



**Caracterización morfológica de
Simmondsia chinensis (Link). C.K. Schneid. en
condiciones de riego**

Rigoberto Meza Sánchez^{1*}

Carlos Alberto Núñez Colín²

Carlos Ariel Cabada Tavares¹

¹Campo Experimental Todos Santos, Centro de Investigación Regional Noroeste, INIFAP. México.

²Programa de Biotecnología, Universidad de Guanajuato. México.

*Autor por correspondencia, email: meza.rigoberto@inifap.gob.mx.

Resumen:

La jojoba es un arbusto nativo del Desierto Sonorense, se introdujo en otros países debido a que su semilla contiene una cera líquida de uso en las industrias de cosméticos, lubricantes, fármacos y con potencial en la medicina. El propósito de este trabajo fue conocer la variabilidad de plantas femeninas de jojoba nativas de Baja California Sur, México, a través de caracteres morfológicos de una plantación

en condiciones de riego por goteo. En el estudio se consideraron 18 variables morfológicas de la planta, semilla y hojas. Se realizó un análisis descriptivo de cada una de ellas y un análisis clúster para la conformación de grupos de variabilidad; y posteriormente, se llevó a cabo un análisis discriminante canónico para determinar las variables con mayor influencia en la variabilidad entre los grupos. Se obtuvo alta variabilidad entre las plantas femeninas, que se aglomeraron en cinco grupos. Las características de índice de esbeltez y ancho de la semilla, el perímetro y diámetro Feret de las hojas; el diámetro mayor y diámetro promedio de la copa de las plantas fueron las variables más discriminantes. Asimismo, se determinó que el grupo III es el más promisorio para la selección de genotipos sobresalientes.

Palabras clave: Análisis multivariado, germoplasma, jojoba, morfología, recursos fitogenéticos, variabilidad.

Fecha de recepción/ Reception date: 8 de abril de 2017.

Fecha de aceptación/ Acceptance date: 18 de mayo de 2017.



Introducción

Simmondsia chinensis (Link). C.K. Schneid. (jojoba) es un arbusto perennifolio nativo del Desierto Sonorense y del desierto de Mojave en el suroeste de Estados Unidos de América y de áreas adyacentes en el noroeste de México (Modise, 2007; Osman y Abohassan, 2013); sin embargo, con fines comerciales se introdujo a Sudamérica, África, India, Medio Oriente y Australia (Reddy y Chikara, 2010; Aly y Basarir, 2012).

Las semillas de la planta contienen una cera líquida conocida como aceite, la cual tiene uso en las industrias de cosméticos, lubricantes, fármacos y con potencial medicinal (Wagdy y Taha, 2012; Al-Qizwini *et al.*, 2014). La pasta de la semilla se utiliza para la alimentación del ganado y como mejorador de suelos (Aly y Basarir, 2012; Abdel-Mageed *et al.*, 2014).

Dado que la jojoba es una especie dioica, la progenie es altamente heterocigótica y produce plantas de diferentes tamaños, formas y rendimientos, lo que complica su cultivo con fines comerciales (Ash *et al.*, 2005; Reddy y Chikara, 2010). No obstante, sin el conocimiento del material vegetal y del desarrollo tecnológico necesario, su cultivo no será una opción para los productores y se incrementará la dependencia del producto silvestre (semilla o cera); además, se desaprovechará el mercado mundial de la cera, así como las ventajas de adaptación del taxón para prosperar en ambientes difíciles con alta temperatura y extrema sequía (Hamerlynck y Huxman, 2009), los cuales son necesarios para enfrentar los efectos adversos del cambio climático.

Los estudios sobre la caracterización morfológica de jojoba son escasos; aunque, en algunos se analizan diferentes variables de las plantas mediante la estadística univariada, y en otros solo se describen ciertos atributos de los componentes de las plantas, así como características productivas a través de la estimación de parámetros poblacionales (El-Baz *et al.*, 2009; Osman y Abohassan, 2013).

Por ello, el propósito del presente trabajo fue conocer la variabilidad de las plantas femeninas de jojoba a partir de caracteres morfológicos de una plantación en condiciones de riego por goteo. De acuerdo a lo anterior, la hipótesis que se plantea es que, mediante algunos atributos morfológicos, es posible identificar grupos de plantas de jojoba con características similares, que sirvan de base para la selección de individuos sobresalientes.

Material y Métodos

La plantación de jojoba muestreada se encuentra en los terrenos del Campo Experimental Todos Santos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, a 23°25'7.35" N y 110°9'16.53" O, en Todos Santos, B.C.S., México. Se estableció en 1989 con semilla de otras plantaciones del Campo, procedentes de diversas colectas de poblaciones silvestres de jojoba en el estado.

El sitio se caracteriza por una precipitación anual de 170.1 mm; temperatura máxima de 27.5 °C, media de 21.6 °C y mínima de 15.7 °C; evaporación anual de 1 764.4 mm y solo 16 días con lluvia (SMN, 2016). El suelo es de textura arena migajosa, densidad aparente de 1.6 g cm⁻³, capacidad de campo de 10.0 y el punto de marchites permanente de 5.8.

La plantación bajo estudio se intervino en 2011, con una poda de rejuvenecimiento a 50 cm sobre la superficie del suelo; ripeo y rastreo del suelo; aplicación de riegos, deshierbes y reposición de plantas muertas (45 %). Finalmente, quedó conformada con 300 plantas (50 % femeninas y 50 % masculinas) a una equidistancia de 2.5 m. Se aplicaron de 4-5 riegos por año, con un volumen de 81.5 litros de agua por planta en cada riego; el control de la maleza fue de manera manual y se hicieron podas de formación a inicios de cada año.

Para conocer la variabilidad morfológica de las plantas, en 2012 y 2013 se midieron las dimensiones de 56 plantas femeninas; se consideraron 18 variables; la altura,

diámetro mayor, menor y promedio de copa; cobertura aérea e índice de esbeltez de las plantas; el peso, largo, ancho e índice de esbeltez de las semillas; el largo, ancho, área, perímetro y los índices de elongación, redondez, estrechez y diámetro Feret de las hojas.

La medición de las plantas se llevó a cabo con una regla graduada y flexómetro, se midió la altura, el diámetro mayor de la copa y otro perpendicular a este; se calculó el diámetro promedio de la copa, área de copa y el índice de esbeltez, según las siguientes fórmulas:

$$DP = \frac{DM + Dm}{2}$$

$$AC = \frac{DM * Dm * \pi}{4}$$

$$IE = \frac{A}{DP}$$

Donde:

A = Altura

DM = Diámetro mayor de la copa de las plantas

Dm = Diámetro perpendicular a DM de la copa de las plantas

DP = Diámetro promedio de la copa de las plantas

AC = Área de la copa de las plantas

IE = Índice de esbeltez de las plantas

La producción total de semillas por planta, se obtuvo pesando con una báscula digital *Adam Equipment* Modelo *ACB 3000* con aproximación de 0.10 g; para las dimensiones se usó un vernier digital con resolución de 0.01 mm, se midieron de 10 a 15 semillas por planta o el total, si el número era menor. En hojas, se tomó una muestra de 16 bien desarrolladas por planta, se escanearon utilizando un escáner de cama plana *HP ScanJet G3110* a 300 pixeles por pulgada, a cada imagen se le sobrepuso una regla digital con la misma resolución como referencia;

posteriormente se procesaron mediante el *software UTHSCSA Image Tool* ver. 3.0, para obtener las mediciones antes citadas (Wilcox *et al.*, 2002).

La información se ordenó y procesó en hojas de cálculo de *MS Office Excel*[®] para estimar los parámetros básicos de las 18 variables morfológicas consideradas en el estudio. La caracterización se realizó con un análisis estadístico multivariado para conformar grupos similares y diferenciar la variabilidad (Núñez y Escobedo, 2011; Núñez y Escobedo, 2014). Se utilizó el *software* de SAS ver. 9.3[®], se hizo un análisis clúster utilizando como índice de disimilitud la distancia euclidiana y el método de aglomeración de Ward (Hernández *et al.*, 2011; Núñez *et al.*, 2011); en la definición de los grupos se aplicaron las pruebas pseudoestadísticas de Pseudo t^2 de Hotelling y el Criterio cúbico de agrupación (CCC) para determinar el número de grupos morfológicamente homogéneos (Johnson, 2000). Asimismo, se usó un análisis discriminante canónico, el análisis de varianza multivariada y la prueba de medias estandarizadas de *Tukey* para las variables canónicas (Johnson, 2000).

Resultados y Discusión

Dimensiones de las plantas

En el Cuadro 1 se muestran las dimensiones de las plantas, el área de la copa fue el atributo que mostró el mayor coeficiente de variación, con 32.2 %. El índice de esbeltez promedio fue bajo, lo que indica que la mayoría de las plantas (80 %) son más anchas que altas y solo 20 % son casi esféricas; esto se debe a las podas de formación y a que los individuos estaban en plena recuperación de la poda; sin embargo, es conveniente modificar la arquitectura de las plantas, ya que se considera que la forma cónica de la copa facilita la cosecha de semilla (Milthorpe, 2004).

Dimensiones de las semillas

La producción de semilla por planta fue baja y muy variable, de 0.6 a 241.7 g planta⁻¹ (Cuadro 1), esta variable fue la que registró el mayor coeficiente de variación (105 %). La longitud promedio, revela que las semillas de jojoba son más largas que anchas; por ello, el índice de esbeltez promedio fue de 1.67 y únicamente dos plantas presentaron semillas muy alargadas con IE superior a 2.0.

Dimensiones de las hojas

Las dimensiones de las hojas se muestran en el Cuadro 1; el área foliar tuvo el coeficiente más grande de variación (17.4 %). En general, las hojas de jojoba duplican en longitud las dimensiones del ancho, de ahí su índice de elongación promedio de 2.1, por lo mismo muestran valores bajos en su índice de redondez y en el de estrechez (0.60 y 0.65, respectivamente), con un diámetro Feret de 2.1 cm.

Cuadro 1. Dimensiones de plantas femeninas de *Simmondsia chinensis* (Link). C.K. Schneid. en una plantación bajo riego por goteo, Todos Santos, BCS.

| Variab les | Media | C.V. (%) | Máx | Mín |
|-------------------|---------------|---------------------------|------------|------------|
| A | 80.04 ± 4.3* | 20.09 | 110 | 45 |
| DM | 122.91 ± 4.81 | 14.65 | 160 | 84 |
| Dm | 111.91 ± 5.38 | 17.98 | 156 | 62 |
| DP | 117.14 ± 4.94 | 15.78 | 157.99 | 77.55 |

| | | | | |
|-----|---------------|--------|--------|--------|
| CA | 1.12 ± 0.1 | 32.22 | 1.96 | 0.47 |
| IE | 0.69 ± 0.04 | 18.66 | 1.04 | 0.4 |
| PS | 54.29 ± 15.25 | 105.13 | 241.7 | 0.6 |
| LS | 15.54 ± 0.39 | 9.36 | 19.75 | 12.26 |
| AS | 9.36 ± 0.2 | 8 | 10.82 | 7.91 |
| IES | 1.67 ± 0.06 | 12.81 | 2.5 | 1.25 |
| LH | 32.21 ± 0.76 | 8.87 | 38.28 | 25.05 |
| AnH | 15.48 ± 0.46 | 11.01 | 19.43 | 11.6 |
| AH | 351.68 ± 16.4 | 17.45 | 510.89 | 210.52 |
| PH | 85.13 ± 1.94 | 8.53 | 99.63 | 64.97 |
| IEH | 2.10 ± 0.05 | 9.57 | 2.62 | 1.7 |
| IRH | 0.60 ± 0.01 | 7.09 | 0.67 | 0.49 |
| DFH | 20.97 ± 0.5 | 8.91 | 25.39 | 16.26 |
| IeH | 0.65 ± 0.01 | 5.25 | 0.73 | 0.57 |

* = Error de estimación; CV(%) = Coeficiente de variación; Máx = Máximo, Mín = Mínimo, A = Altura (cm); DM = Diámetro mayor de copa (cm); Dm= Diámetro menor de copa (cm); DP = Diámetro de copa promedio (cm); CA = Cobertura aérea (m²); IE = Índice de esbeltez; PS = Peso de semilla (g); LS = Largo de semilla (mm); AS = Ancho de semilla (mm); IES = Índice de esbeltez de semilla (IES = LS / AS); LH = Largo de hoja (mm); AnH = Ancho de hoja (mm); AH = Área de hoja (mm²); PH = Perímetro de hoja (mm); IEH = Índice de elongación de Hoja; IRH = Índice de redondez de hoja; DFH = Diámetro Feret de hoja (mm); IeH = Índice de estrechez de hoja.

Formación de grupos

Los resultados (Figura 1), evidenciaron que la población se agrupa en cuatro (prueba del criterio cúbico de agrupación) o en cinco grupos según la prueba Pseudo t^2 de Hotelling; por lo que se consideró formar cinco grupos, y con el análisis de resubstitución se demostró que los grupos no presentan individuos atípicos.

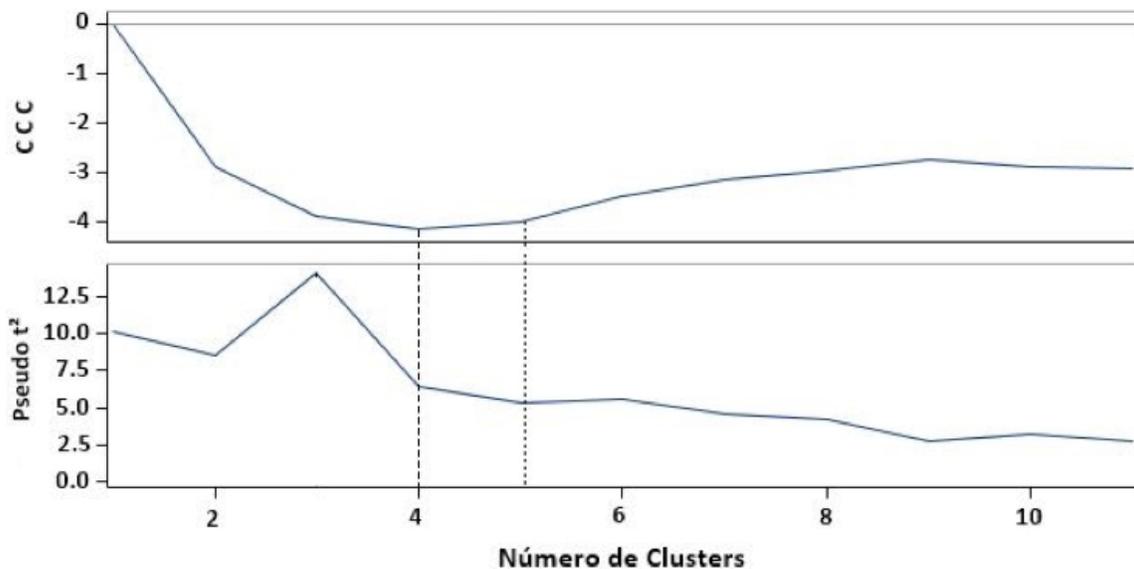


Figura 1. Pruebas pseudoestadísticas para determinar el número de grupos de plantas de *Simmondsia chinensis* (Link). C.K. Schneid.

Por lo tanto, las 56 plantas de jojoba conformaron cinco grupos, que varían de sólo dos individuos en el grupo V a 21 plantas en el grupo II. Además, la prueba de la distancia de Mahalanobis (Cuadro 2) corroboró que todos los grupos de plantas son diferentes ($P < 0.0001$).

Cuadro 2. Prueba de Mahalanobis y significancia entre grupos de plantas femeninas de *Simmondsia chinensis* (Link). C.K. Schneid.

| Grupos | I | II | III | IV | V |
|---------------|-----------|-----------|------------|-----------|----------|
| I | | 25.3189* | 19.6288 | 47.0308 | 170.4671 |
| II | <0.0001** | | 42.3432 | 57.1360 | 90.4055 |
| III | 0.0002 | <0.0001 | | 75.2420 | 199.7205 |
| IV | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | | 161.0805 |
| V | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | |

* = Distancia de Mahalanobis sobre la diagonal principal; ** = Significancia bajo la diagonal principal.

En el dendrograma (Figura 2) se muestran las plantas femeninas de jojoba, identificadas por número de línea y número de planta (L₁₋₂₅, P₁₋₁₂) en la plantación, que tienen características morfológicas similares y que se ubican en cada grupo respectivamente, en este caso la línea de corte se encuentra con una R² semi-parcial de casi 0.06.



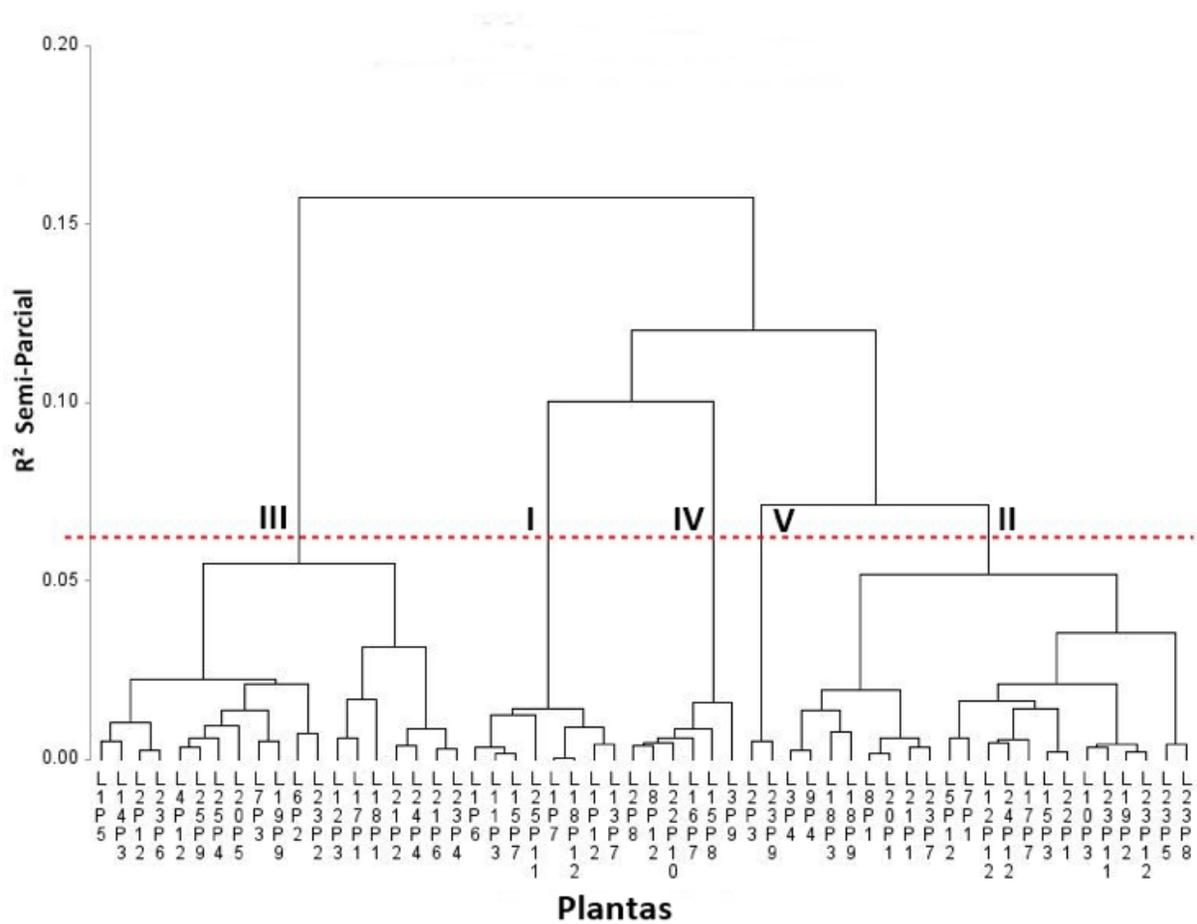


Figura 2. Dendrograma de 56 plantas femeninas de *Simmondsia chinensis* (Link). C.K. Schneid. mediante datos morfométricos.

En el análisis discriminante canónico (Cuadro 3) se determinó que las primeras tres funciones canónicas (FC) explicaron 95.56 % de la variabilidad morfológica en las plantas femeninas; la FC 1 58.3 %, la FC 2 27.3 % y la FC 3 el 9.9%.



Cuadro 3. Análisis discriminante canónico de características morfométricas de plantas de *Simmondsia chinensis* (Link). C.K. Schneid.

| Función canónica | Valor propio | Varianza explicada | Varianza acumulada | Valor de F aproximado | Prob. > F |
|-------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11.8893 | 0.5833 | 0.5833 | 7.23 | <0.0001 |
| 2 | 5.5704 | 0.2733 | 0.8566 | 4.91 | <0.0001 |
| 3 | 2.0185 | 0.099 | 0.9556 | 3.14 | <0.0001 |
| 4 | 0.9046 | 0.0444 | 1.0 | 2.23 | 0.0238 |

Las variables más correlacionadas con la raíz canónica 1 (Can 1) fueron el índice de esbeltez (X 10) y el ancho de las semillas (X 11), relacionadas con la forma y tamaño de las mismas; mientras que en la raíz canónica 2 (Can 2) fueron el perímetro (X 12) y el diámetro Feret de la hoja (X 17), relacionadas con el tamaño y forma de las hojas; y en la raíz canónica 3 (Can 3) el diámetro mayor (X 2) y el diámetro promedio (X 4) de la copa de las plantas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Estructura canónica total del análisis discriminante canónico para las características morfométricas de plantas femeninas de *Simmondsia chinensis* (Link). C.K. Schneid.

| Variables | Can1 | Can2 | Can3 | Can4 |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| X1 = Altura de planta | 0.2718 | -0.2619 | -0.0791 | 0.5204 |
| X2 = Diámetro mayor de copa | 0.1398 | -0.2969 | -0.6289 | 0.6052 |
| X3 = Diámetro menor de copa | 0.1623 | -0.3561 | -0.4987 | 0.4971 |
| X4 = Diámetro promedio de copa | 0.1583 | -0.3428 | -0.5778 | 0.5679 |

| | | | | |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| X5 = Cobertura aérea | 0.1910 | -0.3109 | -0.5289 | 0.6093 |
| X6 = Índice de esbeltez de planta | 0.1598 | 0.0126 | 0.4588 | 0.1747 |
| X7 = Producción de semilla | 0.2450 | 0.0746 | -0.0073 | -0.0600 |
| X8 = Largo de semilla | -0.3669 | -0.0175 | 0.4208 | 0.1320 |
| X9 = Ancho de semilla | 0.7276 | -0.2813 | 0.1930 | -0.0497 |
| X10 = Índice de esbeltez de semilla | -0.7793 | 0.1863 | 0.2756 | 0.1709 |
| X11 = Área foliar | 0.4899 | 0.6592 | -0.1315 | 0.0048 |
| X12 = Perímetro foliar | 0.2472 | 0.7028 | -0.1301 | 0.1652 |
| X13 = Largo de hoja | 0.0777 | 0.6684 | -0.1814 | 0.1521 |
| X14 = Ancho de hoja | 0.6546 | 0.6119 | -0.0523 | -0.0076 |
| X15 = Índice de elongación de hoja | -0.6988 | -0.0937 | -0.0302 | 0.1542 |
| X16 = Índice de redondez de hoja | 0.5941 | 0.0822 | -0.0758 | -0.3295 |
| X17 = Diámetro Feret de hoja | 0.4830 | 0.7001 | -0.1481 | 0.0175 |
| X18 = Índice de estrechez de hoja | 0.6666 | 0.0859 | 0.0305 | -0.2362 |

La Figura 3 muestra la distribución de los grupos de plantas en función de los valores canónicos; en el Can 1 con los registros más negativos correspondieron al grupo V, seguido de los grupos II y IV, este último muestra valores más negativos en el Can 2, los positivos se observan en los grupos I y III; en el Can 3 los valores positivos, se obtuvieron en las plantas del grupo V y en la mayoría de las integrantes de los grupos III y IV.



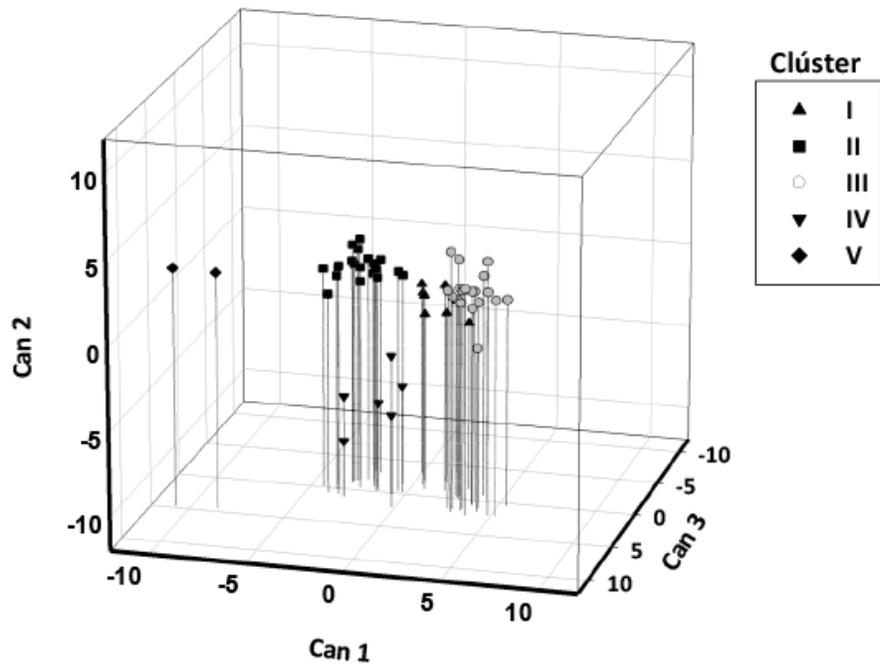


Figura 3. Distribución de las plantas femeninas de *Simmondsia chinensis* (Link). C.K. Schneid. en función de los valores del análisis discriminante canónico de variables morfométricas.

En el Cuadro 5 se presentan los promedios por grupo de las variables morfométricas más discriminantes; el índice de esbeltez de la semilla más alto correspondió al grupo V con 2.4 que son las semillas más largas y angostas, con una diferencia de 58 % entre el largo y ancho, mientras que los grupos III, IV y I tienen las semillas más anchas.

Las plantas con hojas de mayor perímetro se observaron en el grupo III seguidos por los grupos I y II, las cuales coinciden con el orden de los registros de diámetro de Feret, de 21.0 a 22.2 mm; las plantas del grupo IV fueron las de menor perímetro y diámetro Feret.

El diámetro mayor y promedio de la copa de las plantas son variables con poca aportación en la variación explicada (9.9 %) y puede considerarse como un efecto del manejo y no intrínseco de la planta, ya que estas fueron expuestas a podas de formación de diferente intensidad al menos una vez por año.

Cuadro 5. Media de las variables morfométricas más discriminantes en clúster de plantas de *Simmondsia chinensis* (Link). C.K. Schneid.

| Grupos | IE S | A S | P H | DF H | DM C | DP C |
|--------|-------------|------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| I | 1.6 / 0.10* | 9.5 / 0.51 | 86.7 / 6.05 | 21.2 / 1.01 | 152.3 / 9.6 | 145.8 / 10.1 |
| II | 1.8 / 0.1 | 8.8 / 0.5 | 86.1 / 5.0 | 21.0 / 1.0 | 119.9 / 13.7 | 113.2 / 13.4 |
| III | 1.5 / 0.1 | 10.0 / 0.5 | 88.1 / 5.9 | 22.2 / 1.4 | 115.7 / 12.8 | 110.4 / 15.5 |
| IV | 1.7 / 0.2 | 9.7 / 0.6 | 70.7 / 3.5 | 17.2 / 0.7 | 126.0 / 11.8 | 123.0 / 11.8 |
| V | 2.4 / 0.2 | 8.0 / 0.1 | 83.8 / 1.4 | 18.9 / 0.01 | 97.0 / 18.4 | 90.4 / 9.7 |

* = Media / Desviación estándar; IE S = Índice de esbeltez de semilla; A S = Ancho de semilla (mm); P H = Perímetro de hoja; DF H = Diámetro Feret de hoja (mm); DM C = Diámetro mayor de copa (cm); DP C = Diámetro promedio de copa (cm).

En el análisis de varianza multivariado de las raíces canónicas, se registró diferencia altamente significativa ($P < 0.0001$) en las tres raíces canónicas. Al realizar la comparación de medias (Cuadro 6) en el Can 1 se observaron diferencias en casi todos los grupos, excepto entre los grupos II y IV que tuvieron valores negativos y son diferentes del resto de los grupos; en el Can 2 los grupos con los valores positivos (II, III y V) muestran diferencias al resto de los grupos, pero no entre ellos; en el Can 3 con el valor positivo más alto, el grupo V fue el único con diferencias con respecto al resto de los grupos, hubo similitud entre el grupo IV con el III y II, éste último con el I.

Cuadro 11. Prueba de Tukey para la comparación de medias de las funciones canónicas del análisis discriminante canónico de variables morfométricas de *Simmondsia chinensis* (Link). C.K. Schneid.

| Grupos | n | Media Can 1* | Media Can 2 | Media Can 3 |
|---------------|----------|---------------------|--------------------|--------------------|
| I | 8 | 1.3236 b | -0.8588 b | -1.67 d |
| II | 21 | -2.5294 c | 1.1244 a | -0.8804 c d |
| III | 19 | 3.6938 a | 0.8429 a | 0.9602 b |
| IV | 6 | -1.3837 c | -6.1764 c | 0.7069 b c |
| V | 2 | -9.6759 d | 2.1503 a | 4.6818 a |

* = En columnas, valores con la misma literal son estadísticamente iguales.

Se estima que 6 % (Aryal y Ming, 2013) de las especies de angiospermas (14 620 de 240 000) son dióicas (Renner y Ricklefs, 1995), dicha unisexualidad en las plantas se deriva de ancestros hermafroditas y conlleva al dimorfismo entre machos y hembras, el cual, generalmente, se relaciona con características morfológicas, fisiológicas y del ciclo de vida (Kumar *et al.*, 2014).

La jojoba es una planta dioica y de polinización cruzada obligada; por ello, exhibe una alta variabilidad en su fenología y en parámetros morfológicos y de rendimiento (Hassanein *et al.*, 2012); además, se tienen antecedentes de que menos de 1% de las plantas provenientes de semilla de poblaciones silvestres, tiene el potencial de producir rendimientos económicamente aceptables (Reddy y Chikara, 2010).

Lo anterior sustenta los resultados de los individuos femeninos de jojoba en condiciones de riego, ya que existen diferencias morfológicas y productivas cuando se agrupan; el tamaño y forma de las semillas, el tamaño de las hojas y de la copa de las plantas, son las variables más discriminantes en la conformación de los grupos.

El polimorfismo en las semillas de jojoba, aparentemente, es una importante estrategia adaptativa contra la heterogeneidad y lo imprevisible del entorno desértico; de tal manera que las semillas más grandes y medianas germinan primero, después de una precipitación adecuada, y las pequeñas permanecen por más tiempo en estado dormante; sin embargo, en general, las semillas de jojoba son grandes y pesadas, por lo que quedan expuestas al consumo inmediato de los roedores (Matthews, 1994).

En la literatura se indica que el tamaño de las semillas de jojoba varía de acuerdo con la localidad y con el genotipo; así, el intervalo de longitud es de 0.8 a 2.33 cm y el ancho de 0.5 a 1.33 cm; además, el tamaño tiene una correlación positiva con su peso y se ubica entre 0.33 y 1.88 g semilla⁻¹, con 660 a 3 300 semillas kg⁻¹ (Meyer, 2008; Inoti *et al.*, 2015; Khan *et al.*, 2015 a). En el presente trabajo se presentó dicho comportamiento, aun con el mismo manejo agronómico, por lo que esta variabilidad se atribuye al genotipo de la especie y concuerda con un estudio en el cual se señala que la morfología vegetativa de la jojoba, es compatible con la idea del conflicto *intra locus*, cuando un mismo carácter se expresa en forma similar en ambos sexos y en el que se asume que, al menos, una parte de la variación observada tiene una base genética (Prasad y Bedhomme, 2006).

En jojoba se prefieren las semillas grandes para establecer plantaciones, ya que presentan un porcentaje mayor de germinación con respecto a las semillas de tamaño mediano y chico, además producen plántulas más vigorosas en los primeros meses de crecimiento y existe una correlación positiva entre el tamaño y el contenido de cera (Meyer, 2008; Hassanein *et al.*, 2012; Inoti *et al.*, 2015), característica de mayor importancia en el aprovechamiento y cultivo de la jojoba; las plantas del grupo III son las que, en promedio, tienen las semillas más anchas (10.0 mm) y pesadas (71.0 g).

En algunas poblaciones silvestres de jojoba se ha observado un fuerte dimorfismo de las hojas; en ellas, las hojas de plantas hembras son más grandes y con más variabilidad que las masculinas; no obstante, el grado de dimorfismo en el tamaño

de las hojas se reduce con el incremento en la precipitación anual (Kohorn, 1995). Al respecto, las plantas del grupo III registraron un área foliar de 3.9 cm², las de los grupos I y II de 3.5 cm² y una menor área foliar el grupo IV; en todos los grupos el área foliar de las plantas fue similar, ya que estuvieron bajo el mismo régimen de humedad en el suelo.

Los trabajos sobre caracterización morfológica de jjoba son escasos, pero se requieren para conocer la variabilidad que existe en su zona de origen o en plantaciones con manejo agronómico; la mayoría de ellos se han enfocado a describir y comparar un solo carácter como tamaño de plantas, de ramas, hojas, semillas o algunas características físicas o químicas del aceite (Ayerza, 2001; El-Baz *et al.*, 2009; Khan, *et al.*, 2015 b).

La estadística multivariada es una herramienta adecuada para evaluar, a la vez, más de un atributo de las plantas y sirve para hacer clasificaciones de acuerdo con las similitudes o disimilitudes de todas las características medidas, así como para seleccionar las variables con mayor aporte en la caracterización y para detectar las diferencias que se presentan entre y dentro de los grupos conformados (Núñez y Escobedo, 2014).

Con este procedimiento, fue posible agrupar las plantas femeninas de jjoba con caracteres morfológicos similares, además de identificar las variables más relevantes en la caracterización de las plantas, las cuales están relacionadas con las dimensiones de las semillas y de las hojas, atributos que se pueden utilizar como base en estudios posteriores y en otras localidades. Asimismo, se lograron determinar las diferencias entre los grupos de plantas femeninas que se formaron.

Conclusiones

Se tiene una alta variabilidad morfológica y productiva entre las plantas femeninas de jjoba en condiciones de riego por goteo; se lograron formar cinco grupos de

plantas, cada uno con características morfológicas similares dentro del grupo, pero con diferencias morfológicas con los de otros grupos.

Los altos valores en la estructura canónica del análisis discriminante indican que las variables morfológicas índice de esbeltez y el ancho de las semillas; el perímetro y el diámetro Feret de la hoja, y el diámetro mayor y el diámetro promedio de la copa de las plantas son variables más importantes en la definición de los grupos de plantas femeninas de jojoba.

Los individuos que conforman el grupo III representan los genotipos más sobresalientes para iniciar la selección de plantas de jojoba con buen potencial productivo, ya que registran el mayor peso de semilla por planta.

Agradecimientos

A la Sagarpa, SNICS, Sinarefi y Cofupro por el apoyo económico proporcionado a la Red de Jojoba para el desarrollo del trabajo. Asimismo, al C. Pilar Cota Ruíz por su apoyo en el trabajo de campo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Rigoberto Meza Sánchez: elaboración del manuscrito; Carlos Alberto Núñez Colín: apoyo en el análisis estadístico y revisión del manuscrito; Carlos Ariel Cabada Tavares: apoyo en toma de datos en gabinete y revisión del manuscrito.

Referencias

- Abdel-Mageed M., W., S. A. H. Bayoumi, A. A. Radwan, M. M. Salem-Bekhit, S. H. Abd-Alrahman, O. A. Basudan and H. M. Sayed. 2014. *Simmondsia chinensis*: A rich source of bioactive flavonoids and lignans. *Industrial Crops and Products*. 60 (2014): 99–103.
- Al-Qizwini, H., E. Al-Khateeb, N. M. Mhaidat and A. Saleem. 2014. Cytotoxic effects of Jordanian *Simmondsia chinensis* (Link) C.K. Schneid. on different cancer cell lines. *European Scientific Journal* 10 (24): 182–195.
- Aly A., M. M. and A. Basarir. 2012. Biotechnology approaches and economic analysis of jojoba natural products. *In: Erdogan O., I. (ed.). Biotechnological production of plant secondary metabolites*. Bentham Science Publishers. Ankara, Turkey. pp. 159–175.
- Aryal, R. and R. Ming. 2013. Sex determination in flowering plants: Papaya as a model system. *Plant Science (217-218)*: 56–62.
- Ash, G. J., A. Albiston and E. J. Cother. 2005. Aspects of jojoba agronomy and management. *Advances in Agronomy (85)*: 409–437.
- Ayerza H., R. 2001. Wax-ester composition of ten jojoba clones growing in two arid ecosystem of South America. *Tropical Science London* 41 (4): 168–171.
- El-Baz E., E., E. El-Dengawy F., S. E. El-Shahat S. and E. El-Hassan M. 2009. Studies on some morphological aspects of jojoba [*Simmondsia chinensis* (Link) Schneider] under Egyptian conditions. *Journal of Agricultural Science of Mansoura University* 34 (11): 10575–10586.
- Hamerlynck P., E. and T. Huxman E. 2009. Ecophysiology of two Sonoran Desert evergreen shrubs during extreme drought. *Journal of Arid Environments* 73 (4-5): 582–585.
- Hassanein A., M., E. Galal, D. Soltan, K. Abed-Elsaboer, K. Saad G., M. Gaboor G. and S. El Mogy N. 2012. Germination of jojoba (*Simmondsia chinensis* L) seeds

under the influence of several conditions. *Journal of Environmental Studies* 9: 29–35.

Hernández M., M. A., C. A. Núñez C., S. H. Guzmán M., E. Espinosa T. y M. G. Herrera H. 2011. Variabilidad morfológica mediante caracteres de semilla de poblaciones de *Amelanchier denticulata* (Kunth) Koch, originarias de Guanajuato, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17 (3): 161–172.

Inoti S., K., S. A. Chamshama O., R. Dodson, W. Thagana M. and L. L. Lulandala L. 2015. Studies on seed size and storage on germinability and performance of young jojoba (*Simmondsia chinensis* L.) seedlings in semi-arid areas of Kenya. *Journal of Biology Agriculture and Healthcare* 5 (12): 10–16.

Johnson E., D. 2000. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. International Thompson Editores. México, D. F., México. 566 p.

Khan, D., M. Javed Z. and A. Rauf. 2015 a. Some observations on seeds and seedlings of jojoba [*Simmondsia chinensis* (Link) C.K. Schneider (Family: Simmondsiaceae)] – a native of Sonoran Desert – cultivated in Pakistan. *International Journal of Biology and Biotechnology* 12 (4): 649–666.

Khan, D., M. Javed Z. and S. Murtaza A. 2015 b. Leaf area estimation in jojoba (*Simmondsia chinensis* (Link.) C.K. Schneider) seedlings. *International Journal of Biology and Biotechnology* 12 (4): 667–674.

Kohorn U., L. 1995. Geographic variation in the occurrence and extent of sexual dimorphism in a dioecious shrub, *Simmondsia chinensis*. *Oikos* 74 (1): 137–145.

Kumar S., R. Kumari and V. Sharma. 2014. Genetics of dioecy and causal sex chromosomes in plants. *Journal of Genetics* 93 (1): 241–277.

Matthews R., F. 1994. *Simmondsia chinensis*. In: Fire Effects Information System (Online). USDA, Forest Service. Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory. <http://www.fs.fed.us/database/feis/plants/shrub/simchi/all.html> (11 de abril de 2016).

- Meyer E., S. 2008. Simmondsiaceae—Jojoba family. *Simmondsia chinensis* (Link) Schneid. Jojoba. *In*: Bonner T., F. and R. Karrafalt T. (eds.). The woody plant seed manual. USDA, Forest Service. Washington, DC USA. Agriculture Handbook 727. pp. 1049–1051.
- Milthorpe P., L. 2004. Jojoba. The new crop industries handbook. Rural Industries Research and Development Corporation. Canberra, Australia. Publication No. 04/125. pp. 251-255.
- Modise M., D. 2007. *Simmondsia chinensis* (Link) C.K. Schneid. *In*: Van Der Vossen M., H. A. and G. Mkamilo S. (eds.). Plant Resources of Tropical Africa (PROTAU4). Wageningen, Netherlands.
[http://www.prota4u.org/protav8.asp?g=peandp=Simmondsia+chinensis+\(Link\)+C.K.Schneid](http://www.prota4u.org/protav8.asp?g=peandp=Simmondsia+chinensis+(Link)+C.K.Schneid) (10 de febrero de 2015).
- Núñez C., C. A. y D. Escobedo L. 2011. Uso correcto del análisis clúster en la caracterización de germoplasma vegetal. *Agronomía Mesoamericana* 22 (2): 415–427.
- Núñez C., C. A. y D. Escobedo L. 2014. Caracterización de germoplasma vegetal: La piedra angular en el estudio de los recursos fitogenéticos. *Acta Agrícola y Pecuaria* 1 (1): 1–6.
- Núñez C., C. A., M. A. Serrato C., M. T. Santos C., C. del C. Luna M., J. Martínez S. y J. A. Cuevas S. 2011. Caracterización de *Tagetes filifolia* del centro-sur de México por morfometría de los aquenios. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82 (2): 539–549.
- Osman E., H. and A. Abohassan A. 2013. Introducing jojoba in the Arabian Desert: Agronomic performance of nine jojoba clones selected in Makkah area in northern and western Saudi Arabia. *International Journal of Theoretical and Applied Sciences* 5 (1): 37–46.
- Prasad G., N. and S. Bedhomme. 2006. Sexual conflict in plants. *Journal of Genetics* 85 (3): 161–164.

- Reddy P., M. and J. Chikara. 2010. Biotechnology advances in jojoba (*Simmondsia chinensis*). In: Ramawat G., K. (ed.). Desert Plants: Biology and Biotechnology. Springer. Heidelberg, Germany. pp. 407–421.
- Renner S., S. and R. Ricklefs E. 1995. Dioecy and its correlates in the flowering plants. American Journal of Botany 82 (5): 596–606.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). 2016. Normales climatológicas por estación. Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua. Semarnat. http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_contentandview=articleandid=42andItemid=75 (5 de febrero de 2016).
- Wagdy M., S. and F. Taha S. 2012. Primary assessment of the biological activity of jojoba hull extracts. Life Science Journal 9 (2): 244–253.
- Wilcox, C. D., S. Brent D., W. Doss McD. and D. Greer B. 2002. Image tool, version 3: User's guide. University of Texas Health Science Center. San Antonio, TX USA. p. 62.