary fiber (Korus, Witczak, Ziobro, & Juszczak, 2015). However, acorns have a certain degree of toxicity, due to the presence of tannins and metabolites, which are bound to proteins that interfere with the gastrointestinal microbial flora; these can be considered as anti-nutritional agents for the animals that consume them (Smith et al., 2015). In this regard, in the case of *Acacia farnesiana* (L.) Willd., Barrientos-Ramírez et al. (2012) reveal that the elimination of tannins from the seed improves the assimilation of matter in the rumen of sheep.

Variation in chemical composition of acorns is attributed to geographic location, stage of maturation, climate (Belghith, Abidi, Trabelsi-Ayadi, & Chérif, 2015) and soil type where trees grow. On the other hand, germplasm quantity, size and weight are influenced by factors such as temperature and precipitation; when both decrease, seed production increases, while weight decreases with high temperatures (Carbonero & Fernández-Rebollo, 2014). Acorn weight variation varies from 1.2 to 6.5 g, depending on the genetic characteristics of trees, climatic conditions and soil properties (Gea-Izquierdo, Cañellas, & Montero, 2006). It has been reported that larger seeds have a higher germination rate, due to an important content of energy reserves in cotyledons (Rubio-Licona, Romero-Rangel, Rojas-Zenteno, Durán-Díaz, & Gutiérrez-

## Introducción

Los encinos (*Quercus* sp.) tienen distribución amplia en los ecosistemas forestales. Generalmente, los encinos habitan en masas mezcladas con especies del género *Pinus* y son aprovechados con fines comerciales para obtener *parquet* y mangos de herramientas; las ramas con diámetro menor de 5 cm se utilizan para la producción de carbón. Las especies de *Quercus* son sistemas captadores de bióxido de carbono, la hojarasca permite incorporar materia orgánica al suelo y sirven de protección y alimentación a la fauna silvestre (de la Paz-Pérez & Dávalos-Sotelo, 2008; Uribe-Salas, Rocha-Ramírez, Gregorio-Cipriano, Fernández-Pavia, & Alvarado-Rosales, 2019). En el mundo existen alrededor de 450 especies del género *Quercus* (Sánchez-Burgos et al., 2013), de las cuales 161 habitan en el continente americano y 109 son nativas de México, lo que representa 68 % de los encinos del continente americano (Arizaga, Martínez-Cruz, Salcedo-Cabrales, & Bello-González, 2009); de estos, 30 existen en el estado de Durango (González-Elizondo, González-Elizondo, Tena-Flores, Ruacho-González, & López-Enríquez, 2012).

Las bellotas pueden tener diversos usos con base en las características morfológicas y químicas; por ejemplo, en España se utilizan como alimento para cerdos y constituyen una fuente importante de alimento para seres humanos, aunque su uso ha disminuido en los últimos años (Arizaga et al., 2009). Se ha comprobado que el pan suplementado con harina de bellotas adquiere resistencia al envejecimiento y tiene mejor aceptación sensorial, al estar enriquecido con proteínas, minerales y fibra dietética (Korus, Witczak, Ziobro, & Juszczak, 2015). No obstante, las bellotas tienen cierto grado de toxicidad, debido a la presencia de taninos y a sus metabolitos, los cuales se encuentran ligados a proteínas que interfieren con la flora microbiana gastrointestinal; estos pueden ser considerados como agentes antinutritivos para los animales que las consumen (Smith et al., 2015). Al respecto, en el caso de *Acacia farnesiana* (L.) Willd., Barrientos-Ramírez et al. (2012) revelan que la eliminación de los taninos de la semilla mejora la asimilación de la materia en el rumen de los borregos.

La variación en la composición química de las bellotas es atribuida a la ubicación geográfica, etapa de maduración, clima (Belghith, Abidi, Trabelsi-Ayadi, & Chérif, 2015) y tipo de suelo donde los árboles crecen. Por otra parte, la cantidad, tamaño y peso del germoplasma está influido por factores como la temperatura y precipitación; cuando ambos disminuyen, la producción de semillas aumenta, mientras que el peso disminuye con temperaturas altas (Carbonero & Fernández-Rebollo, 2014). La variación del peso de la bellota varía de 1.2 a 6.5 g, dependiendo de las características genéticas de los árboles, las condiciones

Guzmán, 2011), and have more resistance to drought and nutrient scarcity; on the other hand, small seeds have a greater capacity for dispersal and establishment (Gómez, 2004).

Because of the poor information available in Mexico and importance of the subject studied, the objective of this study was the morphological, physical and chemical characterization of acorns of *Quercus rugosa* Née, *Q. sideroxylla* Humb. & Bonpl. and *Q. deserticola* Trel. The hypothesis is that there are differences in the above-mentioned characteristics among the species studied.

## Materials and Methods

### Study area and collection of material

The study was carried out in the surroundings of the community of San José de Causas, San Dimas, Durango, in the Sierra Madre Occidental, 180 km west of the city of Durango, within a polygon with the following geographical coordinates 24° 02' 11.7" N – 105° 47' 59.1" O; 24° 02' 44.8" N – 105° 45' 40.4" W; 24° 02' 38.6" N – 105° 45' 17.2" W; 24° 02' 23.4" N – 105° 45' 49.2" W; and 24° 01' 39.6" N – 105° 46' 46.4" W. With temperate sub-humid climate with average annual precipitation of 875.9 mm. Vegetation consists of pine forest, pine-oak forest and oak forest (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2020). The seed was collected from trees located on sites with slopes ranging from 0 to 30 %, with an average of 12 %.

Acorns were collected from 10 trees per species of *Q. rugosa*, *Q. sideroxylla* and *Q. deserticola*, with the best phenotypic characteristics (dominant height and crown) and absence of pests. From each tree, 30 acorns were collected in green stage (last week of October) and 30 acorns in mature stage (second week of November), with a period of 15 days between both collections; acorns were taken from the middle and lower part of the tree crowns.

The following data were recorded for each selected tree: total height and slope of the site using a Suunto PM-5/360 clinometer, diameter at breast height using with a diametric tape and crown diameter with a tape measure (Table 1); measurements were taken according to the methodology described by Romahn and Ramírez (2010). Categories for variables diameter at breast height, crown diameter and slope were determined based on the methodology of Howard (2008).

### Morphological, physical and chemical characteristic of acorns

Equatorial diameter, polar diameter, shell weight and total weight were measured in mature acorns at

climáticas y las propiedades del suelo (Gea-Izquierdo, Cañellas, & Montero, 2006). Se ha reportado que las semillas de mayor tamaño tienen tasa de germinación más alta, debido a un contenido importante de reservas energéticas en sus cotiledones (Rubio-Licona, Romero-Rangel, Rojas-Zenteno, Durán-Díaz, & Gutiérrez-Guzmán, 2011), y tienen más resistencia a la sequía y a la escasez de nutrientes; en cambio, las semillas pequeñas presentan mayor capacidad para la dispersión y establecimiento (Gómez, 2004).

Debido a la escasez de información en México y a la importancia del tema a tratar, el objetivo del presente trabajo fue la caracterización morfológica, física y química de bellotas de *Quercus rugosa* Née, *Q. sideroxylla* Humb. & Bonpl. y *Q. deserticola* Trel. La hipótesis planteada es que existen diferencias en las características mencionadas entre las especies estudiadas.

## Materiales y métodos

### Área de estudio y colecta de material

El estudio se efectuó en los alrededores de la comunidad de San José de Causas, San Dimas, Durango, en la Sierra Madre Occidental, a 180 km al oeste de la ciudad de Durango, dentro de un polígono con las coordenadas geográficas 24° 02' 11.7" N – 105° 47' 59.1" O; 24° 02' 44.8" N – 105° 45' 40.4" O; 24° 02' 38.6" N – 105° 45' 17.2" O; 24° 02' 23.4" N – 105° 45' 49.2" O; y 24° 01' 39.6" N – 105° 46' 46.4" O. El clima es templado subhúmedo con precipitación media anual de 875.9 mm. La vegetación se integra por bosque de pino, bosque de pino-encino y bosque de encino (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2020). La semilla se colectó de árboles ubicados en sitios con pendientes de 0 a 30 %, con 12 % en promedio.

Las bellotas se colectaron en 10 árboles por especie de *Q. rugosa*, *Q. sideroxylla* y *Q. deserticola*, los cuales presentaron las mejores características fenotípicas (altura y copa dominantes) y ausencia de plagas. De cada árbol se colectaron 30 bellotas en estado verde (última semana de octubre) y 30 bellotas en estado maduro (segunda semana de noviembre), con un periodo de 15 días entre ambas colectas; las bellotas se tomaron de la parte media y baja de la copa de los árboles.

En cada árbol seleccionado se registraron los datos siguientes: altura total y pendiente del sitio con un clinómetro marca Suunto PM-5/360, diámetro normal con cinta diamétrica y diámetro de copa con cinta métrica (Cuadro 1); las mediciones se realizaron de acuerdo con la metodología descrita por Romahn y Ramírez (2010). Las categorías en las variables diámetro normal, diámetro de copa y pendiente se determinaron con base en la metodología de Howard (2008).

**Table 1. Tree-size measurements of oak species collected and slope of the land.****Cuadro 1. Variables dasométricas de las especies de encinos colectadas y pendiente del terreno.**

Species / Especie	Diameter at breast height (cm) / Diámetro normal (cm)	Total height (m) / Altura total (m)	Crown diameter (m) / Diámetro de copa (m)	Slope (%) / Pendiente (%)
<i>Quercus sideroxylla</i>	54.60 ± 6.42	17.78 ± 1.72	12.04 ± 0.79	11 ± 2.52
<i>Quercus rugosa</i>	54.44 ± 5.40	16.01 ± 1.35	10.88 ± 0.79	15 ± 2.66
<i>Quercus deserticola</i>	32.75 ± 3.29	10.37 ± 0.89	7.03 ± 0.35	10 ± 1.77

± standard error of the mean (n = 10).

± error estándar de la media (n = 10).

the Forestry Engineering laboratory of the Faculty of Forestry Sciences of the Universidad Juárez del Estado de Durango. The first two variables were determined using the image analysis technique, which include capturing the images with a 32-megapixel digital camera and then performing the morphological analysis with the help of Image-Pro Plus version 4.5 software (Media Cybernetics®, 2002). Acorn weight was determined on a Velab model VE-210 analytical balance with an accuracy of ± 0.0001 g.

Physical and chemical characterization was performed on 30 mature and 30 green acorns collected per tree. Moisture, total dry matter, ash, crude fiber, crude protein, ethereal extract (Cunniff, 1995) and condensed tannins, estimated by the butanol/HC technique (Makkar, 2003), were determined in each acorn at the postgraduate laboratory of the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Husbandry of the Universidad Juárez del Estado de Durango.

### Statistical analysis

Data analysis was performed by multiple linear regression, where the independent variables (X) were species, tree and degree of maturity of the acorn, while the dependent variables (Y) were morphological, physical and chemical variables analyzed. The analysis of variance was performed using PROC GLM, regarding the data under a generalized linear model to detect whether independent variables had any effect on dependent variables. Once the existence of the effect was verified, the comparison of means was performed with Tukey's test ( $\alpha = 0.05$ ); all analyses were performed with the SAS statistical package version 9.0 (Statistical Analysis System, 2002). The relationship between tree-size measurements, slope and tree exposure with morphological characteristics of acorns was analyzed using the Pearson's correlation coefficient.

### Caracterización morfológica, física y química de las bellotas

Las características morfológicas diámetro ecuatorial, diámetro polar, peso de la cáscara y peso total se midieron en bellotas maduras, en el laboratorio de Ingeniería Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Las primeras dos variables se determinaron mediante la técnica de análisis de imagen, que consiste en capturar las imágenes con una cámara digital de 32 megapíxeles y, posteriormente, realizar el análisis morfológico con ayuda del software Image-Pro Plus versión 4.5 (Media Cybernetics®, 2002). El peso de las bellotas se determinó en la balanza analítica marca Velab modelo VE-210 con precisión de ± 0.0001 g.

La caracterización física y química se realizó en 30 bellotas maduras y 30 verdes colectadas por árbol. En cada bellota se determinó humedad, materia seca total, ceniza, fibra cruda, proteína cruda, extracto etéreo (Cunniff, 1995) y taninos condensados, estimados mediante la técnica de butanol/HC (Makkar, 2003), en el laboratorio de posgrado de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Juárez del estado de Durango.

### Análisis estadístico

El análisis de datos se hizo mediante regresión lineal múltiple, donde las variables independientes (X) fueron especie, árbol y grado de madurez de la bellota, mientras que las dependientes (Y) fueron las variables morfológicas, físicas y químicas. El análisis de varianza se realizó usando el PROC GLM, considerando los datos bajo un modelo lineal generalizado, con la finalidad de detectar si las variables independientes tenían algún efecto sobre las dependientes. Una vez que se comprobó la existencia del efecto, se realizó la comparación de medias con la prueba de Tukey



## Results

### Morphological comparison of acorns among species

According to Table 2, the three species showed statistical differences ( $P < 0.05$ ) in polar diameter, equatorial diameter, average diameter and total weight. *Quercus deserticola* had the highest values, while *Q. sideroxylla* had the lowest values.

Acorn shell weight showed no significant differences ( $P > 0.05$ ) between *Q. sideroxylla* and *Q. rugosa*, but significant differences were found with respect to *Q. deserticola*, which had the highest value (Table 2). For this species, total weight of acorns was also significantly higher than in *Q. rugosa* and *Q. sideroxylla*.

### Morphological comparison of acorns between trees of the same species

#### *Quercus sideroxylla*

Table 3 shows that acorn morphology varied among individuals of the same species. Average diameter of acorns ranged from 10.54 to 13.05 mm; trees 1, 4, 5 and 7 recorded the highest values. Shell dry weight was higher for trees 7 and 10. Trees with larger mean diameter produced large acorns, while tree 3 provided the smallest acorns.

#### *Quercus rugosa*

Acorns showed morphological variation among trees; the largest acorns, defined by polar and equatorial diameter, were found in trees 10 and 7. These same trees had acorns with the highest shell weight, and tree 10 had the acorns with the highest total weight, which excelled in all variables. In contrast, trees 2 and

( $\alpha = 0.05$ ); todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS versión 9.0 (Statistical Analysis System, 2002). La relación existente entre las variables dasométricas, pendiente y exposición del arbolado con las características morfológicas de las bellotas se analizó con el coeficiente de correlación de Pearson.

## Resultados

### Comparación morfológica de la bellota entre especies

De acuerdo con el Cuadro 2, las tres especies presentaron diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) en el diámetro polar, diámetro ecuatorial, diámetro promedio y peso total. *Quercus deserticola* presentó los valores mayores, mientras que *Q. sideroxylla* obtuvo los más pequeños.

El peso de la cáscara de la bellota no presentó diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre *Q. sideroxylla* y *Q. rugosa*, pero sí con respecto a *Q. deserticola*, la cual obtuvo el valor más alto (Cuadro 2). En esta especie, el peso total de las bellotas también resultó significativamente superior que en *Q. rugosa* y *Q. sideroxylla*.

### Comparación morfológica de la bellota entre árboles de la misma especie

#### *Quercus sideroxylla*

El Cuadro 3 muestra que la morfología de las bellotas fue diferente entre individuos de la misma especie. El diámetro promedio de las bellotas varió entre 10.54 y 13.05 mm; los valores más altos se registraron en los árboles 1, 4, 5 y 7. El peso seco de la cáscara fue superior en los árboles 7 y 10. Los árboles con diámetro medio mayor produjeron bellotas grandes, mientras que el árbol 3 originó las bellotas más pequeñas.

**Table 2. Morphological comparison of acorns among *Quercus* species.**

**Cuadro 2. Comparación morfológica de la bellota entre especies de *Quercus*.**

Species/ Especie	Polar diameter (mm)/ Diámetro polar (mm)	Equatorial diameter (mm)/ Diámetro ecuatorial (mm)	Average diameter (mm)/ Diámetro promedio (mm)	Shell weight (g)/ Peso de la cáscara (g)	Total weight (g)/ Peso total (g)
<i>Q. sideroxylla</i>	13.01 ± 0.078 c	11.44 ± 0.067 c	12.23 ± 0.058 c	0.30 ± 0.009 b	0.85 ± 0.015 c
<i>Q. rugosa</i>	16.01 ± 0.139 b	12.82 ± 0.111 b	14.41 ± 0.112 b	0.39 ± 0.009 b	1.38 ± 0.035 b
<i>Q. deserticola</i>	16.74 ± 0.110 a	14.63 ± 0.093 a	15.69 ± 0.083 a	0.56 ± 0.049 a	1.94 ± 0.040 a

± standard error of the mean (n = 300). Means with different letters for the same variable are statistically different between species according to the Tukey's test ( $P < 0.05$ ).

± error estándar de la media (n = 300). Medias con letras distintas para una misma variable son estadísticamente diferentes entre especies de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ).

**Table 3. Morphological comparison of acorns among *Quercus sideroxyla* trees.****Cuadro 3. Comparación morfológica de bellotas entre árboles de *Quercus sideroxyla*.**

Tree/Árbol	Polar diameter (mm)/ Diámetro polar (mm)	Equatorial diameter (mm)/ Diámetro ecuatorial (mm)	Average diameter (mm)/ Diámetro promedio (mm)	Shell weight (g)/ Peso de la cáscara (g)	Total weight (g)/ Peso total (g)
1	14.42 ± 0.184 a	11.69 ± 0.139 b	13.05 ± 0.139 a	0.34 ± 0.017 c	0.98 ± 0.036 b
2	13.36 ± 0.115 b	11.04 ± 0.106 d	12.20 ± 0.090 b	0.27 ± 0.012 c	0.66 ± 0.020 d
3	11.56 ± 0.107 d	9.52 ± 0.099 e	10.54 ± 0.091 c	0.15 ± 0.016 d	0.51 ± 0.015 d
4	13.16 ± 0.202 b	12.44 ± 0.110 a	12.80 ± 0.136 a	0.34 ± 0.008 b	1.00 ± 0.036 b
5	14.46 ± 0.221 a	11.47 ± 0.107 c	12.96 ± 0.149 a	0.33 ± 0.019 c	0.94 ± 0.040 c
6	13.63 ± 0.167 b	10.47 ± 0.141 d	12.05 ± 0.140 b	0.20 ± 0.013 d	0.85 ± 0.023 c
7	12.77 ± 0.214 c	12.44 ± 0.169 a	12.61 ± 0.178 a	0.38 ± 0.023 a	1.11 ± 0.048 a
8	12.79 ± 0.227 c	11.40 ± 0.139 c	12.09 ± 0.140 b	0.28 ± 0.014 c	0.88 ± 0.044 c
9	12.28 ± 0.148 c	11.17 ± 0.099 c	11.72 ± 0.093 b	0.26 ± 0.008 c	0.65 ± 0.023 d
10	11.71 ± 0.172 d	12.78 ± 0.159 a	12.24 ± 0.151 b	0.44 ± 0.030 a	0.97 ± 0.044 b

± standard error of the mean (n = 30). Means with different letters for the same variable are statistically different according to the Tukey's test ( $P < 0.05$ ).

± error estándar de la media (n = 30). Medias con letras distintas para una misma variable son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ).

9 produced the acorns with the lowest diameter and total dry weight (Table 4).

#### *Quercus deserticola*

Table 5 indicates that the morphological variables had statistical differences ( $P < 0.05$ ) except for shell weight. Trees 7 and 10 had acorns with higher diameter, being the largest and heaviest; on the other hand, tree 2 had the smallest average diameter and is part of the group of trees with acorns with lower total weight.

#### Correlation between acorn weight and tree characteristics

Based on Figure 1, in the three oak species, the Pearson's correlation showed a higher relationship of acorn weight with crown diameter and diameter at breast height, while the relationship with slope and tree exposure was lower.

Figures 2, 3 and 4 show intervals of the categories for diameter at breast height, crown diameter and slope on the horizontal axis, to graphically represent the development of acorn weight. The highest weights of *Q. rugosa* and *Q. deserticola* were found in crown diameters lower than 11 m, while *Q. sideroxyla* was distributed similarly in all categories unlike *Q. deserticola* (Figure 2).

As for diameter at breast height, the highest weights of *Q. rugosa* were found in diameters lower than 50 cm, while for *Q. deserticola* this occurred in higher diameters;

#### *Quercus rugosa*

Las bellotas presentaron variación morfológica entre árboles; las de mayor tamaño, definido por el diámetro polar y ecuatorial, se encontraron en los árboles 10 y 7. Estos mismos árboles tuvieron bellotas con mayor peso de la cáscara y las de mayor peso total fueron las del árbol 10, el cual sobresalió en todas las variables. En contraste, los árboles 2 y 9 produjeron las bellotas con menor diámetro y peso total (Cuadro 4).

#### *Quercus deserticola*

El Cuadro 5 indica que las variables morfológicas presentaron diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) con excepción del peso de la cáscara. El árbol 7 y 10 tuvieron bellotas con mayor diámetro, siendo las más grandes y pesadas; por otro lado, el árbol 2 presentó el menor diámetro promedio y forma parte del grupo de árboles con bellotas de menor peso total.

#### Correlación entre peso de la bellota y características del arbolado

Con base en la Figura 1, en las tres especies de encinos, la correlación de Pearson mostró mayor relación del peso de la bellota con el diámetro de copa y diámetro normal, mientras que la relación con la pendiente y exposición del arbolado fue menor.

Las Figuras 2, 3 y 4 muestran los intervalos de las categorías para las variables diámetro normal, diámetro de copa y pendiente en el eje horizontal,

**Table 4. Morphological comparison of acorns among *Quercus rugosa* trees.**  
**Cuadro 4. Comparación morfológica de bellotas entre árboles de *Quercus rugosa*.**

Tree/ Árbol	Polar diameter (mm)/ Diámetro polar (mm)	Equatorial diameter (mm)/ Diámetro ecuatorial (mm)	Average diameter (mm)/ Diámetro promedio (mm)	Shell weight (g)/ Peso de la cáscara (g)	Total weight (g)/ Peso total (g)
1	14.45 ± 0.224 c	12.32 ± 0.122 c	13.38 ± 0.150 d	0.37 ± 0.022 c	1.07 ± 0.042 d
2	13.86 ± 0.204 d	10.97 ± 0.140 e	12.41 ± 0.132 e	0.35 ± 0.012 c	0.66 ± 0.026 e
3	16.62 ± 0.545 b	14.54 ± 0.299 a	15.58 ± 0.401 b	0.41 ± 0.022 b	1.70 ± 0.114 b
4	15.88 ± 0.255 b	13.15 ± 0.216 c	14.51 ± 0.194 c	0.39 ± 0.020 c	1.37 ± 0.057 c
5	16.41 ± 0.226 b	14.21 ± 0.181 b	15.31 ± 0.177 b	0.39 ± 0.013 c	1.82 ± 0.056 b
6	12.96 ± 0.195 d	12.18 ± 0.110 d	12.57 ± 0.117 d	0.31 ± 0.009 d	0.97 ± 0.031 d
7	18.66 ± 0.261 a	14.22 ± 0.204 b	16.44 ± 0.215 a	0.50 ± 0.031 a	1.98 ± 0.074 b
8	16.84 ± 0.248 b	10.74 ± 0.174 e	13.79 ± 0.134 c	0.39 ± 0.020 c	1.05 ± 0.038 d
9	15.21 ± 0.232 c	10.51 ± 0.163 e	12.86 ± 0.167 d	0.24 ± 0.009 d	0.87 ± 0.036 e
10	19.23 ± 0.247 a	15.33 ± 0.213 a	17.28 ± 0.186 a	0.52 ± 0.019 a	2.26 ± 0.085 a

± standard error of the mean (n = 30). Means with different letters for the same variable are statistically different according to the Tukey's test ( $P < 0.05$ ).

± error estándar de la media (n = 30). Medias con letras distintas para una misma variable son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ).

**Table 5. Morphological comparison of acorns among *Quercus deserticola* trees.**  
**Cuadro 5. Comparación morfológica de bellotas entre árboles de *Quercus deserticola*.**

Tree/ Árbol	Polar diameter (mm)/ Diámetro polar (mm)	Equatorial diameter (mm)/ Diámetro ecuatorial (mm)	Average diameter (mm)/ Diámetro promedio (mm)	Shell weight (g)/ Peso de la cáscara (g)	Total weight (g)/ Peso total (g)
1	15.69 ± 0.277 d	14.32 ± 0.216 c	15.01 ± 0.195 d	0.51 ± 0.035 a	1.66 ± 0.077 e
2	15.80 ± 0.289 d	13.34 ± 0.266 e	14.57 ± 0.196 e	0.89 ± 0.048 a	1.39 ± 0.060 e
3	15.77 ± 0.270 d	14.76 ± 0.170 c	15.26 ± 0.175 c	0.46 ± 0.037 a	1.69 ± 0.073 e
4	16.53 ± 0.307 c	13.94 ± 0.220 d	15.24 ± 0.197 c	0.42 ± 0.022 a	1.45 ± 0.066 e
5	17.66 ± 0.422 b	14.58 ± 0.274 c	16.12 ± 0.318 b	0.56 ± 0.018 a	1.90 ± 0.070 c
6	16.24 ± 0.318 d	13.80 ± 0.193 d	15.02 ± 0.221 d	0.40 ± 0.012 a	1.45 ± 0.077 e
7	16.34 ± 0.324 c	17.57 ± 0.244 a	16.96 ± 0.254 a	0.75 ± 0.057 a	2.87 ± 0.107 a
8	16.99 ± 0.299 c	14.07 ± 0.178 d	15.53 ± 0.221 c	0.39 ± 0.031 a	1.87 ± 0.080 d
9	17.68 ± 0.328 b	14.86 ± 0.217 b	16.27 ± 0.232 b	0.53 ± 0.027 a	2.24 ± 0.098 b
10	18.69 ± 0.214 a	15.07 ± 0.203 b	16.88 ± 0.187 a	0.67 ± 0.034 a	2.85 ± 0.119 a

± standard error of the mean (n = 30). Means with different letters for the same variable are statistically different according to the Tukey's test ( $P < 0.05$ ).

± error estándar de la media (n = 30). Medias con letras distintas para una misma variable son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ).

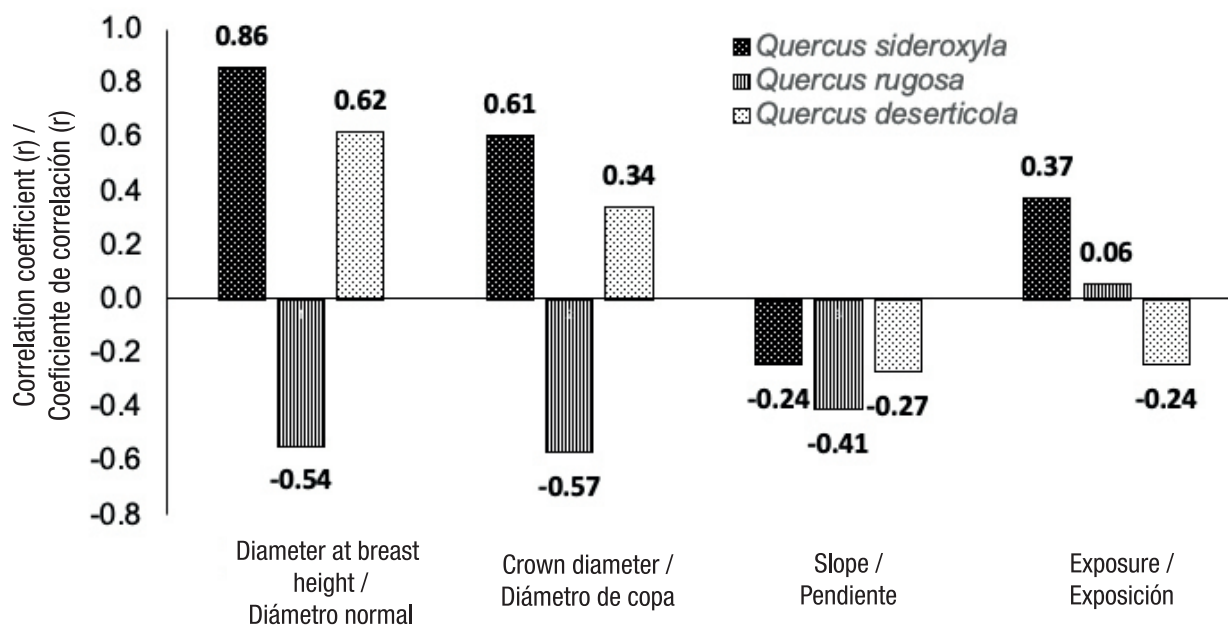


Figure 1. Pearson correlation coefficients (r) between acorn weight and tree-size measurements, slope and tree exposure.

Figura 1. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre el peso de la bellota y las variables dasométricas, pendiente y exposición del arbolado.

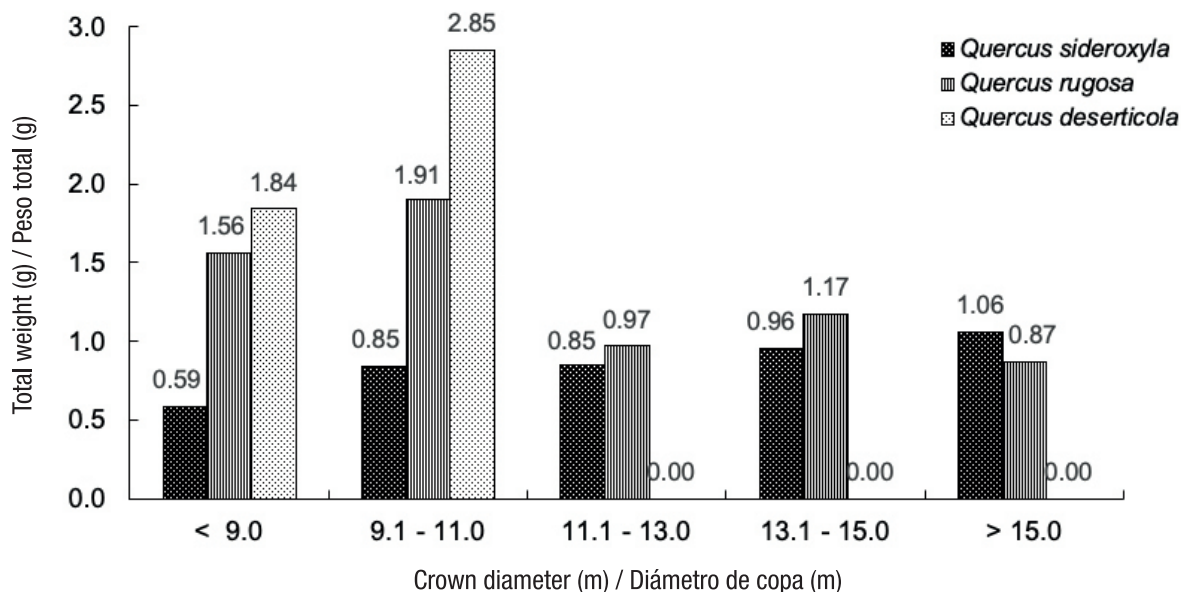


Figure 2. Distribution of weights among crown diameters of the three *Quercus* species studied.

Figura 2. Distribución de los pesos de las bellotas entre los diámetros de copa de las tres especies estudiadas de *Quercus*.



*Q. sideroxylla* distribution in diameters smaller than 30 cm was null (Figure 3). Regarding slope, the highest weights of *Q. rugosa* were recorded in trees growing on slopes lower than 16 %, while in *Q. deserticola* on slopes lower than 10 % (Figure 4). Regarding exposure, the three oak species had the highest weights in trees growing in the southeast (Figure 5).

### Physicochemical characteristics of mature and green acorns

Moisture and dry matter had no statistical differences ( $P > 0.05$ ) among species, but the chemical variables ash, ethereal extract, crude fiber, crude protein and tannins had statistical differences among species for the two acorn maturity conditions (mature and green). Crude protein was similar among species ( $P > 0.05$ ) for mature acorns.

Regarding the differences between mature and green acorns of the same species, it was found that there were no differences in moisture, dry matter, crude fiber and tannins for the three species under study. For the rest of the variables, *Q. rugosa* showed differences in ash and ethereal extract, *Q. sideroxylla* in crude protein and *Q. deserticola* in ash (Table 6).

### Discussion

The size of oak acorns is strongly related to precipitation, altitude and temperature (Koenig & Knops, 2013; Pesendorfer et al., 2014). On the other hand, the genetic condition of the species has a strong influence

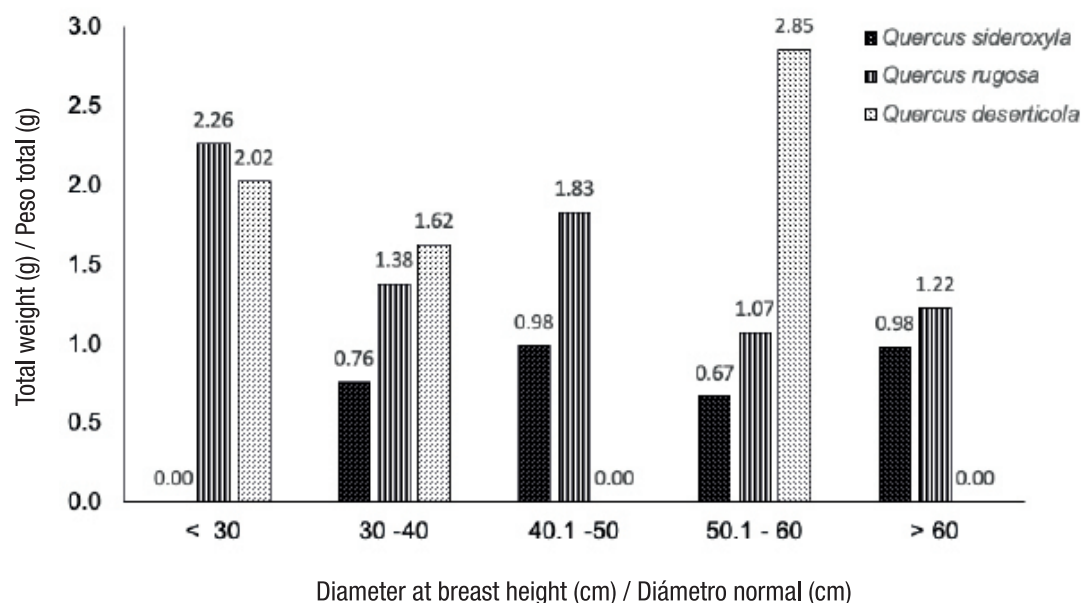
para representar de manera gráfica el comportamiento del peso de las bellotas. Los pesos mayores de *Q. rugosa* y *Q. deserticola* se encontraron en diámetros de copa menores de 11 m, mientras que *Q. sideroxylla* se distribuyó de manera similar en todas las categorías a diferencia de *Q. deserticola* (Figura 2).

Con respecto al diámetro normal, los pesos mayores de *Q. rugosa* se encontraron en diámetros menores de 50 cm, mientras que en *Q. deserticola* esto sucedió en los diámetros mayores; la distribución de *Q. sideroxylla* en diámetros menores de 30 cm fue nula (Figura 3). Referente a la pendiente, los pesos mayores de *Q. rugosa* se registraron en árboles que crecen en pendientes menores de 16 %, mientras que en *Q. deserticola* en pendientes menores de 10 % (Figura 4). En cuanto a la exposición, las tres especies de encino tuvieron los pesos mayores en los árboles que crecen en el sureste (Figura 5).

### Caracterización fisicoquímica de las bellotas maduras y verdes

En las dos condiciones de madurez de la bellota (madura y verde), la humedad y la materia seca no presentaron diferencias estadísticas ( $P > 0.05$ ) entre especies, pero las variables químicas cenizas, extracto etéreo, fibra cruda, proteína cruda y taninos sí. En las bellotas maduras, la proteína cruda fue similar entre especies ( $P > 0.05$ ).

Con respecto a las diferencias entre bellotas maduras y verdes de una misma especie, se encontró que



**Figure 3. Distribution of weights among categories diameter at breast height of the three *Quercus* species studied.**  
**Figura 3. Distribución de los pesos de las bellotas entre las categorías de diámetro normal de las tres especies estudiadas de *Quercus*.**

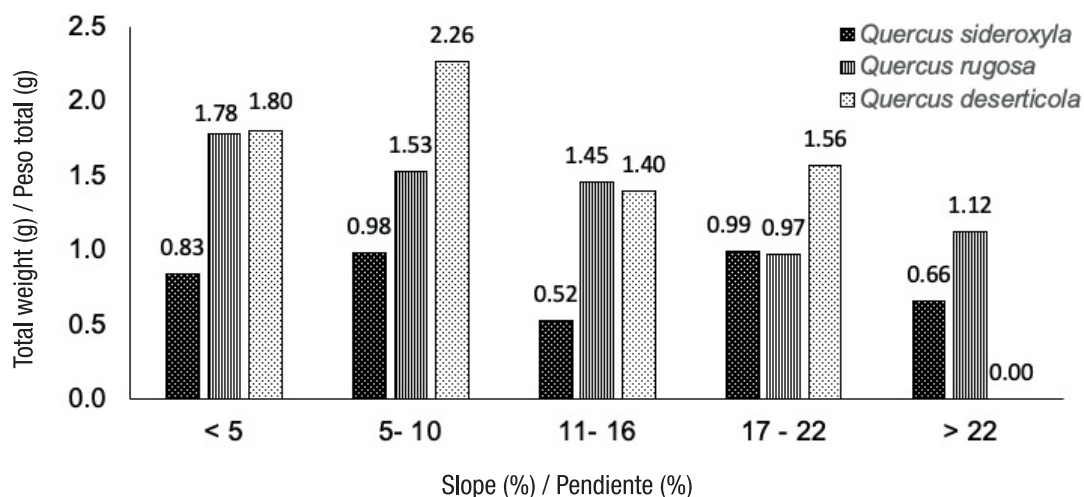


Figure 4. Distribution of seed weights of the species studied among slopes of collection sites in the state of Durango.

Figura 4. Distribución de los pesos de la semilla de las especies estudiadas entre las pendientes de los sitios de colecta en el estado de Durango.

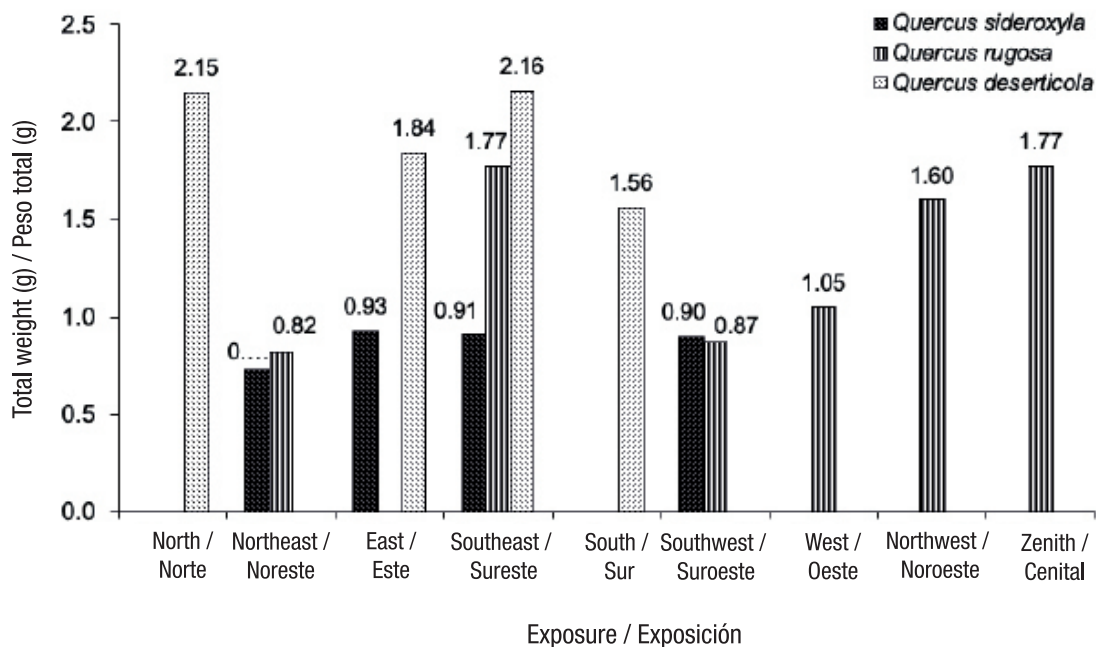


Figure 5. Distribution of seed weights of the species studied among exposures of collection sites in the state of Durango.

Figura 5. Distribución de los pesos de la semilla de las especies estudiadas entre las exposiciones de los sitios de colecta en el estado de Durango.

Table 6. Physicochemical comparison of acorns in *Quercus* species.Cuadro 6. Comparación físicoquímica de las bellotas en especies de *Quercus*.

Physicochemical variables/ Variables físicoquímicas	<i>Q. sideroxylla</i>		<i>Q. rugosa</i>		<i>Q. deserticola</i>	
	Mature/ Madura	Green/ Verde	Mature/ Madura	Green/ Verde	Mature/ Madura	Green/ Verde
Moisture (%)/ Humedad (%)	3.09 ± 0.24 A-a	2.99 ± 0.47 A-a	3.95 ± 0.38 A-a	4.33 ± 0.51 A-a	3.99 ± 0.26 A-a	4.26 ± 1.09 A-a
Dry matter (%)/ Materia seca (%)	96.92 ± 0.24 A-a	97.01 ± 0.47 A-a	96.05 ± 0.38 A-a	95.67 ± 0.51 A-a	96.01 ± 0.26 A-a	95.74 ± 1.09 A-a
Ash (%)/ Cenizas (%)	2.29 ± 0.12 A-a	2.14 ± 0.14 C-a	1.93 ± 0.10 B-b	3.73 ± 0.12 A-a	2.26 ± 0.05 A-b	2.64 ± 0.11 B-a
Ether extract (%)/ Extracto etéreo (%)	8.88 ± 1.01 A-a	9.68 ± 1.04 A-a	4.65 ± 1.29 B-a	2.01 ± 0.49 B-b	2.72 ± 0.31 B-a	2.46 ± 0.22 B-a
Crude fiber (%)/ Fibra cruda (%)	26.38 ± 1.01 A-a	25.82 ± 0.93 A-a	25.49 ± 3.41 A-a	25.41 ± 2.24 A-a	15.50 ± 0.53 B-a	14.33 ± 0.69 B-a
Crude protein (%)/ Proteína cruda (%)	8.40 ± 0.37 A-a	6.47 ± 0.04 B-b	6.94 ± 0.48 A-a	7.85 ± 0.70 A-a	7.73 ± 0.40 A-a	7.33 ± 0.26 A-a
Tannins (%)/ Taninos (%)	0.30 ± 0.04 B-a	0.67 ± 0.33 B-a	1.28 ± 0.23 A-a	1.84 ± 0.54 A-a	0.94 ± 0.04 A-a	0.81 ± 0.05 A-a

± standard error of the mean (n = 300). Means with different letters for the same variable are statistically different according to the Tukey's test ( $P < 0.05$ ); capital letters indicate difference between species, small letters between degree of maturity of the same species.

± error estándar de la media (n = 300). Medias con letras distintas para una misma variable son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ); mayúscula indica diferencia entre especies, minúscula entre grados de madurez de una misma especie.

on acorn morphology (Shi, Villar-Salvador, Li, & Jiang, 2019); the above agrees with this research, because significant differences in the morphology of acorns of each species were found, despite inhabiting sites with similar characteristics. Another determinant factor may be the subgenus of the species studied, in this case, *Q. rugosa* and *Q. deserticola* belong to the subgenus *Leucobalanus*, commonly known as white oaks, while *Q. sideroxylla* belongs to the subgenus *Erythrobalanus* of the red oak group (de la Paz-Pérez & Dávalos-Sotelo, 2008). In this regard, Rubio-Licon et al. (2011) found that white oaks tend to generate larger acorns compared to red oaks, which coincides with that found in this research, since *Q. rugosa* and *Q. deserticola* had larger acorns than *Q. sideroxylla*.

*Q. sideroxylla* showed significant differences in morphology of acorns of its individuals (Table 3). The size was negatively influenced by the slope of the land, since the trees located on land with slopes lower than 10 % produced larger acorns (Figure 4). This can be attributed to the greater amount of organic matter on the soil, as opposed to the slopes that have soils with less organic matter (Rodríguez-Estévez, García-Martínez, Mata-Moreno, Perea-Muñoz, & Gómez-Castro, 2008).

en la humedad, materia seca, fibra cruda y taninos no existieron diferencias en las tres especies bajo estudio. En el resto de las variables, *Q. rugosa* presentó diferencias en cenizas y extracto etéreo, *Q. sideroxylla* en proteína cruda y *Q. deserticola* en cenizas (Cuadro 6).

## Discusión

El tamaño de las bellotas de encino se encuentra fuertemente relacionado con la precipitación, altitud y temperatura (Koenig & Knops, 2013; Pesendorfer et al., 2014). Por otra parte, la condición genética de las especies tiene influencia fuerte sobre la morfología de las bellotas (Shi, Villar-Salvador, Li, & Jiang, 2019); lo anterior, concuerda con esta investigación, ya que existieron diferencias notables en la morfología de las bellotas de cada especie, pese a que habitan en sitios con características similares. Otro factor de influencia puede ser el subgénero al que pertenecen las especies estudiadas, en este caso *Q. rugosa* y *Q. deserticola* pertenecen al subgénero *Leucobalanus*, comúnmente conocidos como encinos blancos, mientras que *Q. sideroxylla* pertenece al subgénero *Erythrobalanus* del grupo de encinos rojos (de la Paz-Pérez & Dávalos-Sotelo, 2008). Al respecto, Rubio-Licon et al. (2011) encontraron que los encinos blancos tienden a generar

*Q. rugosa* also had variation in acorn morphology among individuals, which was related to crown diameter, diameter at breast height and slope (Table 4; Figure 1); the largest acorns were found in trees with crown diameters lower than 11 m (Figure 2), diameter at breast height lower than 50 cm (Figure 3) and slopes lower than 16 % (Figure 4). For crown diameter, Martíník, Dobrovolný, and Palátová (2014) mention that trees with larger crown size have more resources available for acorn production; however, although quantity increases, size decreases. For tree slope and diameter, results coincide with those showed by Alejano, Vázquez-Piqué, Carevic, and Fernández (2011).

*Q. deserticola* also showed significant differences among acorns of trees studied (Table 5). There is a relationship between acorn weight and diameter at breast height, crown diameter, slope and exposure (Figure 1); the largest acorns were found in trees with crown diameter lower than 11 m (Figure 2), with diameter at breast height between 50 and 60 cm (Figure 3), slopes lower than 10 % (Figure 4) and grown in southeast exposure (Figure 5).

With the information mentioned above, it can be said that the weight of acorns in trees of the same species is influenced by the crown diameter of the tree (Pourhashemi, Dey, Mehdifar, Panahi, & Zandebasiri, 2018), since trees with small crowns produce large acorns, as they have the resources available; González and Parrado (2010) attributed these differences to the properties of soils where species grow. Another factor is the exposure of acorns; Alejano et al. (2011) indicate that acorns are larger in southern exposure because solar radiation is almost six times greater than in the northern exposure, which causes greater moisture loss and forces the tree to produce larger acorns to ensure regeneration (Mazzola, Kin, Morici, Bainec, & Tamborini, 2008).

The physical variables of moisture and dry matter showed no significant differences between degree of maturity and species. For chemical composition, species had differences in the amount of ash, ethereal extract, fiber, crude tannins and protein, which coincides with that reported by Rababah et al. (2008). On the other hand, degree of maturity influenced ash and ethereal extract content in *Q. rugosa*, ash content in *Q. deserticola* and crude protein in *Q. sideroxylla*. For the latter, variation is attributed to the fact that as acorn matures, protein levels decline and carbohydrate content increases (Belghith et al., 2015). In the case of green acorns, no research was found where values were reported that would make it possible to compare them with the results obtained here.

bellotas más grandes en comparación con los encinos rojos, lo cual coincide con lo encontrado en esta investigación, ya que *Q. rugosa* y *Q. deserticola* tuvieron bellotas más grandes que *Q. sideroxylla*.

En *Q. sideroxylla* existieron diferencias significativas en la morfología de las bellotas de los individuos que la integran (Cuadro 3). El tamaño se vio influenciado negativamente por la pendiente del terreno, ya que los árboles ubicados en terrenos con pendientes menores de 10 % produjeron bellotas más grandes (Figura 4). Lo anterior, puede ser atribuido a la mayor cantidad de materia orgánica presente en el suelo, a diferencia de las laderas que tienen suelos con menor materia orgánica (Rodríguez-Estévez, García-Martínez, Mata-Moreno, Perea-Muñoz, & Gómez-Castro, 2008).

La especie *Q. rugosa* también presentó variación en la morfología de bellotas entre individuos, la cual estuvo relacionada con el diámetro de copa, diámetro normal y pendiente (Cuadro 4; Figura 1); las bellotas más grandes se encontraron en árboles con diámetros de copa menores de 11 m (Figura 2), diámetro normal menor de 50 cm (Figura 3) y pendientes menores de 16 % (Figura 4). Con respecto al diámetro de copa, Martíník, Dobrovolný, y Palátová (2014) mencionan que los árboles con tamaño mayor de copa disponen de mayor cantidad de recursos para la producción de bellotas; sin embargo, aunque la cantidad incrementa, el tamaño disminuye. Con respecto a la pendiente y diámetro del árbol, los resultados coinciden con lo presentado por Alejano, Vázquez-Piqué, Carevic, y Fernández (2011).

*Q. deserticola* también presentó diferencias significativas entre las bellotas de los árboles estudiados (Cuadro 5). Existe relación entre el peso de la bellota con el diámetro normal, diámetro de copa, pendiente y exposición (Figura 1); las bellotas más grandes se encontraron en los árboles con diámetro de copa menores de 11 m (Figura 2), con diámetro normal entre 50 y 60 cm (Figura 3), pendientes menores de 10 % (Figura 4) y crecieron en exposición sureste (Figura 5).

Con lo expuesto anteriormente, se puede decir que el peso de las bellotas en árboles de la misma especie está influenciado por el diámetro de copa del árbol (Pourhashemi, Dey, Mehdifar, Panahi, & Zandebasiri, 2018), ya que árboles con copa pequeña producen bellotas grandes, al contar con los recursos disponibles para hacerlo; González y Parrado (2010) atribuyeron esas diferencias a las propiedades de los suelos en donde las especies crecen. Otro factor es la exposición en que se encuentran las bellotas; Alejano et al. (2011) indican que las bellotas son más grandes en exposición sur. Esto se debe a que la radiación solar es casi seis veces mayor que en la exposición norte, lo cual origina mayor pérdida de humedad y esfuerzo al árbol a que produzca



Mature acorns of *Q. rugosa* had the highest tannin content (1.28 %) including pulp and shell, with a value close to that of *Q. ilex* L. (1.4 %), which is the species most used in swine feed (Rodríguez-Estévez et al., 2008). In general, the tannin content of the three species is lower than in European oaks (Kamalak et al., 2015), so the Mexican species can be considered as livestock feed, because the low levels prevent the protein from degrading rapidly in the rumen.

Acorns of *Q. rugosa* and *Q. deserticola* had fat content of less than 5 %, which is in agreement with that reported by Akcan, Gökçe, Asensio, Estévez, and Morcuende (2017) for *Q. ithaburensis* Decne (1.27 %), Rababah et al. (2008) for *Q. calliprinos* Webb (2.71 %) and Kamalak et al. (2015) on *Q. coccifera* L. (4.50 %). *Quercus sideroxylla* had 8.88 % which was lower than that reported by Valero-Galván et al. (2011) for *Q. ilex* subsp. *ballota* Samp. (11.34 %); these differences may be attributed to genetic factors and environmental conditions of the site.

As for ash content, *Q. rugosa* (1.93 %), *Q. deserticola* (2.26 %) and *Q. sideroxylla* (2.29 %) had values similar to those reported by Rababah et al. (2008) for *Q. calliprinos* (1.91 %) and by Kamalak et al. (2015) for *Q. coccifera* L. (2.36 %); lower than those reported by Kilic, Boga, and Guven (2010) for *Quercus robur* L. (3.2 %); and higher than those obtained by Valero-Galván et al. (2011) for *Q. ilex* subsp. *ballota* (1.73 %). In these studies, differences between species are attributed to growth conditions, genotype, acorn maturity and environmental effects.

The percentage of acorn protein in the evaluated species exceed 4.62 % for *Q. ilex* subsp. *ballota* (Valero-Galván, et al., 2011), 2.35 % for *Q. ithaburensis*, 3.46 % for *Q. calliprinos* (Rabahah et al., 2008) and 4.23 % for *Q. coccifera* (Kamalak et al., 2015). The difference can be attributed to the species and growing conditions.

## Conclusions

Significant differences were found in the morphology of acorns of each species, even though they inhabit sites with similar characteristics; *Q. deserticola* produced acorns with the largest diameter and weight. Within species, acorns had morphological differences among trees, which were associated with diameter at breast height and crown diameter. Moisture content, dry matter, crude fiber and tannins were similar between mature and green acorns. In contrast, mature acorns had higher contents of ethereal extract and protein, and lower ash content. This study shows that Mexican oak acorns can be used as a feed supplement for livestock and, in the future, for pharmaceutical purposes, which would provide added value to this non-timber product that currently has no reported use. It is recommended to continue with research to determine micronutrients, macronutrients and

bellotas más grandes para asegurar su regeneración (Mazzola, Kin, Morici, Bainec, & Tamborini, 2008).

Las variables físicas de humedad y materia seca no presentaron diferencias significativas entre el grado de maduración y especies. Con respecto a la composición química, las especies tuvieron diferencias en la cantidad de cenizas, extracto etéreo, fibra, taninos y proteína crudas, lo que coincide con lo reportado por Rababah et al. (2008). Por otra parte, el grado de madurez influyó en el contenido de ceniza y extracto etéreo de *Q. rugosa*, contenido de ceniza en *Q. deserticola* y proteína cruda en *Q. sideroxylla*. En esta última, la variación se atribuye a que conforme la bellota madura, los niveles de proteína declinan y el contenido de carbohidratos aumenta (Belghith et al., 2015). En el caso de las bellotas verdes, no se encontraron investigaciones donde se informen valores que hagan posible la comparación con los resultados aquí obtenidos.

Las bellotas maduras de *Q. rugosa* tuvieron el contenido más alto de taninos (1.28 %) incluyendo pulpa y cáscara, siendo un valor cercano al de *Q. ilex* L. (1.4 %), que es la especie más utilizada en la alimentación de ganado porcino (Rodríguez-Estévez et al., 2008). En general, el contenido de taninos de las tres especies es menor que en encinos europeos (Kamalak et al., 2015), por lo que las especies mexicanas pueden ser consideradas como alimento para ganado, debido a que los niveles bajos evitan que la proteína se degrade rápidamente en el rumen.

Las bellotas de *Q. rugosa* y *Q. deserticola* obtuvieron un contenido de grasa menor de 5 %, lo que coincide con lo reportado por Akcan, Gökçe, Asensio, Estévez, y Morcuende (2017) en *Q. ithaburensis* Decne (1.27 %), Rababah et al. (2008) en *Q. calliprinos* Webb (2.71 %) y Kamalak et al. (2015) en *Q. coccifera* L. (4.50 %). *Quercus sideroxylla* tuvo 8.88 % que fue menor que lo reportado por Valero-Galván et al. (2011) en *Q. ilex* subsp. *ballota* Samp. (11.34 %); estas diferencias pueden ser atribuidas a factores genéticos y a las condiciones ambientales del lugar.

En cuanto al contenido de cenizas, *Q. rugosa* (1.93 %), *Q. deserticola* (2.26 %) y *Q. sideroxylla* (2.29 %) tuvieron valores similares a los reportados por Rababah et al. (2008) en *Q. calliprinos* (1.91 %) y por Kamalak et al. (2015) en *Q. coccifera* L. (2.36 %); menores que los reportados por Kilic, Boga, y Guven (2010) en *Quercus robur* L. (3.2 %); y superiores a los obtenidos por Valero-Galván et al. (2011) para *Q. ilex* subsp. *ballota* (1.73 %). En dichos estudios, las diferencias entre especies son atribuidas a las condiciones de crecimiento, genotipo, madurez de las bellotas y efectos del medio ambiente.

El porcentaje de proteína de las bellotas en las especies evaluadas superan a 4.62 % en *Q. ilex* subsp. *ballota*



antioxidants to contribute to the knowledge of the chemical composition of Mexican acorns.

### Acknowledgments

The first author thanks to CONACYT for the scholarship granted to complete his master's studies. The authors of this paper thank the staff of the Herbarium of the Centro de Investigaciones Interdisciplinarias para el Desarrollo Integral, Unidad Durango (CIIDIR-IPN-Durango) for their support in the identification of the species used in this research.

### End of English version

### References / Referencias

- Alejano, R., Vázquez-Piqué, J., Carevic, F., & Fernández, M. (2011). Do ecological and silvicultural factors influence acorn mass in Holm oak (southwestern Spain). *Agroforest System*, 83(1), 25–39. doi: 10.1007/s10457-011-9369-4
- Akcan, T., Gökçe, R., Asensio, M., Estévez, M., & Morcuende, D. (2017). Acorn (*Quercus* spp.) as a novel source of oleic acid and tocopherols for livestock and humans: discrimination of selected species from Mediterranean forest. *Journal of Food Science and Technology*, 54(10), 3050–3057. doi: 10.1007/s13197-017-2740-3
- Arizaga, S., Martínez-Cruz, J., Salcedo-Cabrales, M., & Bello-González, M. A. (2009). *Manual de la biodiversidad de encinos michoacanos*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Barrientos-Ramírez, L., Vargas-Radillo, J. J., Rodríguez-Rivas, A., Ochoa-Ruiz, H. G., Navarro-Arzate, F., & Zorrilla, J. (2012). Evaluación de las características del fruto de huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd.) para su posible uso en curtiduría o alimentación animal. *Madera y Bosques*, 18(3), 23–35. doi: 10.21829/myb.2012.183356
- Belghith, I. S., Abidi, H., Trabelsi-Ayadi, M., & Chérif, J. K. (2015). Study of physicochemical characteristics and antioxidant capacity of cork oak acorns (*Quercus suber* L.) grown in three regions in Tunisia. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 5(4), 26–32. doi: 10.7324/JAPS.2015.50405
- Carbonero, M. D., & Fernández-Rebollo, P. (2014). Dehesas de encinas. Influencia de la meteorología en la producción de bellotas. *Ecosistemas*, 23(2), 55–63. doi: 10.7818/ECOS.2014.23-2.08
- Cunniff, P. (1995). *Official methods of analysis of AOAC international* (vol. II, 16th ed.). Washington, D. C., U.S.A: Association of Official Analytical Chemist International (AOAC).
- de la Paz-Pérez, O. C., & Dávalos-Sotelo, R. (2008). Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y Bosques*, 14(3), 43–80. doi: 10.21829/myb.2008.1431206

(Valero-Galván, et al., 2011), 2.35 % en *Q. ithaburensis*, 3.46 % en *Q. calliprinos* (Rababah et al., 2008) y 4.23 % en *Q. coccifera* (Kamalak et al., 2015). La diferencia puede ser atribuida a la especie y condiciones de crecimiento.

### Conclusiones

Existen diferencias notables en la morfología de las bellotas de cada especie, pese a que habitan en sitios con características similares; *Q. deserticola* produjo las bellotas de mayor diámetro y peso. Dentro de las especies, las bellotas tuvieron diferencias morfológicas entre árboles, lo cual se asoció al diámetro normal y diámetro de copa. El contenido de humedad, materia seca, fibra cruda y taninos fue similar entre las bellotas maduras y verdes. En cambio, las bellotas maduras tuvieron mayor contenido de extracto etéreo y proteína, y menor contenido de cenizas. Este estudio muestra que las bellotas de encinos mexicanos pueden utilizarse como complemento alimenticio del ganado y, en un futuro, para fines farmacéuticos, lo que aportaría un valor agregado a este producto no maderable que actualmente no tiene alguna utilidad registrada. Se recomienda continuar con investigaciones que determinen los micronutrientes, macronutrientes y antioxidantes, para contribuir al conocimiento de la composición química de las bellotas mexicanas.

### Agradecimientos

El primer autor expresa su agradecimiento al CONACYT por la beca otorgada para culminar los estudios de maestría. Agradecemos al personal del Herbario del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias para el Desarrollo Integral, Unidad Durango (CIIDIR-IPN-Durango) por el apoyo brindado para la identificación de las especies utilizadas en esta investigación.

### Fin de la versión en español

- Gea-Izquierdo, G., Cañellas, I., & Montero, G. (2006). Acorn production in Spanish holm oak woodlands. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 15(3), 339–354. doi: 10.5424/srf/2006153-00976
- Gómez, J. M. (2004). Bigger is not always better: conflicting selective pressures on seed size in *Quercus ilex*. *Evolution*, 58(1), 71–80. doi: 10.1554/02-617
- González, M. A., & Parrado, R. A. (2010). Diferencias en la producción de frutos del roble *Quercus humboldtii* Bonpl. en dos bosques andinos de la cordillera oriental colombiana. *Revista Colombia Forestal*, 13(1), 141–162. doi: 10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2010.1.a06
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-González, L., & López-Enríquez, L. (2012). Vegetación de la Sierra Madre Occidental,

- México: Una síntesis. *Acta Botánica Mexicana*, 100, 351–403. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/abm/n100/n100a12.pdf>
- Howard, C. B. (2008). *Estadística paso a paso* (3.ª ed.). México: Trillas.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI). (2020). Uso de suelo y vegetación. Retrieved April 7, 2020 from <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/>
- Kamalak, A., Hassan, K. G., Ameen, S. M., Zebari, H. M., Hasan, A. H., & Aslan, F. (2015). Determination of chemical composition, potential nutritive value and methane emission of oak tree (*Quercus coccifera*) leaves and nuts. *Harran Üniv Vet Fak Derg*, 4(1), 1–5. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/308495>
- Kilic, U., Boga, M., & Guven, I. (2010). Chemical composition and nutritive value of oak (*Quercus robur*) nut and leaves. *Journal of Applied Animal Research*, 38(1), 101–104. doi: 10.1080/09712119.2010.9707165
- Koenig, W. D., & Knops, J. M. H. (2013). Large-scale spatial synchrony and cross-synchrony in acorn production by two California oaks. *Ecology*, 94(1), 83–93. doi: 10.1890/12-0940.1
- Korus, J., Witzcak, M., Ziobro, R., & Juszczak, L. (2015). The influence of acorn flour on rheological properties of gluten-free dough and physical characteristics of the bread. *European Food Research and Technology*, 240(6), 1135–1143. doi: 10.1007/s00217-015-2417-y
- Makkar, H. P. S. (2003). *Quantification of tannins in tree and shrub foliage: A laboratory manual*. Amsterdam, Netherland: Springer Netherlands.
- Martiník, A., Dobrovolný, L., & Palátová, E. (2014). The growing space and acorn production of *Quercus robur*. *Dendrobiology*, 71, 101–108. doi: 10.12657/denbio.071.010
- Mazzola, M. B., Kin, A. G., Morici, E. F., Babinec, F. J., & Tamborini, G. (2008). Efecto del gradiente altitudinal sobre la vegetación de las sierras de Lihue Calel (La Pampa, Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 43(1-2), 103–119. Retrieved from <https://botanicaargentina.org.ar/wp-content/uploads/2017/05/Mazzola.pdf>
- Media Cybernetics. (2002). Image-Pro Plus 4.5 Application notes. Silver Spring: Author.
- Pesendorfer, M. B., Langin, K. M., Cohen, B., Principe, Z., Morrison, S. A., & Sillet, T. S. (2014). Stand structure and acorn production of the Island Scrub oak (*Quercus pacifica*). *Monographs of the Western North American Naturalist*, 7(1), 246–259. doi: 10.3398/042.007.0119
- Pourhashemi, M., Dey, D. C., Mehdifar, D., Panahi, P., & Zandebasiri, M. (2018). Evaluating acorn crops in an oak-dominated stand to identify good acorn producers. *Austrian Journal of Forest Science*, 35(3), 213–234. Retrieved from <https://www.forestsience.at/artikel/2018/3/analyse-der-eichelernte.html>
- Rababah, T. M., Ereifej, K. I., Al-Mahasneh, M. A., Alhamad, M. N., Alrababah, M. A., & Muhammad, A. H. (2008). The physicochemical composition of acorns for two mediterranean *Quercus* species. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 4(2), 131–137. Retrieved from <https://journals.ju.edu.jo/JJAS/article/view/1011/6054>
- Rodríguez-Estévez, V. A., García-Martínez, A. C., Mata-Moreno, C., Perea-Muñoz, J. M., & Gómez-Castro, A. G. (2008). Dimensiones y características nutritivas de las bellotas de los *Quercus* de la dehesa. *Revista Archivos de Zootecnia*, 57, 1–12. Retrieved from [http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/az.php?idioma\\_gloabal=0&revisiones=143&codigo=1635](http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/az.php?idioma_gloabal=0&revisiones=143&codigo=1635)
- Romahn de la V. C. F., & Ramírez, M. H. (2010). *Dendrometría*. Texcoco, Estado de México: Universidad Autónoma Chapingo. Retrieved from <http://dicifo.chapingo.mx/pdf/publicaciones/dendrometría.pdf>
- Rubio-Licona, L. E., Romero-Rangel, S., Rojas-Zenteno, E. C., Durán-Díaz A., & Gutiérrez-Guzmán, J. C. (2011). Variación del tamaño de frutos y semillas en siete especies de encino (*Quercus*, Fagaceae). *Polibotánica*, 32, 135–151. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/polib/n32/n32a8.pdf>
- Sánchez-Burgos, J. A., Ramírez-Mares, M. V., Larrosa, M. M., Gallegos-Infante, J. A., González-Laredo, R. F., Medina-Torres, L., & Rocha-Guzmán, N. E. (2013). Antioxidant, antimicrobial, antitopoisomerase and gastroprotective effect of herbal infusions from four *Quercus* species. *Industrial Crops and Products*, 42, 57–62. doi: 10.1016/j.indcrop.2012.05.017
- Shi, W., Villar-Salvador, P., Li, G., & Jiang, X. (2019). Acorn size is more important than nursery fertilization for out planting performance of *Quercus variabilis* container seedlings. *Annales of Forest Science*, 76, 22. doi: 10.1007/s13595-018-0785-8
- Smith, S., Naylor, R. J., Knowles, E. J., Mair, T. S., Cahalan, S. D., Fewes, D., & Dunkel, B. (2015). Suspected acorn toxicity in nine horses. *Equine Veterinary Journal*, 47(5), 568–572. doi: 10.1111/evj.12306
- Statistical Analysis System (SAS). 2002. SAS/STAT computer software. User's guide. Release 9.0. Cary, NC, USA: Author.
- Uribe-Salas, M. D., Rocha-Ramírez, V., Gregorio-Cipriano, R., Fernández-Pavía, S. P., & Alvarado-Rosales, D. (2019). Declinación y muerte de los encinos (*Quercus* spp.) en México, estado actual del conocimiento. *Tecnociencia Chihuahua*, 13(1), 50–59. Retrieved from <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/325/294>
- Valero-Galván, J., Jorrín-Novó, J. J., Gómez-Cabrera, A., Ariza, D., García-Olmo, J., & Navarro-Cerrillo, R. M. (2011). Population variability based on the morphometry and chemical composition of the acorn in Holm oak (*Quercus ilex* subsp. *ballota* [Desf.] Samp.) *European Journal of Forest Research*, 131(4), 893–904. doi: 10.1007/s10342-011-0563-8