– (FUSAGASUGÁ) –

Avances del mejoramiento genético del aguacate (*Persea americana*) enfocados en *Phytophthora cinnamomi* y marcadores moleculares

Advances in genetic improvement of avocado (*Persea americana*) focused *on Phytophthora cinnamomi* and molecular markers

Cristian Camilo-Castillo, Universidad de Cundinamarca, facultad de Ciencias Agropecuaria, sede Fusagasuga, Ingeniería Agronómica. 0009-0006-0082-9865.

Nicolas-Muñoz, Universidad de Cundinamarca, facultad de Ciencias Agropecuaria, sede Fusagasuga, Ingeniería Agronómica. 0009-0009-4388-7506.

Alba Gissela-Fajardo. Universidad de Cundinamarca, facultad de Ciencias Agropecuaria, sede Fusagasuga, Ingeniería Agronómica.

RESUMEN

El mejoramiento genético permite la adaptación de nuevas especies vegetales con ellos el incremento de productividad, resistencia al medio ambiente y calidad de los productos. El aguacate (*Persea americana*), tiene diversos mejoramientos genéticos en cuanto a resistencias a enfermedades, diversificación genética, cultivares nuevos y nativos, conservación ex situ, análisis molecular y morfológico. El objetivo del presente trabajo recopilar información de investigaciones sobre el mejoramiento genético en aguacate de distintos autores por medio de bases de datos como Google Académico, Scopus, ScienceDirect, Scielo, Web Science, PubMed, microbiome, agrociencia y Science Korean, enfocados en el mejoramiento, con interés a nivel agrícola. En la presente revisión bibliográfica se encontró que como mejoramiento genético más relevante la selección de

portainjertos y la resistencia genética de igual manera, se encuentra que una de las variables más estudiadas en las investigaciones es la resistencia y respuesta a *Phytophthora cinnamomi.*

Palabras Clave: Aguacate, mejoramiento, variedades, injertos.

ABSTRACT

The genetic improvement allows the adaptation of new plant species with them the increase of productivity, resistance to the environment and quality of the products. The avocado (Persea americana) has various genetic improvements in terms of resistance to diseases, genetic diversification, new and native cultivars, ex situ conservation, molecular and morphological analysis. The objective of this work is to collect research information on genetic improvement in avocado from different authors through databases such as Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, Scielo, Web Science, PubMed, microbiome, agrociencia and Science Korean, focused on the improvement , with interest at an agricultural level. In the present bibliographical review it was found that as the most relevant genetic improvement, the selection of rootstocks and genetic resistance in the same way, it is found that one of the most studied variables in research is resistance and response to *Phytophthora cinnamomi*.

Keywords: Avocado, improvement, varieties, grafts.

INTRODUCCION.

En la actualidad el aguacate (*Persea americana*) es producido mayormente en países con características climáticas cálidas o templadas, la mayor parte de sus cultivos se encuentran en Latinoamérica, esto se debe a que esta especie es originaria de América y cuenta con una distribución natural que comprende los países de México, Chile, Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú (Cañas-Gutiérrez et al., 2015). El cultivo de aguacate desde la antigüedad en América latina proviene de árboles nativos o cultivares obtenidos asexualmente, las

condiciones edafoclimaticas se encargan de proporcionar características nutricionales y organolépticas que hacen distinto a cada cultivar (López-Guzmán et al., 2021).

Actualmente, los cruzamientos de razas y las numerosas colecciones en las regiones de América, dan evidencia de una introgresion racial, entre otros factores como el hábito de floración, el tipo de polinización, sus formas prolíficas inhiben la comprensión del linaje y las razas actuales (Ruiz-Chután et al., 2020). Una de las características más importante de los árboles de aguacate es el fenómeno de la dicogamia, lo que significa que las flores son hermafroditas, pero a su vez, existe un limitante en el proceso de polinización que consiste en que la liberación del polen no coincide con el tiempo de receptividad de los pistilos (Alberti et al., 2018). A nivel mundial las razas son ampliamente conocidas como ecológicas u hortícolas, dentro de estas se destacan la raza mexicana *P. americana* var. *drymifolia,* la raza guatemalteca *P. nubigena* var. guatemalensis, y por último la raza antillana *P. americana* var. *americana* (Cañas-Gutiérrez et al. 2015).

Tradicionalmente en Colombia una de las técnicas de propagación de aguacate es el injerto de materiales comerciales como Hass, Lorena, Choquette, Fuerte, Reed, Trinidad, entre otros, con portainjertos que se obtienen mediante semilla sexual provenientes de árboles criollos (Sánchez et al., 2018). Partiendo de las características esenciales para un cultivo comercial de aguacate exitoso, se tiene en cuenta la adecuada selección de material vegetal para sembrar y garantiza un mejor rendimiento, una producción adecuada, resistencia a daños causadas por plagas y enfermedades (Cañas Gutiérrez, 2018). Los aspectos más importantes con los que debe contar los portainjertos en aguacate son: Una buena resistencia a *Phytophthora cinnamomi,* adecuada respuesta a niveles altos de salinidad, buen acondicionamiento a suelos calcáreos y árboles de porte bajo con alto potencial productivo (Cañas Gutiérrez, 2018). Actualmente, los productores comerciales utilizan portainjertos tolerantes a PRR, que se injertan con vástagos comerciales en para minimizar los daños causados por *P. cinnamomi*. Si bien estos portainjertos son efectivos en suelos bien drenados, no necesariamente funcionan bien en áreas que experimentan inundaciones transitorias (Joubert et al., 2021).

Las investigaciones relacionadas al mejoramiento genético del aguacate con marcadores basados en el ADN, registran técnicas como RFLP (longitud de los fragmentos de restricción) utilizados en distintos estudios evolutivos (Ruiz-Chután, J, et al. 2020). Los microsatélites o SSR que son fragmentos de ADN que consisten en repeticiones en tándem de 1 a 6 pb., dichos marcadores se ubican en el genoma nuclear, aunque también se pueden encontrar en el genoma mitocondrial o en los cloroplastos y son catalogados como uno de los marcadores más importantes en la genética de poblaciones ya que son codominantes y poseen un alto grado de polimorfismo (Cañas Gutiérrez, 2018). Por lo anterior, esta revisión bibliográfica tuvo como objetivo recopilar los avances del mejoramiento genético del aguacate (*Persea americana*) enfocados en *Phytophthora cinnamomi* y marcadores moleculares. La información obtenida permitirá la identificación de aquellos estudios más relevantes realizados en diferentes países del mundo.

MATERIALES Y METODOS

En el proyecto se usaron bases de datos como Google Académico, Scopus, ScienceDirect, Pubmed, springer, Microbiome y koreascience, de ellas se obtendrán mínimo 50 artículos, para las bases de datos se realizará con filtro por año, de los últimos 10 años. Al ser una revisión bibliográfica como población y muestra se tendrá en cuenta los países donde se hacen dichas investigaciones relacionadas con el tema. Se implementó una ecuación de búsqueda donde se usaron palabras claves como: Aguacate, mejoramiento, variedades, cruzamientos, hibridación, etc.; donde se encontraron artículos relacionados estrechamente con el tema, posteriormente se realizó la lectura de los artículos y se agrupo la información encontrada que correspondía a lo que se pretendía buscar.

De igual manera se empelaron operadores booleanos lógicos como and, or, not que optimizaron la búsqueda bibliográfica. Se hizo uso de herramientas ofimáticas como, Word, Excel, Onedrive y Teams. la búsqueda de artículos científicos fue en español e inglés y como apoyo adicional se emplearon equipos electrónicos como

computador. Para el análisis de resultados se estructuro una matriz de datos en Excel, dicha matriz agrupa información como: Titulo, autores, país, año, DOI, revista de publicación y objetivo de la investigación; lo cual ayudo para filtrar la información y tener claro el tema principal de cada artículo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante la recopilación de artículos científicos se obtiene como primer resultado que uno de los países con más publicaciones de proyectos investigativos sobre el mejoramiento genético en aguacate es México como se puede evidenciar en la Figura 1, esto puede deberse a que como su centro de origen es precisamente el país azteca, el tener especies ancestrales de aguacate lleva a qué el estudio tenga un mayor rango de experimentación, sea más sencillo gracias a la cantidad de recursos con los que se cuenta y la obtención de muestras más abundante para llevar a cabo las investigaciones.

- **INVESTIGACIONES A NIVEL MUNDIAL.**

Figura 1. Países con mayor número de artículos relacionados a estudios de mejoramiento genético en aguacate.

– (FUSAGASUGÁ) –

Uno de los problemas más limitantes en el cultivo de aguacate es la pudrición de la raíz (*Phythopthora cinnamomi*) es por esto que la búsqueda de alternativas es cada vez más grande, como se puede observar en la Figura 2, los controles biológicos, marcadores moleculares, selección de portainjerto entre otros. Los portainjertos son los más estudiados, ya que se han encontrado portainjertos tolerantes a esta enfermedad como lo son G755, Barr Duke, Duke 7 y D9. Actualmente G755 a, b y c son las tres selecciones de Martin grande propias de la raza guatemalteca (Henao, 2015). El inicio de la clonación de Duke 7 que tuvo lugar en Colombia en la última década se oferto como portainjerto para el país; teniendo este material una característica de resistencia genética a *P. cinnamomi* en el vivero Profrutales Ltda (Profrutales, 2013). La utilización de estos cultivares se debe a la presencia de genes relacionados a los procesos metabólicos en el aguacate como lo es el caso del gen *PR3* (Endoquitinasa de 32 KDa), el gen R que expresa la proteína (Serin-treponin-cinasa) y el gen *PR5* que expresa la proteína relacionada a (Taumatina), sin embargo, todavía no se reportan genes inductores de resistencia a *Phythopthora cinnamomi,* pero es un avance importante teniendo en cuenta que los genes nombrados anteriormente representan un papel importante en la defensa de las plantas (Henao, 2015).

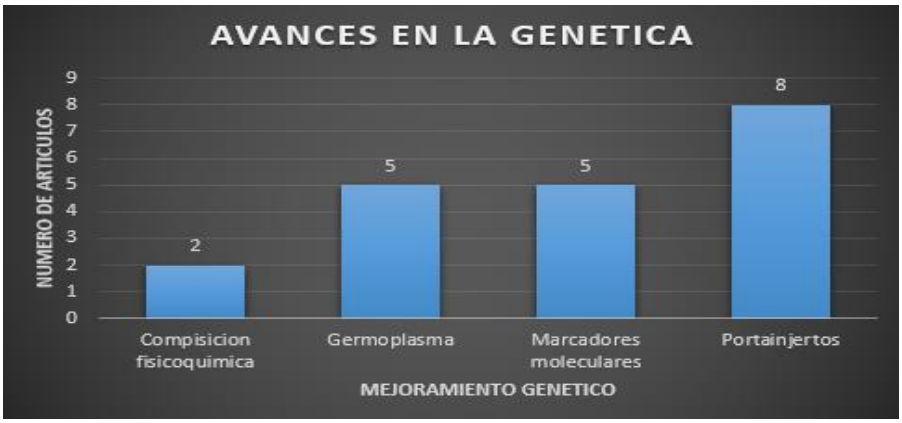

Figura 2. Número de artículos sobre avances en enfoques de mejoramiento genético del aguacate *(Persea amaericana)*.

– (FUSAGASUGÁ) –

RESPUESTA FRENTE A *P. CINNAMOMI.*

Dentro de las repuestas más frecuentes frente a *P Cinnamomi* se encuentra estudios sobre resistencia genética, mecanismos de defensa, tolerancia, manejo y recuperación, sin embargo, la resistencia genética es de las más efectivas frente al ataque de esta enfermedad, además de presentar más investigaciones (Figura 3). Para lograr dicha resistencia se requiere de ciertos inductores como lo expone Cortez et al., (2010) "el silicio como inductor de defensa parece ser una estrategia viable para integrar en el manejo de esta enfermedad." Por otro lado, los genes efectores, que se pueden definir como los compuestos emitidos por el patógeno con el fin de bloquear la respuesta del citoesqueleto o la traducción de proteínas (Burbano-Figueroa, 2020), también son protagonistas por la respuesta de *P. cinnamomi,* se debe en gran parte a la expresión de ciertos genes de patogénesis que se encuentran ubicados en tejidos sistémicos y locales y entran a jugar un papel importante las proteínas PR, como la participación de *PR-5* y endoquitinasa en la respuesta de defensa de todos los portainjertos de aguacate a *P cinnamomi*, pero estos genes no pudieron vincularse directamente con la resistencia fenotípica observada y su expresión no muestra una correlación especifica en un patron determinado pero acompañado de señalizaciones de SA interviene en la defensa de la planta (Engelbrecht, 2021).

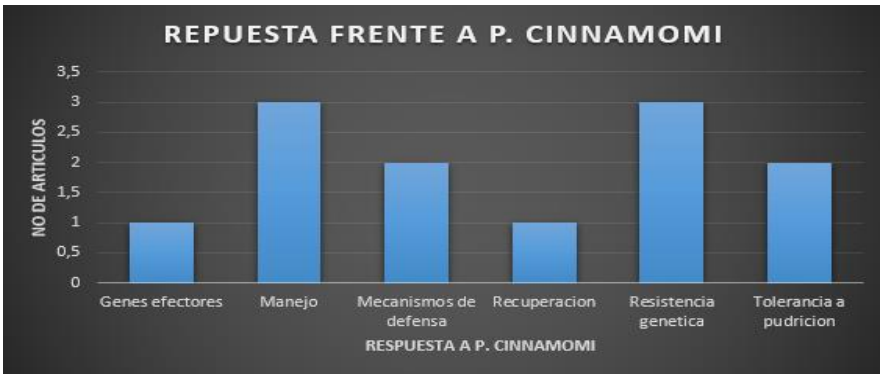

Figura 3. Número de artículos sobre respuestas a *P. cinnamomi.*

– (FUSAGASUGÁ) –

- **MARCADORES MOLECULARES**

Dentro de las técnicas utilizadas para el mejoramiento genético del aguacate se identificó los marcadores moleculares, donde los más comunes son AFLP y ISSR, AFLP, utilizados en estudios de diversidad genética lo que indica que presentan capacidad para identificar polimorfismos, por ejemplo, este marcador llevo a establecer en el aguacate guatemalteco que su germoplasma muestra un nivel alto de variabilidad entre individuos y bajo grado de aislamiento entre poblaciones Ruiz-Chutan, et al., (2020). Otro marcador genético es el ISSR *(Inter-Simple Sequence Repeat)* de gran utilidad por su nivel de polimorfismo, capacidad de identificar genes y permitir mapeos genéticos, lo que genera caracterizaciones entre genotipos, como, por ejemplo, esta técnica amplifico 82 Loci en 43 genotipos de aguacate criollo" Lopez-Guzman, et al., (2021). Al reunir todos los genotipos teniendo en cuenta ubicación geográfica y altitudes se llega a la conclusión de que dentro de la misma especie hay diversidad genética considerable, el polimorfismo evidencia que los cultivares criollos poseen características genéticas que pueden emplearse para generar nuevas variedades con mejores atributos genéticos y comerciales.

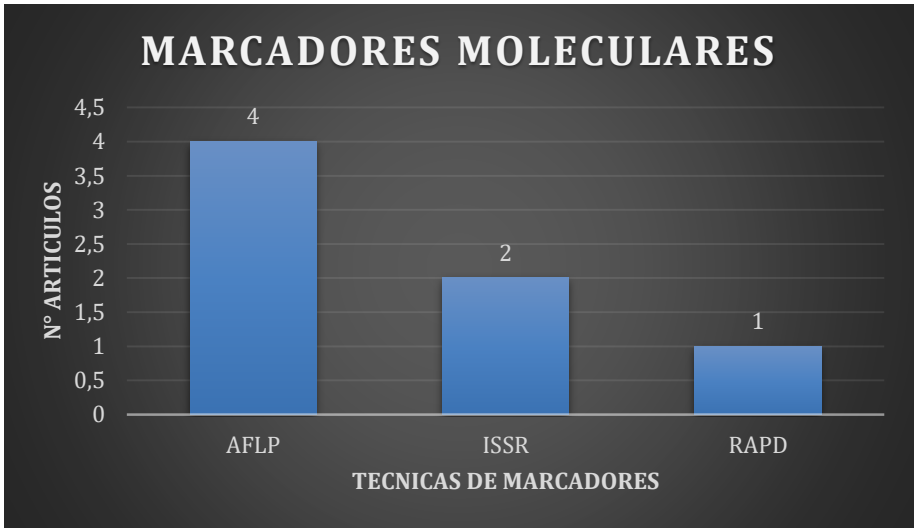

Figura 4. Número de artículos o investigaciones con uso de técnicas de marcadores moleculares.

Ruiz-Chután et al (2020) expone la utilidad y el papel crucial que cumplen los marcadores moleculares en las investigaciones gracias al enfoque en las diferencias de nivel ADN que estos poseen. Los AFLP *(amplified fragment length polymorphism)* son los marcadores moleculares con mayor estudio y mejores resultados como data en la investigación realizada por Cañas-Gutiérrez et al (2015), en este trabajo la caracterización molecular fue bastante amplia ya que se tomaron 111 materiales criollos y comerciales de aguacate, los cuales junto con cebadores E-ACT/M-CTC obtuvieron un rango entre 200 y 1000 pares de bases, estudiando 29 AFLP. Por otro lado, utilizando los cebadores E-AAC/M-CAA junto con la caracterización de 132 materiales se alcanzaron rangos entre 400 y 700 pares de bases y se analizaron 9 AFLP; por lo tanto, lo anterior da constancia de que los marcadores AFLP son ideales para el análisis del polimorfismo y el grado de selección genético de los materiales de aguacate estudiados. Los marcadores reportados en la literatura se recopilaron con el fin de comparar algunos aspectos de las técnicas (Tabla 1).

MARCADOR	MÉTODO DE EXTRACCIÓN	REFERENCIA
AFLP	○ Reactivos kit AFLP *(Análisis System I de Invitrogen®).* Preamplificación con reacción en cadena de polimerasa. ○ 20 ciclos en programa termociclador. ○ Gel de agarosa al 2%. ○ Cebadores M-CAA + E-AAC del kit AFLP los cuales produjeron mayor polimorfismo.	(Ruiz-Chután, et al., 2020)
AFLP	○ Kit de reactivos AFLP Analysis system I y AFLP Starter Primer Kit (Invitrogen, USA). ○ Endonucleasas de restricción EcoRI y MseI. ○ Cebadores nucleoticos con las combinaciones E-ACT/M-CTC y E-AAC/M-CAA. ○ Indicadores moleculares, marcadores de 100 pb y 50 pb (Fermentas, Vilnius, Lithuania). ○ Dendogramas con el algoritmo UPGMA.	(Cañas-Gutiérrez, et al., 2015)
ISSR y RAPD	○ Termociclador secuencias específicas en el genoma de hojas de aguacate. ○ Equipo Gene Amp PCR System 2700. ○ Enzima Taq polimerasa.	(Reyes-Aleman, et al., 2013)

	○ Distancias de similitud mediante el índice Jaccard (Jaccard, 1908). ○ Método Neighbor-Joining (Saitou y Nei 1987).	
ISSR	○ Electroforesis en geles de agarosa al 1 % y transiluminador ultravioleta (UVP Benchtop). ○ Cuantificación del ADN nanodrop (Jenway, UK). ○ PCR en termociclador SelecCycler. ○ Método de pares no ponderados con media aritmética (UPGMA).	(López-Guzmán, et al., 2021)
AFLP	○ Cebadores de AFLP y SSR. ○ Porcentaje de polimorfismo de marcadores en tres poblaciones. ○ Mapas de ligamiento con los marcadores más polimórficos. ○ Distancias en cM (centimorgans) entre los marcadores y su agrupación. ○ Método de mapeo por intervalos empleando el software SAS (Statistical analysis software.	(Campos, 2015)
AFLP	○ Explantes de 1 cm2 de hojas jóvenes desarrolladas y sanas de un árbol de *P. americana* var. Drymifolia. ○ Medio DCR. ○ AFLP en 94 muestras. ○ AFLP estuche comercial *IRDyeTM fluorescent AFLP®* kit for large plant genome analysis (Li-Cor Inc, Lincoln, NE, USA). ○ Iniciadores MseI y EcoRI.	(Cerda-Hurtado, 2015)

Tabla 1. Técnicas de extracción con uso de marcadores moleculares.

CONCLUSIONES

- *Phytophthora cinnamomi* es el principal problema fitosanitario presente en el cultivo de aguacate y del cual bastantes estudios referentes a resistencia se realizan, sin embargo, no se han evidenciado genes que lleven a una inducción de resistencia especifica hacia esta enfermedad, solo se han reconocido aquellos que participan en la defensa de la planta.

– (FUSAGASUGÁ) –

- Los marcadores moleculares son métodos importantes para el desarrollo de nuevas variedades y la conservación de características potenciales, gracias a la gran cantidad de estudios e investigaciones realizadas a nivel mundial, cada vez se encuentran alternativas que llevan a mejoras genéticas que responden a todas las necesidades de este cultivo.
- Los marcadores moleculares permiten el análisis del polimorfismo y establecen niveles considerables de variabilidad entre cultivares lo que potencializa la selección y generación de características y atributos genéticos.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES:

No presenta un conflicto de intereses

BIBLIOGRAFÍA

1. Alberti MF, do Amaral Brogio B, da Silva SR, Cantuarias-Avilés T, Fassio C. (2018) Advances in propagation of avocado. Revista Brasileira de Fruticultura. Sociedade Brasileira de Fruticultura. Vol. 40.
2. Álvarez A, Oliveros D, Ávila YC, Sabogal Palma AC, Murillo W, Joli JE, (2023) Resistance induction with silicon in Hass avocado plants inoculated with Phytophthora cinnamomi Rands. Plant Signal Behav;18(1).
3. Lara-Chávez, MBN, Ávila-Val, TDC, Aguirre-Paleo, S., & Vargas-Sandoval, M. (2013). Identificación de hongos micorrizales arbusculares en árboles de aguacate infectados con *Phytophthora cinnamomi* rands bajo biocontrol. Agroecosistemas Tropicales y Subtropicales, 16 (3),415-421. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93929595013

– (FUSAGASUGÁ) –

4. Barboza-García, Pérez-Cordero A., Anaya-Chamorro; L. (2022) Especies nativas de Trichoderma aisladas de plantaciones de aguacate con actividad inhibitoria contra Phytophthora cinnamomi* Native species of Trichoderma isolated from avocado plantations with inhibitory activity against Phytophthora cinnamomi. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial [Internet]. 20 (2). Disponible en: https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n2.2022.1852
5. Belisle RJ, McKee B, Hao W, Crowley M, Arpaia ML, Miles TD (2019). Phenotypic characterization of genetically distinct phytophthora cinnamomi isolates from avocado. Phytopathology. 109(3):384–94.
6. Burbano-Figueroa, O. (2020). Resistencia de plantas a patógenos: una revisión sobre los conceptos de resistencia vertical y horizontal. Revista Argentina de Microbiología, 52(3), 245–255. https://doi.org/10.1016/j.ram.2020.04.006
7. Campos D, Teran-Hilares F, Chirinos R, Aguilar-Galvez A, García-Ríos D, Pacheco-Avalos A. (2020). Bioactive compounds and antioxidant activity from harvest to edible ripeness of avocado cv. Hass (Persea americana) throughout the harvest seasons. Int J Food Sci Technol. 55(5):2208–18.
8. Campos R G (2015) Aplicación de microsatélites (SSR) asociados a QTL de interés para el mejoramiento asistido por marcadores moleculares en *Psidium guajava* L. México. Tesis de maestría. 124 p.
9. Cañas Gutiérrez G P (2018) Estudio de diversidad genética e identificación racial de ecotipos de aguacate (*Persea americana* Mill.) donadores de semilla para portainjertos en el Departamento de Antioquia. Tesis de doctorado. 271 p.
10. Cañas-Gutiérrez GP, Galindo-López LF, Arango-Isaza R, Saldamando-Benjumea CI. (2015) Diversidad genética de cultivares de aguacate (*Persea americana* Mill) en Antioquia, Colombia. Agronomía Mesoamericana. 26(1):129.

– (FUSAGASUGÁ) –

11. Cerda-Hurtado I, Ojeda-Zacarías M, Iracheta-Donjuan L, Martínez-De la Cerda J, Torres-Castillo J, Gutiérrez-Díez A. (2015) Variabilidad genética de cultivo in vitro de aguacate raza mexicana. México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.6 (101): 243-250.
12. Científico A, Scientific /, Ruiz-Chután JA, Berdúo-Sandoval JE, Kalousová M, Lojka B (2020) Genetic diversity of native Guatemalan avocado through AFLP molecular marker. Tecnología y Salud. 7 (2) 39-53. DOI:10.36829/63CTS.v7i2.746
13. Cortazar-Murillo EM, Méndez-Bravo A, Monribot-Villanueva JL, Garay-Serrano E, Kiel-Martínez AL, Ramírez-Vázquez M, Guevara-Avendaño E, Méndez-Bravo A, Guerrero-Analco JA and Reverchon F (2023) Biocontrol and plant growth promoting traits of two avocado rhizobacteria are orchestrated by the emission of diffusible and volatile compounds. Front. Microbiol. 14:1152597. doi: 10.3389/fmicb.2023.1152597. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2023.1152597/full
14. Engelbrecht J, Van den Berg N. (2013) Expression of defence-related genes against Phytophthora cinnamomi in five avocado rootstocks. S Afr J Sci. 109(11/12):8. Disponible en: http://192.168.0.19/index.php/sajs/article/view/4021
15. Garcia-Vallejo MC, Solarte-Toro JC, Ortiz-Sanchez M, Chamorro-Anaya L, Chamorro-Anaya L, Peroza-Piñeres P (2023) Exploring the production of antioxidants and biogas from avocado (Persea Americana var. Americana) residues as an alternative for developing rural bioeconomies. Sustain Chem Pharm. Química y Farmacias sostenibles. 33.
16. González-Calderón VM, Barrientos-Priego AF, Núñez-Colín CA, Ramírez-Ramírez SP, Hofshi R, Lu Arpaia M. (2018) Anatomía de la lámina de hoja en ocho cultivares de aguacate. Rev Mex De Cienc Agric. 2(5):733–44.

17. Guillermo J, Gil R. (2013) Sustainable alternatives for plant disease management View project Relationship between avocado, wilt disease and climate change View project. Tesis de maestría. 190 p. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/317722642
18. Guzmán C (2017) futuro de los portainjertos y variedades de aguacate en el mundo y méxico Barrientos-Priego py. Present and future of avocado rootstocks and varieties in the world and Mexico.
19. Guzman G, Medina R, Guillen H, Ramirez L, Aguilar J, Valdivia M. 7. (2012) Características fenotípicas de hoja y fruto en selecciones de aguacate criollo. Revista Fuente. 4: 56-62. http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/801
20. Henao ER. (2015) Caracterización morfológica y evaluación de la resistencia de materiales criollos de aguacate Persea americana Mill. A la pudrición radical del aguacate Phytophthora cinnamomi Rands en el centro de investigación Palmira de CORPOICA.
21. Hernández-García A, Salgado-Garciglia R. (2010) La búsqueda de genes de resistencia como una alternativa para la selección de portainjertos de aguacate con tolerancia a Phytophthora cinnamomi Diversidad micorrizica de Orquideas Mexicanas View project biochemical View project. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/233799545
22. :Joubert M, Backer R, Engelbrecht J, Van Den Berg N. (2021) Expression of several Phytophthora cinnamomi putative RxLRs provides evidence for virulence roles in avocado. PLoS One. 16(7). file:///C:/Users/FUSA/Downloads/journal.pone.0254645.pdf
23. León N, Acosta-Díaz E, Guerra RR, Almeyda-León IH. (2020) Variabilidad morfológica y genética del germoplasma de aguacate criollo en Microbial antagonist for comun phythopatogens in agriculture View project Molecular Physiology of Stress View project [Internet]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/348788348

24. López-Galé Y, Murcia-Riaño N, Romero-Barrera Y, Martínez MF. (2022) Morphological characterization of seed-donor Creole avocado trees from three areas in Colombia. Rev Chapingo Ser Hortic. 28(2):93–108.
25. López-Guzmán GG, Palomino-Hermosillo YA, Balois-Morales R, Bautista-Rosales PU, Jiménez-Zurita JO. (2021) Genetic diversity of native avocado in Nayarit, Mexico, determined by ISSRs. Ciencia Tecnologia Agropecuaria. 22(1).
26. López-López ME, Del-Toro-Sánchez CL, Gutiérrez-Lomelí M, Ochoa-Ascencio S, Aguilar-López JA, Robles-García MA (2022). Isolation and Characterization of Trichoderma spp. for Antagonistic Activity against Avocado (Persea americana Mill) Fruit Pathogens. Horticulturae. 8(8).
27. Montes-Hernández S, de la Torre-Vizcaino J, Heredia-García E, Hernández-Martínez M, Guadalupe Camarena-Hernández M. (2017) 21. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE GERMOPLASMA DE AGUACATE MEXICANO (Persea americana var. drymifolia, LAURACEAE). Interciencia. 42 (3)(0378–1844):175–80.
28. Moreno-Pérez A, Zumaquero A, Martínez-Ferri E, López-Herrera C, Pliego-Alfaro F, Palomo-Ríos E (2023) Comparative Transcriptome Analysis of Avocado Embryogenic Lines Susceptible or Resistant to Rosellinia necatrix Exudate. Agronomy [Internet].13(5):1354. Disponible en: https://www.mdpi.com/2073-4395/13/5/1354
29. Nath O, Fletcher SJ, Hayward A, Shaw LM, Agarwal R, Furtado A (2022) A Comprehensive High-Quality DNA and RNA Extraction Protocol for a Range of Cultivars and Tissue Types of the Woody Crop Avocado. Plants. 11(3).
30. Neupane K, Alexander L, Baysal-Gurel F. (2022) Management of Phytophthora cinnamomi Using Fungicides and Host Plant Defense Inducers Under Drought Conditions: A Case Study of Flowering Dogwood. Plant Dis. 106(2):475–85.

– (FUSAGASUGÁ) –

31. Ochoa-Zarzosa A, Báez-Magaña M, Guzmán-Rodríguez JJ, Flores-Alvarez LJ, Lara-Márquez M, Zavala-Guerrero B (2022). Bioactive Molecules From Native Mexican Avocado Fruit (Persea americana var. drymifolia): A Review. Plant Foods for Human Nutrition. Springer. 76, 133–42.
32. Páez FAR, Salazar VG, Acosta JGG, López PAO. (2016) Caracterización molecular, análisis morfológico y colonización micorrízica en la rizósfera del aguacate (Persea americana Mill) en Caldas, Colombia. Acta Agron. 65(4).
33. Perea-Moreno AJ, Aguilera-Ureña MJ, Manzano-Agugliaro F. (2016) Fuel properties of avocado stone.186:358–64.
34. Pérez Álvarez S. Revisión bibliográfica EL AGUACATERO (Persea americana Mill) [Internet]. 2015. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/303486664
35. Reeksting BJ, Olivier NA, van den Berg N. (2016) Transcriptome responses of an ungrafted Phytophthora root rot tolerant avocado (Persea americana) rootstock to flooding and Phytophthora cinnamomi. BMC Plant Biol. 16(1).
36. Reeksting BJ, Taylor NJ, van den Berg N. (2014) Flooding and Phytophthora cinnamomi: Effects on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in shoots of non-grafted Persea americana (Mill.) rootstocks differing in tolerance to Phytophthora root rot. South African Journal of Botany. 95:40–53.
37. Reyes-Alemán J, Valadez-Moctezuma E, Simuta-Velázco L, Barrientos-Priego A, Gallegos-Vázquez C. (2013) Distinción de especies del género Persea mediante RAPD e ISSR de ADN. Mexico. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 4: 517-529.
38. Rodríguez E, Fernando Martínez M, Murcia Riaño N. (2015) Desarrollo de un protocolo de infección en raiz para cuantificación de resistencia genética a *Phytophthora cinnamomi* en aguacate. VIII Congreso Mundial de la Palta 121.

39. Rodríguez Rodríguez JC, NERI LUNA C, Gallou A, Ayala Zermeño MA, Rodríguez Vélez B, Castruita Domínguez JP. (2023) Presencia natural de Metarhizium en suelos agrícolas de aguacate (Persea americana Mill.) en Colima, México. Manglar [Internet]. el 1 de abril de20(1):69–76. Disponible en: http://revistas.untumbes.edu.pe/index.php/manglar/article/view/363

40. Rojas Padilla CR, Vásquez Villalobos V. (2021) Ácido fítico en papa nativa *Solanum tuberosum* L. determinado por 31P RMN. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 19(2):18–26.

41. Ruiz Chután JA, Berdúo-Sandoval JE, Maňourová A, Kalousová M, Villanueva-González CE, Fernández E (2023) VARIABILITY ANALYSIS OF WILD GUATEMALAN AVOCADO GERMPLASM BASED ON AGRO-MORPHOLOGICAL TRAITS. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 26(2). Disponible en: https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/4663

42. Salazar-García S, E Medina-Carrillo R, Álvarez-Bravo A. (2016) Metabolitos secundarios y lignina en la piel del fruto de aguacate 'Hass' durante el desarrollo del fruto en tres regiones productoras. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 7: 852–858.

43. Sanchez M, Rodríguez L J, Salas González J, Ramos M, Munguía A. (2018). Análisis de costos y competitividad en la producción de aguacate en Michoacan, México. Rev Mex De Cienc Agric.9 (2) 391-403.

44. Ul Q, Farooq A, Mccomb J, Hardy GS, Burgess T. (2022) Soil amendments and suppression of Phytophthora root rot in avocado (Persea indica) 1. Australasian Plant Pathology. 52, 163. https://doi.org/10.1101/2022.01.31.478582

45. Van den Berg N, Swart V, Backer R, Fick A, Wienk R, Engelbrecht J (2021) Advances in Understanding Defense Mechanisms in Persea americana Against Phytophthora cinnamomi. Frontiers in Plant Science. Frontiers Media. 12. doi.org/10.3389/fpls.2021.636339

46. Vargas-Canales JM, Palacios-Rangel MI, Acevedo-Peralta AI, Leos-Rodríguez JA. (2015) Análisis de la rentabilidad en la producción de hule (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) en Oaxaca, México. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 22(1):45–58.

47. Vidales Fernández I, Larios A, Luis G, Tapia M, Héctor V, Andrade G (2011) CRIOPRESERVACIÓN DE GERMOPLASMA DE AGUACATE CONTENIDO. Proceedings VII World Avocado Congress. .

48. Viera A, Sotomayor / A, Viera / W, Viera A, Sotomayor A, Viera W. (2016) Potential of avocado cultivation (*Persea americana* mill) in Ecuador as an alternative of commercialization in the local and international market. INIAP-Estación Experimental Santa Catalina. Revista Científica y Tecnológica UPSE. 3: 1-9.

49. López-López ME, Del-Toro-Sánchez CL, Gutiérrez-Lomelí M, Ochoa-Ascencio S, Aguilar-López JA, Robles-García MA (2022) Isolation and Characterization of Trichoderma spp. for Antagonistic Activity against Avocado (*Persea americana* Mill) Fruit Pathogens. Horticulturae. 8(8): 714. doi: 10.3390/horticulturae8080714

50. Zhang Y, Zhang J, Vanderpool D, Smith JA, Rollins JA. (2020) Genomic and transcriptomic insights into Raffaelea lauricola pathogenesis. BMC Genomics. 21(1). https://doi.org/10.1186/s12864-020-06988-y