

Distribución geográfica y usos de especies del género *Dioscorea*

Geographic distribution and uses of species of the genus *Dioscorea*

Jocelyn Maira Velázquez-Hernández

Doctorado en Ciencias en Biosistemática, Ecología y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas, Universidad de Guadalajara México.

Noé Durán-Puga*

Departamento de Producción Agrícola, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, México.

José Ariel Ruíz-Corral

Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, México.

Diego R. González-Eguiarte

Departamento de Desarrollo Rural Sustentable, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco

Fernando Santacruz-Ruvalcaba

Departamento de Producción Agrícola. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco, México.

Agustín Gallegos-Rodríguez

Departamento de Producción Forestal, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, México.

*Autor para correspondencia: noe.duran@academicos.udg.mx

Resumen

Las especies del género *Dioscorea* están ampliamente distribuidas en todo el mundo; es un recurso utilizado en distintos países debido a que producen tubérculos que ofrecen numerosos beneficios para la salud humana por su contenido de diosgenina, compuesto que es utilizado como: antiinflamatorio, androgénico, estrogénico y en la elaboración de medicamentos anticonceptivos; también se menciona que estos compuestos poseen propiedades citotóxicas, antitumorales, antifúngicas, inmunorreguladoras, hipoglucémicas y cardiovasculares, también se utilizan para la prevención y tratamiento de enfermedades, degenerativas. Las especies como *Dioscorea bulbifera*, *Dioscorea cayenensis*, *Dioscorea collettii*, *Dioscorea deltoidea*, *Dioscorea futschauensis*, *Dioscorea nipponica*, *Dioscorea panthaica*, *Dioscorea parviflora*, *Dioscorea polygonoides*, *Dioscorea pseudojaponica*, *Dioscorea spongiosa*, *Dioscorea villosa*, *Dioscorea composita*, *Dioscorea zingiberensis*, producen una concentración mayor de diosgenina. Los tubérculos y raíces de este grupo forman parte de los alimentos consumidos más antiguos por el humano, dado su elevado nivel nutricional, ecológico y económico. En muchos países tropicales, el empleo de varios tubérculos y raíces del género *Dioscorea* juegan un papel muy importante como fuente principal de energía y nutrientes esenciales a bajo costo, también se emplean como forraje para el ganado y fuente de ingresos. Son ricos en almidón, vitaminas, minerales y lípidos, cuentan con potencial para combatir el hambre en países del tercer mundo. En la actualidad existe poco o nulo conocimiento en México sobre la forma de cultivar estas especies.

Palabras clave: Ñame, diosgenina, bioactivos, valor nutricional, propiedades medicinales

Abstract

Species of the genus *Dioscorea* are widely distributed throughout the world. It is a resource used in different countries because they produce tubers that offer numerous benefits for human health due to their diosgenin content, a compound that is used as: anti-inflammatory, androgenic, estrogenic and in the preparation of contraceptive drugs; It is also mentioned that these compounds have cytotoxic, antitumor, antifungal, immunoregulatory, hypoglycemic and cardiovascular properties, they are also used for the prevention and treatment of degenerative diseases. Species such as *Dioscorea bulbifera*, *Dioscorea cayenensis*, *Dioscorea collettii*, *Dioscorea deltoidea*, *Dioscorea futschauensis*, *Dioscorea nipponica*, *Dioscorea panthaica*, *Dioscorea parviflora*, *Dioscorea polygonoides*, *Dioscorea pseudojaponica*, *Dioscorea spongiosa*, *Dioscorea villosa*, *Dioscorea composita*, *Dioscorea zingiberensis*, produce a higher concentration of diosgenin. The tubers and roots of this group are part of the oldest foods consumed by humans, given their high nutritional, ecological and economic level. In many tropical countries, the use of various tubers and roots of the genus *Dioscorea* play a very important role as a main source of energy and essential nutrients at low cost, they are also used as fodder for livestock and a source of income. This plant are rich in starch, vitamins, minerals and lipids, and have the potential to fight hunger in third world countries. Currently there is little or no knowledge in Mexico on how to cultivate these species.

Keywords: Ñame, diosgenin, bioactives, nutritional value, medicinal properties

Introducción

Las especies del género *Dioscorea* pertenecen a la familia *Dioscoreaceae*; son plantas monocotiledóneas, perennes, trepadoras, de hojas acorazonadas, flores dioicas, semillas en racimos axilares, productoras de tubérculos subterráneos y aéreos (Muluaem *et al.*, 2018). Comprende un número incierto de especies, sin embargo, se han registrado hasta el momento más de 600 (Burkill, 1960; Coursey, 1967). Téllez (2009), menciona que actualmente la familia *Dioscoreaceae* sólo está formada por el género *Dioscorea* y que ahora solamente se reconocen entre 350 a 400 especies, incluidas *Borderea* Miegév., *Epipetrum* Phil., *Nanarepenta* Matuda, *Rajania* L., *Tamus* L. y *Testudinaria* Salisb., como sinónimos de *Dioscorea*. Además, las especies de *Dioscorea* están agrupadas entre 70-75 secciones, de 25 a 30 pertenecen al subgénero *Helmia* y alrededor de 45-50 al subgénero *Dioscorea*.

Se distribuyen en África, Asia, Oceanía y América del Sur (González, 2012); en México existen entre 60 y 80 especies distribuidas a lo largo del territorio nacional (McVaugh, 1989; Téllez y Schubert, 1987), las cuales no se cultivan, son obtenidas por colecta, ya que su desarrollo generalmente es de forma silvestre (Me Vaugh, 1989). Son de gran importancia alimentaria, producen tubérculos ricos en carbohidratos, lípidos, vitaminas, minerales y metabolitos secundarios (Soto *et al.*, 2014; Obidiegwu *et al.*, 2020), con

importancia farmacéutica y en la medicina tradicional, algunas producen altas concentraciones de saponinas esteroidales (Zhang *et al.*, 2019), cuyos compuestos son una fuente de diosgenina (Wei *et al.*, 2013), materia prima que es utilizada para la síntesis comercial de fármacos como anticonceptivos orales, hormonas sexuales y corticosteroides (Chauhan *et al.*, 2018); se cultivan para el consumo humano, ya que poseen alto valor alimentario y su sabor es muy apreciado, además de contribuir en algunos aspectos sociales, culturales, económicos y religiosos de la vida de diversas comunidades indígenas del mundo (Zannou *et al.*, 2004). Se han registrado 25 especies alimenticias, 15 medicinales y 6 ornamentales. (Coursey, 1967) señala que más de 60 especies tienen valor económico y más de 9 son importantes para la producción industrial de hormonas sexuales y cortisona (Chu, 1991).

Se cultivan con un bajo desarrollo tecnológico, se desconocen sus requerimientos agroclimáticos y existe poco o nulo conocimiento sobre la forma de cultivar estas especies (Santacruz-Ruvalcaba *et al.*, 2005), la producción se caracteriza por ser de consumo regional (Hata *et al.*, 2003), el cultivo es artesanal en pequeñas áreas y se emplea la mano de obra familiar (Mendoza-Crespo y Ortiz-Velásquez, 2020).

Botánica del género *Dioscorea*

Las especies de *Dioscorea* son enredaderas que se

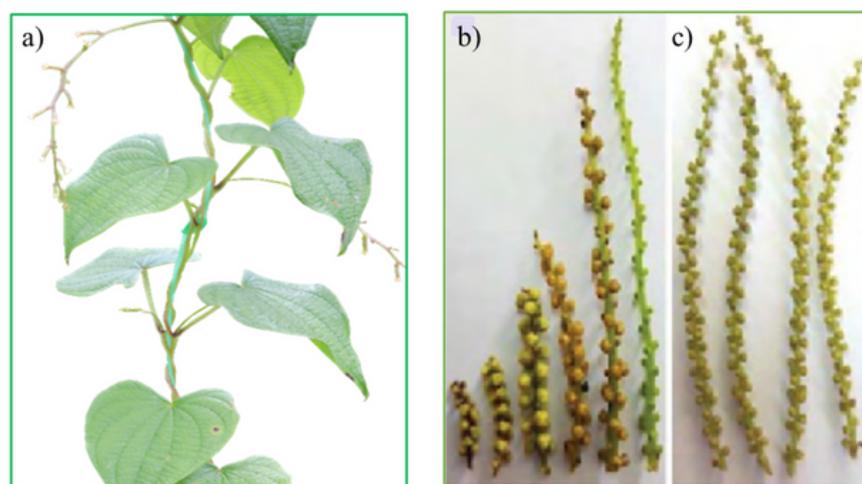


Figura 1. **a)** *Dioscorea remotiflora* desarrollada en Jalisco México, **b)** Inflorescencias masculinas de accesiones diploides de *Dioscorea alata* (las dos primeras a la izquierda), tetraploides *D. alata* (tercera inflorescencia) e inflorescencias de cultivares de *D. nummularia*; **c)** inflorescencias masculinas de *Dioscorea nummularia* (Keith and Oduro, 2021).

desarrollan y enrollan sobre la vegetación de su entorno, la dirección de entrelazamiento de los tallos es específica de la especie (Prain y Burkill, 1938), un ejemplo de ello es, *Dioscorea zingiberensis*, *Dioscorea sansibarensis* y *Dioscorea tentaculigera* se enrollan a la izquierda y *Dioscorea glabra*, *Dioscorea transvers* y *Dioscorea polystachyahilo* a la derecha, las hojas son cordadas simples en forma de corazón, nacidas en tallos largos y angostos que varían en forma incluso en la misma planta (Figura 1a). Son especies dioicas, las flores están separadas y generalmente nacen en plantas separadas, aunque algunas especies pueden ser monoicas, un ejemplo es *Dioscorea lagoa-santa*. Las flores femeninas nacen en espigas axilares (Inflorescencias no ramificadas, indeterminadas con flores séviles) y flores masculinas en panículas (inflorescencias con muchas ramas) que miden hasta unos 30 cm de largo (Thompson and Oduro, 2021) (Figura 1b, 1c).

El fruto es una cápsula trilocular seca dehiscente que varía en tamaño de aproximadamente 1 a 3 cm de largo y más largo que ancho o igualmente ancho, dependiendo de la especie, las capsulas contienen semillas aladas que son dispersadas por el viento (Coursey, 1967). Existen dos tipos de tubérculos producidos por las especies de *Dioscorea*, los que se desarrollan sobre el suelo, comúnmente llamados bulbillos y algunas veces denominados tubérculos aéreos, y los producidos bajo tierra que normalmente son sólo denominados tubérculos o, a veces, rizomas, además presentan diversos colores, como blanquecinos, amarillos, púrpuras, entre otros (Okagami y Tanno, 1991) (Figura 2). Rubatzky y Yamaguchi (1997) reportan que existen algunas anomalías en las características de los tubérculos de *Dioscorea*, lo cual hacen difícil de categorizar.

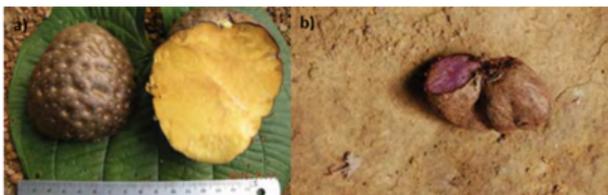


Figura 2. a) *D. bulbifera* en rodajas longitudinales ambos de una raza silvestre en Siritkit Dam, provincia de Uttaradit del norte de Tailandia (reproducido con permiso del Dr. Chirdsak Thapyai); y b) *D. alata*, var púrpura de la granja de ñame de Sarinya en la provincia de Chachoengsao en la región oriental de Tailandia (Keith and Oduro, 2021).

Origen y distribución geográfica del género

Su distribución se registra al final del Cretáceo, expandiéndose en el período Oligoceno y su evolución ocurrió por separado del nuevo y viejo mundo (Rodríguez, 2000), se cree que la separación del ancestro asiático del africano ocurrió en el Mioceno por lo que en Europa muchas especies muestran afinidad con algunas especies de África, con algunas diferencias entre los tubérculos, lo cual permitió el desarrollo de una amplia diversidad genética a partir de las diferentes condiciones ambientales de cada continente (Burkill, 1960; Viruel *et al.*, 2016), algunas especies se originaron en zonas forestales con alta humedad relativa y baja radiación solar (González, 2012), actualmente su distribución es pantropical, sin ser específicos en una distribución (Martin-Ortiz 1966; González, 2012; Bernabé *et al.*, 2012; Couto *et al.*, 2018).



Figura 3. Distribución geográfica de la familia Dioscoreaceae. Vega (2012)

Se tiene conocimiento que estas plantas fueron domesticadas aproximadamente hace 10,000 años, siendo después de la calabaza y la cebada, uno de los cultivos domesticados más antiguos (Harlan 1992). Las especies con importancia económica, se distribuyen en tres principales regiones mundiales, mismas que representan a tres centros independientes de diversidad: América Tropical (*Dioscorea trifida*), África Occidental (*Dioscorea rotundata*, *D. cayenensis* y *Dioscorea dumertorum*) y al Sudeste Asiático (*Dioscorea afata*, y *Dioscorea esculenta*), *D. bulbifera* aparece en África y en Asia. *D. afata* es la única especie sin representación silvestre en el mundo entero y es la más ampliamente distribuida (Zannou *et al.*, 2009).

Algunas de estas especies son cultivadas en comunidades indígenas y una gran parte de las especies silvestres se desconoce su procedencia (Coursey, 1967) (Figura 3).

Adaptación y ecofisiología

Este género se distribuye en ambientes tropicales y subtropicales (Coursey, 1967), el cultivo es limitado en los climas de bosques lluviosos tropicales, climas monzónicos y climas de sabana tropicales (Coursey, 1967; Wilson, 1977), el crecimiento de la mayoría de las especies es altamente restringido por las temperaturas inferiores a los 20°C (no tolera heladas) ya que requiere temperaturas en el rango de 25 a 30°C para un desarrollo normal, por lo que es posible que las temperaturas cálidas favorezcan el crecimiento del follaje y altas tasas respiratorias, retardando el crecimiento de los tubérculos, (Coursey, 1967; Purseglove, 1972; Martin, 1972).

La distribución de la precipitación o la irrigación equivalente es necesaria para acumular los 1500 mm requeridos por el cultivo durante un ciclo anual (Onwueme, 1978a), la variación en la cantidad total de precipitación entre las semanas 14 y 20 de crecimiento, por encima o por debajo de los 480 mm es otro aspecto que afecta la producción de tubérculos (Waitt 1963), en los trópicos húmedos con, por lo menos, 1150 mm de precipitación durante la época de cultivo y una estación seca de dos a cuatro meses, la producción de tubérculos alcanza de 60 a 70 t ha¹ (Gurnah, 1974; Rodríguez, 1994); en contraste, las áreas secas donde la precipitación es de tan sólo 400 mm, la producción es menor de cinco t ha¹ (Norman *et al.*, 1984), la adaptación de las especies incluye la tolerancia a períodos secos, aún después de la emergencia; la planta de ñame puede sobrevivir bajo condiciones de déficit hídrico mejor que muchos otros cultivos, sin embargo, este factor puede retrasar la producción de tubérculos drásticamente (Onwueme, 1975).

Además de los factores ambientales, las especies están limitados por la altitud que oscila entre el rango de latitudes 20° N y 20° S y altitudes máximas de 1000 m (Wilson, 1977), el crecimiento también parece ser afectado por la duración del día, ya que días de más de doce horas favorecen el crecimiento del follaje; en contraste, los días cortos afectan de manera positiva la producción de tuberización (Coursey, 1967), consecuentemente, la senescencia y muerte descendente de los tallos al final del ciclo de crecimiento parece estar bajo control fotoperiódico (Martin, 1974). El origen fue en las regiones forestales, donde desarrollaron la capacidad para trepar y es una adaptación a este ambiente, caracterizado por una alta

humedad relativa, pero con una baja radiación.

El género *Dioscorea* requiere de suelos fértiles, profundos (> 0.6m), de textura franca y bien drenados (Coursey, 1967); la fertilización basada en nitrógeno y potasio aumenta la producción de tubérculos, a diferencia de la respuesta al fósforo que no parece tener un efecto en la producción (Ferguson y Haynes, 1970).

Crecimiento y desarrollo

La fenología del género *Dioscorea* (Figura 4), de manera general se divide en cinco fases, basadas en el crecimiento de la planta, la maduración de los rizomas y la brotación (Ruiz, 2003, Vargas-Núñez, 2019).

Fase I (rotura de la fase de reposo de los rizomas): comprende un período de 120 días entre la maduración de los rizomas y la ruptura del reposo.

Fase II (>90% de las plantas brotadas): comprende 60 días determinados por la ruptura del reposo de los rizomas y la brotación, definiendo la fase de crecimiento exponencial de la parte aérea de la planta y el sistema radical.

Fase III (máximo de la tasa de crecimiento): cuenta con 70 días de crecimiento vegetativo entre la brotación y la tasa máxima de crecimiento; los rizomas presentan un buen crecimiento en esta fase.

Fase IV (fase máxima de crecimiento de los rizomas): se presenta en los 60 días siguientes, donde los rizomas alcanzan su máxima tasa de crecimiento (70 días a 130 días después de la germinación). El desarrollo del follaje y de los tallos comienza a declinar, en contraste con el crecimiento de los rizomas, los cuales incrementan exponencialmente.

Fase V (>75% de los rizomas maduros): comprende 55 días del ciclo anual, cuando el follaje decayó y el crecimiento de los rizomas alcanzó una tasa constante (130 días a 185 días después de la brotación). La antesis de las flores masculinas ocurre durante esta última etapa fenológica, alrededor de los 160 días después de la brotación. (Campbell *et al.*, 1962; Onwueme, 1973; Wickham *et al.*, 1981; Rodríguez, 2000; Vargas-Núñez, 2019).

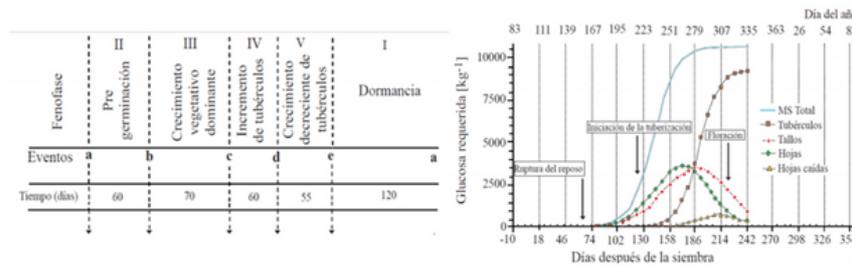


Figura 4. Curva de crecimiento del ñame con base en el análisis de crecimiento (a) rompimiento del reposo de los rizomas; (b) >90% de las plantas germinadas; (c) máximo de la tasa de crecimiento de la biomasa total; (d) máxima tasa decrecimiento de los rizomas; (e) >75% de los rizomas maduros. Estación Experimental “Los Diamantes”, Guápiles, Costa Rica. 2000.

Cultivo del ñame

Degras *et al.* (1977), mencionan que no producen semillas viables, salvo algunas excepciones; casi todos los ñames se propagan de manera vegetativa y generalmente a partir de tubérculos subterráneos o aéreos que se producen en las hojas axilares; se cultivan de diversas formas, incluso en terrenos llanos, en montículos y surcos de tamaño aproximado de 30 cm de alto (Wilson 1982); el tubérculo es comúnmente cortado en trozos que luego se plantan, para obtener un crecimiento más temprano y más vigoroso, se deben de utilizar las piezas cercanas a la parte superior (Asumugha *et al.*, 2009; Thompson, y Oduro, 2021).

Se debe cosechar desenterrando los tubérculos y cortando el extremo donde los tallos todavía están unidos, la técnica correcta se realiza cosechando el tubérculo antes de que esté por madurar completamente (Onwueme, 1973). La segunda cosecha es al final de la temporada, cuando la planta envejece (1 a 3 meses después la primera cosecha), estos tubérculos son utilizados únicamente como semilla (Aighewi *et al.*, 2015; Thompson y Oduro, 2021).

Usos y aprovechamiento

Importancia alimentaria

Las raíces, tubérculos y rizomas se han utilizado como alimento y medicina tradicional desde la prehistoria por los pueblos aborígenes (Karnick, 1969); en Nueva Guinea fueron los primeros en nombrar al cultivo de ñame como Inhame y los tubérculos fueron utilizados predominantemente como fuente de alimento rico en almidón (Karnick, 1969); entre la gran cantidad de especies reportadas

que solo 25 de ellas han sido domesticadas para la generación de alimentos e ingresos en África, Asia y América Latina (Scarcelli *et al.*, 2017), debido a los altos beneficios nutricionales, ubicando a este cultivo de raíces y tubérculos como el más esencial y utilizado a nivel mundial después de la papa (*Solanum spp.*), yuca (*Manihot esculenta*) y camote (*Ipomoea spp.*) (Obidiegwu *et al.*, 2020). Los tubérculos del ñame son una fuente de alimento debido a que produce altos niveles de carbohidratos, de fibra, almidón y azúcar, que aportan alrededor de 200 calorías dietéticas por persona por día, a 300 millones de personas en las zonas tropicales (Mignouna *et al.* 2008). Las especies *D. alata*, *D. remotiflora*, *D. esparisiflora*, *D. cayenensis* y *D. rotundata* por mencionar algunas, contienen alrededor de 85% de carbohidratos, 7.35% de proteínas, 3.76% de lípidos, 3.68% de minerales (potasio, hierro, sodio y magnesio) y vitaminas; además, contienen metabolitos secundarios como esteroides, saponinas y diosgenina aunque en baja concentración (Akissoé *et al.*, 2003; Soto *et al.*, 2014).

En el año 2018, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) reportó que la producción mundial del ñame fue aproximadamente 72.6 millones de toneladas en 8.7 millones de hectáreas de superficie cosechada; África aportó el porcentaje más alto con el 97.1% (FAOSTAT, 2020). Actualmente se le considera como una importante fuente de alimento y cultivo comercial, con la cual se puede combatir la desnutrición, la inseguridad alimentaria y la pobreza (Coursey, 1967; Obidiegwu y Akpabio, 2017); se puede consumir como alimento en forma de snack nutritivo o como elemento de platillos gourmet, así como harinas, como puré y pastas (Akissoé *et al.*, 2003; Soto *et al.*, 2014).

Importancia farmacéutica

Además del aprovechamiento alimenticio, también producen metabolitos secundarios, compuestos bioactivos que se producen a través de las rutas biosintéticas y metabólicas asociadas con el crecimiento y desarrollo de las plantas (Bernhoft, 2010). Estos compuestos fitoquímicos que modulan el metabolismo tienen numerosos efectos benéficos para la salud, como antioxidantes, antihipertensivos, antiinflamatorios y antidiabéticos, inhibición de las actividades de los receptores, inhibición o inducción de enzimas y la inducción e inhibición de la expresión génica (Álvarez *et al.*, 2017; Zhang *et al.* 2019);, de acuerdo a la especie se producen con mayor o menor concentración compuestos tales como fenoles, flavonoides, alantoína, dioscina, dioscorina, diosgenina, polifenoles, taninos, cianuro de hidrógeno, oxalato, saponina y alcaloides (Wu *et al.*, 2016).

Las saponinas esteroides son constitutivos estructurales por azúcares y agliconas, por lo que poseen una amplia gama de actividades biológicas (Obidiegwu *et al.*, 2020); en su mayoría contienen un esteroide: espirostanosapogenina, mejor conocida como diosgenina (Raju y Rao, 2012), la diosgenina, un aglicón de dioscina, se encuentra presente en varias especies de ñame, lo que permite concluir, que son una de las principales fuentes de diosgenina saponina esteroidal estos compuestos han sido utilizados en la industria farmacéutica para la síntesis de los fármacos esteroides estrógeno, progesterona y cortisona (Balandrin *et al.*, 1985).

Los principales efectos de la diosgenina incluyen la disminución del estrés oxidativo, la inducción de la apoptosis, prevención de eventos inflamatorios, promoción de la diferenciación/proliferación celular, regulando la respuesta inmune de las células T, lo que provoca efectos antidiabéticos, anticancerígenos, neurológicos, protectores cardiovasculares, inmunomoduladores, estrogénicos, protectores de la piel y antimicrobianos (Chen *et al.*, 2015; Jesús *et al.*, 2016), las especies de *Dioscorea* que producen mayor concentración de Sapogeninas son las siguientes: *D. zingiberensis*, *D. spiculiflora*, *D. composita*, *D. deltoidea*, *D. sylvatica*, *D. nipponica*, *D. panthaica*, *D. gracillima*, *D. collettii*, *D. althaeoides* (Yi *et al.*, 2014), ubicadas principalmente en México y China (Shen *et al.*, 2018). En México las especies que se han

encontrado con presencia en mayor o menor medida de sapogenina son: *bartlettii* Morton, *capillaris* Hemsl, *composita* Hemsl, *convolvulácea* subsp. *Grandifolia* (Schlecht.) Uline, *cyphocarpa* Robinson, *dugesii* Robinson, *galeottiana* Knuth, *grandifolia* Schlecht. (probable *D. galeottiana* Knuth), *hirsuta* Mart. and Gal. (probable *D. convolvulácea* Chan and Schelecht), *jaliscana* Wats, *lobata* Uline, *mexicana* Scheidw, *militaris* Robinson, *minima* Rob. and Seaton, *multinervis* Benth, *nelsonii* Uline, *platycolpota* Uline, *plumifera* Rob, *pringlei* Rob, *remotiflora* Knuth, *spiculiflora* Hemsl, *subtomentosa* Miranda, *tepinapensis* (probable *D. composita*), *urceolata* Uline (Martin, 1969)

Conclusiones

Actualmente, el cultivo de las especies del género *Dioscorea* presenta una expansión considerable en la agricultura familiar y representa gran importancia en la cadena alimenticia y farmacéutica; sin embargo en México las expectativas en cuanto a su aporte económico es bajo debido a que existe poco o nulo conocimiento sobre la forma de cultivar estas especies; el material genético es de mala calidad debido a la propagación asexual, provocando la tendencia a poseer características homocigóticas y baja recombinación genética, lo que ocasiona un riesgo elevado de presencia de enfermedades y daño de patógenos. Por otra parte, cuando se realiza la propagación por semilla la formación de tubérculos con características aptas para su comercialización es más tardía, lo que limita la producción, además es afectada por plagas que se alimentan de la semilla, antes de cosechar el fruto lo cual es otra limitante para la propagación sexual.

Aunque las especies de *Dioscorea* que se encuentran en México son numerosas, no se cuenta con amplia información filogenética para la clasificación y caracterización lo cual limita la producción industrial.

Literatura citada

- Aighevi, B.A., R. Asiedu, N. Maroya y M. Balogun. (2015). Improved propagation methods to raise the productivity of yam (*Dioscorea rotundata* Poir.). *Food Security*, 7, 823–834. DOI 10.1007/s12571-015-0481-6
- Álvarez, Q.V., B.L. Caso, F.M. Aliphath, y T.Á Galmiche. (2017). Plantas medicinales con propiedades frías y calientes en la cultura Zoque de Ayapa. Tabasco, México. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de plantas medicinales y aromáticas*, 16(4), 428-454. <https://www.redalyc.org/pdf/856/85651256007.pdf>
- Akissoé, N., J. Hounhouigan, C. Mestres y M. Nago. (2003). How blanching and drying affect the color and functional characteristics of yam flour (*Dioscorea cayenensis-rotundata*). *Food Chemistry*, 82(2), 257-264. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00546-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00546-0)
- Keith, A.T. and I. Oduro. (2021). *Yams: Botany, Production and Uses*. Assistant, Emma McCann. Pondicherry, India 271 pp.
- Asumugha, G.N., M.E. Njoku, B.C. Okoye, O.C. Aniedu, M.C. Ogbonna, H.N. Anyaegbunam, O.A. Akinpelu, O. Ibeagi y A. Amaefula. (2009). An analysis of the supply for seed yams in Nigeria. *African Journal of Business Management*, 3, 28–31. <https://mpira.ub.uni-muenchen.de/17459/>
- Balandrin, M.F., J.A. Klocke, E.S. Wurtele y W.H. Bollinger. (1985). Natural plant chemicals: Sources of industrial and medicinal materials. *Science*, 228, 1154–1160. <https://doi.org/10.1126/science.3890182>
- Bernabé-Antonio, A., F. Santacruz-Ruvalcaba y F. Cruz-Sosa. (2012). Effect of plant growth regulators on plant regeneration of *Dioscorea remotiflora* (Kunth) through nodal explants. *Plant Growth Regulation*, 68(2), 293-301. <https://doi.org/10.1007/s10725-012-9717-z>
- Bernhoft, A. (2010). A brief review on bioactive compounds in plants. pp.11-17 En: Bernhoft, A. *Bioactive compounds in plants- benefits and risks for man and animals*. The Norwegian Academy of Science and Letters., Oslo, Norway. 255 pp.
- Burkill, I.H. (1960). The organography and the evolution of *Dioscoreaceae*, the family of the yams. *Journal of the Linnean Society*. 56, 319-412. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19611600727>
- Campbell, J.S., V.O. Chukwueke, F.A. Teriba, y H.V.S. Ho-A-Shu. (1962). Some physiological investigations into the White Lisbon yam (*Dioscorea alata* L.). The breakage of the rest period in tubers by chemical means. *Empire Journal of Experimental Agriculture*, 30 (118), 108-114.
- Chauhan, R., S. Keshavkant y A. Quraishi. (2018). Enhanced production of diosgenin through elicitation in micro-tubers of *Chlorophytum borivilianum* Sant et Fernand. *Industrial Crops and Products*, 113, 234-239. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.01.029>
- Chen, Y., Y. Tang, S. Yu, Y. Han, J. Kou, B. Liu y B. Yu. (2015). Advances in the pharmacological activities and mechanisms of diosgenin. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 13, 578–587. [https://doi.org/10.1016/S1875-5364\(15\)30053-4](https://doi.org/10.1016/S1875-5364(15)30053-4)
- Chu, E.P. y R.R.C. Figueiredo. (1991). Native and exotic species of *Dioscorea* used as food in Brazil. *Economic Botany*, 45(4), 467-479. <http://doi.org/10.1007/BF02930709>
- Coursey, D.G. (1967). Yams. An account of the nature, origins, cultivation and utilisation of the useful members of the Dioscoreaceae. Yams. An account of the nature, origins, cultivation and utilisation of the useful members of the Dioscoreaceae. *Editorial, Green and co*, LTD Londres. 244 pp.
- Couto, R.S., A.C. Martins, M. Bolson, R.C. Lopes, E.C. Smidt y J.M.A. Braga. (2018). Time calibrated tree of *Dioscorea* (*Dioscoreaceae*) indicates four origins of yams in the Neotropics since the Eocene. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 188(2), 144-160. <https://doi.org/10.1101/224790>
- Degras, L.A., R.A. Poitout y C. Suard. (1977). Quelques aspects de la biologie des ignames (*Dioscorea* spp). Les ignames et leur culture. *Annales de l'amélioration des plantes*, 27, 1–23. <https://pascalfrancis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=PASCAL7710442187>

- FAO STAT. (2000). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (accessed on 9 April 2020).
- Ferguson, T.U. y P.H Haynes. (1970). The response of yams (*Dioscorea* spp.) to nitrogen, phosphorus, potassium, and organic fertilizers. *Root Crops Crock*, 1, 93-96. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302360643>
- González-Vega, M.E. (2012). El Ñame (*Dioscorea* spp.). Características, usos y valor medicinal. Aspectos de importancia en el desarrollo de su cultivo. *Cultivos tropicales*, 33(4), 05-15. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v33n4/ctr01412.pdf>
- Gupta, K., S. Gurjar y D.K. Pandey. (2010). Medicinal aspect of saponins shows their wide range of pharmacological/biological activities. *Pharmacologyonline*, 2, 579–584. <https://pharmacologyonline.silae.it/files/newsletter/2010/vol2/68.Gupta.pdf>
- Gurib-Fakim, A. (2006). Medicinal plants: traditions of yesterday and drugs of tomorrow. *Molecular aspects of Medicine*, 27(1), 1-93. <https://doi: 10.1016/j.mam.2005.07.008>
- Gurnah, A.M. (1974). Effects of spacing, sett weight and fertilisers on yield components in yam. *Experimental Agriculture*, 10 (1), 17-22. <https://doi.org/10.1017/S0014479700006360>
- Harlan, R.J. (1992). Crops and man. American Society of Agronomy/Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin. p. 282.
- Hata, Y., Reguero, M.T., A. de L. García, G. Buitrago y A. Álvarez. (2003). Evaluación del contenido de saponinas en variedades nativas de ñame (*Dioscorea* spp.), provenientes de la colección de la Universidad de Córdoba. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 32 (2), 149-157. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rccquifa/article/view/1671/2330>
- Jesús, M.M., A.P.J. Gallardo y E.S. Silvestre. (2016). Diosgenin: Recent Highlights on Pharmacology and Analytical Methodology. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 4156293. <https://doi.org/10.1155/2016/4156293>
- Karnick, C.R. (1969). *Dioscorea* (YAMS)—The food of the slaves, with potentials for newer drugs: *Quarterly. Journal of Crude Drug Research*, 9, 1372–1391. <https://doi.org/10.3109/13880206909066280>
- Martin, F.W. (1974). Part 3. *Dioscorea alata* En: Martin, F., W. *Tropical yams and their potential*. US Department of Agriculture Washington, US 39 pp. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19776716351>
- Martin, F.W. (1972). Yam production methods. Washington, US Department of Agriculture. *Production Research Report*, 174, 17.
- Martin, F.W. y S. Ortiz. (1966). New chromosome numbers in some *Dioscorea* species. *Cytologia*, 31(1), 105-107. https://www.jstage.jst.go.jp/article/cytologia1929/31/1/31_1_105/pdf
- Martin, F.W. (1969). The species of *Dioscorea* containing saponin. *Economic Botany*, 23(4), 373-379.
- Mc Vaugh, R. (1989). *Bromeliaceae* to *Dioscoreaceae*. Editorial W.R. Anderson, Flora Novo-Galiciana, the Univ. Michigan Herbarium. 15, 355-388. <https://doi.org/10.2307/2807171>
- Mendoza-Crespo, H. y M. Ortiz-Velásquez. (2020). Importancia y determinantes de la asociación productiva agrícola: el cultivo de ñame en el caribe colombiano. *Sociedad y economía*. (41), 88-108. <https://doi.org/10.25100/sye.v0i41.8932>
- Mignouna, H.D., M.M. Abang y R. Asiedu. (2008). Genomics of yams, a common source of food and medicine in the tropics. pp. 549–570 En: Moore P., H. Ming R. *Genomics of Tropical Crop Plants*. Plant Genetics and Genomics. Springer, New York. 570 pp.
- Muluaem, T., F.H. Mekbib y S.E. Gebre. (2018). Analysis of biochemical composition of yams (*Dioscorea* spp.) landraces from Southwest Ethiopia. *Agrotechnology*, 7, 1–8. <https://doi: 10.4172/2168-9881.1000177>
- Norman, M.J.T., C.J. Pearson y P.G.E. Searle. (1984). The ecology of tropical food crops. London, Cambridge University Press. 369 p. <https://doi.org/10.1017/S0014479700013120>

- Obidiegwu, J.E., J.B. Lyons y C.A. Chilaka. (2020). The *Dioscorea* Genus (Yam)—An appraisal of nutritional and therapeutic potentials. *Foods*, 9(9), 1304. <https://doi.org/10.3390/foods9091304>
- Obidiegwu, J.E. y E.M. Akpabio, (2017). The geography of yam cultivation in southern Nigeria: Exploring its social meanings and cultural functions. *Journal of Ethnic Foods*, 4, 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.jef.2017.02.004>
- Onwueme, I.C. (1975). Tuber formation in yam (*Dioscorea* spp.): effect of moisture stress; contribution of the parent sett. *The Journal of Agricultural Science*, 85, 267-269. <https://doi.org/10.1017/S0021859600062079>
- Onwueme, I.C. (1973). The sprouting process in yam (*Dioscorea* spp.) tuber pieces. *Journal of Agriculture Science*, 81: 375-379. <https://doi.org/10.1017/S0021859600086408>
- Onwueme, I.C. (1978) a. The Tropical Tuber Crops; Yams, Cassava, Sweet Potato, and Cocoyams. Chichester, *John Wiley & Sons*. 234 p. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19786725011>
- Okagami, N. y N. Tanno. (1991). Dormancy in *Dioscorea*: comparison of dormant characteristics in bulbils of Northern species (*D. opposita*) and Southern species (*D. bulbifera* var. *vera*), *Journal of Plant Physiology*. 138, 559–565. [Doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)80241-5](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)80241-5)
- Purseglove, J.W. (1972). Tropical Crops; Monocotyledons. London, *Longmans*. 607 p.
- Prain, D. y I.H. Burkill. (1938). An account of the genus *Dioscorea* in the East, Part 2. The species which twine to the right, *Annals of the Royal Botanic Garden* (Calcutta). 14, 211–528. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19400301845>
- Raju, J.R. y V. Chinthalapally. (2012). Diosgenin, a steroid saponin constituent of yams and fenugreek: Emerging evidence for applications in medicine. pp 125–142. *En: Rasooli I. Bioactive Compounds in Phytomedicine*. Editorial I Intech Open, London, UK. 220 pp.
- Rodríguez, W. (1994). Las raíces y tubérculos tropicales como alternativa de producción en Costa Rica. *Boletín Técnico de la Estación Experimental Fabio Baudrit*, 27 (1), 67-79. <http://repositorio.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/78779/Rodriguez-raices-tub.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez, W. (2000). Botánica, domesticación y fisiología del cultivo de ñame (*Dioscorea alata*). *Agronomía Mesoamericana*, 11, 133-152. <https://www.redalyc.org/pdf/437/43711221.pdf>
- Ruiz-Perez, E. (2003). Severidad del complejo de enfermedades foliares en el cultivo de ñame (*Dioscorea alata* L.) en diferentes densidades de siembra y soportes vivos de madera negro y su rentabilidad en Azuero, Panamá. Tesis Maestría. CATIE, Costa Rica.
- Rubatzky, V.E. y M. Yamaguchi. (1997) *Yams, Dioscorea*. En: *World Vegetables, Principles, Production and Nutritive Values*, 2nd edition. Boston, Springer, pp.162–182.
- Santacruz-Ruvalcaba, F., J.F. Casas-Salas, R.P. Pérez, E.R. Guzmán, M.I.T. Morán, C.C. Hernández y I.I. de los Santos. (2005). Conservación, manejo y aprovechamiento del camote de cerro (*Dioscorea* spp.) en el estado de Jalisco, México. *Avances de la Investigación Científica en el CUCBA*. XVI. 179-183.
- Scarcelli, N., H. Chair, S. Causse, R. Vesta, T.L.P.Couvreur y Y. Vigouroux. (2017). Crop wild relative conservation: Wild yams are not that wild. *Biological Conservation*, 210, 325–333. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.05.001>
- Shen, L., J. Xu, L. Luo, H. Hu, X.M.X, Li y S. Chen. (2018). Predicting the potential global distribution of diosgenin-contained *Dioscorea* species. *Chinese medicine*, 13(1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s13020-018-0215-8>
- Soto-Montañez, J., L. González, J., V. Nicanor, A., B. Cruz, L., G. y Fernández, J., Y. (2014). Chemical Characterization and Nutritional Evaluation of Mountain's yam (*Dioscorea remotiflora* Kunth). *Tubers*, 5(2), 153-160. <http://doi:10.15515/abr.0976-4585.5.2.153160>
- Téllez, V.O., and B.G. Schubert. (1987). Una nueva especie del género *Dioscorea* (*Dioscoreaceae*) del Estado de Querétaro, México. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 74:539–542. <http://doi:10.2307/2399321>

- Téllez, V.O. (2009). Base de datos de las Fabaceae y Caesalpiniaceae (Sensu Cronquist) y Dioscoreaceae de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Informe final SNIB-CONABIO proyecto DS001. México, D.F.
- Thompson, K.A. y I. Oduro. (2021). *Botany, Production, and Uses*. CABI is a trading name of CAB International. Boston. 271Pp.
- Vargas-Núñez, A. (2019). Comportamiento productivo de materiales de siembra de ñame (*Dioscorea alata*) en la Región Huatar Norte, Costa Rica.
- Viruel, J., P. Catalan y Segarra-Moragues, J.G. (2014). Latitudinal environmental niches and riverine barriers shaped the phylogeography of the central Chilean endemic *Dioscorea humilis* (Dioscoreaceae). *PloS one*, 9(10), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110029>
- Waitt, A.W. (1963). Yams, *Dioscorea* species. *Field Crops Abstracts*, 16 (3), 145-157. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=VE2007400757>
- Wei, M., Y. Bai, M. Ao, W. Jin, P. Yu, M. Zhu y L. Yu. (2013). Novel method utilizing microbial treatment for cleaner production of diosgenin from *Dioscorea zingiberensis*. CH Wright (DZW). *Bioresourcetechnology*, 146, 549-555. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.07.090>
- Wickham, L.D., L.A. Wilson H.C. Passam. (1981). Tuber germination and early growth in four edible *Dioscorea* species. *Annals of Botany*, 47, 87-95. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a086003>
- Wilson, L.A. (1977). Root Crops. En: Alvin, P. T.; Kozłowski, T. T. eds. *Ecophysiology of Tropical Crops* 187-236 pp. *New York. Academic Press*. 488 pp.
- Wilson, J.E. (1982). Progress in the breeding of yam, *Dioscorea* species. 17–22 pp. En: Miège, J. and Lyonga, S.N. (eds) *Yams*. Oxford University Press, Oxford, 330pp.
- Wu, Z.G., W. Jiang, M. Nitin, X.Q. Bao, S.L. Chen y Z.M. Tao (2016). Characterizing diversity based on nutritional and bioactive compositions of yam germplasm (*Dioscorea* spp.) commonly cultivated in China. *Journal of Food and Drug Analysis*, 24, 367–375. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2015.12.003>
- Yi, T., L.L. Fan, H.L. Chen, G.Y. Zhu, H. M. Suen, Y.N. Tang, L. Zhu, Chu, C.C.Z.Z., Zhao y H.B., Chen. (2014). Comparative analysis of diosgenin in *Dioscorea* species and related medicinal plants by UPLC-DAD-MS. *BMC Biochemistry*, 15, 9. <http://www.biomedcentral.com/1471-2091/15/19>
- Zannou, A., A. Ahanchédé, P.C. Struik, P. Richards, J. Zoundjihékpon, R. Tossou y S. Vodouhè. (2004). Yam and cowpea diversity management by farmers in the Guinea-Sudan transition zone of Benin. *NJAS – Wageningen. Journal of Life Sciences*, 52, 393–420. [https://doi.org/10.1016/S1573-5214\(04\)80023-X](https://doi.org/10.1016/S1573-5214(04)80023-X)
- Zannou A., E. Agbicodo, J. Zoundjihékpon, P.C. Struik, A. Ahanchédé y D.K. Kossou, A. Sanni. (2009). Genetic variability in yam cultivars from the Guinea-Sudan zone of Benin assessed by random amplified polymorphic DNA. *Afr. J. Biotechnol.* 8, 026-036.
- Zhang, S., M. Fan, G. Ye, H. Zhang y J. Xie. (2019). Biorefinery of *Dioscorea composita* Hemsl with ferric chloride for saponins conversion to diosgenin and recycling the waste to biomethane. *Industrial Crops and Products*, 135, 122-129. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.040>