

<https://doi.org/10.5154/r.ctasci.2025.04.003>

ES

Sección: Biotecnología y ciencias agrícolas

Proximidad entre la distribución peciolar y tipo de flor en poblaciones de papaya tipo Maradol

✉ **Juan Carlos Álvarez-Hernández^{1*}**

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de Apatzingán. Carretera Apatzingán - Cuatro Caminos km. 17.5, Antúnez, Parácuaro, Michoacán. C. P. 60781, México.

Historial del artículo:

Recibido: Abril 9, 2025

Aceptado: Abril 9, 2026

Publicado en línea: Mayo 29, 2026

*Autor para correspondencia:

alvarez.juan@inifap.gob.mx

Resumen

La identificación del sexo en papaya es compleja, ya que las flores pueden ser masculinas, femeninas y hermafroditas, lo que afecta la producción y calidad del fruto. La identificación del sexo de plántulas antes de la floración es clave para optimizar el uso de recursos en el campo. Sin embargo, la determinación del sexo mediante métodos moleculares como la PCR (Reacción en Cadena de Polimerasa), aunque precisos, son costosos y requieren infraestructura especializada. Asimismo, el uso de métodos tradicionales basados en la morfología, son confusos. Por otro lado, el sentido del giro peciolar asociado a la floración no se ha estudiado. En algunas plantas, el peciolo se enrolla en sentido horario o antihorario, lo que podría estar relacionado con el sexo de la planta. El objetivo del trabajo fue determinar la relación entre la dirección del giro peciolar y el sexo de la planta en selecciones de genotipos de papaya 'Maradol'. Se observaron plantas en etapa de floración/producción y se registró la dirección del giro peciolar y el tipo de flor. Se usó estadística inferencial con las cuatro posibles ocurrencias de la expresión giro peciolar/sexo de planta: derecha (D)/femenino(F); derecha(D)/hermafrodita(H); izquierda(I)/femenino(F); izquierda(I)/hermafrodita (H). El análisis mostró que el giro hacia la izquierda se asoció mayormente al sexo hermafrodita. Particularmente, este giro tiene una probabilidad del 72 % de certeza, mientras que el giro hacia la derecha tiene más probabilidades de coincidir con flores femeninas. Este hallazgo permite predecir el tipo de flor antes de la floración, basándose en el giro del peciolo, facilitando la identificación de plantas hermafroditas.

► **Palabras clave:** *Carica papaya*, biología floral, flor femenina, flor hermafrodita.

Introducción

Como especie frutícola de rápido crecimiento, *Carica papaya* L., se encuentra extendida en las vastas regiones tropicales y subtropicales del mundo (Antunes & Renner, 2012), destaca entre los frutales por su notorio potencial productivo. En 2023, México destinó al cultivo de papaya 20,334 ha, posicionándose en cuarto lugar de entre 73 países productores en el mundo (FAOSTAT, 2025). Con una población que supera 100 millones de mexicanos (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2020), el consumo *per cápita* estimado fue de 7.3 kg (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2024). Según estadísticas gubernamen-

tales, en 2024, de 32 entidades federativas, 19 produjeron 1,148,546 ton de papaya, valorado en \$380.25 millones de dólares estadounidenses (USD) donde 34 % correspondió a lo exportado (SIAP, 2025).

Dada la importancia de este cultivo, existen factores de manejo esenciales que influyen directamente en la respuesta productiva incluyendo, además del manejo fitosanitario (Alarcón et al., 2022), el acondicionamiento de suelos, la nutrición orientada a la producción de frutos (Vos & Arancon, 2019) y el manejo de riego (Ferreira et al., 2022). Además, destaca una particularidad en esta especie, que es la complejidad de su biología floral, donde las variaciones climáticas

Please cite this article as follows (APA 7): Álvarez-Hernández, J. C. (2026). Proximidad entre la distribución peciolar y tipo de flor en poblaciones de papaya tipo Maradol. *Current Topics in Agronomic Science*, 6. e25001. <https://doi.org/10.5154/r.ctasci.2025.04.003>

desestabilizan su evolución fisiológica (Okereke et al., 2022). Por todo ello, las formas sexuales de esta especie se ven alteradas (Dos Santos et al., 2022). En particular, *Carica papaya* L. generalmente desarrolla tres tipos de flores: masculinas, femeninas y hermafroditas y, dentro de las flores hermafroditas, cuatro variantes son identificadas (Ramos et al., 2011). De lo anterior, las plantas que emiten flores hermafroditas, la variante elongata constituye la más deseada desde el punto de vista comercial, debido a que produce frutos de forma alargada (Ávila-Hernández et al., 2023).

Sin embargo, en genotipos de papaya compactos la identificación del sexo sólo es posible cerca de dos meses posterior al trasplante. Antes de este tiempo, los rasgos morfológicos de las plantas son en su mayoría idénticos, y hasta que las plantas emiten los botones florales es posible distinguirlos sexualmente (Barrantes-Santamaría et al., 2019).

En una población de plantas, la distribución sexual típica es del 1 % de plantas con flores masculinas, 33 % de plantas con flores femeninas y 66 % con plantas de flores hermafroditas (Barrantes-Santamaría & Sánchez-Barrantes, 2022). La anterior proporción ocurre cuando se tiene la polinización estrictamente controlada (Chen et al., 2019). Con este precedente, para garantizar una proporción adecuada de plantas hermafroditas en condiciones de campo, comúnmente se establecen hasta cuatro plantas por punto de siembra, para que posteriormente se eliminen las plantas que no son deseadas por el tipo de flor, lo que conlleva a costos adicionales por manejo, insumos y tiempo (Foram et al., 2019), que finalmente en el sistema de producción de papaya se convierte en un problema.

Ante este desafío, diversos esfuerzos se han explorado, pero los resultados son limitados, ya que no distinguen claramente a las plantas hermafroditas, aunque sí a las plantas femeninas y masculinas, como los estudios citológicos (Datta, 1971), la colorimetría (Jindal & Singh, 1976), la cromatografía del ácido trans-cinámico y el análisis de isoenzimas (Sriprasertsak et al., 1988).

Recientemente, el análisis de ADN mediante PCR (Aryal & Ming, 2014; Prakash et al., 2018), ofreció una solución a la problemática del sexado de planta, al ser un método altamente efectivo, pero al igual que los estudios previos, requiere el análisis individual de tejido en cada plántula. Así, una vez procesado se obtienen los resultados y se procede a identificar cada plántula para elegir o descartar, lo que se vuelve impráctico cuando se analizan poblaciones altas. Ejemplo de ello es la cantidad de plantas para establecer una superficie de una hectárea, que asciende a alrededor de 2,000 plántulas. Dado que la proporción sexual se estima en 66 % de plantas hermafroditas, ello conduce a evaluar a 3,000 plántulas para conseguir la densidad apropiada, ya que se desecharán las plantas femeninas. A pesar de su precisión, la complejidad del procedimiento motiva la exploración de alternativas.

Hasta el momento no se ha desarrollado un método práctico y accesible para diferenciar el sexo de las plantas en estadios

tempranos, lo que representa un desafío latente en la producción de papaya. En la asociación de características florales y algunos rasgos morfológicos (Odu et al., 2006), la posible relación de la disposición helicoidal de los pecíolos, siguiendo la orientación en sentido horario o antihorario, dependiendo de la posición relativa del pecíolo más cercano en el tallo, sugiere una alternativa de interés agrícola práctico. Con base en lo anterior, el objetivo del trabajo fue determinar la relación entre la dirección del giro peciolar y el sexo de la planta en selecciones de genotipos de papaya tipo 'Maradol'.

Materiales y métodos

Se observaron poblaciones de porte sano y sobresaliente en la zona productora de papaya del Valle de Apatzingán, Michoacán, México, mediante exploraciones de campo en parcelas comerciales de papaya tipo 'Maradol', con edades de entre 2 y 14 meses, cuyo estado fenológico expresaba diferenciación floral para el registro de la información, sobre conjuntos de líneas seriadas. En el área de exploración, el clima predominante de acuerdo con García (2004), se clasifica como Bs₁ = estepa semi-seco, el más seco de los cálidos semi-secos, con especies representativas de la selva baja caducifolia (García & Linares, 2012), y, generalmente, los suelos característicos de la zona son del tipo vertisol pélico (INEGI, 2016). Durante los recorridos de campo, la variación climática se comportó como se muestra en el Cuadro 1.

En cuatro municipios se concentraron las poblaciones (parcelas) de papaya, y en cada población (de las 13 seleccionadas) se muestrearon de forma aleatoria cinco surcos, tomando la muestra de 100 plantas. En total, se observaron 1,300 plantas. El orden e identificación de las poblaciones se realizó de la siguiente manera: una en Apatzingán, cinco en Mujica, cuatro en Parácuaro y tres en Tepalcatepec, Michoacán (Cuadro 2).

Con base a la matriz formada en las 13 poblaciones, se realizaron las observaciones visuales para la identificación y registro del acomodo peciolar en el tallo, la observación consistió en registrar el sentido direccional del pecíolo, partiendo de la parte basal del tallo hacia el ápice, también se registró el sexo de la flor. El resultado se registró tomando como base la clasificación de las cuatro posibles ocurrencias de la expresión giro peciolar y sexo de la planta (Cuadro 3).

Cada población se muestreó bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro tratamientos (giro peciolar/sexo de flor). Posteriormente, a fin de cumplir los supuestos, se procesaron los datos y analizaron porcentualmente, éstos fueron sometidos a las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas, además, se realizó el análisis de varianza (ANOVA), previa transformación con la fusión arcoseno de la raíz cuadrada del valor original y comparación de medias con la prueba de Tukey ($P = 0.05$). Se utilizó el programa estadístico SAS versión 9.4 (SAS, 2019).

Resultados y discusión

En la Figura 1 se observa El panorama general sobre la dis-

Cuadro 1. Variación climática durante la experimentación, ciclo otoño-invierno.

Variables climáticas	Valores promedio (Septiembre-Febrero)
Temperatura máxima (°C)	34.01
Temperatura mínima (°C)	17.63
Temperatura promedio (°C)	25.82
Precipitación (mm)	36.46
Evaporación (mm)	5.09

Fuente: Departamento de Hidrometría. Distrito de Riego 097 CONAGUA, México.

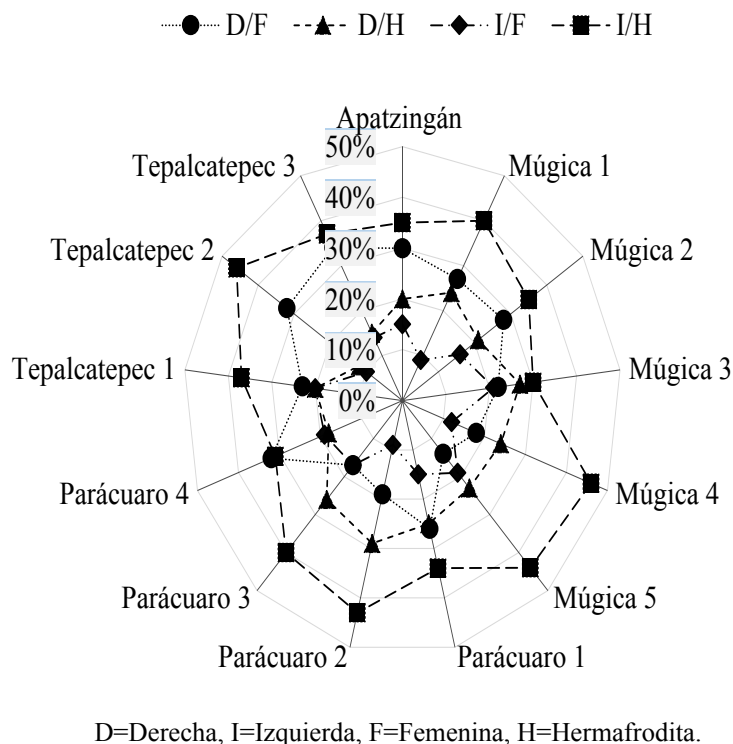
Cuadro 2. Caracterización de las huertas comerciales de papaya exploradas.

Identificador	Municipio	Localidad	Coordenadas Norte/Oeste	Superficie (ha)	Altitud (m)
Apatzingán	Apatzingán	Puerta de Alambre	19°03'33''/ 102°24'51''	6	314
Mújica 1	Mújica	Nueva Italia	18°55'32''/ 102°09'48''	8	421
Mújica 2	Mújica	Nueva Italia "Aguacate"	18°58'53''/ 102°10'04''	8	378
Mújica 3	Mújica	Ceñidor "Canal"	18°58'44''/ 102°10'52''	8	359
Mújica 4	Mújica	Ceñidor "Carretera"	18°59'34''/ 102°11'35''	10	327
Mújica 5	Mújica	Ceñidor "Carretera"	18°57'27''/ 102°09'33''	6	364
Parácuaro 1	Parácuaro	Ciudad Morelos	19°00'15''/ 102°17'20''	6	328
Parácuaro 2	Parácuaro	Antúnez	18°57'40''/ 102°13'14''	8	324
Parácuaro 3	Parácuaro	Antúnez "La Perla"	18°56'09''/ 102°13'35''	4	319
Parácuaro 4	Parácuaro	Las Yeguas	19°00'42''/ 102°14'52''	9	312
Tepalcatepec 1	Tepalcatepec	Cholula	19°07'54''/ 102°50'34''	7	370
Tepalcatepec 2	Tepalcatepec	Atascadero	19°08'13''/ 102°51'58''	10	342
Tepalcatepec 3	Tepalcatepec	Calderitas	19°10'22''/ 102°50'25''	9	376

Cuadro 3. Elementos base de la matriz giro peciolar izquierda/derecha, flor femenina/hermafrodita.

Giro peciolar	Sexo de flor	Resultado
Giro de peciolo a la derecha (D)	Sexo femenino (F)	D/F
	Sexo hermafrodita (H)	D/H
Giro de peciolo a la izquierda (I)	Sexo femenino (F)	I/F
	Sexo hermafrodita (H)	I/H

Figura 1. Comportamiento de la combinación giro peciolar/sexo de flor en poblaciones de papaya tipo 'Maradol'.



tribución de ocurrencia del giro peciolar/sexo de flor en el conjunto de las 13 poblaciones. La dinámica observada por cada población, particularmente en la combinación giro peciolar/sexo de flor I/H, se expresó entre 31 % y 46 % de ocurrencia, colocándose como la combinación más alta y cuyo comportamiento destacó en todas las poblaciones. En contraste, la combinación giro peciolar/sexo de flor I/F reflejó los valores porcentuales menores en la mayoría de las poblaciones, situándose entre 9 % y 21 % de ocurrencia. Las demás combinaciones, giro peciolar/sexo de flor, tanto D/F como D/H, presentaron una ocurrencia intermedia en la mayoría de las poblaciones.

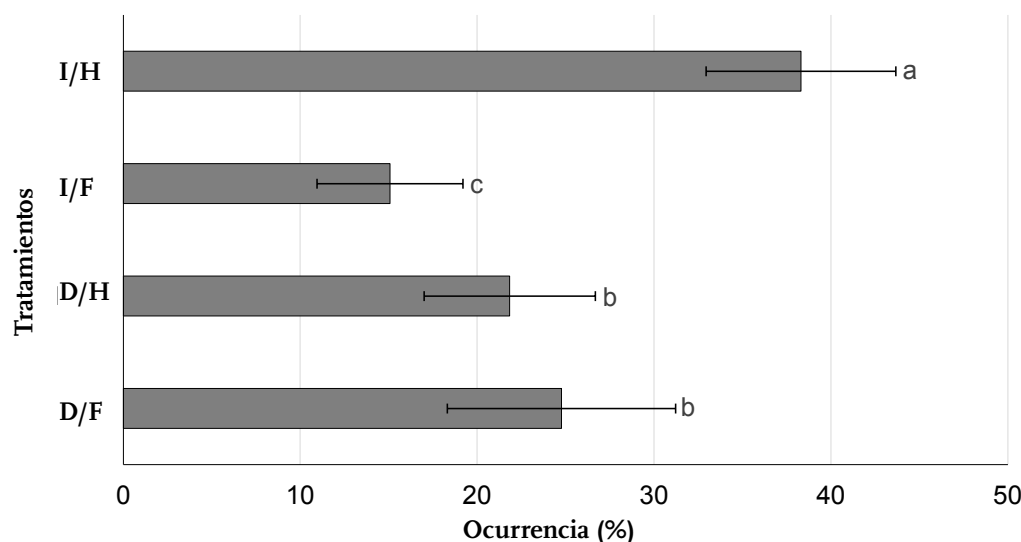
Durante las distintas etapas de desarrollo, la papaya enfrenta condiciones que pueden afectar negativamente su productividad y calidad del fruto, debido a su sensibilidad a factores ambientales. Entre los principales desafíos se encuentra su inestabilidad sexual, propia de una especie de polinización abierta, lo que complica la selección de plantas adecuadas para el cultivo comercial. En este contexto, es clave priorizar la selección de plantas hermafroditas, ya que, además de ser fértiles, producen frutos con características más apreciadas por los consumidores. El genotipo 'Maradol', uno de los más utilizados por sus frutos de buen tamaño, color y consistencia, suele presentar problemas de esterilidad y deformaciones en el fruto, especialmente en temporadas con temperaturas extremas (Santamaría et al., 2016). Estos problemas están relacionados con la inestabilidad en la expresión sexual de las flores, influenciada tanto por factores genéticos como

por el ambiente (Ramos et al., 2011). Esto ayuda a entender los patrones observados en las combinaciones giro peciolar/sexo de flor, donde la expresión sexual variable en plantas hermafroditas parece estar condicionada por estas interacciones.

Por otra parte, el análisis de varianza realizado, cuya base fue el factor combinación giro peciolar/sexo de flor en sus cuatro posibles combinaciones (tratamientos), encontró que existen diferencias significativas. La combinación giro peciolar/sexo de flor I/H fue superior, ya que presentó el valor de ocurrencia más alto (38.31 %), seguido por las combinaciones giro peciolar/sexo de flor D/F y D/H, y ambos tratamientos fueron iguales. En tanto, la combinación giro peciolar/sexo de flor I/F fue el tratamiento con el menor valor de ocurrencia alcanzando 15.08 %, agrupándose al final del grupo (Figura 2).

La identificación temprana del tipo sexual en papaya sigue siendo un reto importante en el manejo del cultivo, debido a la ausencia de características morfológicas distintivas en etapas tempranas y a la complejidad asociada con la presencia de cromosomas sexuales heteromórficos. Esta limitación impide la selección eficaz de individuos durante la fase de plántula, obligando a esperar hasta la floración para una clasificación precisa (Deputy et al., 2002; Gangopadhyay et al., 2007). Aunque se han propuesto ciertos indicadores morfológicos, como el color de la testa o la forma de la raíz, los resultados han sido inconsistentes y carecen de validación científica sólida. Algunos estudios

Figura 2. Probabilidad de ocurrencia del giro peciolar y el sexo de flor en poblaciones de papaya tipo 'Maradol'.



Medias ± desviación estándar, previamente transformadas a arcoseno de la raíz cuadrada de la proporción. $DMS_{H_{0.05}} = 6.42$. Letras distintas indican diferencias, Tukey ($P \leq 0.0001$). D=Derecha, I=Izquierda, F=Femenina, H=Hermafrodita.

Cuadro 3. Probabilidad de ocurrencia y asertividad con base al giro peciolar y con base al sexo de flor, en papaya tipo 'Maradol'.

Sexo	Por el giro de peciolar (ocurrencia %)		Giro	Por el sexo de flor (ocurrencia %)	
	I	D		F	H
Femenina	28	53	I	38	64
Hermafrodita	72	47	D	62	36

n = 1,300 plantas. D=Derecha, I=Izquierda, F=Femenina, H=Hermafrodita.

como los de Kumar (1951) y Choudhary et al. (1957), sugieren diferencias fisiológicas y bioquímicas entre sexos, pero su aplicación práctica sigue siendo limitada. Por otro lado, Soni et al. (2017) identificaron una posible asociación entre el color de la semilla y la expresión sexual, especialmente en genotipos dioicos y ginodioicos. Sin embargo, estas aproximaciones aún no sustituyen métodos certeros de identificación. En este contexto, los resultados obtenidos en el análisis de varianza respaldan la necesidad de contar con herramientas confiables para predecir la expresión sexual, ya que las diferencias observadas en la ocurrencia de combinaciones específicas (como la I/H) podrían ser aprovechadas para mejorar la selección temprana, optimizando así la eficiencia productiva y genética del cultivo.

Con los valores conjugados generales del muestreo (n = 1,300 plantas), cuya base se sujeta a la probabilidad de acertar a determinado tipo de flor o determinado giro peciolar, en el Cuadro 3 se presenta el grado de predicción de ocurrencia, tanto del giro peciolar como el tipo de flor. Con relación al giro

peciolar, si se generaliza sólo el giro a la izquierda, cerca del 72 % correspondió a plantas con flores del sexo hermafrodita. En ese sentido, el 28 % restante puede ocurrir en las plantas con flores del sexo femenino. En cuanto al giro peciolar con sentido hacia la derecha, la ocurrencia de que las plantas presenten flores femeninas pudo ser acertada en un 53 %. En el 47 % restante, es posible que pueda tratarse de flores hermafroditas. Con base en lo anterior, se puede incrementar en 6 % el hermafroditismo en papaya de la proporción básica expresada en genotipos compactos. De igual manera, con los valores conjugados generales, la probabilidad de que el giro peciolar ocurra hacia la derecha puede ser de 62 % si las plantas son de flores femeninas. En tanto, si se observan plantas con flores hermafroditas, cerca del 64 % puede coincidir con la expresión del giro peciolar a la izquierda; lo que proporciona una estimación basada en la información obtenida en las 13 poblaciones de papaya tipo 'Maradol' exploradas.

La complejidad del sistema sexual en papaya, caracterizado por la coexistencia de flores masculinas, femeninas

y hermafroditas, representa un desafío agronómico significativo, ya que impacta directamente en la calidad, forma y rendimiento del fruto (Ávila-Hernández et al., 2023). La posibilidad de identificar el tipo sexual antes de la floración permitiría optimizar el uso de recursos, evitando la eliminación posterior de individuos no deseados, principalmente los que desarrollan flores masculinas. A esta complejidad se suma la presencia de reversión sexual, observada en plantas masculinas y hermafroditas, cuyo comportamiento puede variar según las condiciones ambientales (Shukoor et al., 2023).

En contraste, las plantas femeninas son más estables en su expresión sexual y capacidad productiva, tanto en climas tropicales como subtropicales (Prakash et al., 2018). Si bien existen métodos moleculares como PCR para la determinación temprana del sexo, estos requieren infraestructura especializada y resultan costosos para su aplicación a gran escala. Por ello, resulta relevante el desarrollo de estrategias de predicción basadas en características morfológicas simples y observables en campo. Los resultados obtenidos en este estudio sugieren una correlación positiva y significativa entre el giro peciolar y el tipo sexual, lo cual representa una herramienta útil para la predicción temprana del sexo floral. Específicamente, el giro peciolar hacia la izquierda mostró una mayor coincidencia con la expresión hermafrodita, mientras que la observación inversa, partiendo del tipo de flor, refuerza esta asociación. Aunque otras combinaciones no presentaron patrones consistentes, la relación establecida entre el giro peciolar y el sexo floral permite considerar un modelo predictivo de fácil aplicación, que podría complementar los sistemas de selección precoz en programas de mejoramiento y producción comercial.

Conclusiones

El análisis realizado en 13 poblaciones de papaya tipo 'Maradol' muestra una clara correlación entre las combinaciones de giro peciolar y sexo de la flor, lo que podría utilizarse para predecir el tipo sexual de las plantas antes de la floración. En particular, el giro peciolar hacia la izquierda estuvo asociado principalmente con plantas hermafroditas, mientras que el giro a la derecha correspondió en su mayoría con flores femeninas. Esta asociación fue válida cuando se observó el giro peciolar, así como también con el tipo de flor, lo que sugiere que ambos factores pueden servir como predictores de la expresión sexual de la planta. Esta relación morfológica podría convertirse en una herramienta clave para la selección precoz de plantas, optimizando los recursos y mejorando la eficiencia en la producción.

Agradecimientos

Se agradece al Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Michoacán, por el financiamiento otorgado en el marco de la Convocatoria "Apoyo para la continuidad de proyectos de investigación científica de

impacto regional 2022", con folio PICIR22-076-C; y al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por las facilidades concedidas y registro de proyecto SIGI: 17162937226.

Referencias

- Alarcón, P. S. A., Hernández, S. M. de L. L., González, C. J. C., Enríquez, G. F., & Velázquez, G. E. P. (2022). Producción y manejo del cultivo de papaya (*Carica papaya* L.). *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 10(1), 164–169. <https://doi.org/10.47808/revista-bioagro.v10i1.414>
- Antunes, C. F., & Renner, S. S. (2012). A dated phylogeny of the papaya family (Caricaceae) reveals the crop's closest relatives and the family's biogeographic history. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 65, 46–53.
- Aryal, R., & Ming, R. (2014). Sex determination in flowering plants: Papaya as a model system. *Plant Science*, 217–218, 56–62.
- Ávila-Hernández, J. G., Cárdenas-Aquino, M. A., Camas-Reyes, A., & Martínez-Antonio, A. (2023). Sex determination in papaya: Current status and perspectives. *Plant Science*, 335, 111814. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2023.111814>
- Barrantes-Santamaría, W., & Sánchez-Barrantes, E. M. (2022). Análisis de curvas de fusión de alta resolución para identificar el sexo en papaya (*Carica papaya* L.). *Agronomía Mesoamericana*, 33(3), 48750. <https://doi.org/10.15517/am.v33i3.48750>
- Barrantes-Santamaría, W., Loria-Quiros, C., & Gomez-Alpizar, L. (2019). Evaluación de dos sistemas de sexado en plantas de papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí. *Agronomía Mesoamericana*, 30(2), 437–446. <https://doi.org/10.15517/am.v30i1.34916>
- Chen, J. R., Urasaki, N., Matsumura, H., Chen, I. C., Lee, M. J., Chang, H. J., Chung, W. C., & Ku, H. M. (2019). Dissecting the all-hermaphrodite phenomenon of a rare X chromosome mutant in papaya (*Carica papaya* L.). *Molecular Breeding*, 39(1). <https://doi.org/10.1007/s11032-018-0918-7>
- Choudhary, R. S., Garg, O. K., & Borah, P. C. (1957). Physiological changes in relation to sex in papaya. *Phyton*, 9, 137–141.
- Datta, P. C. (1971). Chromosomal biotypes of *Carica papaya* Linn. *Cytologia*, 36, 555–562.
- Deputy, J. C., Ming, R., Ma, H., Liu, Z., Fitch, M. M. M., Wang, M., Manshardt, R., & Stiles, J. I. (2002). Molecular markers for sex determination in papaya (*Carica papaya* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 106, 107–111.
- Dos Santos, S. N., Da Paixão, M. H. C., Da Conceição, S. T. M., Marmolejo, C. D. F., Santana, L. L., Miranda, S. M. L., Lopes, P. J. S., & Silva, L. C. A. (2022). Papaya flowering as a subsidy for plant breeding: A literature review. *Research, Society and Development*, 11(14), e174111436642. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i14.36642>
- FAOSTAT. (2025). Estadísticas de la producción mundial de papaya. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- Ferreira, C. E., Lima, S. D., Wisner, F. L. L., Castricini, A., Lima, B. D., Filgueiras, R., & França, C. F. (2022). Water regimes on soil covered with plastic film mulch and relationships with soil water availability, yield, and water use efficiency of papaya trees. *Agricultural Water Management*, 269, 107709. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107709>
- Foram, V., Pooja, K., Ram, V. R., & Dave, P. N. (2019). Sex determination in papaya: A mini review. *Progress in Chemical and Biochemical*

- Research*, 2(4), 228–234.
- Gangopadhyay, G., Roy, S. K., Ghose, K., Poddar, R., Bandyopadhyay, T., Basu, D., & Mukherjee, K. K. (2007). Sex detection of *Carica papaya* and *Cycas circinalis* by ISSR and RAPD. *Current Science*, 92, 524–526.
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM.
- García, R. I., & Linares, L. A. (2012). Árboles y arbustos de la cuenca del río Tepalcatepec. El Colegio de Michoacán. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2016). Anuario estadístico y geográfico de Michoacán de Ocampo 2016. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825082055>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2020). Demografía y sociedad, población. <https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/>
- Jindal, K. K., & Singh, R. N. (1976). Sex determination in vegetative seedlings of *Carica papaya*. *Scientia Horticulturae*, 4, 33–39.
- Kumar, V. (1951). Studies of *Carica papaya* L. *Indian Journal of Horticulture*, 8, 26–33.
- Odu, E. A., Adedeji, O., & Adebawale, A. (2006). Occurrence of hermaphrodite plants of *Carica papaya* L. *Journal of Plant Sciences*, 1(3), 254–263. <https://doi.org/10.3923/jps.2006.254.263>
- Okereke, C. N., Kaurilind, E., Liu, B., Kanagendran, A., Pazouki, L., & Niinemets, Ü. (2022). Impact of heat stress on papaya leaves. *Environmental and Experimental Botany*, 195, 104777. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104777>
- Prakash, J., Soni, A., & Singh, P. (2018). Sex differentiation in papaya: A review. *Progressive Horticulture*, 50(1–2), 47–52. <https://indianjournals.com/article/pho-50-1and2-006#:~:text=DOI%3A%2010.5958/2249%2D5258.2018.00021.0>
- Ramos, H. C. C., Pereira, M. G., Silva, F. F., Viana, A. P., & Ferregueti, G. A. (2011). Seasonal and genetic influences on sex expression in papaya. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 11, 97–105. <https://doi.org/10.1590/S1984-70332011000200001>
- Santamaría, B. F., Mirafuentes, H. F., Guerrero, S. B. H., & Vázquez, H. M. V. (2016). Genotipos de papaya con alta producción de frutos alargados. México: Colegio de Postgraduados.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2024). Panorama agroalimentario. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2025). Estadísticas de la producción nacional de papaya. https://nube.agricultura.gob.mx/avance_agricola/
- Shukoor, A., Laya, P., Shikha, J., & Poonam, M. (2023). Sex reversal in papaya. *Just Agriculture*, 4(1), 474–480. <https://justagriculture.in/files/newsletter/2023/september/79%20Sex%20Reversal%20in%20Papaya.pdf>
- Soni, A., Prakash, J., Kaluram, S. S. K., & Goswami, A. K. (2017). Efficiency of parameters related to sex expression in papaya. *Indian Journal of Horticulture*, 74, 6–10.
- Sriprasertsak, P., Burikam, S., Attathom, S., & Piriya-surawong, S. (1988). Determination of cultivar and sex of papaya tissues. *Kasetsart Journal*, 22, 24–29.
- Statistical Analysis System [SAS Institute Inc]. (2019). SAS 9.4 Language Reference: Concepts. SAS Institute.
- Vos, C., & Arancon, N. (2019). Soil and plant nutrient management and fruit production of papaya. *Journal of Plant Nutrition*, 43(3), 384–395. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1677712>