

Variabilidad morfológica y genética del germoplasma de aguacate criollo en Nuevo León, México

Morphological and genetic variability of the creole avocado germplasm in Nuevo León, Mexico

Efraín Acosta Díaz¹, María Genoveva Álvarez Ojeda², Raúl Rodríguez Guerra³, Isidro Humberto Almeyda León^{3*}

¹Investigador asociado al Campo Experimental General Terán, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km. 31 Carr. Montemorelos-China, CP 67400, General Terán, Nuevo León, México. ²Campo Experimental Río Bravo, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km. 61 Carretera Matamoros-Reynosa, C.P. 88900, Río Bravo, Tamaulipas, México. ³Campo Experimental General Terán, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km. 31 Carr. Montemorelos-China, CP 67400, General Terán, Nuevo León, México.

Resumen

El Estado de Nuevo León, México, forma parte del centro de origen de la raza mexicana de aguacate (*Persea americana* Mill. var. *drymifolia*), en donde se cultivan materiales criollos en huertos comerciales y de traspatio, predominando la utilización de uno o dos materiales, los cuales, se caracterizan por presentar un ciclo temprano de madurez fisiológica, por lo tanto, su producción se concentra en un periodo de tiempo relativamente corto. El objetivo de este trabajo es presentar el estado de conservación del germoplasma de aguacate criollo en Nuevo León con base en estudios realizados sobre la caracterización morfológica, contenidos de aceite y ácidos grasos, así como la variabilidad genética existente. Lo anterior, con la finalidad de establecer de que existe variabilidad suficiente en este germoplasma de aguacate criollo para su incorporación en programas de mejoramiento genético para la generación de nuevas variedades que presenten mejores características de interés comercial.

Palabras Clave: Caracterización morfológica, Aceite total, Ácidos grasos, Variabilidad genética.

Abstract

The State of Nuevo León, Mexico, is part of the center of origin of the Mexican avocado breed (*Persea americana* Mill. var. *drymifolia*), where creole materials are grown in commercial and backyard orchards, with the use of one or two predominant materials, which are characterized by presenting an early cycle of physiological maturity, therefore, their production is concentrated in a relatively short period of time. The objective of this work is to present the conservation status of the creole avocado germplasm in Nuevo León based on studies carried out on the morphological characterization, oil and fatty acid contents, as well as the existing genetic variability. The above, in order to establish that there is sufficient variability in this creole avocado germplasm for its incorporation in genetic improvement programs for the generation of new varieties that present better characteristics of commercial interest.

Keywords: Morphological characterization, Total oil, Fatty acids, Genetic variability.

***Autor de correspondencia:**
almeyda.isidro@inifap.gob.mx

Introducción

A nivel mundial la producción de aguacate se estimó en 4.1 millones de toneladas, en donde los principales países productores fueron México, Estados Unidos, Indonesia y Chile (FAO, 2020). Estos países representan el 68.4% de la producción total, lo cual equivale a 2.8 millones de toneladas por año. En 2018 se exportaron 2.5 millones de toneladas de aguacate valoradas en 6,100 millones de dólares, en donde Estados Unidos, los países Bajos y Francia, representan más del 55% del total de las importaciones. Estas tres regiones tienen un total de importaciones de 1.5 millones de toneladas de aguacates frescos o secos, con un valor de 3,500 millones de dólares. En el 2020, la superficie plantada en México con aguacate mexicano (*Persea americana* Mill.) fue de 241,140 ha, con una producción de 206,466 toneladas de fruta. Michoacán es el estado líder a nivel nacional en producción y exportación, ya que aporta el 94.6% del volumen de fruta cosechada, y junto con Jalisco, representan el 99.4% de la producción. Además, de ser el principal productor Michoacán, también es el mayor exportador de aguacate en el mundo, ya que tan solo en diciembre de 2018, ocupó el primer lugar dentro de los productos agrícolas exportados que dejó mayores ingresos al país, seguido solamente del jitomate y el pimiento (SIAP, 2020).

El aguacate pertenece a la familia *Laurácea*, y muchos botánicos consideran que se encuentra entre la más primitivas de las plantas dicotiledóneas. En México existe una amplia variedad de tipos de aguacate, hay al menos 20 especies diferentes relacionadas con el aguacate (Barrientos-Priego y López-López, 2002). El centro de origen del aguacate se

Introduction

At the world level, avocado production was estimated at 4.1 million tons, where the main producing countries were Mexico, the United States, Indonesia and Chile (FAO, 2020). These countries represent 68.4% of total production, which is equivalent to 2.8 million tons per year. In 2018, 2.5 million tons of avocado were exported valued at 6,100 million dollars, with the United States, the Netherlands and France representing more than 55% of total imports. These three regions have a total of imports of 1.5 million tons of fresh or dried avocados, with a value of 3,500 million dollars. In 2020, the area planted in Mexico with mexican avocado (*Persea americana* Mill.) Was 241,140 ha, with a production of 206,466 tons of fruit. Michoacán is the leading state at the national level in production and export, since it contributes 94.6% of the volume of fruit harvested, and together with Jalisco, they represent 99.4% of the production. In addition, being the main producer of Michoacán, it is also the largest avocado exporter in the world, since only in december 2018, it ranked first among exported agricultural products that left the country more income, followed only by tomatoes. and pepper (SIAP, 2020).

The avocado belongs to the *Lauracea* family, and many botanists consider it to be among the most primitive of the dicotyledonous plants. In Mexico there is a wide variety of types of avocado, there are at least 20 different species related to avocado (Barrientos-Priego and López-López, 2002). The center of origin of avocado is in the mountainous areas of central and eastern Mexico and in the highlands of Guatemala (Williams, 1976; 1977), from where it has spread to the rest of the world (Barrientos-Priego and López-López, 2002). According to the findings of primitive avocados in areas of

encuentra en las áreas montañosas del centro y este de México y en las tierras altas de Guatemala (Williams, 1976; 1977), de donde se ha dispersado al resto del mundo (Barrientos-Priego y López-López, 2002). De acuerdo con los hallazgos de aguacates primitivos en áreas de la Sierra Madre Oriental de la región sur del Estado de Nuevo León, indican que esta zona forma parte del centro de origen primario de *Persea americana* var. *drymifolia* o aguacate mexicano (Storey *et al.*, 1986; Sánchez-Pérez, 1999a). En la actualidad se reconocen tres razas de aguacate: la raza mexicana (*Persea americana* var. *drymifolia*), la guatemalteca (*Persea americana* var. *guatemaltensis*) y la antillana (*Persea americana* var. *americana*), todas ellas con características específicas tanto en calidad como en adaptación climática, que fueron clasificadas como variedades botánicas (Bergh y Ellstrand, 1986).

Las múltiples hibridaciones ocurridas en diferentes ambientes ecológicos de México y Centroamérica originaron el aguacate comestible en las regiones americanas, en donde se cultiva desde tiempos precolombinos; la producción proviene de fuentes distintas de árboles nativos o criollos y cultivares selectos reproducidos asexualmente, en las cuales el sabor y los valores nutritivos varían según la raza botánica (Mijares-Oviedo y López-López, 1998).

La raza mexicana de aguacate incluye variedades criollas, conocidas con nombres locales, cuyos frutos se consumen y comercializan localmente, cultivadas en la mayoría de los estados de México; sin embargo, su dispersión se dio después de la conquista de los españoles, quienes llevaron el aguacate a España en 1600 y posteriormente comenzó la distribución a nivel mundial (Smith *et al.*, 1992).

En Nuevo León, las variedades utilizadas consisten de selecciones locales de plantas que se han cultivado durante varios años y que los productores han seleccionado

the Sierra Madre Oriental in the southern region of the State of Nuevo León, they indicate that this area is part of the primary center of origin of *Persea americana* var. *drymifolia* or mexican avocado (Storey *et al.*, 1986; Sánchez-Pérez, 1999a). At present, three races of avocado are recognized: the mexican race (*Persea americana* var. *drymifolia*), the guatemalan (*Persea americana* var. *guatemaltensis*) and the antillean (*Persea americana* var. *americana*), all of them with specific characteristics both in quality and in climatic adaptation, which were classified as botanical varieties (Bergh and Ellstrand, 1986).

The multiple hybridizations that occurred in different ecological environments in Mexico and Central America originated the edible avocado in the american regions, where it has been cultivated since pre-Columbian times; the production comes from sources other than native or creole trees and select asexually reproduced cultivars, in which the flavor and nutritional values vary according to the botanical race (Mijares-Oviedo and López-López, 1998). The mexican breed of avocado includes creole varieties, known by local names, whose fruits are consumed and marketed locally, grown in most of the states of Mexico; however, its dispersion occurred after the conquest of the spanish, who brought the avocado to Spain in 1600 and subsequently began worldwide distribution (Smith *et al.*, 1992).

In Nuevo León, the varieties used consist of local selections of plants that have been cultivated for several years and that the producers have selected mainly based on their production, quality and size of the fruit. These cultivars are grafted trees with genotypes of interest and are called "improved landraces" (Gutiérrez-Díez *et al.*, 2009). Regarding the situation of creole avocado in the state of Nuevo León, even when a great diversity of phenotypic forms has been observed (Gutiérrez-Díez *et al.*, 2009; Acosta-Díaz *et*

en función de su producción, calidad y tamaño de la fruta principalmente. Estos cultivares son árboles injertados con genotipos de interés y se llaman "variedades criollas mejoradas" (Gutiérrez-Díez *et al.*, 2009).

En lo que respecta a la situación del aguacate criollo en el estado de Nuevo León, aun cuando se ha observado una gran diversidad de formas fenotípicas (Gutiérrez-Díez *et al.*, 2009; Acosta-Díaz *et al.*, 2012a; Acosta-Díaz *et al.*, 2012b; Acosta-Díaz *et al.*, 2013; Gutiérrez-Díez *et al.*, 2015), los genotipos que más predominan en las huertas comerciales son los conocidos localmente como 'Plátano Grueso-1' en la región sur y 'Larralde de Sabinas' en la región norte (Figura 1B, Figura 2W).

En la región sur de Nuevo León, los sistemas de producción de aguacate están considerados como centros importantes de experimentación, introducción y mejoramiento genético empírico, así como refugios de diversidad genética única que alberga genes que aún no han sido estudiados en su totalidad (Gutiérrez-Díez *et al.*, 2009).

Estos materiales genéticos han sido resguardados *in situ* en los huertos de los propios productores, con el riesgo de desaparecer como sucedió en enero del 2011, cuando se registraron fuertes heladas que dañaron seriamente los árboles. Este germoplasma, también está expuesto a la erosión genética, principalmente cuando la población está compuesta por un número reducido de individuos, tal es el caso de las variedades locales 'Pato', 'Cuerno' y 'Verde limón', entre otras, en la región sur de Nuevo León (Acosta-Díaz *et al.*, 2012a). Además, las variedades locales no se han recolectado en forma sistemática, y por ser una especie recalcitrante contiene semillas que no sobreviven en condiciones de sequedad y frío cuando son conservadas *in situ*.

al., 2012a; Acosta-Díaz *et al.*, 2012b; Acosta-Díaz *et al.*, 2013; Gutiérrez-Díez *et al.*, 2015), the most prevalent genotypes in commercial orchards are locally known as 'Plátano Grueso-1' in the southern region and 'Larralde de Sabinas' in the northern region (Figure 1B, Figure 2W). In the southern region of Nuevo León, avocado production systems are considered important centers for experimentation, introduction and empirical genetic improvement, as well as havens of unique genetic diversity that harbor genes that have not yet been fully studied (Gutiérrez-Díez *et al.*, 2009).

These genetic materials have been protected *in situ* in the orchards of the producers themselves, with the risk of disappearing as happened in January 2011, when strong frosts were recorded that seriously damaged the trees. This germplasm is also exposed to genetic erosion, mainly when the population is made up of a small number of individuals, such is the case of the local varieties 'Pato', 'Cuerno' and 'Verde Limón', among others, in the southern region of Nuevo León (Acosta-Díaz *et al.*, 2012a). In addition, local varieties have not been systematically collected, and as a recalcitrant species it contains seeds that do not survive in dry and cold conditions when they are conserved *in situ*.

Harvest initiation cycle and shelf life

Based on the harvest start cycle, the native avocado materials from Nuevo León are classified into three groups: one early cycle; a second from an intermediate cycle, and a third from a late cycle (Tables 1 and 2). All early cycle varieties have black fruits, among which are: 'Plátano temprano', 'Plátano Grueso-1' (Local control), 'Plátano Delgado', 'María Elena' and 'Campeón' among others.

Most of the intermediate cycle varieties have black fruits and only two are green; the black fruit varieties are 'Plátano Grueso-2',



Figura 1. Materiales de aguacates criollos de Nuevo León, México. A) ‘Plátano temprano’, B) ‘Plátano grueso-1’, C) ‘María Elena’, D) ‘Campeón’, E) ‘Mantequilla’, F) ‘Calabo’, G) ‘Huevo de paloma’, H) ‘Todo el año’, I) ‘Criollo 1’, J) ‘Huevo de toro’, K) ‘Pahuita’, L) ‘Plátano Grueso-2’.

Figure 1. Materials of creole avocados from Nuevo León, Mexico. A) ‘Plátano temprano’, B) ‘Plátano Grueso-1’, C) ‘María Elena’, D) ‘Campeón’, E) ‘Mantequilla’, F) ‘Calabo’, G) ‘Huevo de Paloma’, H) ‘Todo el Año’, I) ‘Criollo1’, J) ‘Huevo de toro’, K) ‘Pahuita’, L) ‘Plátano Grueso-2’.

Ciclo de inicio de cosecha y vida de anaquel

Con base en el ciclo de inicio de cosecha, los materiales criollos de aguacate de Nuevo León se clasifican en tres grupos: uno de ciclo temprano; un segundo de ciclo intermedio, y un tercero de ciclo tardío (Cuadros 1 y 2). Todas las variedades de ciclo temprano tienen frutos de color negro, entre las cuales están: ‘Plátano temprano’, ‘Plátano

‘De Peluquería’, ‘Hule’ and ‘Pato’ and the green fruit varieties are ‘Huevo de toro’ and ‘Plátano Grueso-2’. The late cycle varieties have green fruits (‘Mantequilla’, ‘Calabo’, ‘Pahuita’ and ‘Crema’).

In relation to the shelf life of the fruit, the materials can be classified into two groups, in one are the materials that have high values that vary from 7.2 to 13.0 days and in another those that have low values that vary from 4.0

Grueso-1' (Testigo local), 'Plátano Delgado', 'María Elena' y 'Campeón', entre otras. La mayoría de las variedades de ciclo intermedio son de frutos de color negro y sólo dos son de color verde; las variedades de frutos negros son 'Plátano Grueso-2', 'De Peluquería', 'Hule' y 'Pato' y las variedades de frutos verdes son 'Huevo de toro' y 'Plátano Grueso-2'. Las variedades de ciclo tardío son de frutos color verde ('Mantequilla', 'Calabo', 'Pahuita' y 'Crema').

to 6.7 days (Tables 1, 2). Among the materials with the highest shelf life values are 'Plátano Grueso-1', 'Campeón', 'Todo el Año', 'De Agua', Criollo 1, 'Plátano Delgado', 'Tamaulipas', 'Plátano Grueso-3', 'Salvador', 'Criollo Boleado muy Grande', 'Hule' and 'Verde Limón'. In general, the average shelf life values can be considered acceptable for native or creole avocados, even when there are no reports in the literature for their comparison; however, these values are lower

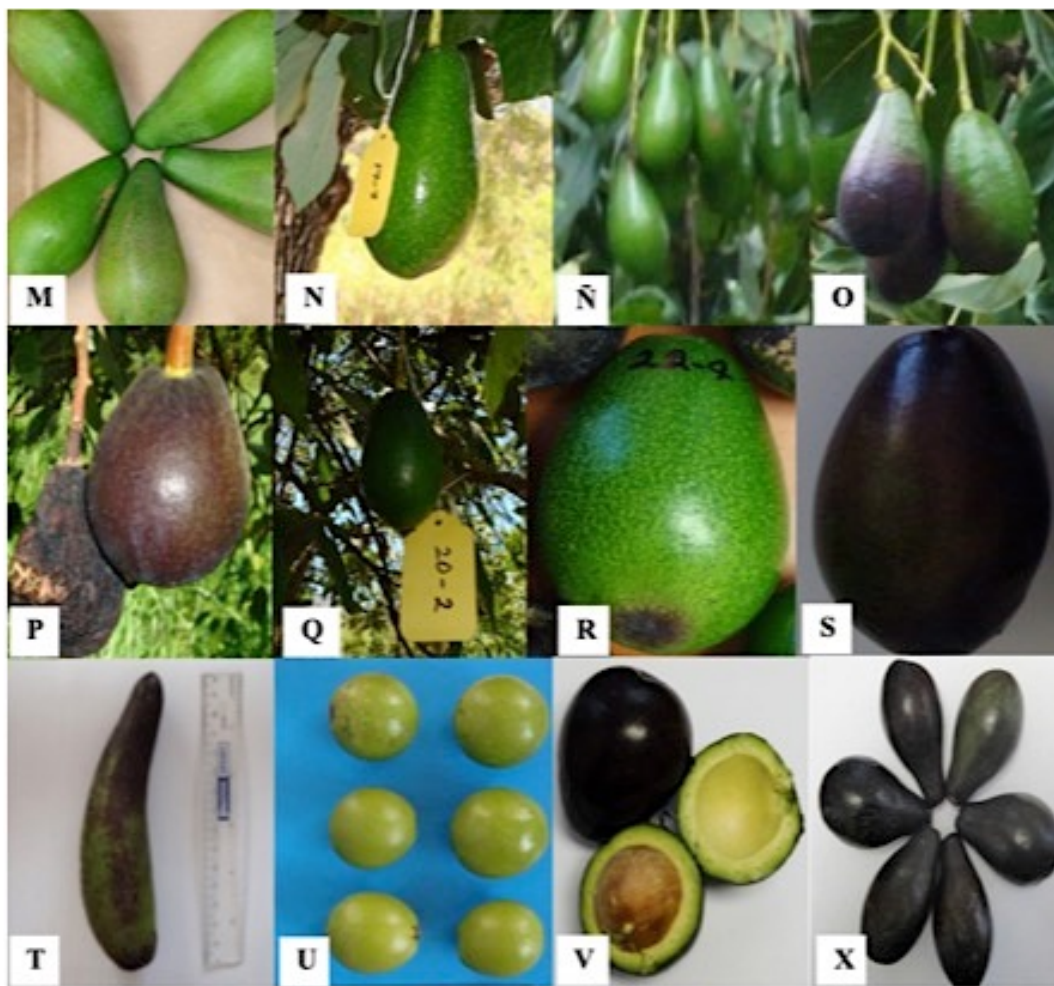


Figura 2. Materiales de aguacate criollos de Nuevo León, México. M) 'Crema', N) 'Tamaulipas', Ñ) 'Plátano grueso-3', O) 'De Peluquería', P) 'Criollo boleado', Q) 'Criollo boleado grande', R) 'Criollo boleado muy grande', S) 'Criollo bola', T) 'Pato', U) 'Verde limón' (silvestre), V) 'Floreño', W) 'Larralde de Sabinas'.

Figure 2. Materials of creole avocados from Nuevo León, Mexico. M) 'Crema', N) 'Tamaulipas', Ñ) 'Plátano Grueso-3', O) 'De Peluquería', P) 'Criollo Boleado', Q) 'Criollo Boleado grande', R) 'Criollo Boleado muy grande', S) 'Criollo Bola', T) 'Pato', U) 'Verde Limón' (wild), V) 'Floreño', W) 'Larralde de Sabinas'

Cuadro 1. Ciclo de inicio de cosecha, forma y color del fruto, longitud del pedúnculo y vida de anaquel de 29 materiales criollos de aguacate en la región sur del Estado de Nuevo León. (Descriptor morfológicos para fruto de aguacate del International Plant Genetic Resources Institute, IPGR, 1995).

Table 1. Harvest initiation cycle, fruit shape and color, peduncle length and shelf life of 29 creole avocado materials in the southern region of the State of Nuevo León. (Morphological descriptors for avocado fruit from the International Plant Genetic Resources Institute, IPGR, 1995).

Nombre local	Ciclo de inicio de cosecha	Fruto		Longitud del pedúnculo (cm)	Vida de anaquel (días)
		Forma	Color		
‘Plátano temprano’	Temprano	Ovalada	Negro	6.2	7.2
‘Plátano Grueso-1’	Temprano	Ovalada	Negro	6.5	10.8
‘María Elena’	Temprano	Ovalada	Negro	8.4	8.7
‘Campeón’	Temprano	Ovalada	Negro	7.0	12.7
‘Mantequilla’	Tardío	Esférica	Verde	15.7	6.3
‘Calabo’	Tardío	Alargada	Verde	10.1	8.7
‘Huevo de Paloma’	Temprano	Ovalada	Negro	9.3	9.5
‘Todo el Año’	Temprano	Ovalada	Negro	7.5	13.0
‘De Agua’	Temprano	Ovalada	Negro	4.0	12.0
‘Criollo 1’	Temprano	Ovalada	Negro	3.4	10.2
‘Plátano Delgado’	Temprano	Alargada	Negro	6.4	10.0
‘Huevo de toro’	Intermedio	Alargada	Verde	5.3	4.3
‘Pahuita’	Tardío	Ovalada	Verde	6.7	8.2
‘Plátano Grueso-2’	Intermedio	Alargada	Verde	4.8	4.5
‘Crema’	Tardío	Ovalada	Verde	8.7	9.2
‘Tamaulipas’	Temprano	Ovalada	Negro	4.1	12.5
‘Plátano Grueso-3’	Intermedio	Ovalada	Negro	5.0	12.0
‘De Peluquería’	Temprano	Ovalada	Negro	6.6	8.2
‘Salvador’	Intermedio	Alargada	Negro	5.4	13.0
‘Criollo Boleado’	Temprano	Ovalada	Negro	5.4	7.5
‘Cuerno’	Temprano	Ovalada	Negro	6.1	6.0
‘Criollo Boleado Grande’	Temprano	Ovalada	Negro	5.8	9.8
‘Criollo Boleado muy Grande’	Temprano	Ovalada	Negro	6.0	11.3
‘Hule’	Intermedio	Ovalada	Negro	4.9	11.0
‘Pato’	Intermedio	Alargada	Negro	8.2	8.5
‘Amarillo’	Temprano	Alargada	Amarillo	4.2	6.7
‘Leonor’	Temprano	Esférica	Negro	3.9	5.5
‘Verde Limón’	Temprano	Esférica	Verde	5.0	10.7
‘Criollo Bola’	Intermedio	Esférica	Negro	2.5	7.8

Temprano= Del 19 de junio al 15 de julio; Intermedio= Del 16 de julio al 14 de agosto; Tardío= Del 8 de octubre al 5 de noviembre.

Early= From June 19 to July 15; Intermediate= From July 16 to August 14; Late= October 8 to November 5.

En relación con la vida de anaquel del fruto, los materiales se pueden clasificar en dos grupos, en uno se ubican los materiales que tienen valores altos que varían de 7.2 a 13.0 días y en otro aquellas que tienen valores bajos que varían de 4.0 a 6.7 días (Cuadros 1 y 2). Entre los materiales con los valores de vida de anaquel más altos están ‘Plátano Grueso-1’, ‘Campeón’, ‘Todo el Año’, ‘De Agua’, ‘Criollo-1’, ‘Plátano Delgado’, ‘Tamaulipas’, ‘Plátano Grueso-3’, ‘Salvador’, ‘Criollo Boleado muy Grande’, ‘Hule’ y ‘Verde Limón’. En general los valores promedio de vida de anaquel se pueden considerar como aceptables para aguacates nativos o criollos, aun cuando no existen

than those reported for Hass avocado without refrigeration (Sánchez-Pérez, 1999b).

Morphological characteristics of the leaf

Creole avocados from Nuevo León were grouped into three categories, the first included those with elliptical leaves and acute apices, except for the ‘Amarillo’ avocado which has a subacute apex; in the second category, materials with a subacute or obtuse apex were located; the third category is made up of lanceolate leaf materials. The previous results suggest that there is an important variation between the materials of native or

Cuadro 2. Ciclo de inicio de cosecha, forma y color del fruto, longitud del pedúnculo y vida de anaquel de 19 materiales criollos de aguacate en la región norte del Estado de Nuevo León. (Descriptores morfológicos para fruto de aguacate del International Plant Genetic Resources Institute, IPGR, 1995).

Table 2. Harvest initiation cycle, fruit shape and color, peduncle length and shelf life of 19 creole avocado materials in the northern region of the State of Nuevo León. (Morphological descriptors for avocado fruit from the International Plant Genetic Resources Institute, IPGR, 1995).

Nombre local	Ciclo de inicio de cosecha	Fruto		Longitud del pedúnculo (cm)	Vida de anaquel (días)
		Forma	Color		
‘Anita’	Intermedio	Ovalada	Negro	5.0	5.0
‘Larralde de Sabinas’	Intermedio	Alargada	Negro	6.8	11.0
‘Floreño’	Temprano	Esférica	Negro	3.3	5.5
‘Blanquito’	Intermedio	Esférica	Verde	6.0	11.0
‘Fosa’	Intermedio	Ovalada	Negro	4.4	11.0
‘Cuervo’	Intermedio	Alargada	Negro	8.5	11.0
‘Pera’	Intermedio	Esférica	Verde	3.5	11.0
‘Verde Pérez’	Intermedio	Ovalada	Verde	4.4	11.0
‘Sabroso’	Intermedio	Esférica	Negro	6.5	11.0
‘Chapeño’	Intermedio	Esférica	Negro	4.9	11.0
‘Rodríguez’	Intermedio	Ovalada	Negro	4.5	4.0
‘Pecoso’	Intermedio	Esférica	Verde	5.3	11.0
‘Pila’	Intermedio	Esférica	Negro	6.3	11.0
‘Salazareño’	Tardío	Ovalada	Negro	9.0	6.0
‘Negro santos’	Tardío	Ovalada	Negro	6.2	4.5
‘Especial’	Intermedio	Ovalada	Negro	6.7	4.8
‘Criollo-1’	Intermedio	Ovalada	Negro	7.2	13.0
‘Criollo-2’	Intermedio	Esférica	Negro	3.9	10.3
‘Criollo-3’	Intermedio	Ovalada	negro	7.0	6.1

Temprano= 19 de junio a 15 de julio; Intermedio= 16 de julio a 14 de ago; Tardío= 8 de oct. al 5 de nov.

Early= From June 19 to July 15; Intermediate= From July 16 to August 14; Late= Oct. 8 to Nov. 5.

reportes en la literatura para su comparación; sin embargo, estos valores son menores que los reportados para el aguacate tipo Hass sin refrigeración (Sánchez-Pérez 1999b).

Características morfológicas de la hoja

Los aguacates criollos de Nuevo León se agruparon en tres categorías, en la primera se incluyeron los que tienen hojas elípticas y los ápices agudos, excepto la variedad ‘Amarillo’ la cual tiene el ápice subagudo; en la segunda categoría se ubicaron los materiales que tienen el ápice subagudo u obtuso; la tercera categoría está integrada por los materiales hojas lanceoladas. Los resultados anteriores sugieren que existe una variación importante entre los materiales de aguacates nativos o criollos en el Estado de Nuevo León, en relación con las características morfológicas de la hoja (Figura 3).

Entre las características morfológicas de las hojas que indican que existe una variación entre los materiales nativos o criollos de aguacates evaluados, están el tamaño y la longitud del pecíolo, ya que son caracteres morfométricos relacionados con el área foliar de la planta. Esta información coincide con los resultados obtenidos por Manivel y Weaver (1974), en hojas de vid (*Vitis vinifera* cv. Grenache), en donde la longitud y el ancho de la hoja y la longitud del pecíolo tuvieron una alta correlación con el área foliar. De igual manera, hay coincidencia con la información reportada por Andrés *et al.* (2004), en chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.), quienes determinaron que el área de la hoja, el perímetro de la hoja, la longitud del pecíolo y el eje longitudinal, fueron las variables que tuvieron mayores correlaciones, mostrando una dependencia nada deseable para ser un buen descriptor al detectar o describir el mismo tipo de información.

creole avocados in the State of Nuevo León, in relation to the morphological characteristics of the leaf (Figure 3).

Among the morphological characteristics of the leaves that indicate that there is a variation between the native or creole materials of avocados evaluated, are the size and length of the petiole, since they are morphometric characters related to the foliar area of the plant. This information coincides with the results obtained by Manivel and Weaver (1974), in vine leaves (*Vitis vinifera* cv. Grenache), where the length and width of the leaf and the length of the petiole had a high correlation with the foliar area. Similarly, there is agreement with the information reported by Andrés *et al.* (2004), in custard apple (*Annona cherimola* Mill.), who determined that the area of the leaf, the perimeter of the leaf, the length of the petiole and the longitudinal axis, were the variables that had the highest correlations, showing an undesirable dependence to be a good descriptor when detecting or describing the same type of information.

Content of oils and fatty acids

Based on results reported by Acosta-Díaz *et al.* (2019), it is considered that the oil and fatty acid content are variables of great importance for the characterization of creole avocados from Nuevo León. The average total oil content recorded for local varieties in the northern and southern regions of the State is higher than the value reported by Dreher and Davenport (2013) for the Hass avocado. These results regarding the morphological characteristics of the fruit agree with those reported by Gutiérrez-Díez *et al.* (2009) and Acosta-Díaz *et al.* (2012a), as well as those recently reported for the genetic diversity of autochthonous avocado races from the same region of the study (Gutiérrez-Díez *et al.*, 2015, Álvarez *et al.*, 2018). For the past 30



Figura 3. Variación morfológica en hojas de aguacates nativos del Estado de Nuevo León: a) hoja elíptica con ápice agudo; b) hoja lanceolada con ápice agudo; c) hoja elíptica con ápice subagudo; d) hoja ovalada con ápice obtuso.

Figure 3. Morphological variation in avocado leaves native to the State of Nuevo León: a) elliptical leaf with acute apex; b) lanceolate leaf with acute apex; c) elliptical leaf with subacute apex; d) oval leaf with obtuse apex.

Contenido de aceites y ácidos grasos

Con base en resultados reportados por Acosta-Díaz *et al.* (2019), se considera que el contenido de aceite y ácidos grasos son variables de gran importancia para la caracterización de los aguacates criollos de Nuevo León. El contenido promedio de aceite total registrado para las variedades locales en las regiones norte y sur del Estado es mayor al valor reportado por Dreher y Davenport (2013) para el aguacate Hass. Estos resultados en cuanto a las características morfológicas del fruto concuerdan con los reportados por Gutiérrez-Díez *et al.* (2009) y Acosta-Díaz *et al.* (2012a), así como los reportados recientemente para la diversidad genética de

years, the public perception has been that consuming large amounts of fat can lead to weight gain. However, a long-term clinical study showed that a moderate-fat diet promotes weight loss and the reduction of chronic diseases (Sacks *et al.*, 2009).

On the other hand, in addition to a total oil content higher than that registered by the Hass variety, in some creole avocado materials from the southern region of the State, such as ‘Plátano Grueso-2’, ‘Tamaulipas’ and ‘Calabo’, there are also several cultivars that have important chemical characteristics such as low content of saturated fatty acids and high amounts of monounsaturated fatty acids and polyunsaturated fatty acids. The results

razas autóctonas de aguacate de la misma región del estudio (Gutiérrez-Díez *et al.*, 2015, Álvarez *et al.*, 2018). Durante los últimos 30 años, la percepción pública fue que consumir grandes cantidades de grasa puede conducir a un aumento de peso. Sin embargo, un estudio clínico a largo plazo demostró que una dieta moderada en grasas favorece la pérdida de peso y la reducción de enfermedades crónicas (Sacks *et al.*, 2009).

Por otra parte, además, de un contenido de aceite total superior al registrado por la variedad Hass, en algunos materiales criollos de aguacate de la región sur del Estado, como 'Plátano Gueso-2', 'Tamaulipas' y 'Calabo', también existen varios cultivares que tienen características químicas importantes como bajo contenido de ácidos grasos saturados y altas cantidades de ácidos grasos monoinsaturados y ácidos grasos poliinsaturados. Los resultados confirman que los sistemas tradicionales de producción de aguacate en la región sur son depositarios de una diversidad genética única que contiene genes no completamente estudiados (Gutiérrez-Díez *et al.*, 2009; Gutiérrez-Díez *et al.*, 2015, Álvarez *et al.*, 2018).

La fruta del aguacate se considera un alimento rico en nutrientes, con alto contenido de aceite, ácidos grasos saturados intermedios y ácidos grasos poliinsaturados, junto con una gran cantidad de ácidos grasos monoinsaturados. Es eminentemente deseable que el contenido de ácidos grasos saturados sea lo más bajo posible, ya que este nivel más bajo puede contribuir a una reducción de los problemas cardiovasculares (Martin *et al.*, 2011). El alto contenido de aceite de las variedades locales de aguacate se refleja en un alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados. Característica que resulta muy atractiva dado que en un estudio de mujeres con diabetes tipo 2, demuestran que una dieta de grasas monoinsaturadas rica en aguacate resultó en una disminución significativa de los triglicéridos plasmáticos

confirmar que los sistemas tradicionales de producción de aguacate en la región sur son depositarios de una diversidad genética única que contiene genes que no han sido completamente estudiados.

El fruto de aguacate se considera un alimento rico en nutrientes, con alto contenido de aceite, ácidos grasos saturados intermedios y ácidos grasos poliinsaturados, junto con una gran cantidad de ácidos grasos monoinsaturados y ácidos grasos poliinsaturados. Los resultados confirman que los sistemas tradicionales de producción de aguacate en la región sur son depositarios de una diversidad genética única que contiene genes no completamente estudiados (Gutiérrez-Díez *et al.*, 2009; Gutiérrez-Díez *et al.*, 2015, Álvarez *et al.*, 2018). El alto contenido de aceite de las variedades locales de aguacate se refleja en un alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados. Característica que resulta muy atractiva dado que en un estudio de mujeres con diabetes tipo 2, demuestran que una dieta de grasas monoinsaturadas rica en aguacate resultó en una disminución significativa de los triglicéridos plasmáticos

confirmar que los sistemas tradicionales de producción de aguacate en la región sur son depositarios de una diversidad genética única que contiene genes que no han sido completamente estudiados.

The avocado fruit is considered a nutrient-dense food, high in oil, intermediate saturated fatty acids and polyunsaturated fatty acids, along with a large amount of monounsaturated fatty acids. It is eminently desirable that the content of saturated fatty acids is as low as possible, since this lower level can contribute to a reduction in cardiovascular problems (Martin *et al.*, 2011). The high oil content of local avocado varieties is reflected in a high content of monounsaturated fatty acids. Characteristic that is very attractive given that in a study of women with type 2 diabetes, they show that a diet of monounsaturated fats rich in avocado resulted in a significant decrease in plasma triglycerides (Lerman-Garber *et al.*, 1994), being able to modify the HDL-C structure and convert LDL-C back to its non-oxidized form (Méndez and Hernández. 2007).

Likewise, avocado creole materials with less saturated acid content (palmitic and stearic acid) and a greater amount of monounsaturated fatty acids (palmitoleic and oleic) and polyunsaturated fatty acids (linoleic and linolenic) can be selected as an alternative to the values corresponding in the Hass variety. Under this selection criterion, through the principal component analysis, Acosta-Díaz *et al.* (2019), grouped the local avocado materials in Nuevo León into four categories: The first category is the outstanding cultivars, with five positive attributes and only one negative in the proportions of fatty acids. The second category consists of intermediate response cultivars, with four positive attributes and two considered negative. The third category includes cultivars with three positive attributes and two that are negative. The fourth category encompasses those cultivars with

(Gutiérrez-Díez *et al.*, 2009; Gutiérrez-Díez *et al.*, 2015, Álvarez *et al.*, 2018). (Lerman-Garber *et al.*, 1994), pudiendo modificar el HDL-C estructurar y convertir el LDL-C de nuevo a su forma no oxidada (Méndez y Hernández. 2007).

Así mismo, los materiales criollos de aguacate con menos contenido de ácidos saturados (ácido palmítico y esteárico) y una mayor cantidad de ácidos grasos monoinsaturados (palmitoleico y oleico) y ácidos grasos poliinsaturados (linoleico y linolénico) pueden seleccionarse como una alternativa a los valores correspondientes en la variedad Hass. Bajo ese criterio de selección, mediante el análisis de componentes principales, Acosta-Díaz *et al.* (2019), agruparon a los materiales locales de aguacate en Nuevo León en cuatro categorías: La primera categoría son los cultivares sobresalientes, con cinco atributos positivos y solo uno negativo en las proporciones de ácidos grasos. La segunda categoría consiste en cultivares de respuesta intermedia, con cuatro atributos positivos y dos considerados negativos. La tercera categoría incluye cultivares con tres atributos positivos y dos que son negativos. La cuarta categoría abarca aquellos cultivares con solo dos atributos positivos y tres considerados negativos. Este último grupo fue el más irregular ya que incluye genotipos que formaron diferentes grupos según el análisis de conglomerados y se consideran los menos deseables para su incorporación a un programa de mejoramiento.

Relaciones genéticas

En un estudio realizado por Álvarez *et al.* (2018), los materiales criollos de aguacate de Nuevo León se conformaron en dos grandes grupos o nodos de acuerdo a su origen geográfico, es decir en un nodo están agrupados los materiales colectados en la región sur y en otro nodo, se agruparon los materiales de la región norte, dichas regiones

only two positive attributes and three considered negative. This last group was the most irregular since it includes genotypes that formed different groups according to the cluster analysis and are considered the least desirable for incorporation into a breeding program.

Genetic relationships

In a study by Álvarez *et al.* (2018), the creole avocado materials from Nuevo León were formed into two large groups or nodes according to their geographical origin, that is, in one node the materials collected in the southern region are grouped and in another node, the materials were grouped in the northern region, these regions present different agroecological conditions. Additionally, the node where the materials from the northern region were grouped are divided into two subgroups, in one of them, the materials collected in the municipality of Sabinas Hidalgo are grouped and in the other, those collected in the municipality of Bustamante (Figure 4).

These results are consistent with that reported by Cañas *et al.* (2015), who when carrying out the molecular and morphological characterization of 111 creole and commercial avocado cultivars (*Persea americana* Mill) in the department of Antioquia, Colombia, found high levels of heterozygosity, and the genetic distance of Nei, produced three groups that they included individuals that were with great geographic proximity and similar climatic conditions. An analysis of principal components (PCA) based on the morphological characters of the materials of creole avocados from Nuevo León (Álvarez *et al.*, 2018), produced three groups concordant with what was found in the dendrogram generated with the UPGMA algorithm (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean).

Cuiris *et al.*, in 2009, also found high

presentan condiciones agroecológicas diferentes. Adicionalmente en el nodo donde se agruparon los materiales de la región norte se divide en dos subgrupos, en uno de ellos, se agrupan los materiales colectados en el municipio de Sabinas Hidalgo y en el otro, los colectados en el municipio de Bustamante (Figura 4).

genetic variation among 77 avocado accessions of the mexican race collected in ten states of Mexico (Chiapas, Guanajuato, Mexico, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Tabasco, Veracruz, and maintained in a germplasm bank of the National Institute of Forestry, Agricultural and Livestock Research of Mexico, and they

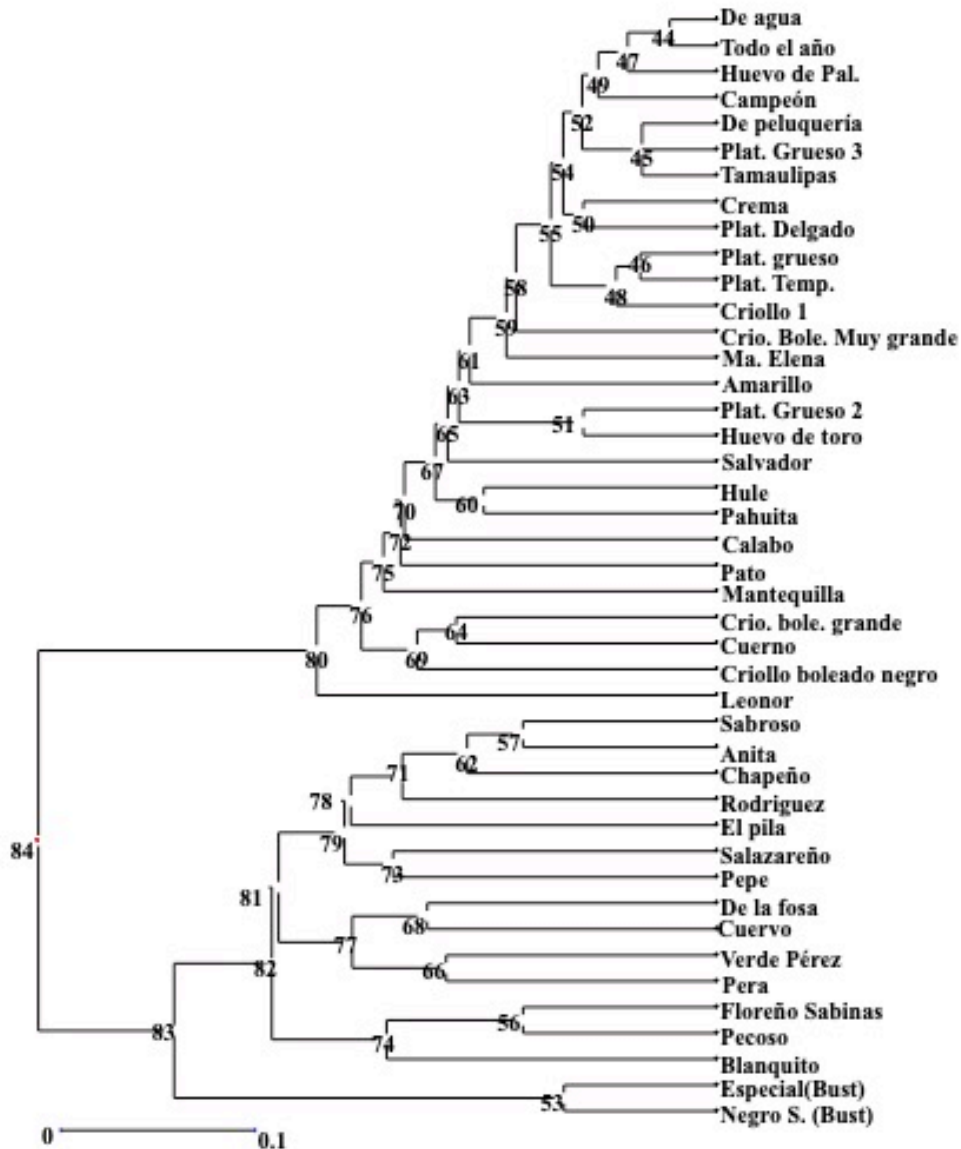


Figura 4. Relaciones genéticas obtenidas mediante la técnica de RAPD entre materiales de aguacate criollo de Nuevo León (Álvarez *et al.*, 2018).

Figure 4. Genetic relationships obtained using the RAPD technique between native avocado materials from Nuevo León (Álvarez *et al.*, 2018).

Estos resultados son coincidentes con lo reportado por Cañas *et al.* (2015), quienes al realizar la caracterización molecular y morfológica de 111 cultivares criollos y comerciales de aguacate (*Persea americana* Mill) en el departamento de Antioquia, Colombia, encontraron altos niveles de heterocigocidad, y la distancia genética de Nei, produjo tres agrupaciones que incluyeron individuos que se encontraban con gran cercanía geográfica y similares condiciones climáticas. Un análisis de componentes principales (ACP) basado en los caracteres morfológicos de los materiales de aguacates criollos de Nuevo León, produjo tres agrupaciones concordantes con lo encontrado en el dendrograma generado con el algoritmo UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean).

Cuiris *et al.*, en el 2009, también encontraron alta variación genética entre 77 accesiones de aguacate de la raza mexicana colectados en diez estados de México (Chiapas, Guanajuato, México, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Tabasco, Veracruz, y mantenidos en un banco de germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias de México, y señalan que esos altos valores pueden tener su explicación en el constante movimiento del material de aguacate para usos comerciales en todo el país, lo anterior aunado a la diversificación del suelo y las condiciones climáticas en esas regiones han favorecido la variación genética dentro de esta especie.

El nivel de diversidad genética reportado por Álvarez *et al.* (2018) en el aguacate criollo de Nuevo León es alto (84%), lo que coincide con lo observado por Gutiérrez-Díez *et al.* (2009), e incluso fue superior a lo observado por Ashworth and Clegg en el 2003, quienes reportaron un promedio de diversidad genética del 60.7 % cuando analizaron 35 cultivares de aguacate y dos parientes silvestres por medio de

point out that these high values may be explained by the constant movement of avocado material for commercial uses throughout the country, the above coupled with the diversification of the soil and the climatic conditions in those regions have favored genetic variation within this species.

The level of genetic diversity reported by Álvarez *et al.* (2018) in the creole avocado of Nuevo León it is high (84%), which coincides with that observed by Gutiérrez-Díez *et al.* (2009), and it was even higher than that observed by Ashworth and Clegg in 2003, who reported an average genetic diversity of 60.7% when they analyzed 35 avocado cultivars and two wild relatives by microsatellite markers and by restriction fragment length polymorphisms (RFLP). In the analysis of the frequencies and distribution of the polymorphic fragments, specific or unique RAPDs type fragments are reported, present in a single individual, which is of importance for your specific identification.

According to Foster *et al.* (2010), the presence of this type of fragment specific or unique in the germplasm is related to the loss of genetic diversity, possibly due to selection. However, Agrama and Tuinstra (2003), mention that specific and rare alleles are of particular interest since they can be linked to a particular genotype and serve in the diagnosis to differentiate a genotype or a specific region of the genome.

López *et al.* (2007), mention that 42% of the sequenced genes of the creole avocado are related to metabolism, 20% are of unknown function, 14% fruit ripening genes, 8% fatty acid synthesis, 6% response to pathogens. Interestingly, 6% are unreported genes and 4% are genes involved in senescence. The understanding of what happens at the molecular level in the avocado ripening process is of great importance for different aspects of the crop, mainly for postharvest handling and for genetic improvement programs.

marcadores microsatélites y por polimorfismos de longitud de fragmentos de restricción (RFLP). En el análisis de las frecuencias y distribución de los fragmentos polimórficos, se reportan fragmentos específicos o únicos tipo RAPD's, presente en un solo individuo, lo cual, es de importancia para su identificación específica.

Según Foster *et al.* (2010), la presencia de este tipo de fragmentos específicos o únicos en el germoplasma está relacionado con pérdida de diversidad genética debido posiblemente a la selección. Sin embargo, Agrama y Tuinstra (2003), mencionan que los alelos específicos y raros son de particular interés ya que pueden estar ligados a un genotipo en particular y servir en el diagnóstico para diferenciar un genotipo o una región específica del genoma.

López *et al.* (2007), mencionan que el 42% de los genes secuenciados del aguacate criollo están relacionados con metabolismo, 20% son de función desconocida, 14% genes de maduración de fruto, 8% síntesis de ácidos grasos, 6% de respuesta a patógenos, interesantemente un 6% son genes no reportados y 4% genes involucrados en senescencia. El entendimiento de lo que sucede a nivel molecular en el proceso de maduración de aguacate tiene una gran importancia para diferentes aspectos del cultivo, principalmente para el manejo postcosecha y para programas de mejoramiento genético.

Lo anterior, es de particular interés para el aguacate criollo del Estado de Nuevo León, cuyo problema para su comercialización es la corta vida de anaquel que presenta, por lo tanto, encontrar gran variación genética como lo detectaron Gutiérrez-Díez *et al.* (2009), Gutiérrez-Díez *et al.* (2015) y Álvarez *et al.* (2018), incrementa la posibilidad de generar nuevos materiales cuya vida de anaquel sea más prolongada, lo cual incrementaría su valor comercial y por otro lado, se podría aprovechar la característica de los aguacates

The foregoing is of particular interest for the creole avocado of the State of Nuevo León, whose problem for its commercialization is the short shelf life that presents, therefore, finding great genetic variation as detected by Gutiérrez-Díez *et al.* (2009), Gutiérrez-Díez *et al.* (2015) y Álvarez *et al.* (2018), increases the possibility of generating new materials whose shelf life is longer, which would increase their commercial value and on the other hand, the characteristic of creole avocados could be used to generate varieties with high content of essential oils higher than that registered in commercial varieties such as the Hass, a characteristic observed in some of the existing creole materials in Nuevo León.

Conclusions

Creole avocado materials in the State of Nuevo León present outstanding fruit morphological characteristics and are integrated into three contrasting groups according to their physiological maturity period. This represents an alternative for producers in the State of Nuevo León, Mexico, since these materials meet the expectations of management and the requirements of the state market, which can contribute to diversify the production of creole avocado in the State. There is also a record of high variability in the content of total oils and fatty acids of creole avocados, even some materials exceed the values recorded in the commercial variety Hass, and it can be inferred that this variability is due more to the characteristics of the materials than to the region where they were collected. The genetic diversity detected as existing in the native avocado materials is high (84%), which allows inferring that there is sufficient variability in this germplasm for the generation of new varieties of avocado with better characteristics of commercial interest.

References

criollos que se tiene para generar variedades con altos contenidos de aceites esenciales superior a lo registrado en variedades comerciales como el Hass, característica observada en algunos de los materiales criollos existentes en Nuevo León.

Conclusiones

Los materiales de aguacate criollos en el Estado de Nuevo León, presentan características morfológicas de fruto sobresalientes y se integran en tres grupos contrastantes de acuerdo a su período de madurez fisiológica. Lo anterior, representa una alternativa para los productores de aguacate en el Estado de Nuevo León, México, ya que estos materiales cumplen las expectativas de manejo y de los requerimientos del mercado estatal, lo cual puede contribuir a diversificar la producción de aguacate criollo en el Estado. También se tiene el registro de alta variabilidad en el contenido de aceites totales y ácidos grasos de los aguacates criollos, incluso algunos materiales superan los valores registrados en la variedad comercial Hass, y se puede inferir que esta variabilidad se debe más a las características de los materiales que a la región donde fueron recolectados. La diversidad genética detectada como existente en los materiales criollos de aguacate es alta (84%), lo que permite inferir que hay variabilidad suficiente en este germoplasma para la generación de nuevas variedades de aguacate con mejores características de interés comercial.

Referencias

- Acosta-Díaz, E., Hernández, T.I., and Almeyda, L.I.H. 2012a. Evaluación de aguacates criollos en Nuevo León, México: Región Sur. *Revista Mex. de Ciencias Agrícolas* 3:245-257.
- Acosta-Díaz, E., Almeyda, L.I.H., Hernández, T.I. and Guzmán, M.S.H. 2012b. Características morfológicas y de calidad del fruto de las principales variedades criollas de aguacate en Nuevo León. Folleto Técnico No. MX-0-310301-16-09-10. ISBN: 987-607-425-754-0. SAGARPA-INIFAP-CIRNE. Campo Experimental General Terán, General Terán, Nuevo León. 28.
- Acosta-Díaz, E., Almeyda, L.I.H. and Hernández, T.I. 2013. Evaluación de aguacates criollos en Nuevo León, México: Región Norte. *Revista Mex. de Ciencias Agrícolas* 4:531-542.
- Acosta-Díaz, E., Álvarez, O.M.G., Guzmán, M.H.S. and Almeyda, L. I. H. 2019. Variability of the total oil content and fatty acid profile of creole avocados from Nuevo Leon, Mexico. *Agronomía Mesoamericana*, Vol. 30 (3):705-719. doi:10.15517/am.v30i3.34490.
- Agrama, H.A., and Tuinstra, M.R. 2003. Phylogenetic diversity and relationships among sorghum accessions using SSRs and RAPDs. *African Journal of Biotechnology*, 2(10), 334-340. <http://dx.doi.org/10.5897/AJB2003.000-1069>.
- Álvarez, O.M.G., Pecina, Q.V., Acosta, D.E. and Almeyda, L.I.H. 2018. Evaluación molecular del aguacate criollo (*Persea americana* Mill) en Nuevo León, México. *Rev. Colomb. Biotecnol.* Vol. XX No. 2: 38 - 46. DOI:10.15446/rev.colomb.biote.v20n2.69551.
- Andrés, A.J., Nieto, Á.R, Barrientos, P.A.F., Martínez, D.M.T., González, A.F., Segura, L.S.D., Cruz, C.J.G. and Gallegos, V.C. 2004. Variación morfológica de la hoja del chirimoyo. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10(2):103-110.
- Ashworth, V.E., and Clegg, M.T. 2003. Microsatellite markers in avocado (*Persea americana* Mill.): Genealogical relationships among cultivated avocado genotypes. *Journal Hereditas*, 94, 407-41. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14557394>.
- Barrientos-Priego, A.F. and López-López L. 2002. Historia y Genética del Aguacate. In: Memoria de la Fundación ‘Salvador’ Sánchez Colín. Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas del Aguacate en el Estado de México. pp. 100-121.
- Bergh, B. and Ellstrand, N. 1986. Taxonomy of the Avocado. California Avocado Society Year Book, 70, 135-146.

- Cañas, G.G.P., Galindo, L.L.F., Arango, I.R., and Saldamando, B.C.I. 2015. Diversidad genética de cultivares 'De Agua'cate (*Persea americana*) en Antioquia, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 26 (1), 129-143. <http://hdl.handle.net/10669/17700>.
- Cuiris, P.H., Guillén, A.H., Pedraza, S.M.E., López, M.J. and Vidales, F.I. (2009). Genetic variability within mexican race avocado (*Persea americana* Mill) germplasm collections determined by ISSR. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15, 169-175. <https://www.chapingo.mx/revistas/phpscript/download.php?>
- Dreher, M.L. and Davenport, A.D. 2013. "Hass" avocado composition and potential health effects. *CRC Food Sci. Nutr.* 53:738-750.
- FAO. 2020. Las principales frutas tropicales. Análisis del mercado 2018. Roma. pp. 18.
- Foster, J.T., Allan, G.J., Chan, A.P., Rabinowics, P.D., Ravel, J., Jackson, P.J., and Keim, P. 2010. Single nucleotide polymorphism for assessing genetic diversity in castor bean (*Ricinus communis*). *BMC Plant Biology*, 10, 1-11. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-13>.
- Gutiérrez-Díez, A., Martínez-De la Cerda, J., García-Zambrano, E.A., Iracheta-Donjuan, L., Ocampo-Morales, J.D. and Cerda-Hurtado I.M. 2009. Estudio de la diversidad genética del aguacate en Nuevo León, Mexico. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32(1): 9-18.
- Gutiérrez-Díez, A., Sánchez-González, A., Torres-Castillo, J.A., Cerda-Hurtado, I.M. and Ojeda-Zacarias, M. del C. 2015. Genetic Diversity of Mexican Avocado in Nuevo León, México. In: M. Caliskan et al., editors, *Molecular Approaches to Genetic Diversity*. InTech, MEX. p. 141-159. doi:10.5772/59795.
- International Plant Genetic Resources Institute (IPGR). 1995. Descriptors for avocado (*Persea* spp.). International Plant Genetic Resources Institute. Rome, Italy. 52 Págs.
- Lerman-Garber, I., Izhazo-Cerro, S., Zamora-Gonzalez, J., Cardoso-Saldana, G. and Posadas-Romero, C. 1994. Effect of a high-monounsaturated fat diet enriched with avocado in NIDDM patients. *Diabetes Care*. 17:311-315.
- López, G.R., Torres, C.Y., Chávez, M.M, Salgado, G.R., Jiménez, M.B., Corona, A.G., and Herrera, E.L. 2007. Genómica del fruto 'De Agua'cate crio-llo (*Persea americana* Mill. var. *drymifolia*). In: Proceedings VI World Avocado Congress (Actas VI Congreso Mundial del Aguacate). Viña Del Mar, Chile. 12-16 Nov. https://www.researchgate.net/publication/237508102_GENOMICA_DEL_FRUTO_DE_AGUACATE.
- Manivel, L. and Weaver, R.J. 1974. Biometric correlations between leaf area and length measurements of 'Grenache' grape leaves. *Hort Science* 9:27-28.
- Martin, C., Butelli, E., Petroni, K. and Tonelli, C. 2011. Review. How can research on plants contribute to promoting human health? *The Plant Cell* 23:1685-1699. doi:10.1105/tpc.111.083279.
- Mendez, P.O. and Hernandez, G.L. 2007. HDL-C size and composition are modified in the rat by a diet supplementation with "Hass" avocado. *Arch. Cardiol. Mex.* 77(1):17-24.
- Mijares-Oviedo P. and López-López L. 1998. Variedades 'De Agua'cate y su producción en México. Departamento de Fitotecnia. Memoria 1998 de la Fundación 'Salvador' Sánchez Colín. Centro de Investigaciones y Tecnológicas del Aguacate en el Estado de México. Coatepec de Harinas. México. pp. 88-99. www.avocadosource.com/Journals/CICTAMEX/...1998/cictamex_1998_22-32.pdf.
- Sacks, F.M., Bray, G.A., Carey, V.J., Smith, S.R., Ryan, D.H., Anton, S.D., McManus, K., Champagne, C.M., Bishop, L.M., Laranjo, N., Leboff, M.S., Rood, J.C., Jonge, L. de, Greenway, F.L., Loria, C.M., Obarzanek, E. and Williamson, D.A. 2009. Comparison of Weight Loss Diets with Different Compositions of Fat, Protein, and Carbohydrates. *The New England Journal of Medicine*, Vol. 360 (9): 859-873.
- Sánchez-Pérez, J. de la L. 1999a. Recursos genéticos 'De Agua'cate (*Persea americana* Mill.) y especies afines en México. *Rev. Chapingo. S. Hort.* 5:7-18.
- Sánchez-Pérez, J. de la L. 1999b. Manejo Postcosecha del Aguacate. Boletín de la Asociación Agrícola Local de Productores 'De Agua'cate de Uruapan, Michoacán. México. 4 p.
- SIAP. 2020. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>.

(Consultada el 13 de noviembre del 2020).

Smith, N.J.H., Williams, J.T., Pluncknett, D.L.,
and Talbot, J.P. 1992. Tropical Forests and their
Crops. Cornell University Press. U.S.A.

Storey, W.B., Bergh, B. and G. Zentmyer, G.A.
1986. The origin, Indigenous range, and
dissemination of the avocado. Calif. Avocado
Soc. 1986 Yearb. 70: 127-133.

Williams, L.O. 1976. The botany of the avocado
and its relatives. Proc. 1st International Tropical
Fruit Short Course: The Avocado, pp. 9-15.

Williams, L.O. 1977. The avocados, a synopsis of
the genus *Persea*, subg. *Persea*. Economic
Botany 31: 315-320.