



## Importancia de los recursos genéticos de la piña (*Ananas comosus* [L.] Merr. var. *comosus*) en Colombia<sup>1</sup>

### Importance of genetic resources of pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr. var. *comosus*) in Colombia

Germán Andrés Aguilera-Arango<sup>2</sup>, Carol Liliana Puentes-Díaz<sup>2</sup>, Yacenia Morillo-Coronado<sup>2</sup>

- <sup>1</sup> Recepción: 23 de agosto, 2021. Aceptación: 17 de noviembre, 2021. La presente revisión se realizó gracias a la ejecución del proyecto “Identificación de germoplasma promisorio de piña, para aumentar la oferta de cultivares en las principales zonas productoras de Colombia”, ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Palmira, Valle del Cauca, Colombia.
- <sup>2</sup> Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Palmira – Diagonal a la intersección de la Carrera 36ª con Calle 23 - Palmira, Valle del Cauca, Colombia. [gaguilera@agrosavia.co](mailto:gaguilera@agrosavia.co) (<http://orcid.org/0000-0002-3942-4658>); [cpuentes@agrosavia.co](mailto:cpuentes@agrosavia.co) (<http://orcid.org/0000-0002-0866-304X>); [ymorillo@agrosavia.co](mailto:ymorillo@agrosavia.co) (autor para correspondencia, <http://orcid.org/0000-0003-1974-3464>).

## Resumen

**Introducción.** La piña (*Ananas comosus* [L.] Merr. var. *comosus*) representa uno de los sistemas productivos con mayor participación en el sector hortofrutícola en Colombia. Los recursos fitogenéticos son la base biológica de la seguridad alimentaria mundial y constituyen, además, la materia prima indispensable para el mejoramiento genético de los cultivos. En Colombia, la siembra de una variedad mejorada de piña supone un gran problema, debido a que desplaza el uso de cultivares nativos, los cuales poseen un arraigo cultural en cuanto a producción y consumo en cada sitio. Esta problemática podría resolverse mediante el conocimiento, caracterización, conservación y uso sostenible de los recursos genéticos, que son fuente de genes de interés y que podrían aprovecharse para iniciar un programa de mejoramiento para esta especie. **Objetivo.** Reconocer la importancia de los recursos genéticos como una estrategia para implementar un programa de mejoramiento genético de piña en Colombia. **Desarrollo.** Los recursos fitogenéticos constituyen la base de la seguridad alimentaria, de ahí que su conocimiento, conservación y uso sostenible son necesarios para garantizar la producción agrícola y satisfacer los crecientes desafíos ambientales y el cambio climático. Los recursos genéticos de la piña en Colombia podrían ser aprovechados, ya que se cuenta con diferentes variedades locales de piña, las cuales constituyen un acervo genético con genes y características de interés que podrían ser utilizados en programas de mejoramiento con miras a obtener nuevos cultivares para satisfacer las demandas actuales y abastecer mercados nacionales y de exportación. **Conclusiones.** Conocer la variabilidad genética en los recursos genéticos de la piña, permitiría una planeación de estrategias de conservación, su uso sostenibles en los sistemas agrícolas y en programas de fitomejoramiento del cultivo. Se requiere incorporar técnicas de biología molecular para acelerar los mejora genética de la piña.

**Palabras clave:** acervo genético, cultivares nativos, fitomejoramiento, germoplasma, variedades locales.



## Abstract

**Introduction.** Pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr. Var. *comosus*) represents one of the productive systems with the highest participation in the fruit and horticultural sector in Colombia. Plant genetic resources are the biological basis of world food security and are also the essential raw material for the genetic improvement of crops. In Colombia, the planting of an improved pineapple variety is a great problem, because it displaces the use of native cultivars, which are culturally rooted in terms of production and consumption in each location. This problem could be solved through the knowledge, characterization, conservation, and sustainable use of genetic resources, which are a source of genes of interest and that could be used to start a breeding program for this species. **Objective.** To recognize the importance of genetic resources as a strategy to implement a breeding program for pineapple in Colombia. **Development.** Plant genetic resources constitute the basis of food security; hence their knowledge, conservation, and sustainable use are necessary to guarantee agricultural production and meet the growing environmental challenges and climate change. Pineapple genetic resources in Colombia could be exploited, since there are different local varieties of pineapple, which constitute a gene pool with genes and characteristics of interest that could be used in breeding programs to obtain new cultivars to meet current demands and supply national and export markets. **Conclusions.** Knowing the genetic variability in pineapple genetic resources would allow planning conservation strategies, their sustainable use in agricultural systems and in crop breeding programs. It is necessary to incorporate molecular biology techniques to accelerate genetic improvement of pineapple.

**Keywords:** gene pool, native cultivars, plant breeding, germplasm, local varieties.

## Introducción

La piña (*Ananas comosus* [L.] Merr.), es originaria de América del Sur y es la especie más representativa de la familia Bromeliaceae, la cual se conforma por cerca de 58 géneros y 3408 especies (Neri et al., 2021; Pérez-López et al., 2020). Es la especie más conocida y cultivada como alimento del género *Ananas* (García & Serrano, 2005). Posee alto contenido de nutrientes y es muy apreciada por su aroma y sabor dulce, caracteres que son de interés para el mercado de consumo fresco, jugos y precortados. Presenta amplia distribución, por su capacidad adaptativa ante diferentes tipos de hábitats y altitudes, ya que se puede encontrar en el rango desde el nivel del mar hasta los 4500 m s. n. m. (Rodríguez Alfonso et al., 2020).

La piña se cultiva en las principales regiones tropicales y subtropicales del mundo y es considerada la tercera fruta tropical más importante, después del banano y los cítricos (Rodríguez et al., 2007; Rohrbach et al., 2003). El mercado de la piña crece debido a los valores nutricionales, así como a la demanda de precios minoristas competitivos (Abu Bakar et al., 2013; Martínez et al., 2012). Además, la piña a menudo se procesa en diversas formas, como fruta enlatada, jugo, extracto de bromelina (Hossain, 2016; Hossain et al., 2015), producción de fibra (Asim et al., 2015), alimento para animales (Omole et al., 2011) y vino de piña.

En el año 2017, la piña contó con una superficie cultivada de 1,11 millones de hectáreas en el mundo, con una producción de 27 402 956 t, donde el continente asiático aportó 11 873 279 t, seguido por el continente americano con 9 962 986 t (Rodríguez Alfonso et al., 2020). Los cinco países que lideran la producción en el mundo son Costa Rica (3 056 445 t), Filipinas (2 671 711 t), Brasil (2 253 897 t), Tailandia 212 3177 t) e India (1 861 000 t). Colombia (900 395 t) ocupó el décimo lugar (Statista, 2020). El rendimiento promedio reportado a nivel mundial en el año 2018 fue de 25,1 t ha<sup>-1</sup>, donde los países que presentaron los mayores valores fueron Indonesia con 122,8 t ha<sup>-1</sup> y Costa Rica con 76,0 t ha<sup>-1</sup>. Colombia tuvo un rendimiento de 41,6 t ha<sup>-1</sup> (Rodríguez Alfonso et al., 2020).

De la fruta de piña que se cosecha en el mundo, cerca del 70 % se utiliza en los países productores, para el consumo en fresco y para su uso agroindustrial (Flórez Martínez et al., 2020). En Colombia el tipo de mercado al que se dirige la fruta depende de las variedades locales sembradas, las cuales a su vez están ligadas a las diferentes zonas productoras de este país (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2016). Entre los departamentos de Colombia que demuestran una fuerte tradición en el cultivo de la piña se encuentran Santander, Valle del Cauca, Caldas y Cauca, donde se siembran variedades locales de interés como la Perolera y la Manzana (Sinuco et al., 2004).

En los últimos diez años, este país ha intensificado la siembra y el consumo de piña a partir de una de las variedades más sembradas y comercializadas en el mundo, conocida como el híbrido MD-2 u Oro miel. Este híbrido destaca por su sabor, aroma dulce y contextura agradable, lo que ha impulsado desarrollos agroindustriales para el cultivo, ha generado un incremento de un 50 % del área sembrada de esta fruta (Quijano-Celis et al., 2020).

Es importante tener en cuenta que el híbrido MD-2 no es una variedad local y, por el contrario, se trata de un cultivar comercial que fue desarrollado en Hawái por el Pineapple Research Institute (PRI), el cual fue introducido a Colombia desde Costa Rica. Lo anterior supone un problema, debido a que la sustitución de cultivares nativos por cultivares mejorados predispone a la erosión genética del género *Ananas* y en especial a la especie *A. comosus* (Zúñiga-Orozco & Carrodegua-González, 2020). La problemática antes descrita, puede llegar a ser resuelta por medio de programas de mejoramiento genético, pero para poder llevar a cabo esta actividad es primordial ampliar la base genética y conocer el valor real y potencial de los recursos genéticos de esta especie (Delgado-Huertas & Arango-Wiesner, 2015). Por lo anterior, la presente revisión tuvo como objetivo reconocer la importancia de los recursos genéticos como una estrategia para implementar un programa de mejoramiento genético de piña en Colombia.

## Descripción botánica

La piña es una planta herbácea, perenne y monocotiledónea, que después de fructificar continúa con su crecimiento a través de una o más yemas axilares, dando origen a una planta nueva. Una de las características que tiene la planta de piña es presentar un pseudotallo rodeado de hojas con forma de roseta, el cual puede llegar a medir hasta 2,0 m de altura y 1,5 m de diámetro cuando la planta alcanza su máximo desarrollo (Rodríguez Alfonso et al., 2020).

Las hojas de la piña presentan forma lanceolada, donde las más largas se encuentran encima de la parte media de la planta, con longitudes que varían entre los 60 y los 90 cm y un ancho promedio 6,3 cm que se estrecha hacia el ápice hasta terminar en una punta dura. Algunas variedades pueden llegar a presentar espinas duras y afiladas dispuestas a lo largo del margen de las hojas; además, las hojas presentan una cutícula cerosa con gran capacidad para oponerse a la pérdida de agua (Cristancho et al., 1991).

La inflorescencia de la piña está constituida por flores hermafroditas, ubicadas en las axilas de las brácteas auto estériles. En los cultivos que se encuentran sembrados con una sola variedad no es factible obtener semillas, debido al alto grado de autoincompatibilidad del tipo gametofítica (Zúñiga-Orozco & Carrodegua-González, 2020). Sin embargo, es posible obtener semillas a partir de polinización cruzada entre dos variedades (Bartholomew et al., 2003). Por otro lado, cada una de las flores que componen la inflorescencia da origen a una baya mediante partenocarpia, las cuales, al crecer, se fusionan entre sí y forman una infrutescencia, que de acuerdo con la variedad puede ser de color verde, amarilla, anaranjada o rojiza y de forma cónica u oblonga (Coppens d'Eeckenbrugge & Leal, 2003; Rodríguez Alfonso et al., 2020).

## Taxonomía

Colón se convirtió en el primer occidental en descubrir la piña, en Guadalupe en 1493, pero para entonces, la planta ya estaba distribuida en las Américas tropicales (Collins, 1949; 1961; Coppens d'Eeckenbrugge et al., 1997). La piña se introdujo en Europa en el siglo XVI y se extendió a Asia y África tropical y subtropical en el siglo XVIII (Collins, 1949).

A pesar de la importancia de esta especie para la economía mundial y los recientes informes sobre los genomas de las especies que componen al género *Ananas*, la taxonomía de este grupo aún sea incierto (Ming et al., 2015). Desde la primera descripción de este género, la taxonomía de *Ananas* ha cambiado, incluso se llegó a proponer que este solo contaba con dos especies *A. macrodontes* Morren (tetraploide,  $2n = 4x = 100$ ) y *A. comosus* (L.) Merr. (diploide,  $2n = 2x = 50$ ) (Coppens D'Eeckenbrugge & Leal, 2003).

La especie *A. comosus* incluye cinco variedades botánicas: *ananassoides*, *bracteatus*, *erectifolius*, *parguazensis* y *comosus*. Las variedades cultivadas están incluidas en la var. *comosus* y suelen clasificarse en cinco grupos fenotípicos: Abacaxi o Pernambuco, Cayenne, Maipure o Perolera, Queen y Spanish (Paull & Duarte, 2011; Py et al., 1987). Los tres cultivares de piña más importantes a nivel económico en el mundo son: Cayenne, Singapore Spanish y Queen (Coppens d'Eeckenbrugge et al., 1997). El c.v. Smooth Cayenne es el más importante, debido a su potencial de rendimiento y características favorables como fruta fresca y para uso en la agroindustria, por lo que es considerado como uno de los preferidos en los programas de mejoramiento genético para esta especie (Leal & Coppens D'Eeckenbrugge, 1996).

## Requerimientos agroecológicos del cultivo

El cultivo de la piña se desarrolla en altitudes que van desde los 100 hasta los 600 m s. n. m., considerándose como rango óptimo el comprendido entre los 50 y los 200 m s. n. m. Además, la temperatura juega un papel fundamental en la calidad y el desarrollo de la planta y la fruta. La baja temperatura induce el sabor ácido, mientras que en ambientes húmedos y con altas temperaturas se reduce la acidez. El rango de temperatura favorable para la producción de piña varía entre los 20 y 30 °C, con un óptimo entre 25 a 27 °C. Las temperaturas entre 28 y 30 °C son ideales para el crecimiento de las raíces (Jiménez Díaz, 1999).

En áreas con altas temperaturas (más de 35 °C de día y superiores a los 25 °C en la noche), la inducción floral es muy difícil. Las noches frescas con temperaturas menores a los 16 °C facilitan la inducción floral, mientras que las temperaturas muy bajas (5 °C durante 48 h) pueden causar daños, ya que la planta de piña tiene muy poca resistencia a las heladas. Las frutas que maduran durante el invierno son de mala calidad, debido a que contienen bajos contenidos de azúcar y alto grado de acidez (Brenes-Gamboa, 2005).

La piña es una planta que requiere alta luminosidad en sus procesos fisiológicos, debido a que las plantas que crecen con limitaciones de luz producen frutas opacas y poco atractivas, mientras que una luminosidad óptima favorece la producción de frutas brillantes y llamativas a la vista de los consumidores. Es importante tener en cuenta que la excesiva exposición a intensidades lumínicas muy fuertes puede llegar a causar quemaduras superficiales e internas en la fruta, que merma la calidad de esta. Lo ideal, es tener el cultivo de piña para la producción de fruta con un brillo solar mínimo mensual de 12,8 % y un máximo de 20 % (Jiménez Díaz, 1999). La piña hace uso de un tipo especial de fotosíntesis, llamado metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM), que ha evolucionado de forma independiente en más de 10 000 especies de plantas, entre las cuales, la piña es la planta más valiosa a nivel económico (Ming et al., 2015). Esta es una característica que, en ciertas plantas, incluidos los cactus, han desarrollado como mecanismo de adaptación, porque permite que la planta conserve la humedad durante la fotosíntesis. Por la noche, los estomas de la piña se abren para absorber el dióxido de carbono y fijarlo dentro de la

planta como una forma de ácido málico para uso posterior, esto les permite mantener sus estomas cerrados durante el día, pero no interrumpen la fotosíntesis (Malézieux & Bartholomew, 2003). Esta característica contribuye a la resistencia de la piña en climas cálidos y áridos, ya que la planta pierde muy poca humedad a través de sus hojas durante el día (Ming et al., 2015).

En cuanto a la precipitación, las plantas de piña se desarrollan bien en condiciones de un mínimo de 50 mm mensuales. Las altas precipitaciones y un drenaje deficiente del suelo son perjudiciales para el cultivo, llegan a causar grandes pérdidas de plantas por infecciones de *Phytophthora* spp. (Jiménez Díaz, 1999). La piña es considerada una planta resistente a las condiciones de estrés hídrico y su cultivo se desarrolla en zonas con precipitaciones variables que oscilan entre 600 y los 4000 mm/año, donde el rango óptimo para la producción de fruta es entre los 1000 y 1500 mm/año. Sin embargo, la piña es capaz de soportar deficiencias hídricas acentuadas (Pardo et al., 2008).

La piña posee un sistema radical poco profundo y frágil, se desarrolla bien en suelos sueltos, permeables, aireados, con buen drenaje, por lo cual se prefieren suelos ricos en materia orgánica, con pH entre 5,5 y 6,5 (Sossa et al., 2019). La planta se adapta a diversas condiciones climáticas, sin embargo, es vulnerable a los cambios en su hábitat, por lo que no prospera en suelos contaminados o con altos niveles de perturbación (Betancur et al., 2006).

Uno de los factores del suelo que más limitan el cultivo, es la baja permeabilidad en climas lluviosos, ya que favorece el ataque de patógenos en el sistema radical, por lo que debe evitarse la siembra de este cultivo en suelos muy arcillosos y de mala estructura (Jiménez Díaz, 1999). Las condiciones topográficas determinan los criterios de siembra para la conservación del suelo. Para evitar efectos destructores por erosión, las curvas deben de medirse cada 1,5 m en terrenos con pendientes entre 0,5 y 10 %. Sin embargo, en terrenos con pendientes mayores al 2 % se recomienda controlar las escorrentías y el drenaje superficial (Avella et al., 2014).

## Mejoramiento genético de la piña en el mundo

A nivel mundial, los recursos genéticos de la piña están conservados en bancos de germoplasma en diferentes países, el más grande es el CNPMF, que pertenece a la Empresa Brasileira de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA, por su siglas en portugués) en Cruz das Almas, Brasil con más de 800 accesiones conservadas en condiciones de campo (Souza et al., 2019). Para iniciar un programa de mejoramiento vegetal es de gran relevancia contar con un banco de germoplasma caracterizado, que permita a los fitomejoradores tener un conocimiento más profundo de las especies en cuanto a su biología reproductiva, acervo genético, relaciones genéticas, proceso de domesticación, entre otros aspectos, con el fin de plantear los métodos adecuados de mejoramiento, evaluar la diversidad genética, identificar y seleccionar genotipos sobresalientes, así como definir estrategias de conservación.

La mayoría de las variedades de *A. comosus* son autoincompatibles, debido a la inhibición del crecimiento del tubo polínico en el tercio superior del estilo (Kerns, 1932), el cual está controlado gametofíticamente por un solo locus con múltiples alelos (Brewbaker & Gorrez, 1967). La diversidad de sus alelos asegura que las incompatibilidades cruzadas sean excepcionales. Algunos cultivares exhiben incompatibilidad parcial (Cabral & de Matos, 2009), la cual podría depender de la temperatura. Los tipos silvestres como *A. ananassoides* y *P. sagenarius*, pueden ser parcial o completamente autocompatibles, esta última característica es común en las otras piñas silvestres. Sin embargo, en la familia Bromeliaceae, se han encontrado mutantes, como es el caso de Cayena lisa, que son capaces de producir semillas por autofecundación (Brewbaker & Gorrez, 1967).

La piña es heterocigótica y el mejoramiento de muchos caracteres diferentes es posible. Los programas de mejoramiento han permitido que tanto los cruces intraespecíficos como interespecíficos y la selección, estén orientados al mejoramiento de muchos aspectos de productividad, calidad de la fruta y resistencia a plagas y enfermedades (Collins & Kerns, 1938).

Algunas de las estrategias de mejoramiento que se han utilizado en piña se han basado en la selección clonal y en métodos de recombinación sexual para la obtención de híbridos. En la selección clonal se utilizan diferentes procesos, entre los que se destacan: depuración de plantas defectuosas en campo, selección y multiplicación de plantas élite y prueba de clones resultantes con selección final sobre varios ciclos de cultivo (Centro de Información Tecnológica y Apoyo a la Gestión de la Propiedad Industrial, 2015). A pesar de lo anterior, la estrategia más efectiva es el uso de la reproducción sexual para generar variabilidad y, a partir de ahí, comenzar con genotipos variables.

Un desafío importante para la identificación de cultivares de piña es que la prolongada propagación vegetativa ha llevado a la acumulación de mutaciones somáticas. Algunas mutaciones causaron efectos fenotípicos notables y crearon variación intra-cultivar, la cual llegó a convertirse en el objetivo de la selección clonal. Estos mutantes seleccionados son importantes en la producción hortícola, pero es necesario identificarlos para que los mejoradores y los curadores de los bancos de germoplasma puedan conservar y utilizar de forma eficiente estos materiales genéticos. Así, por ejemplo, se ha utilizado la selección clonal con hasta treinta mutaciones somáticas diferentes descritas para el cultivar Smooth Cayenne (Collins & Kerns, 1938).

Las nuevas técnicas genéticas, genómicas y biotecnológicas, ofrecen oportunidades sustanciales para el mejoramiento de la piña. Estas incluyen la ingeniería genética, el desarrollo de marcadores moleculares (RAPD, AFLP, SSR, ISSR, SNPs, etc), evaluación de la diversidad genética, desarrollo de marcadores de ADN vinculados con rasgos de interés y su uso en la Selección Asistida por Marcadores (MAS), construcción de mapas de ligamiento genético y genoma y el análisis de transcriptomas (Zhang et al., 2014).

El primer programa de mejoramiento de la piña se llevó a cabo en Florida, Estados Unidos de América, con el objetivo de obtener cultivares con mejor adaptación a las condiciones locales y con mejor calidad de la fruta. Luego, se desarrollaron programas similares en Hawái (Estados Unidos de América), Sudáfrica, India, Malasia, Costa de Marfil y Brasil (Coppens d'Eeckenbrugge et al., 1997; Leal & Coppens D'Eeckenbrugge, 1996).

El objetivo de los principales programas de mejoramiento en el mundo ha sido el mejoramiento de Smooth Cayenne. Sin embargo, a medida que se desarrollaron los mercados de fruta fresca, la calidad de la fruta se convirtió en una característica cada vez más importante. Por tanto, el objetivo de mejoramiento en la mayoría de los programas cambió de alto rendimiento y procesabilidad a alta calidad de la fruta fresca (Ogata et al., 2016).

El programa de mejoramiento de piña más exitoso fue realizado por el Pineapple Research Institute (PRI) en Hawái, cuyo objetivo fue obtener cultivares para su uso como fruta fresca y procesada (Williams & Fleisch, 1993). Uno de los híbridos que se originaron en este programa fue MD-2, que reemplazó a Smooth Cayenne en muchas áreas alrededor del mundo. El mejoramiento de la piña en muchos otros países ha producido nuevos cultivares, como el Imperial de Brasil (Bartholomew et al., 2010; Cabral & de Matos, 2009), Josapine de Malasia (Bartholomew et al., 2010), Aus Jubilee, Aus Carnival y Aus Festival de Australia (Bartholomew et al., 2010, Sanewski & De Faveri, 2017), y Tainung 17 y Tainung 21 de Taiwán (Sanewski, 2018). Mediante el uso de técnicas biotecnológicas, se han obtenido cultivos mejorados a nivel nutricional, tal es el caso de la Piña Rosé, desarrollada por la empresa Fresh Del Monte Produce Inc. en Costa Rica, cuyo fruto fue modificado a nivel genético para incrementar los niveles de licopeno, compuesto antioxidante que ayuda a prevenir diferentes enfermedades y el cual le confiere el color rosado a esta fruta (Méndez & Garro, 2017).

Los objetivos del mejoramiento genético de las variedades de piña varían y dependen del centro de producción y las condiciones del entorno (agroclimáticas, edáficas, etc.); el principal énfasis está en la resistencia a plagas y enfermedades, así como, en el favorecimiento de criterios de calidad del mercado, contenidos de azúcar, acidez, color, etc. (Chan et al., 2003). De acuerdo con lo anterior, los híbridos a obtener deben contar con un alto rendimiento de producción en campo, un alto contenido de sólidos solubles totales, un buen balance entre azúcares y ácidos, alto contenido de ácido ascórbico y un sabor atractivo, combinados con buena apariencia en color y forma (Flórez Martínez et al., 2020). Para alcanzar estos objetivos, en el mejoramiento genético de la piña es de gran prioridad ampliar su base genética, mediante la evaluación de los diferentes recursos genéticos, con el fin de

identificar caracteres útiles. Además, también sirve para seleccionar genotipos adecuados para los mercados y en la identificación de genotipos parentales promisorios para ser utilizados en programas de mejoramiento genético (Coppens D'Eeckenbrugge, 1996).

La sustitución de cultivares nativos por cultivares mejorados y la acelerada tala de vegetación que ocurre en las regiones consideradas como centros de diversidad genética de la piña, son las principales causas de erosión genética en el género *Ananas*. La utilización de pocos cultivares es considerado un problema a ser resuelto por medio del mejoramiento genético, a la vez que se debe promover la diversificación de los cultivares utilizados para siembra (Santos Cabral et al., s.f.).

## Recursos genéticos y fitomejoramiento de la piña en Colombia

Colombia cuenta con un banco de germoplasma del género *Ananas*, establecido en 1992 en el Centro de Investigación Palmira, el cual hace parte de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Este banco de germoplasma se logró establecer, gracias a un convenio entre AGROSAVIA, el Instituto de Investigación en Frutas y Cítricos y el Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (IRFA y CIRAD, respectivamente por sus siglas en francés), el cual reunía la mayor variabilidad para esta especie en el país en ese momento. Además, cuenta con cultivares nativos como la Perolera y la Manzana, que han sido utilizados como parentales para introducir características de resistencia en el desarrollo de híbridos en países como Brasil (Cabral & de Matos, 2009) y los cultivares Mayanesa e India que recién han sido incorporados.

Colombia carece de un programa de mejoramiento estructurado, donde incluso los estudios de caracterización son escasos. En uno de los pocos estudios hechos, se colectaron y evaluaron *in situ* y *ex situ*, 35 accesiones de *A. comosus* y dos de *A. ananassoides* en trece departamentos de Colombia, los cuales fueron establecidos en el Centro Experimental del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), ubicado en la ciudad de Palmira, Valle del Cauca. Se evaluaron descriptores asociados con crecimiento y desarrollo de la planta. Los autores reportaron que, a pesar de la variabilidad genética de la especie, existe el riesgo de erosión genética. Además, se identificaron genotipos promisorios para un programa de mejoramiento genético por condiciones ambientales adversas (Hernández et al., 1998).

La variabilidad genética de la piña se evaluó mediante descriptores morfológicos del Instituto Internacional de los Recursos Fitogenéticos (IPGRI) en ocho accesiones del género *Ananas* que hacen parte de una colección de trabajo de germoplasma de piña, ubicada en el Centro de Investigación La Libertad de AGROSAVIA. Los autores encontraron mayor variabilidad en los descriptores vegetativos que en los de fruto, donde la altura de planta, ancho y peso de la hoja, longitud del pedúnculo y longitud del fruto, fueron los que presentaron mayor varianza explicada y capacidad discriminatoria entre genotipos. En los descriptores cualitativos, se destacó una alta variabilidad en la forma de distribución de las espinas en márgenes de hojas (Delgado-Huertas & Arango-Wisner, 2015).

El escaso conocimiento existente de la variabilidad genética de la piña en el país, limita su uso eficiente, puesto que una mejor comprensión de la diversidad genética del género *Ananas*, obtenida mediante la caracterización y evaluación del germoplasma, podría presentar nuevas oportunidades para el fitomejoramiento y mejorar la eficacia de los programas. Conocer las variedades regionales, como por ejemplo la Perolera, Manzana, Caqueteña, India, entre otras, es de vital importancia para planear estrategias de conservación para optimizar su explotación y su conocimiento. Esto debido a que estas variedades poseen ventajas comparativas frente al híbrido MD-2, en términos de preferencia por los consumidores locales, algunas el doble propósito y mayor tolerancia a problemas sanitarios.

Los cultivares locales constituyen un acervo genético de formas adaptadas que poseen genes de interés que podrían ser introgresados a las variedades comerciales. Además, también podrían ser incluidos como parentales para la obtención de nuevas combinaciones híbridas sobresalientes, con miras a obtener cultivares de amplia

adaptabilidad, buen desempeño agronómico y que mejoren la calidad de vida de los productores, para quienes el cultivo de la piña constituye su sustento diario.

La evaluación y caracterización de los recursos genéticos de la piña, mediante el uso de descriptores morfológicos y de herramientas actuales de biotecnología, como por ejemplo el uso de marcadores moleculares, secuenciación, genómica, entre otras, serán de vital importancia para conocer la estructura genética de las poblaciones, obtener un mejor entendimiento de las relaciones filogenéticas entre las especies cultivadas y silvestres, identificar genotipos potenciales, dilucidar los mecanismos de dispersión y domesticación, conocer más a fondo la variabilidad de los cultivares, etc., con miras a promover su uso sostenible en futuros programas de mejoramiento genético de la especie.

## El cultivo de la piña en Colombia

El cultivo de piña es generador de empleo tanto en las zonas de producción como en las zonas de comercialización, debido a que por cada hectárea de piña se provee un empleo directo y dos indirectos (Granado Pérez & Aguillón Mayorga, 2019). En Colombia, la piña se encuentra entre las líneas productivas con mayor participación en el área sembrada hortofrutícola (Adame-Ovalle & Arbeláez-González, 2019). Este renglón productivo se ha incrementado en los últimos años y aumentó su participación en la economía nacional, ya que para el año 2019 se tenían 38 317 ha sembradas de piña, con una producción de 1 008 687 t y un rendimiento promedio de 43,15 t ha<sup>-1</sup> (Granado Pérez & Aguillón-Mayorga, 2019).

En los últimos cinco años, el área sembrada en cultivos de piña ha crecido en un 49 %, pasó de cerca de 22 000 ha en el año 2014 a 32 736 ha en el 2018. La producción en los últimos cinco años tuvo un crecimiento del 62 %, debido a que en algunas regiones del país están implementando cultivos con ofertas tecnológicas que inciden de forma positiva en la producción y rendimiento. Además, Colombia cuenta con experiencia en cultivos de piña a partir de las variedades regionales, donde se han identificado diferencias en las prácticas de cultivo para los sistemas de producción tradicional y tecnificados (Granado Pérez & Aguillón Mayorga, 2019).

Los departamentos de Santander, Meta y Valle del Cauca representan el 65 % del total del área sembrada con el 37 %, 18 % y 10 %, respectivamente (Cuadro 1). En estos departamentos se concentra la mayor producción, el departamento de Santander es el primer productor con una participación del 43 %, seguido por Valle del Cauca con el 14 % y Meta con el 12 %. Los departamentos de Antioquia, Tolima y Cauca se proyectan como potenciales

**Cuadro 1.** Área cosechada, producción y rendimiento en los principales departamentos productores de piña (*Ananas comosus* [L.] Merr.) en Colombia para el año 2018.

**Table 1.** Harvested area, production, and yield in the main pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.) producing departments in Colombia for the year 2018.

Departamento	Área cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
Santander	11 085	455 701	41,11
Meta	3 065	126 800	41,37
Valle del Cauca	2 343	145 162	61,95
Quindío	1 247	53 070	42,56
Cauca	1 155	72 988	63,19

Fuente / Source: Flórez Martínez et al. (2020).

productores de piña, al ampliar sus áreas y obtener buenos rendimientos en los últimos años (Granado Pérez & Aguillón Mayorga, 2019).

La piña es un frutal con un mercado internacional que ha presentado un crecimiento significativo en los últimos años, con una exportación de hasta 4882 t, a países como Estados Unidos, Italia, Bélgica y Holanda (Londoño Moreno et al., 2017). El Valle del Cauca, principal departamento exportador, cuenta con 2342 ha sembradas de piña con una producción de 145 162 t y una participación en las exportaciones del 58 % (Flórez Martínez et al., 2020).

## Variedades locales de piña en Colombia

En Colombia, los registros de área, producción y exportaciones no están diferenciados por cultivar, donde las principales variedades de piña cultivadas en el país son la Perolera, la Cayena lisa, la Manzana y el híbrido MD-2. En algunas regiones el híbrido MD-2 ha desplazado las variedades regionales por su preferencia para consumo en fresco en el mercado nacional e internacional (Neira-García et al., 2016). Sin embargo, en algunos departamentos aún se mantienen cultivos de piña con variedades regionales como parte de su tradición productiva. Por ejemplo, en el departamento de Santander se mantienen áreas productivas con las variedades Perolera y Cayena lisa, esta última es la preferida para la agroindustria. En el Valle del Cauca y Risaralda se encuentran cultivos de las variedades Manzana y Perolera, las cuales se comercializan para consumo en fresco. En el departamento del Meta la variedad regional más cultivada es la Mayanesa, mientras que en los departamentos de Caquetá y Putumayo predomina el cultivar India. Las demandas y preferencias de estas variedades varían de acuerdo con el mercado, tanto para la agroindustria, como para su consumo en fresco (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2016).

A continuación, se describen las diferencias morfológicas, los usos y los mercados de destino del híbrido MD-2, así como de las cuatro variedades que se cultivan en Colombia.

### Gold MD-2

La variedad Gold MD-2, aunque no es una variedad local, es la que más se siembra y se comercializa en Colombia. Es un híbrido obtenido por Del Monte Productos Frescos de Hawái. También es conocido como Honey Golden, Golden Sweet o piña miel, resultado de una mezcla compleja de variedades, donde más del 50 % corresponde a Cayena lisa (Cerrato, 2013). Fue desarrollada para satisfacer a un mercado en busca de dulzura excepcional, así como la uniformidad y consistencia en tamaño y madurez (Cerrato, 2013; Mercado-Ruíz et al., 2019).

La planta de la variedad Gold MD-2 tiene hojas con espinas del tipo Cayena, su fruto es de tamaño mediano grande (1,3 - 2,5 kg) de color intenso amarillo-naranja, además posee una forma más simétrica y uniforme (Figura 1). La pulpa es amarilla, compacta, poco fibrosa, con bajo contenido en ácido ascórbico, alto contenido en azúcares totales y es reconocida a nivel internacional por su gran aroma y exquisito sabor (Chan et al., 2003; Bartholomew et al., 2010). Al madurar, la fruta se debe recolectar de inmediato, pues se sobre madura con rapidez en el campo (Rodríguez Alfonso et al., 2020).

La variedad Gold MD-2 tiene gran aceptación a nivel mundial para su consumo en fresco y con poco proceso. Se introdujo desde el año 1996, desde entonces el interés por esta fruta ha crecido de forma vertiginosa y su demanda se ha triplicado desde la puesta en escena de este híbrido, por su gran aporte de hidratos de carbono y de una enzima que ayuda a la digestión de las proteínas. Es más susceptible al daño mecánico, a la floración prematura y al daño causado por *Phytophthora* sp. (Espinosa-Rodríguez et al., 2015). También se reporta que es susceptible a la pudrición bacteriana del corazón causada por *Erwinia chrysanthemi* y a la pudrición fúngica causada por *Thielavipos paradoxa*, por lo que es exigente en el uso de prácticas agronómicas y en la aplicación de insumos agroquímicos en comparación con otros cultivares, lo que hace que aumenten los costos de producción (Thalip et al., 2015).



**Figura 1.** Planta y fruto de la piña variedad MD-2. A. Planta. Foto: Carol Puentes. B. Fruto. Foto: Yacenia Morillo

**Figure 1.** Plant and fruit of pineapple MD-2 variety. A. Plant. Photo: Carol Puentes. B. Fruit. Photo: Yacenia Morillo.

### Piña Perolera

La variedad de piña Perolera es la más sembrada en Colombia, después del cultivar MD-2, apetecida por su sabor y calidad, además presenta una muy buena resistencia a los golpes durante el transporte (Neira-García et al., 2016); además, es considerada por algunos autores como un clon de la piña cayena (Cristancho et al., 1991). Se caracteriza porque su planta es grande, con hojas cortas y medianas de color verde oscuro, con bordes lisos y con el carácter piping en las márgenes y un aguijón en la punta. Presenta frutos medianos de 1,5 - 3,5 kg, en forma de bloque cónico, verde amarillo y ojos profundos (Figura 2).



**Figura 2.** Planta y fruto de piña de la variedad Perolera. A. Inflorescencia. Foto: Yacenia Morillo. B. Fruto. Foto: Lizcano Jiménez (2010).

**Figure 2.** Pineapple plant and fruit of pineapple Perolera variety. A. Inflorescence. Photo: Yacenia Morillo. B. Fruit. Photo: Lizcano Jiménez (2010).

La pulpa de la variedad de piña Perolera es amarilla, jugosa, con exquisito aroma, con un bajo contenido de azúcares totales y una elevada concentración de ácido ascórbico (Bartholomew et al., 2003). Es muy empleada en la agroindustria para la obtención de jugo. Presenta alta resistencia a *Fusarium* sp. lo que ha permitido su inclusión en el desarrollo de programas de mejora para introducir este carácter en otros cultivares; tal es el caso de los trabajos realizados por Cabral et al. (2003) y De Matos y Reinhardt (2009).

### Piña Manzana

La variedad de piña Manzana es una mutación de la Perolera, es posible que se originara como variedad a partir de una selección realizada por el agricultor. Se caracteriza por no tener espinas en las hojas (Cristancho et al., 1991). El fruto es de color rojo intenso cuando madura, de ahí su nombre. Presenta ojos menos profundos que la Perolera y un gran número de bulbos en la corona, lo cual dificulta su manejo y mercadeo (Figura 3).



**Figura 3.** Planta y fruto de la piña variedad Manzana. A. Planta. B. Fruto. Fotos: Carol Puentes Díaz.

**Figure 3.** Plant and fruit of pineapple Manzana variety. A. Plant. B. Fruit. Photos: Carol Puentes Díaz.

Los colinos, tanto de la corona como basales, axilares o hijuelos de la variedad Manzana, presentan coloración cobriza, lo que permite diferenciarlos de la Perolera. La pulpa de la fruta es de color rosado pálido. Esta variedad posee como desventaja la alta susceptibilidad al daño mecánico durante su manipulación y transporte (Estrada Estrada et al., 2010).

### Piña Mayanesa

La variedad de piña Mayanesa, debe su nombre a que proviene de una inspección llamada Maya, la cual se encuentra ubicada entre los departamentos de Cundinamarca y el Guaviare. Es posible que su origen se deba a una variación somaclonal del cultivar Española Roja. Se caracteriza por tener espinas a lo largo de los bordes foliares un poco más largas que los materiales cultivados a nivel comercial en las regiones productoras, con buen contenido de azúcares, alto peso de la planta y de la hoja (Delgado-Huertas & Arango-Wiesner, 2015). Entre las características con las que cuentan los frutos de este cultivar es que son de forma ovoide, peso que varía entre los 1000 y 1500 g, color de la pulpa amarillo pálido y sabor dulce (Figura 4).



**Figura 4.** Planta y fruto de la piña variedad Mayanesa colectada en el Municipio de Paratebueno (Meta). A. Planta. B. Fruto. Fotos: Yacenia Morillo.

**Figure 4.** Plant and fruit of pineapple Mayanesa variety collected in the Municipality of Paratebueno (Meta). A. Plant. B. Fruit. Photos: Yacenia Morillo.

### Piña nativa amazónica o cultivar India

La variedad de piña nativa amazónica o cultivar India, es la menos comercializada de las variedades locales. Exhibe hojas verdes con una tonalidad de rojo a púrpura que se extiende desde la parte media del haz hasta el ápice, las hojas poseen espinas rojas y duras a lo largo de sus márgenes (Figura 5). Los frutos son de forma cónica, tamaño mediano, color de la pulpa blanco hueso, sabor dulce y presenta una abundante producción de colinos (Hernández et al., 2004).

La piña amazónica es propagada mediante colinos basales y axilares, los cuales se siembran máximo veinte días después de ser retirados de la planta madre. No obstante, se recomienda la utilización de los colinos producidos en la base del fruto (colinos basales), los cuales deben seleccionarse de acuerdo con su vigor, tamaño y forma.

En los cultivos de piña nativa del piedemonte amazónico la fase vegetativa (desde la siembra hasta el inicio de la fase reproductiva) varía entre 14 y 16 meses y la duración de la fase reproductiva (período desde la aparición



**Figura 5.** Planta y frutos de piña nativa (variedad India) del Piedemonte Amazónico Colombiano. A. Planta. B. Fruto. Fotos: Yacenia Morillo.

**Figure 5.** Plant and fruits of native pineapple (variety India) from the Colombian Amazonian Foothills. A. Plant. B. Fruit. Photos: Yacenia Morillo.

floral hasta la cosecha del fruto) oscila entre 17 y 31 meses, debido a la desigualdad en la floración (Hernández et al., 2004). En esta región la piña se comercializa como fruto fresco. No obstante, el fruto presenta potencial para ser utilizado en la agroindustria para la elaboración de pulpas, néctares y productos deshidratados (osmodeshidratación y secado por convección de aire caliente).

## Conclusiones

El conocimiento de la variabilidad genética existente en los recursos genéticos de la piña juega un papel esencial para la planeación de estrategias de conservación, su uso sostenible en los sistemas agrícolas y en programas de fitomejoramiento del cultivo. Dada la importancia económica regional de los cultivares nativos de piña *Ananas comosus* descritos en la presente revisión, se hace necesario realizar estudios de variabilidad genética con miras a establecer un programa de mejoramiento con dichos cultivares.

Se hace necesario incorporar técnicas de biología molecular mediante el uso de marcadores moleculares para detectar la variabilidad genética de secuencias de ADN, así como el uso de la transgénesis, las plataformas de secuenciación de nueva generación, las nuevas tecnologías de edición del genoma, la selección asistida por marcadores moleculares, entre otras, las cuales podrían contribuir a acelerar los programas de mejora genética en piña. Dichas tecnologías podrían enfocarse en la detección de genotipos superiores con alta calidad de fruta y alto rendimiento, genotipos tolerantes a plagas como Tecla (*Strymon megarus*), picudo (*Metamasius dimiatpennis*), sinfilidos (*Scutigerella immaculata*), cochinillas (*Dysmicoccus brevipes*) y nemátodos (*Rotylenchulus reniformis* y *Meloidogyne* spp.), así como enfermedades más limitantes del cultivo como: pudrición de cogollo (*Phytophthora nicotianae* y *P. cinnamomi*), pudriciones de raíz (*Pythium* spp.), pudrición bacteriana (*Dickeya* sp.), Fusariosis (*Fusarium guttiforme*), pudrición negra (*Thielaviopsis paradoxa*) y la marchitez de la piña asociada a las cochinillas

harinosas (PMWaV), que dan lugar a graves pérdidas y limitan en gran medida el desarrollo de la industria de la piña en varios países; tolerancia a factores abióticos, entre otras características de interés agronómico.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR) por la financiación del proyecto “Identificación de germoplasma promisorio de piña, para aumentar la oferta de cultivares en las principales zonas productoras de Colombia”. También expresan su agradecimiento a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), por el apoyo investigativo y logístico para escribir el presente documento. A los revisores de la revista, cuyas observaciones y sugerencias mejoraron los contenidos del presente trabajo.

## Referencias

- Abu Bakar, B. H., Ishak, A. J., Shamsuddin, R., & Wan-Hassan, W. Z. (2013). Ripeness level classification for pineapple using RGB and HSI colour maps. *Journal of Theoretical & Applied Information Technology*, 57(3), 587–593.
- Adame-Ovalle, J. A., & Arbeláez-González, M. (2019). *Exportación de la piña Golden al mercado de Emiratos Árabes Unidos* [Tesis de Grado, Universidad de la Salle]. Ciencia Unisalle. [https://ciencia.lasalle.edu.co/finanzas\\_comercio/515](https://ciencia.lasalle.edu.co/finanzas_comercio/515)
- Asim, M., Abdan, K., Jawaid, M., Nasir, M., Dashtizadeh, Z., Ishak, M. R., & Hoque, M. E. (2015). A review on pineapple leaves fibre and its composites. *International Journal of Polymer Science*, 2015, Article 950567. <https://doi.org/10.1155/2015/950567>
- Avella, J., Valenzuela, A., González, M. Q., Gómez, A. M., & Gamboni, S. L. (2014). *Aprovechamiento residuos biomasa de producción de piña (Ananas comosus) en el Municipio de Aguazul Casanare*. Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de la Orinoquia.
- Bartholomew, D. P., d’Eeckenbrugge, G. C., & Cheng, C. (2010). Register of new fruit and nut cultivars list 45, pineapple. *HortScience*, 45(5), 740–742.
- Bartholomew, D., Paull, R., & Rohrbach, K. (2003). *The pineapple: botany, production and uses*. CABI Publishing. <http://doi.org/10.1079/9780851995038.0000>
- Betancur, J., García Castro, N. J., Fernández Alonso, J. L., & Hernández, A. (2006). *Libro rojo de plantas de Colombia. Volumen 3. Las bromelias, las labiadas y las pasifloras*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt.
- Brenes-Gamboa, S. B. (2005). Caracterización vegetativa y productiva del cultivar MD-2 de piña (*Ananas comosus*) bajo las condiciones climáticas de Turrialba. *InterSedes*, 6(11), 27–34. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/intercedes/article/view/948>
- Brewbaker, J. L., & Gorrez, D. D. (1967). Genetics of self-incompatibility in the monocot genera, *Ananas* (pineapple) and *Gasteria*. *American Journal of Botany*, 54(5), 611–616. <https://doi.org/10.2307/2440666>
- Cabral, J. R. S., de Matos, A. P., & Jughans, D. T. (2003). *Desenvolvimento de híbridos de abacaxi resistentes à fusariose*. Embrapa Mandioca e Fruticultura.

- Cabral, J. R. S., & de Matos, A. P. (2009). Imperial, a new pineapple cultivar resistant to fusariosis. *Acta Horticulturae*, 822, 47–51. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.822.3>
- Centro de Información Tecnológica y Apoyo a la Gestión de la Propiedad Industrial. (2015, 31 julio). *Piña: mejoramiento genético y propagación*. Superintendencia de Industria y Comercio. <https://www.sic.gov.co/node/12389>
- Cerrato, I. (2013). *Parámetros de comercialización de la piña MD-2 en los principales mercados hondureños*. Secretaría de Agricultura y Ganadería.
- Chan, Y., Coppens-d'Eeckenbrugge, G., & Sanewski, G. (2003). Breeding and variety improvement. In D. P. Bartholomew, R. E. Paull, & K. G. Rohrbach (Eds.), *The pineapple: Botany, production and uses* (pp. 33–55). CABI Publishing.
- Collins, J. L. (1949). History, taxonomy and culture of the pineapple. *Economic Botany*, 3, 335–359. <https://doi.org/10.1007/BF02859162>
- Collins, J. L. (1961). *The pineapple: Botany, cultivation, and utilization*. Interscience Publishers.
- Collins, J. L., & Kerns, K. R. (1938). Mutations in pineapples: A study of thirty inherited abnormalities in the Cayenne variety. *Journal of Heredity*, 29(5), 162–172. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a104487>
- Coppens D'Eeckenbrugge, G. (1996). A Brief overview on pineapple breeding work from the communications presented at the second pineapple symposium. *Pineapple News*, 2(1), 14–16.
- Coppens D'Eeckenbrugge, G., & Leal, F. (2003). Morphology, anatomy and taxonomy. In D. P. Bartholomew, R. E. Paull & K. G. Rohrbach (Eds.), *The pineapple: Botany, production and uses* (p. 13–22). CABI Publishing. <https://doi.org/10.1079/9780851995038.0013>
- Coppens d'Eeckenbrugge, G., Leal, F., & Duval, M. F. (1997). Germplasm resources of pineapple. In J. Janick (Ed.), *Horticulture reviews* (pp. 133–175). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470650660.ch5>
- Cristancho, V. J., Buitrago, A. A., & Corredor, L. R. (1991). Cultivo de piña. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.
- De Matos, A. P., & Reinhardt, D. H. (2009). Pineapple in Brazil: characteristics, research and perspectives. *Acta Horticulturae*, 822, 25–36. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.822.1>
- Delgado-Huertas, H., & Arango-Wiesner, L. (2015). Caracterización morfoagronómica de genotipos de piña (*Ananas* spp.) en un suelo de terraza alta de Villavicencio. *Orinoquia*, 19(2), 153–165.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2016). Principales características del cultivo de la Piña (*Ananas comosus* L.). *Boletín Mensual Insumos y Factores Asociados a la Producción Agropecuaria*, 54, 1–4.
- Espinosa-Rodríguez, C. J., Nieto-Angel, D., León-García de Alba, C. D., Villegas-Monter, Á., Aguilar-Pérez, L. A., & Ayala-Escobar, V. (2015). Etiología de la pudrición del cogollo de la piña (*Ananas comosus* L. Merrill) cultivar MD2 en Isla, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 33(1), 104–115.
- Estrada Estrada, L. D. P., Fonnegra Hernández, C. J., & Martínez Salamanca, J. A. (2010). *Plan de exportación de piña deshidratada con destino a Alemania* [Tesis de Grado, Universidad del Rosario]. Repositorio de la Universidad del Rosario. <https://bit.ly/3u8dGhO>
- Flórez Martínez, D. H., González Cerón, S. P., Ruiz Ramírez, D. M., & Uribe Galvis, C.P. (2020). *Perspectivas tecnológicas y comerciales para el cultivo de piña en Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7403503>

- García, M. D., & Serrano, H. (2005). La piña, *Ananas comosus* (L.) Merr. (Bromeliaceae), algo más que un fruto dulce y jugoso. *ContactoS*, 5, 55–61.
- Granado Pérez, W., & Aguillón Mayorga, D. M. (2019, junio). *Cadena de la Piña*. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://bit.ly/3uV21SK>
- Hernández, M. S., Barrera, J. A., Páez, D., Oviedo Ardila, E., Romero Rubio, R. (2004). *Aspectos biológicos y conservación de frutas promisorias de la amazonia colombiana*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. <https://bit.ly/3ucAehy>
- Hernández, M., Montoya, D., Baena García, D., & Pinon, A. (1998). Caracterización de 37 accesiones de Ananas, colectadas en Colombia. *Acta Agronómica*, 48(3–4), 19–19.
- Hossain, M. F. (2016). World pineapple production: An overview. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 16(4), 11443–11456. <https://doi.org/10.18697/ajfand.76.15620>
- Hossain, M. F., Akhtar, S., & Anwar, M. (2015). Nutritional value and medicinal benefits of pineapple. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 4(1), 84–88. <https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.20150401.22>
- Jiménez Díaz, J. A. (1999). *Manual práctico para el cultivo de piña de exportación*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Kerns, K. R. (1932). Concerning the growth of pollen tubes in pistils of Cayenne flowers. *Pineapple Quarterly*, 1, 133–137.
- Leal, F., & Coppens-d'Eeckenbrugge, G. (1996). Pineapple. In J. Janick, & J. N. Moore (Eds.), *Tree and tropical fruits* (p. 515–557). John Wiley & Sons.
- Lizcano Jiménez, S. (2010). *Identificación de las etapas de maduración de la piña Perolera empleando técnicas de visión artificial* [Tesis de Grado, Universidad Pontificia Bolivariana]. Repositorio de la Universidad Pontificia Bolivariana. <https://bit.ly/3uaGsOT>
- Londoño Moreno, C. C., Uribe Muñoz, S. P., & Gonzalez Aguirre, Y. (2017). *Estudio de mercado para la exportación de piña desde Colombia a Chile* [Tesis de Grado, Institución Universitaria Tecnológico de Antioquia]. Repositorio de la Institución Universitaria Tecnológico de Antioquia. <https://bit.ly/3r3l8ZJ>
- Malézieux, E., & Bartholomew, D. P. (2003). Plant nutrition. In D. P. Bartholomew, R. E. Paul, & K. G. Rohrbach, (Eds), *The pineapple: botany, production and uses* (pp. 143–165). CABI Publishing. <https://doi.org/10.1079/9780851995038.0000>
- Martínez, R., Torres, P., Meneses, M. A., Figueroa, J. G., Pérez-Álvarez, J. A., & Viuda-Martos, M. (2012). Chemical, technological and *in vitro* antioxidant properties of mango, guava, pineapple and passion fruit dietary fibre concentrate. *Food Chemistry*, 135(3), 1520–1526. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.057>
- Méndez, L., & Garro, G. (2017, 4 de abril). *Desarrollan piña rosada anticáncer y banano dorado biofortificado con vitamina A*. Revista Digital Alimentaria Cámara Costarricense de la Industria Alimentaria. <https://bit.ly/3KbhwMM>
- Mercado-Ruiz, J. N., Tortoledo-Ortiz, O., García-Robles, J. M., Báez-Sañudo, R., García-Moreno, B. Y., Ávila-Prado, J., Corella-Salazar, D. A., Cruz-Félix, M. C., Velásquez-Jiménez, D., & Zuñiga-Martínez, B. S. (2019). Calidad comercial de piña MD2 (*Ananas comosus* L.) tratada en postcosecha con ácido 2-hidroxibenzoico. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 20(2), 141–154.
- Ming, R., VanBuren, R., Wai, C. M., Tang, H., Schatz, M. C., Bowers, J. E., Lyons, E., Wang, M. L., Chen, J., Biggers, E., Zhang, J., Huang, L., Zhang, L., Miao, W., Zhang, J., Ye, Z., Miao, C., Lin, Z., Wang, H., ... Yu, Q. (2015). The pineapple genome and the evolution of CAM photosynthesis. *Nature Genetics*, 47, 1435–1442. <https://doi.org/10.1038/ng.3435>

- Neira-García, A. M., Martínez-Reina, A. M., & Orduz-Rodríguez, J. O. (2016). Análisis del mercado de piña Gold y Perolera en dos principales centrales mayoristas de Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(2), 149–165.
- Neri, J. C., Meléndez Mori, J. B., Vilca Valqui, N. C., Huaman Huaman, E., Collazos Silva, R., & Oliva, M. (2021). Effect of planting density on the agronomic performance and fruit quality of three pineapple cultivars (*Ananas comosus* L. Merr.). *International Journal of Agronomy*, 2021, Article 5559564. <https://doi.org/10.1155/2021/5559564>
- Ogata, T., Yamanaka, S., Shoda, M., Urasaki, N., & Yamamoto, T. (2016). Current status of tropical fruit breeding and genetics for three tropical fruit species cultivated in Japan: pineapple, mango, and papaya. *Breeding Science*, 66(1), 69–81. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.66.69>
- Omole, A. J., Ajasin, F. O., Adejuyigbe, A. D., & Soetan, A. (2011). Effects of feeding snails with pineapple waste on feed consumption, growth and cost benefits. *Archivos de Zootecnia*, 60(229), 53–56. <https://doi.org/10.4321/S0004-05922011000100006>
- Pardo, A., Michelangeli, C., Ramis, C., Mogollón, N., & Silva, C. (2008). Evaluación de la estabilidad genética mediante marcadores RAPD, en brotes de *Billbergia rosea* Hortus Ex Beer, conservados *in vitro*. *Bioagro*, 20(2), 97–104.
- Paull, R. E., & Duarte, O. (2011). *Tropical fruits* (2<sup>nd</sup> ed., Vol. 1.). CAB International Publishing.
- Pérez-López, M., Flores-Cruz, M., Martínez-Vázquez, M., Soto-Hernández, M., García-Contreras, R., Padilla-Chacón, D., & Castillo-Juárez, I. (2020). Anti-virulence activities of some *Tillandsia* species (Bromeliaceae). *Botanical Sciences*, 98(1), 117–127. <https://doi.org/10.17129/botsci.2380>
- Py, C., Lacoëuilhe, J. J., & Teisson, C. (1987). *The pineapple: cultivation and uses*. Editions Maisonneuve et Larose.
- Quijano-Celis, C. E., Pino, J. A., & Echeverri, D. (2020). Compuestos volátiles en tres variedades de piña cultivadas en Colombia. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 51(2), 378–391.
- Rodríguez, D., Díaz, A., Ruiz, L., Ramis, C., & Páez, M. (2007). Caracterización genética de la colección de Ananás del Centro Nacional de Conservación de los Recursos Genéticos, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 24(1), 20–26. <https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/26679>
- Rodríguez Alfonso, D., Isidró Pérez, M., & Menéndez Álvarez, E. (2020). Los recursos fitogenéticos de piña (*Ananas comosus* var. *comosus* (L.) Merr.) en Cuba. *Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu*, 6(2), 27–40. <https://doi.org/10.36955/RIULCB.2019v6n2.003>
- Rohrbach, K. G., Leal, F., & D'Eeckenbrugge, G. C. (2003). History, distribution and world production. In D. P. Bartholomew, R. E. Paull, & K. G. Rohrbach (Eds.), *The pineapple: botany, production and uses* (pp. 1–12). CAB International Publishing. <https://doi.org/10.1079/9780851995038.0001>
- Sanewski, G., & De Faveri, J. (2017). The Australian fresh market pineapple breeding program. *Acta Horticulturae*, 1166, 41–46. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1166.6>
- Sanewski, G. M. (2018). The history of pineapple improvement. In R. Ming (Ed.), *Genetics and genomics of pineapple. Plant genetics and genomics: Crops and models* (p. 87–96). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00614-3\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00614-3_7)
- Santos Cabral, J. R., da Silva Souza, J. D., & Ferreira, F. R. (s.f.). *Variabilidade genética e melhoramento do abacaxi*. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnología. <http://www.cpatia.embrapa.br/catalogo/livrorg/abacaxi.pdf>
- Sinuco, D. C., Morales, A. L., & Duque, C. (2004). Componentes volátiles libres y glicosídicamente enlazados del aroma de la piña (*Ananas comosus* L.) variedad perolera. *Revista Colombiana de Química*, 33(1), 47–56.

- Sossa, E. L., Agbangba, C. E., Amadji, G. L., Agbossou, K. E., & Hounhouigan, D. J. (2019). Integrated influence of soil tillage, nitrogen–potassium fertiliser and mulching on pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.) growth and yield. *South African Journal of Plant and Soil*, 36(5), 339–345. <https://doi.org/10.1080/02571862.2019.1570568>
- Souza, F. V. D., Ferreira, F. R., Souza, E. H., Silva, R. L., & Guerra, P. A. (2019). Conservation, propagation and new paths for pineapple genetic resources. *Acta Horticulturae*, 1239, 105–112. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1239.13>
- Statista. (2020). *Leading countries in pineapple production worldwide in 2017*. <https://bit.ly/3KezfTw>
- Thalip, A. A., Tong, P. S., & Ng, C. (2015). The MD2 ‘Super Sweet’ pineapple (*Ananas comosus*). *UTAR Agriculture Science Journal*, 1(4), 14–17.
- Williams, D.D.F., & Fleisch, H. (1993). Historical review of pineapple breeding in Hawaii. *Acta Horticulturae*, 334, 67–76. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.334.7>
- Zhang, J., Liu, J. & Ming, R. (2014). Genomic analyses of the CAM plant pineapple. *Journal of Experimental Botany*, 65(13), 3395–3404. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru101>
- Zúñiga-Orozco, A., & Carrodegua-González, A. (2020). Factores importantes como base para el mejoramiento genético en el cultivo de la piña (*Ananas comosus* var. *comosus*). *Repertorio Científico*, 23(2), 37–50.