

11. Estructura sexual en *Ceratozamia mexicana* Brongn (Zamiaceae)



DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.425.11>

NADIA GPE. SÁNCHEZ COELLO *
MAURICIO LUNA RODRÍGUEZ **
ALEJANDRO SALINAS-CASTRO ***
JOSÉ DANIEL LÓPEZ LIMA ****

Resumen

Las cícadas son plantas dioicas diferenciadas solo por sus estructuras reproductivas. Esta situación no permite conocer cuál es la proporción sexual real en las poblaciones, al no identificar el sexo de los individuos no reproductivos. En este trabajo se pretende conocer dicha proporción en una población de *C. mexicana*, localizada en el centro del estado de Veracruz, tomando algunas características morfológicas y medio ambientales, encontrando que hay una proporción de 1.42 machos por cada hembra y que no existe ninguna característica morfológica que permita diferenciarlos, como tampoco medio ambiental a excepción de que a mayor altitud hay una mayor cantidad de individuos reproductivos.

* Doctora en Ciencias. Académica de tiempo completo en la Universidad Veracruzana, Xalapa, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0230-3772>; correo electrónico: na-sanchez@uv.mx

** Doctor en Ciencias. Académico de tiempo completo en la Univeridad Veracruzana, Xalapa, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1204-9608>; correo electrónico: mluna@uv.mx

*** Doctor en Ciencias Agropecuarias. Investigador de tiempo completo en la Univeridad Veracruzana, Xalapa, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7169-7675>; correo electrónico: asalinas@uv.mx

**** Doctor en Ciencias. Profesor de tiempo completo en la Universidad Veracruzana, Xalapa, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0523-8192>; correo electrónico: danielopez@uv.mx

Palabras clave: *cícadas, Proporción sexual, dioicismo, características morfológicas, estróbilos.*

Introducción

Para entender la dinámica de las poblaciones es importante determinar su proporción sexual. Por lo tanto, la diferenciación sexual es un rasgo primordial en los estudios demográficos de plantas dioicas. Además, la dioecia constituye un punto de partida fundamental en el estudio de los costos reproductivos sobre la biología de las plantas (Antos y Allen, 1999; Delph, 1999; Montesinos, 2007). Desafortunadamente, la obtención de este tipo de información depende de la expresión de rasgos asociados al sexo, misma que se produce en los adultos reproductivos, pero no en individuos inmaduros. En el caso de las cícadas, los adultos reproductivos desarrollan estróbilos después de varios años, lo que dificulta su manejo y conservación (Vovides, 1983; Sánchez-Tinoco *et al.*, 2000; Octavio-Aguilar *et al.*, 2008).

La proporción sexual al interior de las poblaciones depende de varios factores incluido el patrón de distribución espacial. Algunos factores causales de la distribución espacial pueden ser asociaciones con dispersores de polen y/o semillas, así como condiciones microambientales que favorezcan el reclutamiento y sobrevivencia de los individuos (Kershaw, 1973). En algunos estudios se ha encontrado relación entre los patrones de distribución espacial y algún factor medioambiental, por ejemplo, con la textura o los nutrientes del suelo (Brereton, 1971; Salomé-Castañeda, 2009). La Determinación Ambiental del Sexo (EDS), es un sistema de determinación sexual en el que los individuos están influidos por diversas variables del entorno. Entre los factores determinantes, el más importante es la temperatura, pero también pueden influir la duración del día, la nutrición, la densidad, la humedad, el pH o incluso la misma proporción sexual en la población puede determinar el sexo de un organismo, situación mediada por la concentración de hormonas reguladoras (Obeso, 2002).

En este contexto, sabemos que las poblaciones de cícadas son

frecuentemente escasas y con distribuciones espaciales agregadas en rangos ambientales restringidos (Norstog y Nicholls, 1997; Ornduff, 1985). Se ha encontrado que las poblaciones de estas plantas tienden a presentar una distribución espacial agregada o contagiosa, como es el caso de *Dioon edule* (Octavio-Aguilar *et al.*, 2008), *Ceratozamia mirandae* (Pérez-Farrera *et al.*, 2006), *C. matudae* (Pérez-Farrera *et al.*, 2000; Pérez-Farrera y Vovides, 2004) y *Zamia soconuscensis* (Hernández-Jonapá, 2000). Múltiples factores bióticos y abióticos son los responsables de dicha distribución espacial, entre ellos, la dispersión de las plántulas con respecto a la planta madre y características topográficas del sitio donde se desarrollan las poblaciones, tal como la pendiente; la profundidad del suelo, la disposición de nutrientes, etc.

En algunos estudios se ha encontrado que la proporción de machos y hembras en diversas poblaciones vegetales es 1:1 lo que garantiza la supervivencia de las poblaciones (Ornduff, 1985). En otras especies, los individuos hembras predominan, mientras que en otras, son los machos los más abundantes (Obeso, 2002). Sin embargo, aún no se conoce la base biológica de este fenómeno a pesar de que ha sido objeto de estudio para varias especies (Stehlik *et al.*, 2007).

Los marcadores morfológicos son características fenotípicas de fácil identificación visual tales como forma, color, tamaño o altura. Muchos de ellos se convierten en importantes «descriptores», a la hora de identificar y clasificar nuevas variedades. Este tipo de marcadores ha contribuido significativamente al desarrollo teórico del ligamiento genético y a la construcción de las primeras versiones de mapas genéticos (Picca *et al.*, 2002; Collard *et al.*, 2005). Sin embargo, en muy pocos trabajos se ha encontrado dimorfismo morfológico asociado al sexo en cícadas (Sánchez-Tinoco *et al.* 1993).

Este estudio surge de la necesidad de conocer la proporción de sexos en una población natural de *Ceratozamia mexicana*, especie endémica de México y que ha sido clasificada como amenazada de acuerdo a las normas mexicanas (NOM-ECOL-059-2001) y determinar qué factores biológicos influyen sobre esta proporción sexual a fin de diseñar estrategias que permitan garantizar una adecuada estructura de sexos en dicha población.

Métodos y sitio de estudio

El estudio se realizó en la población natural de *C. mexicana* ubicada en el Cerro Coacoatzintla, municipio que lleva el mismo nombre y se encuentra localizada en la zona Centro del estado de Veracruz. Se ubicaron 4 puntos de muestreo dentro de un rango altitudinal entre los 1555 a los 1704 msnm. Se trazaron dos cuadrantes de 5 x 5 m en cada punto estableciendo un total de 8 parcelas. Se identificó el sexo de las plantas adultas por la presencia de estróbilos o por el resto de los mismos. Se evaluaron diversas variables morfológicas (número y longitud de las hojas; número, largo y ancho de los foliolos; longitud y diámetro del tallo, así como la distancia del pecíolo al tallo). Con los datos obtenidos se realizó un análisis discriminante para determinar posibles asociaciones de las variables morfológicas con el sexo en *C. mexicana*. Para determinar si existía alguna variable morfológica asociada al sexo se utilizó un análisis discriminante donde se incluyeron todas las variables morfológicas medidas. De igual forma, se determinaron las variables edafológicas: humedad, pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio (NOM PROY-NOM-021 RECNAT-2000). Para estas medidas se tomaron cinco muestras por cuadrante de un kilo que se mezclaron para tomar finalmente un kilo de la mezcla para el análisis. Para esto se obtuvieron ocho lecturas de cada una de ellas. Con los datos obtenidos se realizó primeramente un análisis múltiple de Kruskal-Wallis para muestras independientes, debido a que los datos no correspondían con una distribución normal y posteriormente correlaciones múltiples de Spearman con una corrección de Bonferroni para conocer si existe una relación entre las variables de suelo y la proporción de sexos. Se calculó asimismo el porcentaje de cobertura vegetal de cada cuadrante utilizando un densiómetro esférico de 24 cuadros. Con estos datos se realizó una correlación simple, previa comprobación de la normalidad de los datos con relación a la cantidad de machos y hembras por cuadrante.

Cada individuo fue mapeado dentro de los cuadrantes utilizando GPS. Con estas referencias se calcularon las distancias en metros entre individuos utilizando la fórmula trigonométrica ($\sqrt{(x_1-x_2)^2 + (y_1-y_2)^2}$). Usando la matriz de distancias euclidianas se determinó si existía una estructura espacial a

través de un análisis de varianza y pruebas de t para la comparación de promedios de las distancias entre los individuos de diferente sexo. Además, se realizó una regresión simple entre la altitud de los cuadrantes y el número de adultos, la cantidad de machos y de hembras. El programa empleado fue STATISTICA (versión 7.0). Finalmente, se determinó la proporción sexual de la población de *C. mexicana* en función del número de machos con respecto al número de hembras.

Estructura espacial a través de un análisis de varianza y pruebas de t para la comparación de promedios de las distancias entre los individuos de diferente sexo.

Además, se realizó una regresión simple entre la altitud de los cuadrantes y el número de adultos, la cantidad de machos y de hembras. El programa empleado fue STATISTICA (versión 7.0). Finalmente, se determinó la proporción sexual de la población de *C. mexicana* en función del número de machos con respecto al número de hembras.

Resultados y discusión

Se contabilizaron, en las 8 parcelas examinadas, 46 individuos sexualmente diferenciados de un total de 53 adultos encontrados (tabla 11.1)

Tabla 11.1. Número total de hembras, machos y adultos no reproductivos registrados en las 8 parcelas de *C. mexicana* de la población de Coacoatzintla (msnm, metros sobre el nivel del mar)

Parcela	Hembra	Macho	Total de adultos	Altura msnm.
1	2	1	3	1555
2	0	1	6	1557
3	3	2	5	1608
4	1	2	3	1609
5	2	7	9	1649
6	3	4	8	1659
7	3	5	9	1703
8	5	5	10	1704
Totales	19	27	53	

Fuente: Elaboración propia

Las variables morfológicas no agruparon de manera consistente a los individuos de diferentes sexos por lo que no resultan explicativas. Similares resultados obtuvieron Sánchez- Tinoco (1993), al no encontrar diferencias en el número de espinas de los folíolos entre individuos machos y hembras evaluados en *Ceratozamia mexicana*, *C. hildae*, *C. robusta*, *C. kuesteriana* y *C. euriphilydia*, además de *Zamia spartea*. Sin embargo, este autor detectó la presencia de una mayor densidad de espinas en los folíolos de individuos machos que en hembras, aunque dicha diferencia no resultó significativa.

Es conocido que la mayoría de las variables morfológicas tienen una base poligénica y por ello son muy influidas por el ambiente. Es posible que por esta razón las variables morfológicas evaluadas no permitieron distinguir el sexo en *C. mexicana*, a diferencia de lo detectado en otras especies vegetales (Chukwurah y Uguru, 2010).

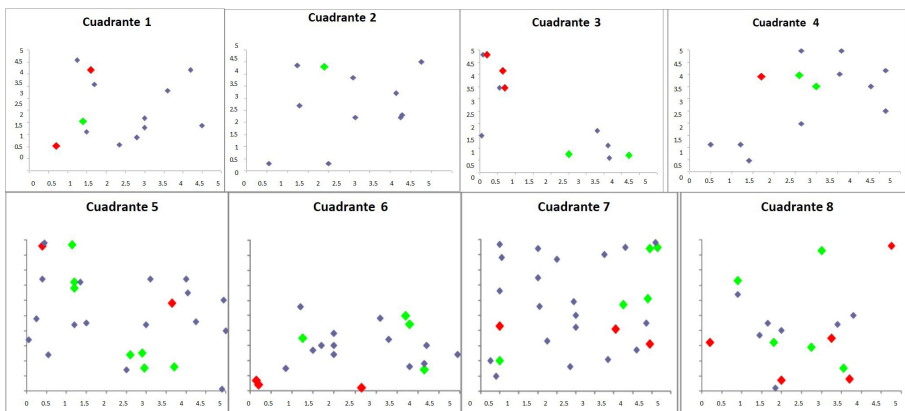
Las correlaciones múltiples de Sperman con la corrección de Bonferroni para los resultados del análisis efectuado de los nutrientes del suelo sobre la proporción de machos con respecto a hembras, no mostró ninguna correlación significativa. Esto nos indica que el sexo de las plantas no está asociado a ningún nutriente del suelo que pueda estar favoreciendo la conificación de los machos por sobre las hembras. Como ya se mencionó, en algunas especies, los nutrientes constituyen recursos limitantes, en particular, para las hembras al tener requerimientos más específicos para la producción de semillas (Obeso, 2002). Sin embargo, al parecer la periodicidad en la producción de conos para *Ceratozamia mexicana* no tiene relación con los nutrientes del suelo sino con la fenología intrínseca de los individuos sexualmente diferenciados y de la genética de la especie. Otras cícadas producen mayor cantidad de conos masculinos que femeninos como es el caso de *Dioon edule* (Octavio-Aguilar *et al.*, 2008), con una periodicidad diferente (Vovides, 1991), mientras que en especies de corta vida, no hay esta diferencia en periodicidad o producción (*Zamia furfuraceae* Vovides, 1983), por lo que la manifestación de las estructuras reproductivas tendría un componente genético específico independiente de las condiciones edáficas.

Tampoco se encontró correlación entre la cobertura vegetal con respecto a la distribución de los sexos dentro de la población, por lo que parece ser que la incidencia solar no afecta la producción de semillas o la masculinización para esta cícada. Al respecto, estudios previos han mostrado que la temperatura

podría influir en la expresión sexual de algunas plantas (Oliván-Viguera, 2010), lo que no sucede para *C. mexicana*. La cobertura vegetal estaría más relacionada con la supervivencia de las plantas durante las primeras etapas del desarrollo, por lo que las plántulas se agregarían alrededor de las madres (efecto nodriza) tanto por la falta de dispersión, como por la supervivencia diferencial de aquellos individuos que quedan a resguardo de la sequía y del efecto directo de la incidencia solar (Octavio-Aguilar *et al.*, 2008), pero este nodricismo no favorecería algún sexo en particular.

El resultado del análisis de las distancias euclidianas entre los adultos diferenciados muestra un patrón de distribución agregado entre los machos ($t = 2.71$, $p = 0.014$, $g.l. = 18$), pero no entre machos con respecto a hembras o entre ellas (figura 11.1). Esto puede obedecer a que los machos manifiestan estructuras reproductivas con mayor frecuencia que las hembras, por lo que estaríamos ante un evento pasajero, ya que los individuos asexuados, al llegar a una etapa reproductiva, podrían cambiar este patrón de agregación sexual.

Figura. 11.1. Distribución de los individuos dentro de los cuadrantes muestreados: machos: verde, hembras: rojo, individuos indefinidos: azul.



Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la regresión muestran que a mayor altitud hay una mayor cantidad de hembras ($r^2 = 0.576$, $p = 0.029$), machos ($r^2 = 0.616$, $p = 0.013$) y adultos totales ($r^2 = 0.612$, $p = 0.022$). Esto puede estar relacionado

con la dispersión de las semillas, puesto que en especies, como *Ceratozamia mirandae*, las semillas son desplazadas por la gravedad y en muy poca medida por roedores del género *Peromiscus* (Pérez-Farrera *et al.*, 2004). Situación similar para *Dioon edule*, donde la pendiente define la estructura de la población (Octavio-Aguilar *et al.*, 2008). En ambos casos los adultos reproductivos se encuentran a mayores altitudes, situación similar a lo que muestran nuestros resultados. Otra posible causa de este patrón, son los disturbios en las zonas bajas de la población, mientras que en las regiones más altas los manchones se encuentran en mejores condiciones de conservación.

Finalmente, la proporción sexual en la población resultó de 1.42 machos por cada hembra, la parcela cinco donde se encontró el mayor número de machos, mientras que en la parcela dos no se observó ninguna hembra. Este resultado concuerda con lo reportado para la mayoría de las cícadas como son *Ceratozamia mirandae* (Pérez-Farrera *et al.*, 2006), *C. matudae* (Pérez-Farrera *et al.*, 2000) y *Dioon edule* (Octavio-Aguilar *et al.*, 2008). En todos los casos, parece ser que la perturbación incrementa el número de machos con respecto a las hembras, efecto similar a lo que sucede en una segunda población perturbada de *C. mexicana* donde la proporción sexual es de 1.61 machos por cada hembra (datos no publicados). Con este resultado podemos estar seguros que hay mayor cantidad de machos reproductivos que de hembras, sin embargo, hay al menos siete adultos no reproductivos a los cuales no fue posible asignarles un sexo, por lo que esta proporción podría estar, en cierta medida, subestimada.

Conclusiones

Se encontró un total de 19 hembras (H) y 27 machos (M) en las 8 parcelas estudiadas. La proporción de machos con respecto a las hembras es de 1.42 M/H.

A mayor altitud se encontró una mayor cantidad de adultos reproductivos, lo que indica que el modo de dispersión de esta especie es por gravedad y puede estar influenciada por la perturbación en zonas bajas.

No se detectaron características morfológicas asociadas al sexo que puedan contribuir a distinguir el sexo en *C. mexicana*. Tampoco se observó una relación entre la proporción de sexos con la cobertura, ni con los componentes del suelo en las parcelas estudiadas.

Bibliografía

- Antos, J. A., Allen, G. A. 1999. Patterns of reproductive effort in male and female shrubs of *Oemleria cerasiformis*: a 6-year study. *J. Ecol.* 87: 77-84.
- Brereton, J. A. 1971. The structure of the species populations in the initial stages of Salt-Marsh succession. *Journal of Ecology*. 59: 321-338.
- Collard, B. C. Y., Jahufer, M. Z. Z., Brouwer, J. B., Pang, E. C. K. 2005. An introduction to markers, quantitative trait loci (QTL) mapping and marker-assisted selection for crop improvement: The basic concepts. *Euphytica*. 142: 169-196.
- Chukwurah, N. F., Uguru, M. I. 2010. Juvenile Morphological Markers for Maleness in Fluted Pumpkin (*Telfairia occidentalis* Hook F.). *Journal of Tropical Agriculture, Food, Environment and Extension*. 9(2): 90 – 9).
- Delph, L. F. 1999. Sexual dimorphism in life history, p. 149-173. In Geber, M. A., Dawson, T. E., Delph, L. F. (eds.). *Gender and sexual dimorphism in flowering plants*. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany.
- Hernández-Jonapá, R. 2000. Estructura poblacional de *Zamia soconuscensis* Schutzman, Vovides y Dehgan, en un bosque mesófilo de montaña del ejido Las Golondrinas, municipio de Acacoyagua, Chiapas. Tesis de licenciatura, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Tuxtla Gutierrez.
- Kershaw, K. A. 1973. *Quantitative and Dynamic Plant Ecology*. 2a ed. Edward Arnold. London. 30-38.
- Montesinos, T. D. 2007. *Juniperus thurifera*: una especie dioica, vecera y relíctica. *Ecosistemas*. 3: 169-182.
- NOM-059-ECOL-2001. 2002 Protección Ambiental de Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestre. Categorías de Riesgo y Especificaciones Para Su Inclusión, Exclusión o Cambio. Lista de Especies en Riesgo, 2ª Sección. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales México.
- NOM - 021- ECOL-2000. REC NAT-2000, Que establece las Especificaciones para los estudios de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos, su Muestreo y Análisis. *Diario Oficial*. México, 30 de Agosto de 2000.
- Norstog, K. J., Nicholls, T. J. 1997. *The biology of cycads*. Comstock Publishing Associates. Cornell University Press, Ithaca, N.Y. USA.

- Octavio-Aguilar, P., González-Astorga, J., Vovides, A. P. 2008. Population dynamics of the Mexican cycad *Dioon edule* Lindl. (Zamiaceae): life history stages and management impact. *Botanical Journal Society of the Linnean Society*. 157: 381-391.
- Obeso, J. R. 2002. The costs of reproduction in plants. *New Phytologist*. 155: 321-348.
- Oliván-Viguera, A. 2010. Mecanismos de Determinación Sexual. Fundamentos de Genética. Licenciatura en Bioquímica. www.unizar.es/lagenbio/docencia/apuntesfundamentos/Mecanismos.pdf
- Ornduff, R. 1985. Male-biased sex ratios in the cycad *Macrozamia riedlei* (Zamiaceae). *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. 112(4): 393-397.
- Pérez-Farrera, M. A., Quintana-Asencio, P. F., Salvatierra- Izaba., Vovides, A. P. 2000. Population dynamics of *Ceratozamia matudae* Lundell (Zamiaceae) in El Triunfo Biosphere Reserve, Chiapas, México. *Journal of the Torrey Botanical Society* 127: 291- 299.
- Pérez-Farrera, M. A., Vovides, A. P. 2004. Spatial distribution, population structure, and fecundity of *Ceratozamia matudae* Lundell (Zamiaceae) in El Triunfo Biosphere Reserve, Chiapas Mexico. *The Botanical Review*. 70: 299-311.
- Pérez-Farrera, M. A., Vovides, A. P., Octavio-Aguilar, P., González-Astorga, J., Cruz-Rodríguez, J., Hernández-Jonapá, R., Villalobos-Méndez, S. 2006. Demography of the cycad *Ceratozamia mirandae* (Zamiaceae) under disturbed and undisturbed conditions in a biosphere reserve of México. *Plant Ecol*. 187: 97-1
- Picca, A., Helguera, M., Salomón N., Carrera, A. 2002. Biotecnología y Mejoramiento Vegetal. Capítulo 4: 61-68. <http://biblioteca.Org.Ar/libros/150407.pdf>.
- Salomé-Castañeda, E. 2009. Parámetros Demográficos de *Dioon spinulosum* Dyer (ZAMIACEAE), En San Miguel Soyaltepec, Oaxaca. INECOL. Tesis de maestría. Instituto de Ecología, Xalapa Ver. México.
- Sánchez-Tinoco, M. Y., Vázquez-Torres, S. M., Alejandre-Rosas, J. 1993. Determination of sexual dimorphism in a population of *C. mexicana* Brongn (Zamiaceae) based on vegetative characteristics. In: D.W. Stevenson and K.J. Norstog (eds.). *Proceedings of the Second International Conference on Cycad Biology*, pp. 131-139. Palm y Cycad Societies of Australia, Milton, Queensland.
- Sánchez-Tinoco, M. Y., Engleman, E. M., Vovides, A. P. 2000. Cronología reproductora de *Ceratozamia mexicana* (Cycadales). *Boletín de la Sociedad Botánica*. 66:15-23.
- STATISTICA. 0.7. 1984-2007. Stat Soft, Inc., Tulsa, Oklahoma, USA.
- Stehlik, I., Kro, P., Spencer, C., Barret, H., Brian, C. 2007. Sexing pollen reveals female bias in a dioecious plant. *New Phytologist*. 175: 185-194.
- Vovides, A. P. 1983. Zamiaceae. Flora de Veracruz. Fascículo 26. INIREB. Xalapa, Ver. 29 pp.
- Vovides, A.P. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in *Dioon edule* Lindl. (Zamiaceae, Cycadales) in its natural habitat in central Veracruz, Mexico. *Brenesia* 35: 97-103.
- Aislamiento, conservación y reactivación de cepas fúngicas de la Colección del Centro de Investigación en Micología Aplicada (CIMA) de la Universidad Veracruzana