



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

**Fenología, crecimiento y diversidad
genética de *Mimosa trianae* Benth en el
Piedemonte Orinocense y el Valle
del Cauca, Colombia**

Adriana María Giraldo Sánchez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Palmira, Colombia

2020

**Fenología, crecimiento y diversidad
genética de *Mimosa trianae* Benth en el
Piedemonte Orinocense y el Valle
del Cauca, Colombia**

Adriana María Giraldo Sánchez

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias Biológicas

Director:

Ph.D, Jaime Eduardo Muñoz Flórez

Codirectora:

Ph.D, Paula Andrea Rugeles Silva

Asesora externa:

MS.c, Zoraida Calle Díaz

Línea de Investigación:

Recursos Fitogenéticos Neotropicales

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Palmira, Colombia

2020

Todas vuestras cosas sean hechas con amor (1 Corintios 16:14)

Dedico este trabajo a mi familia, mi esposo Juan David Castaño y mi hija Lucía.

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

ADRIANA MARIA GIRALDO S.

ADRIANA MARÍA GIRALDO SÁNCHEZ

Fecha: 18/01/2021

Agradecimientos

Agradezco a Dios quien me da la oportunidad de vivir, investigar y aprender.

A mi familia, especialmente a mi madre Noralba Sánchez y mi esposo por su apoyo incondicional. A mis hermanas Lina Paola y Nelly Victoria por su ayuda y animo constante.

A Zoraida Calle Díaz, por sus asesorías y enseñanzas. A Enrique Murgueitio Restrepo, Julián David Chará y la Fundación CIPAV por darme la oportunidad de conocer el yopo pelú *Mimosa trianae*, por su apoyo constante y la financiación de gran parte de esta investigación

Al profesor Jaime Eduardo Muñoz Flores y la profesora Paula Andrea Rugeles Silva por su ayuda e interés en este trabajo de investigación.

Al laboratorio de Biología Molecular de la Universidad Nacional de Colombia (Sede Palmira) por la oportunidad de trabajar, aprender y financiar la parte molecular de esta investigación.

A la familia Molina Durán propietaria de la Reserva Natural El Hatico, por acogerme y permitirme realizar la investigación de la especie en la cerca viva *ex situ*.

A Osmidio Romero Medina propietario de la finca Villa Sandy en Cubarral, Meta y a las comunidades campesinas de las veredas Choopal y Fátima del municipio de Medina, Cundinamarca por facilitarme los permisos para llevar a cabo el seguimiento fenológico.

A Jhon Alexander Vargas, Biólogo de la Universidad del Valle, por su colaboración en la parte botánica

Resumen

El yopo pelú *Mimosa trianae* Benth es un árbol de la familia Fabaceae, endémico del piedemonte Orinocense de Colombia, con gran potencial como especie multipropósito. Este estudio se llevó a cabo en una población silvestre en el municipio de Medina (Cundinamarca) y en cercas vivas en Cubarral (Meta) y El Cerrito (Valle del Cauca). Con el fin de contribuir al conocimiento de este recurso genético forestal, la tesis se enfocó en los siguientes aspectos: 1. Los patrones fenológicos, su relación con el fotoperíodo, la precipitación, y la fecundidad de los árboles; 2. El crecimiento en cercas vivas; 3. La diversidad genética, 4. Una descripción morfométrica. Los resultados mostraron que el patrón de reproducción es anual, caracterizado por la sincronía entre individuos. Los árboles de El Cerrito tuvieron la mayor fecundidad. En las tres localidades, la iniciación de la floración coincidió con el descenso en el fotoperíodo. Aunque la precipitación coincidió con la floración en el Valle del Cauca, no hay una relación consistente entre estas. Los árboles tuvieron un crecimiento anual promedio de 2,20 m de altura y 36 mm de diámetro. La varianza molecular (AMOVA) fue mayor dentro de las poblaciones (91%) y sólo 9% entre éstas ($P=0.001$). La mayor diversidad genética se encontró en la población de Medina ($H_e: 0.181$). La estructura genética evidenció que algunos árboles de Cubarral y El Cerrito comparten entre 80 y 98% de los genes. Se complementó la descripción morfométrica para la especie. Se obtuvieron lineamientos para aprovechar el potencial del yopo para la restauración ecológica y los agroecosistemas.

Palabras clave: *Mimosa trianae* Benth, fenología, diversidad genética, restauración ecológica, árboles multipropósito, sistemas agroforestales, sistemas silvopastoriles.

Abstract

Mimosa trianae Benth, known as yopo pelú is a tree of the Fabaceae family, endemic to the Andean-Orinoco foothills of Colombia, with great potential as a multipurpose species. This study was carried out on a wild population of this species from the municipality of Medina (Cundinamarca) and on live fences associated with silvopastoral systems in Cubarral (Meta) and El Cerrito (Valle del Cauca). In order to contribute to the knowledge of this valuable forest genetic resource, the thesis focused on the following aspects: 1. Phenological patterns, their relationship with photoperiod and precipitation, and the fecundity of trees; 2. The growth of the species on live fences; 3. Genetic diversity and 4. A morphometric description. The results showed that the reproduction pattern is annual, characterized by synchrony between individuals. The trees of El Cerrito had the highest fertility. In the three localities, the initiation of flowering coincided with the decline in the photoperiod. Although high precipitation coincided with flowering in the Valle del Cauca population, there is no consistent relationship between these. Trees had an average annual growth of 2,20 m in height and 36 mm in diameter. The molecular variance (AMOVA) was highest within populations (91%) and only 9% exists between them ($P=0.001$). The greater genetic diversity was found in the Medina population ($H_e: 0.181$). The genetic structure showed that some Cubarral and El Cerrito trees share between 80 and 98% of the genes. The morphometric description for the species was complemented. Guidelines were obtained to make the most of the yopo's potential for ecological restoration and agroecosystems.

Keywords: *Mimosa trianae* Benth, phenology, genetic diversity, ecological restoration, multipurpose trees, agroforestry systems, silvopastoral systems.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras.....	XIII
Lista de tablas	XVI
Introducción	1
1. Planteamiento del problema.....	5
2. Justificación	9
3. Objetivos e hipótesis	13
3.1 Objetivo general.....	13
3.2 Objetivos específicos.....	13
3.3 Hipótesis.....	14
4. Marco teórico.....	15
4.1 Recursos genéticos forestales.....	15
4.2 Restauración ecológica.....	16
4.3 Sistemas agroforestales (SAF)	16
4.4 Descripción de <i>Mimosa trianae</i> Benth.....	17
4.5 Fenología de especies nativas.....	18
4.6 Evaluación de la tasa de crecimiento de los árboles.....	19
4.7 Diversidad genética	19
4.8 Marcadores moleculares.....	20
4.9 Secuenciación	22
4.10 Caracterización morfométrica	23
5. Materiales y métodos	25
5.1 Área de estudio.....	25
5.2 Diseño de la investigación	28
5.2.1 Fenología	28
5.2.2 Crecimiento de <i>Mimosa trianae</i> Benth.....	32
5.2.3 Diversidad genética.....	33
5.2.4 Morfometría de <i>Mimosa Trianae</i> Benth	37
5.3 Análisis estadísticos	38
5.3.1 Fenología.....	38
5.3.2 Crecimiento.....	39
5.3.3 Diversidad genética.....	40

5.3.4	Morfometría	43
6.	Resultados	45
6.1	Fenología del yopo pelú <i>Mimosa trianae</i> Benth	45
6.1.1	Patrón temporal de la reproducción	45
6.1.2	Fecundidad.....	49
6.1.3	Tamaño y fecundidad de los árboles de <i>M. trianae</i>	54
6.1.4	Variables ambientales.....	59
6.2	Crecimiento	61
6.2.1	Sobrevivencia de <i>M. trianae</i>	61
6.2.2	Crecimiento de altura y diámetro de <i>M. trianae</i>	62
6.3	Diversidad genética	64
6.3.1	Evaluación del ADN.....	64
6.3.2	Heterocigosidad esperada (He) y loci polimorficos	67
6.3.3	Distancia genética	67
6.3.4	Estructura genética.....	70
6.3.5	Secuenciación	72
6.4	Descripción morfométrica.....	74
6.4.1	Estructuras vegetativas.....	74
6.4.2	Estructuras reproductivas	77
7.	Discusión.....	85
7.1	Fenología	85
7.2	Crecimiento	90
7.3	Diversidad genética.....	90
8.	Conclusiones y recomendaciones	94
8.1	Patrón temporal de la reproducción de <i>M. trianae</i> Benth, su fecundidad y la relación de la fenología con diferentes variables ambientales en el Valle del Cauca y Piedemonte Orinocense de Colombia.....	94
8.2	Evaluación de la tasa de crecimiento de árboles de <i>M. trianae</i> Benth establecidos en cercas vivas en el Valle del Cauca.	96
8.3	Evaluación preliminar de la diversidad genética de <i>M. trianae</i> Benth en su región de endemismo (Piedemonte Orinocense) y en el Valle del Cauca.	97
8.4	Contribución al conocimiento botánico de la especie a través de una descripción morfométrica de especímenes en el Valle del Cauca.....	99
Anexo 1. Análisis del Modelo Lineal Generalizado (GLM)		101
Anexo 2. Visualización de primer en geles de poliacrilamida.....		109
Anexo 3. Protocolo para la cosecha, manejo de la semilla y propagación de <i>Mimosa trianae</i> Benth.....		112
Bibliografía		115

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Ubicación espacial del área de estudio. Municipio de Cubarral, departamento de Cundinamarca, Colombia (Elaboración: Ingeniero Santiago Martínez Bacca).	26
Figura 2. Ubicación espacial del área de estudio. Municipio de Medina, departamento del Meta, Colombia (Elaboración: Ingeniero Santiago Martínez Bacca).	27
Figura 3. Ubicación espacial del área de estudio. Municipio El Cerrito, departamento del Valle del Cauca, Colombia (Elaboración: Ingeniero Santiago Martínez Bacca).	28
Figura 4. Etapa 1. Inflorescencias de flores en preantesis: desde brotes incipientes hasta brotes redondos de color verde.	30
Figura 5. Etapa 2: Inflorescencias con flores en antesis: flores completamente formadas, con cáliz de color amarillo, corola blanca, estambres y pistilo extendidos.	30
Figura 6. Etapa 3. Infrutescencias inmaduras: desde los brotes incipientes de las legumbres hasta aquellas recién formadas, de color verde.	31
Figura 7. Etapa 4. Infrutescencia madura, legumbres bien formadas de color amarillo pardo, con semillas bien formadas de color verde.	31
Figura 8. Etapa 5. Infrutescencia seca, legumbre de color café, con semillas bien formadas de color café claro.	31
Figura 9. Método del conteo total de inflorescencias y espigas, infrutescencias, raquis y legumbres en sus diferentes etapas en cada rama.	32
Figura 12. Variación temporal en el porcentaje de árboles y ramas (promediado para todos los árboles) con inflorescencias en preantesis en las tres localidades.	46
Figura 13. Variación temporal en el porcentaje de árboles y ramas con inflorescencias de flores en antesis en las tres localidades.	47
Figura 14. Variación temporal en los porcentajes de árboles y ramas con infrutescencias inmaduras en las tres localidades.	48
Figura 15. Variación temporal en los porcentajes de árboles y ramas con infrutescencias maduras (a) y secas (b) en las tres localidades.	49
Figura 16. Variación temporal en la abundancia de inflorescencias e infrutescencias en las cinco fases fenológicas evaluadas en las tres localidades.	50
Figura 17. Fecundidad total (número promedio por árbol en el pico de abundancia) de inflorescencias e infrutescencias en las cinco fases fenológicas en las tres localidades.	51
Figura 18. Variación temporal en el número de espigas con flores o frutos en las cinco fases fenológicas evaluadas en las tres localidades.	52
Figura 19. Fecundidad total (número promedio por árbol en el pico de abundancia) de espigas con las cinco fases fenológicas en las tres localidades.	53

Figura 20. Variación temporal en el número de legumbres inmaduras, maduras y secas producidas por los árboles en las tres localidades.	54
Figura 21. Distribución de altura (m) de los árboles en las tres poblaciones evaluadas.	56
Figura 22. Distribución diamétrica (mm) de los árboles en las tres poblaciones evaluadas.	56
Figura 23. Análisis de Co-inercia entre las variables de tamaño del árbol (altura, DAP y área de copa) y variables de fecundidad (cosecha de flores y frutos) en las tres localidades.	58
Figura 24. Fotoperiodo e inicio de la floración en las tres localidades evaluadas.	59
Figura 25. Fotoperiodo y recambio foliar en las tres localidades evaluadas.	60
Figura 26. Variación mensual en la precipitación y floración en las tres localidades evaluadas.	61
Figura 27. Relación entre el recambio foliar y la precipitación en las tres localidades evaluadas.	61
Figura 28. Supervivencia de <i>Mimosa trianae</i> Benth en la Reserva Natural El Hatico, Valle del Cauca.	62
Figura 29. Incremento de altura (m) de árboles de <i>M. trianae</i> Benth durante seis años de monitoreo. Las barras indican la desviación estándar.	63
Figura 30. Incremento diamétrico (mm) de árboles de <i>M. trianae</i> Benth durante seis años de monitoreo. Las barras indican la desviación estándar.	63
Figura 31. Análisis de dispersión de toda la población de altura (m) respecto al diámetro (mm) de los árboles de <i>M. trianae</i> evaluados en seis años.	64
Figura 32. Verificación de la presencia de ADN diluido.	66
Figura 34. Dendrograma del coeficiente de Dice Nei-Li de las tres poblaciones de estudio: 1V, 3E y 2M, cada árbol tiene la letra que identifica la población, seguido del número.	70
Figura 35. Valor modal de las diferencias de la verosimilitud (delta K) estandarizado con la desviación estándar de los datos donde se obtuvo K=3 para la agrupación de los individuos en tres poblaciones.	71
Figura 36. Estructura poblacional. Bar-plot de individuos asignados a una población (K población) identificadas por colores (1V: azul, 2M: rojo, 3E: verde), cada columna representa un árbol (79 en total) que puede tener segmentos que indican su probable origen genético.	72
Figura 37. Árbol de consenso basado en secuencias del intrón trnL y trnF de los árboles analizados de las tres poblaciones 1V, 2M y 3E.	73
Figura 38 Estructuras evaluadas de <i>M. trianae</i> : A : Inflorescencia de flores en antesis; B : estructura de la flor en antesis; C : estambres, filamentos y estilo; D : bractéola; E : Corola; F y G : botón floral; H : estipela terminal; I : foliolo; J : ovario con la mitad de la superficie con pubescencia y estilo; K : ovario con pubescencia en toda la superficie; L : raquis acostillado y estipela basal; M : legumbre; N : foliólulo haz; O : foliólulo envés; P : semilla (figura elaborada por: Eileen Muñoz Castillo).	82
Figura 39. Estructuras evaluadas de <i>M. trianae</i> : A : inflorescencia de flores en preantesis; B : botón floral; C : flor en antesis; D : inflorescencia en antesis; E : infrutescencia con	

legumbres maduras; F : Legumbre; G : semilla (figura elaborada por: Eileen Muñoz Castillo).	83
Figura 40. A : arquitectura del árbol <i>M. trianae</i> ; B : segmento de corteza (figura elaborada por: Eileen Muñoz Castillo).....	84

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Marcadores moleculares utilizados en investigación de recursos fitogenéticos. .	20
Tabla 2. Primers utilizados para la técnica RAMs	35
Tabla 3. Condiciones definidas para PCR.....	36
Tabla 4. Árboles de las tres poblaciones escogidos para la secuenciación.....	42
Tabla 5. Marcadores moleculares utilizados y secuencia	42
Tabla 6. Tamaño y fecundidad de los árboles en las tres localidades (El Cerrito, Medina y Cubarral), valores máximos y mínimos, promedio y medidas de dispersión.....	55
Tabla 7. Matriz de correlación (coeficiente de Pearson) entre el tamaño y la fecundidad de los árboles de las tres localidades (El Cerrito, Medina y Cubarral).	57
Tabla 8. Estadística descriptiva de crecimiento de altura (m) y diámetro (mm) de los árboles de <i>M. trianae</i> Benth entre 2013 y 2019.....	62
Tabla 9. Evaluación de la concentración de ADN en el espectrofotómetro de micro volumen, para muestras de <i>M. trianae</i>	65
Tabla 10. Cebadores que amplificaron y sus secuencias.....	66
Tabla 11. Heterocigosidad esperada (rango de evaluación 0: diversidad mínima, 1: diversidad máxima) y loci polimórficos en las tres poblaciones.	67
Tabla 12. Matriz de población por pares del índice de Nei, distancia genética imparcial de las tres poblaciones evaluadas.	68
Tabla 13. Varianza molecular entre y dentro de las tres poblaciones evaluadas (1V, 2M y 3E).....	68
Tabla 14. Coeficiente de diferenciación genética F_{st} (Wright), entre las poblaciones evaluadas.	69
Tabla 15. Agrupamientos con mayor verosimilitud ($\ln P(K)$).....	70
Tabla 16. Secuencias de las especies utilizadas para el árbol filogenético.	72
Tabla 17. Descriptores estadísticos de 15 caracteres morfométricos evaluados en hojas de <i>Mimosa trianae</i> Benth.	75
Tabla 18. Descriptores estadísticos de 17 caracteres morfométricos evaluados en foliolo y foliólulo de <i>Mimosa trianae</i> Benth.....	77
Tabla 19. Descriptores estadísticos de 9 caracteres morfométricos evaluados en la inflorescencia de <i>Mimosa trianae</i> Benth.....	78
Tabla 20. Descriptores estadísticos de 8 caracteres morfométricos evaluados en la espiga de <i>Mimosa trianae</i> Benth.	79

Tabla 21. Descriptores estadísticos de 16 caracteres morfométricos evaluados en la flor de <i>Mimosa trianae</i> Benth.....	80
Tabla 22. Descriptores estadísticos de 11 caracteres morfométricos evaluados en el fruto de <i>Mimosa trianae</i> Benth.....	81
Tabla 23. Descriptores estadísticos de 3 caracteres morfométricos evaluados en la semilla de <i>Mimosa trianae</i> Benth.....	81

Introducción

La diversidad biológica está cada vez más amenazada por la intensificación de la producción agrícola y pecuaria, la minería y la extracción insostenible de recursos como madera, tintes, medicina y fibras, para suplir la demanda de una población en continuo crecimiento (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2010); Beintema et al., 2009). Los recursos genéticos forestales, parte importante de la biodiversidad, son definidos por la FAO (1989) como “la variación genética de árboles de beneficio potencial o actual para los seres humanos” (p.1), que incluyen todas las especies de árboles silvestres y las que se han utilizado en plantaciones forestales y sistemas agroforestales. Sin embargo, factores como la deforestación, el manejo inadecuado del bosque y la expansión de la frontera agropecuaria, amenazan estos recursos (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Bosque y Paisaje de Dinamarca (FLD), & International Bioversity, 2007) FAO, Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), 2012).

Colombia ocupa el segundo lugar a escala global en diversidad de plantas, con 26.186 especies identificadas (Bernal, Gradstein, Celis, & (eds.), 2019; Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) & Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (Humboldt), 2011) para la mayoría de las cuales se desconocen los patrones fenológicos, usos y propiedades que se podrían aprovechar de diferentes formas (Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2011; Román, De Liones, Sautu, Deago, & Hall, 2012; (Murgueitio et al., 2015). Las especies forestales endémicas suelen estar en mayor riesgo, dadas su distribución restringida y la presión que generan los cambios de usos del suelo. La expansión de la ganadería y la agricultura amenazan la diversidad genética y la viabilidad de las poblaciones naturales de muchas especies (Higuera & Álvarez Dávila, 2015; Madriñán, Cortés, & Richardson, 2013; Ruiz & Estrella-Ruiz, 2008; Urbina-Casanova, Saldivia, & Scherson, 2015; Vázquez Yanes, Muñoz Batis, Alcocer Silva, Gual Díaz, & Sánchez Dirzo, 1999).

Las amenazas que enfrentan los ecosistemas naturales en el país, plantean el desafío de aplicar los principios agroecológicos para reconvertir los modelos convencionales de producción agropecuaria hacia modelos más amigables con el ambiente. En los últimos años, el modelo tradicional de conservación de la biodiversidad, basado en áreas protegidas sin tener en cuenta los diferentes actores y los usos de la tierra en las áreas vecinas, ha dado paso a una aproximación más holística que integra a los paisajes productivos (Neely, Bunning, & Wilkes, 2009; Montagnini et al., 2015; Uribe et al., 2011, Murgueitio & Galindo, 2009). Una de tales aproximaciones, propone la conservación de los fragmentos de ecosistemas naturales en las fincas, la restauración ecológica de áreas frágiles, marginales o estratégicas para la biodiversidad y la intensificación de la producción agropecuaria con arreglos silvopastoriles y agroforestales donde los árboles son protagonistas (Calle, Murgueitio, & Chará, 2012; Montagnini, Somarriba, Murgueitio, Fassola, & Eibl, 2015; Murgueitio et al., 2015)

Los árboles en los sistemas de producción prestan servicios ecosistémicos como el aumento en la producción de biomasa, el ciclaje de nutrientes y los flujos de energía, y el mejoramiento de la regulación hidrológica (Altieri, 2002; Altieri & Nicholls, 2007; Murgueitio, Cuartas, Murgueitio, & Caro, 2009). Por otra parte, los árboles contribuyen a la conservación de la biodiversidad al ofrecer refugio y alimentación a diferentes organismos. Además, dependiendo del diseño de siembra, los árboles sirven de piedras de salto para las aves, mamíferos, polinizadores, dispersores de semillas y otros organismos beneficios (Calle et al., 2012; Chará & Giraldo, 2011; Jadán et al., 2016; Shibu, 2009).

Un árbol de alto valor de conservación y de uso cada vez más generalizado en sistemas agroforestales y ganaderos en Colombia es el yopo pelú *Mimosa trianae* Benth, una especie de la familia Fabaceae, endémica del piedemonte Orinocense (entre la cordillera Oriental y los Llanos Orientales), que crece en suelos bien drenados. El yopo pelú se usa como leña en restaurantes de asados de carne y durante la última década se ha integrado en sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) y agroforestales (SAF) en diferentes regiones de Colombia (Calle, Galindo, & Murgueitio, 2010).

Aunque no se ha evaluado formalmente el estado de conservación del yopo (Bernal et al., 2019), los rodales naturales, principalmente en localidades del piedemonte Orinocense,

han sido sometidos a un aprovechamiento inadecuado principalmente en localidades del piedemonte Orinocense. Además, la información publicada sobre la especie es escasa. El yopo pelú tiene un alto potencial de crecimiento, con un aumento promedio de altura de 2,2 metros al año, registrado en el Valle del Cauca donde se plantaron árboles a partir de semillas colectadas en Cubarral, Meta en el año 2013 (Calle Díaz, Giraldo Sánchez, Cardozo, Galindo, & Murgueitio, 2017). La forma de la copa de este árbol, permite el paso de luz, por lo cual sirve como árbol nodriza que facilita la regeneración de otras especies, criterio importante para su uso en la restauración de ecosistemas o agroecosistemas.

El presente trabajo evalúa la fenología, la tasa de crecimiento y la diversidad genética del *M. trianae* (yopo pelú) y presenta una descripción morfológica de la especie. Estos datos son una contribución al uso sostenible de este árbol nativo y a su valoración como recurso genético forestal para los sistemas de producción y los proyectos de restauración ecológica.

1. Planteamiento del problema

En la medida en que grandes extensiones de ecosistemas naturales han sido sustituidas por sistemas agrícolas y pecuarios con modelos extensivos o basados en una sola especie (monocultivos), la biodiversidad se ha visto afectada por la deforestación y el manejo inadecuado de estos sistemas (Biró, Boloni, & Molnár, 2017; Hanski, 2011; Steinfeld et al., 2009). La sobreexplotación de los recursos y la pérdida de biodiversidad han contribuido al cambio climático, la contaminación del aire y el agua, la erosión y la desertificación (REDAGRES, CYTED, & SOCLA, 2013; Hansen, Defries, & Turner, 2004; Dinesh et al., 2016). Todo lo anterior afecta los rendimientos de la producción agropecuaria y conlleva al incremento en la demanda de nuevas tierras para producción; esto hace que los modelos convencionales, legado de la revolución verde, sean cada vez más insostenibles (Asner, Elmore, Olander, Martin, & Harris, 2004; Calle et al., 2012).

La flora es uno de los componentes más afectados por los cambios de uso de la tierra que aceleran la pérdida y degradación de los bosques, a pesar de su papel vital en la producción de alimentos y materias primas en el mundo. En comparación con otros grupos de plantas, los árboles tienen ventajas para mantener la diversidad genética, ya que han desarrollado mecanismos naturales de variación intraespecífica, altas tasas de cruzamiento lejano, debido a la dispersión de polen y semillas en áreas amplias, además de la adaptación a las condiciones ambientales variables en el tiempo y espacio (Libby, 1987; FAO et al., 2007). Sin embargo, solo se conoce y utiliza una mínima parte de la diversidad de árboles que existen, tanto en sistemas de producción agropecuaria como en procesos de restauración ecológica (FAO, 1997, 2016; Tadeo-Noble, Valdez-Hernández, Beltrán-Rodríguez, & García-Moya, 2019). Según FAO y CONAFOR, 2012 “menos de 1000 especies se han probado sistemáticamente en plantaciones u otros sistemas de producción y menos de 100 están en programas intensivos de investigación que se espera contribuirá con su conocimiento y manejo” (Román et al., 2012).

Como en muchos países de Latinoamérica, en Colombia aún es incipiente la investigación sobre las especies arbóreas con potencial para la restauración ecológica en paisajes agropecuarios. Esta falta de información ha llevado a cometer errores en el uso de especies para dicho propósito y en muchos casos, las estrategias no logran los objetivos propuestos. Por otro lado, ante la falta de información sobre las especies nativas, muchos productores prefieren las exóticas de rápido crecimiento y fácil establecimiento en los agroecosistemas, ignorando los atributos y potencialidades de especies nativas que pueden ser integradas en sistemas productivos y otros usos de la tierra (Calle, 2011; Zuluaga, Galindo, Chará, & Calle, 2011).

La identificación de especies arbóreas que cumplan ciertos criterios multipropósito, es entonces, uno de los retos más importantes para la restauración de los bosques y la reconversión productiva de los sistemas ganaderos y agrícolas en Colombia y en general en paisajes rurales latinoamericanos. La selección de especies arbóreas para dichos propósitos, deberían basarse en estudios previos como la fenología, desarrollo de la especie y preferencias de los productores que pueda garantizar el cuidado de los árboles en los sistemas (Calle, 2011; Calle et al., 2012; Françoso et al., 2014; Machado et al., 2013; Ochoa-Gaona, Hernández, & Jong, 2008).

El yopo pelú o guayacán yopo *Mimosa trianae* es una especie endémica de alto potencial para arreglos silvopastoriles, agroforestales y de restauración ecológica, debido a la facilidad con que se adapta a condiciones agroclimáticas diferentes a las de su sitio de origen y a suelos degradados (observación en campo). Sin embargo, tanto en su zona de origen como en otras regiones del país, donde el yopo se ha empezado a plantar masivamente, se desconoce su estado actual de conservación, los rodales naturales no han sido caracterizados, no existe información publicada sobre su fenología, el conocimiento tradicional sobre su manejo y uso no están documentados y su diversidad genética no ha sido investigada.

La mayor parte de la información disponible sobre esta especie se basa en ocho colectas que se encuentran en los herbarios: Nacional de Colombia, Jardín Botánico de Missouri en Estados Unidos, Real Jardín Botánico de Kew en Londres y Museo de Historia Natural de

París. Durante varios años, el yopo pelú se confundió con el yopo *Anadenanthera peregrina* hasta que la clasificación botánica fue revisada (Hernández Smith, 23 de septiembre de 2016, Comunicación personal).

A partir de la necesidad de documentar aspectos básicos de la biología de *M. trianae* Benth, se generaron las siguientes preguntas: ¿Cuál es el ciclo fenológico de *Mimosa trianae* Benth en las poblaciones naturales del Piedemonte Orinocense y cómo se diferencia de la fenología en el Valle del Cauca, donde el árbol se ha plantado en cercas vivas? ¿Cuál es la tasa de crecimiento diamétrico y de altura de *Mimosa trianae* Benth en cercas vivas? ¿Cómo se compara la diversidad genética de *Mimosa trianae* Benth en una cerca viva del Valle del Cauca con la diversidad genética en poblaciones naturales del Piedemonte Orinocense? ¿Cuáles son las falencias en la descripción morfométrica de *Mimosa trianae* Benth y como suplirlas para aportar a su descripción botánica?

2. Justificación

En Colombia, el crecimiento constante de la frontera agrícola y ganadera tiene efectos severos sobre la biodiversidad y la productividad, debido en parte a los modelos convencionales usados. Sin embargo, también se convierte en un desafío para encontrar estrategias de reconversión ambiental de los sistemas productivos que sean compatibles con la conservación de los bosques. Para esto es necesario avanzar en la identificación e investigación de especies arbóreas que puedan generar beneficios para la agricultura, la alimentación humana y/o animal y la restauración ecológica de tierras degradadas (Tadeo-Noble et al., 2019; FAO & CONAFOR, 2012).

En el Segundo Informe sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura en el Mundo, y en el Informe del Estado de Los Bosques del Mundo, la FAO (2011, 2016) propone la adopción de una visión integradora de los sistemas agropecuarios, los bosques y el desarrollo sustentable, dado que existe una interrelación compleja entre éstos y no se deberían seguir considerando por separado (REDAGRES et al., 2013; Altieri & Nicholls, 2007). Esta misma visión está plasmada en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. De esta forma, la humanidad enfrenta el reto de aumentar la productividad y a la vez que conservar la biodiversidad, a través de estrategias de producción con principios agroecológicos y el aumento del conocimiento de las especies de plantas de uso actual o potencial.

Varias especies de árboles nativos que son poco valoradas en la actualidad, podrían contribuir a la conservación a la escala del paisaje como componentes de sistemas agroforestales y/o silvopastoriles (Mazo, Rubiano, & Castro, 2016; Montagnini et al., 2015). La selección de las especies importantes para la conservación y su incorporación en sistemas silvopastoriles (SSP), corredores de conectividad, sistemas agroforestales (SAF), áreas de restauración ecológica y de conservación, entre otras iniciativas, es fundamental

para lograr un balance entre los beneficios ambientales y productivos (Souza et al., 2010; Uribe et al., 2011; Zuluaga et al., 2011).

Sin embargo, la selección de las especies para integrar a los modelos antes mencionados, debe estar respaldada con estudios como el de la fenología con el fin de conocer los patrones temporales de reproducción y generar planes de recolección de semillas y propagación. Por otra parte, la información sobre las tasas de crecimiento, es esencial para tomar decisiones sobre el uso y manejo de estas especies. En muchos casos, no existen descripciones botánicas ni estudios de la variabilidad genética de las especies que puedan orientar los esfuerzos de recolección de semillas y propagación, de tal modo que se garantice la variabilidad genética en el tiempo y espacio. Estos temas de investigación proporcionarían elementos para que los propietarios de la tierra y tomadores de decisiones conozcan las especies nativas y opten por incluirlas en forma adecuada en sus proyectos (Álvarez-Dávila et al., 2015; Calle, 2011; FAO & CONAFOR), 2012).

En los últimos siete años, el Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria-CIPAV empezó a integrar el yopo pelú *M. trianae* Benth en sistema silvopastoriles intensivos (SSPi) asociado con botón de oro *Tithonia diversifolia*, como árbol disperso en potreros, en cercas vivas y en otros arreglos de siembra en los departamentos de Meta y Arauca, con base en el conocimiento local y de la investigación sobre el desempeño de la especie. Los resultados preliminares de varios ensayos mostraron un excelente desarrollo del yopo, superando incluso el de árboles exóticos ampliamente estudiados y conocidos como *Acacia mangium* Willd. y *Gmelina arborea* Roxb., también establecidos en estos sistemas (Calle et al., 2012). Además, en algunas fincas de los municipios de El Dorado y Cubarral, Meta, el yopo se utiliza también como árbol para sombrío en el cultivo de cacao *Theobroma cacao* L.

El yopo pelú pertenece a la extensa familia de las leguminosas o Fabaceae, constituida por tres subfamilias, 638 géneros y más de 18.000 especies (Barneby, 1991; Forero & Romero, 2005). Las tres subfamilias de leguminosas o fabáceas tienen una relación simbiótica con bacterias fijadoras de nitrógeno de los géneros *Allorhizobium* y *Rhizobium*, entre otros. Esta característica las hace ideales para la asociación con otras plantas en sistemas productivos.

En el año 2013, *M. trianae* fue establecida por primera vez en una zona de vida diferente de la región donde es endémica. Esto ocurrió en la reserva natural El Hatico, situada en la zona de vida bosque seco Tropical (bs-T) según Holdridge en el Valle del Cauca, donde se plantó en cercas vivas para la división de potreros, asociado con caoba *Swietenia macrophylla* King., especie amenazada por el valor de su madera. Durante el seguimiento de las primeras etapas del desarrollo de los árboles de yopo, se registró un incremento promedio de altura de 1,10 m por semestre, lo cual lo hace atractivo para diseños de siembra para sistemas agrícolas, ganaderos y de restauración ecológica (Calle Díaz et al., 2017).

Aunque se han adelantado algunos trabajos de seguimiento del desarrollo de *M. trianae* en plantaciones, el conocimiento sobre esta especie como recurso genético forestal aún es deficiente. Su estado de conservación (ecológica y genética) no ha sido evaluado. Además, se requiere información más detallada sobre la morfología de la especie, como contribución a la taxonomía. Por otra parte, no se conocen datos publicados sobre su patrón fenológico. Es necesario avanzar en la investigación sobre esta especie endémica para promover su uso en sistemas de producción agropecuaria y de conservación.

3. Objetivos e hipótesis

3.1 Objetivo general

Evaluar la fenología reproductiva, la tasa de crecimiento, diversidad genética y descripción morfométrica del yopo pelú *Mimosa trianae* Benth para sustentar el valor de este árbol endémico como recurso genético forestal y especie multipropósito adecuada para sistemas agroforestales y silvopastoriles.

3.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar el patrón temporal de la reproducción de *M. trianae* Benth, su fecundidad y la relación de la fenología con diferentes variables ambientales en el Valle del Cauca y Piedemonte Orinocense de Colombia.
2. Evaluar la tasa de crecimiento de árboles de *M. trianae* Benth establecidos en cercas vivas en el Valle del Cauca.
3. Evaluar preliminarmente la diversidad genética de *M. trianae* Benth en su región de endemismo (Piedemonte Orinocense) y en el Valle del Cauca.
4. Contribuir al conocimiento botánico de la especie a través de una descripción morfométrica de especímenes en el Valle del Cauca.

3.3 Hipótesis

Los patrones fenológicos y la diversidad genética de *M. trianae* variarán entre las dos regiones de estudio (Piedemonte Orinocense y Valle del Cauca). La tasa de crecimiento evaluado en una cerca viva *ex situ* (Valle del Cauca) no diferirá entre los árboles de la población. Los datos de morfometría complementarán las descripciones botánicas realizadas por otros autores.

4. Marco teórico

4.1 Recursos genéticos forestales

Los árboles, componentes claves de los ecosistemas naturales y agroecosistemas, tienen una alta diversidad genética intra e interespecífica que facilita su adaptación a diferentes condiciones medioambientales (FAO et al., 2007). Los árboles generan servicios ecosistémicos de soporte como la regulación del ciclo hidrológico, fijación de nitrógeno, otros ciclos biogeoquímicos y conservación del suelo, y servicios de aprovisionamiento como la producción de madera, frutos y medicinas, entre otros. Su uso en los programas de conservación y producción se basa en las asociaciones que tienen y los beneficios que prestan a muchas otras especies de flora y fauna (Murgueitio et al., 2015).

A pesar de la importancia de las especies arbóreas silvestres, la información disponible para la mayor parte de éstas es escasa, en comparación con el conocimiento que existe sobre especies que han sido valoradas por sus usos comerciales, especialmente, para la producción de madera, frutos o materias primas para las industrias farmacéutica y cosmética, en las que se han concentrado los estudios (Ochoa-Gaona et al., 2008).

En la caracterización de los recursos genéticos forestales se deben tener en cuenta las variables cuantitativas y cualitativas que contribuyen al conocimiento integral de las especies, incluyendo la morfología, el crecimiento, los estudios de citogenética, marcadores moleculares y etnobotánica, entre otros (Gómez Zuluaga, 2012).

En África y en países como Tailandia, Argentina, Brasil, se han creado instituciones encargadas del manejo y planificación para la conservación de rodales naturales de árboles de interés por sus servicios y productos, los cuales se encuentran en peligro de extinción o amenazados. Los planes de manejo contemplan la conservación de germoplasma ex situ e in situ, recolección de semillas, regeneración natural, plantaciones

y enriquecimiento de rodales naturales (FAO et al., 2007). En Colombia la Fundación CIPAV promueve la incorporación de árboles de interés para la conservación en diferentes modelos silvopastoriles y de restauración ecológica en los proyectos que ejecuta en diferentes regiones del país (Calle, 2011; Uribe et al., 2011).

4.2 Restauración ecológica

La restauración ecológica es el proceso de asistir la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado, transformado o destruido como consecuencia de disturbios que afectan directamente a la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Chará & Giraldo, 2011). Estos disturbios pueden ser antrópicos, como la deforestación, minería, degradación de los suelos, contaminación o sobreexplotación, o pueden ser naturales como los incendios, deslizamientos y erupciones volcánicas, entre otros ((SER), 2004; Calle et al., 2008).

Los proyectos de restauración ecológica suelen tener en cuenta los siguientes criterios: 1. Plantear objetivos de corto y largo plazo; 2. Usar un ecosistemas de referencia (área cercana a la zona degradada, que alberga un conjunto de especies y refleja las condiciones del sitio antes de la perturbación); 3. Aprovechar el conocimiento local de los pobladores, dueños y tomadores de decisiones sobre la tierra (esto garantiza en gran medida el éxito del proceso); 4. Uso de especies locales, con base en la observación del ecosistema de referencia y la información de la población local 5. Plan de monitoreo del progreso de la restauración en el sitio, lo cual permitirá obtener información para contribuir a nuevos proyectos (Alavalapati, Shrestha, Stainback, & Matta, 2004; Calle Díaz, Giraldo Sánchez, Giraldo Sánchez, & Tafur, 2014; SER, 2004).

4.3 Sistemas agroforestales (SAF)

Los sistemas agroforestales son modelos de producción que integran los cultivos con especies arbóreas y/o arbustivas, con el objetivo principal de generar alimentos para humanos y animales domésticos y otros productos comercializables como gomas, resinas, fibras y plantas medicinales. Dado que las interacciones entre los componentes de un SAF hacen que el sistema se asemeje a un bosque natural en sus proceso de autorregulación, reciclaje de nutrientes y otros ciclos biogeoquímicos (Altieri & Nicholls, 2007; Calle et al.,

2012; Murgueitio et al., 2015; Reinoso Perez, 2014) estos arreglos de múltiples estratos pueden requerir una menor intervención humana que otros sistemas agrícolas para sostener la productividad y son más compatibles con la conservación del suelo y la biodiversidad.

Los Sistemas Silvopastoriles intensivos (SSPi) combinan gramíneas de alta producción de biomasa con arbustos forrajeros en alta densidad para el ramoneo directo del ganado, árboles de sombrío y palmas nativas que proveen madera, leña y frutos para usos complementarios. Estos modelos de múltiples estratos logran un aumento en la producción de carne o leche por hectárea con un manejo sustentable que conserva los suelos y el recurso hídrico, mejora la conectividad en el paisaje y aprovecha eficientemente el espacio de pastoreo del ganado. Los sistemas silvopastoriles integrados con la restauración ecológica, contribuyen a la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Calle, 2011; Calle et al., 2012; Chará, Murgueitio, Zuluaga, & Giraldo, 2011; Murgueitio et al., 2015; Uribe et al., 2011; Williams-Linera, 1996; Zuluaga et al., 2011).

4.4 Descripción de *Mimosa trianae* Benth

El yopo pelú (*Mimosa trianae* Benth), pertenece a la familia Fabaceae, una de las más diversas en especies dentro de las plantas con flores. *M. trianae* hace parte de la subfamilia Mimosoideae que incluye entre 50 a 60 géneros y cerca de 2.500 especies en todo el mundo. En Colombia existen aproximadamente 32 géneros y 345 especies de Mimosoideae. Entre los géneros más conocidos están *Acacia*, *Albizia*, *Calliandra*, *Inga*, *Mimosa*, *Parkia*, *Pithecellobium*, *Prosopis* y *Zygia* (Barneby, 1991; Forero & Romero, 2005; Santos-Silva, Simon, & De Azevedo Tozzi, 2015).

M. trianae es un árbol endémico del piedemonte Orinocense; crece como árbol pionero de larga vida, en las áreas de piedemonte y sabanas naturales entre 500 a 1600 msnm, en los departamentos de Cundinamarca, Casanare y Meta (Forero & Romero, 2005; Romero, 2016). Tradicionalmente su madera se ha utilizado como combustible en restaurantes dedicados a asados de carne de los Llanos Orientales de Colombia y la extracción excesiva ha ejercido presión sobre los rodales naturales de la especie (Calle, Galindo, & Murgueitio, 2010).

Según la descripción publicada en el libro Plantas Útiles de la Cuenca del Orinoco (Acero, 2007) y en las muestras del Herbario de la Universidad Nacional de Colombia (colecta 550149, Galindo & Romero, 2011) *M. trianae* se conoce con los nombres comunes de guayacán, guayacán yopo, yopo rojo y yopo pelú. Este árbol forma rodales naturales en suelos con buen drenaje. Alcanza una altura superior a 10 m y un fuste hasta de 150 mm de diámetro. La copa es rala; las hojas son compuestas bipinadas, alternas y helicoidales, con 10 a 21 pares de folíolos de color verde oscuro adaxial y lanosos en la cara abaxial. Las inflorescencias son panículas de espigas sin hojas, con numerosas flores blancas tetrámeras. Los frutos son legumbres articuladas y planas llamadas craspedios (Barneby, 1991; Santos-Silva et al., 2015). Se usa en sistemas silvopastoriles, agroforestales, plantaciones forestales y en áreas de conservación (Calle et al., 2010). Matheo Hernández Smith. (23 de septiembre de 2016, comunicación personal).

4.5 Fenología de especies nativas

La fenología es la ciencia que estudia la relación entre los factores climáticos y los ciclos de los seres vivos. La fenología de las plantas analiza la variación temporal en los patrones de recambio foliar (fase vegetativa), floración y fructificación (fase reproductiva) de una especie, a lo largo del año y durante el ciclo la vida. Estos patrones están influenciados por factores genéticos, climáticos (temperatura, precipitación, humedad relativa), edafológicos, bióticos y otros relacionados con las estaciones y el ciclo solar (fotoperíodo). Los datos fenológicos se recolectan por medio de observaciones periódicas de un grupo de individuos a lo largo de un periodo de tiempo que no debe ser inferior a un año. Diferentes variables ambientales pueden incidir en el recambio foliar o la iniciación del ciclo reproductivo. Por esta razón es importante explorar la relación entre las fases fenológicas y variables como el fotoperíodo y la lluvia (Cárdenas et al., 2015; Mantovani, Ruschel, Sedrez dos, Puchalski, & Nodari, 2003; Ochoa-Gaona et al., 2008).

El conocimiento y comprensión de los patrones temporales, su duración, el grado de sincronía de las fases fenológicas, la fecundidad de los árboles y la relación de estos factores con el medio, contribuyen al conocimiento de la ecología de las especies silvestres y permiten planificar la colecta de semillas y/o frutos para su propagación. Esta información es clave para generar estrategias de conservación en programas de recursos genéticos, manejo forestal, usos en agroecosistemas, restauración ecológica y planificación de áreas

silvestres (Bach, 2000; Badeck et al., 2004; Calle, 2002; Françoso et al., 2014; Freitas & Bolmgren, 2008; Mantovani et al., 2003).

4.6 Evaluación de la tasa de crecimiento de los árboles

La dasometría es la ciencia que estudia el crecimiento de los árboles y la producción forestal. Esta se divide en dos partes: 1) dendrometría, que es la medición del tallo, diámetro, forma y estimación del volumen de los árboles de manera individual 2) epidimetría, que se refiere al estudio de las técnicas de medición y leyes que regulan el crecimiento y producción de los árboles y las áreas forestales (Detlefsen & Somarriba, 2012; Prodan, Peters, Cox, & Real, 1997).

La tasa de crecimiento de los árboles se calcula con base en medidas periódicas de variables como el diámetro del tallo, altura, amplitud de la copa y número de ramas, entre otras. Estas variables sirven para entender cuál es el potencial de desarrollo de la planta en el tiempo, calcular el volumen de madera o biomasa que podría producir la especie de interés en un bosque, un sistema agroforestal o bajo otro tipo de manejo (Detlefsen & Somarriba, 2012; Muñoz, Coria, García, & Balam, 2009; Prodan et al., 1997; Williams-Linera, 1996).

4.7 Diversidad genética

La diversidad genética es la variación de los genes en los individuos o poblaciones de una especie y puede modificarse como resultado del manejo o los cambios medioambientales en los ecosistemas y sistemas de producción; con el tiempo, estos cambios pueden dar origen a variedades, razas o fenotipos diferentes (Bellon et al., 2009; Mendoza-Maya et al., 2015; Valdés de la Cruz et al., 2010). Se estima que cerca del 90% de la diversidad biológica se concentra en los países ubicados en la franja intertropical, entre estos, Colombia considerado como un país megadiverso por el gran número de especies que alberga con relación a su tamaño (Gómez Zuluaga, 2012; MAVDT & Humboldt, 2011).

El conocimiento de la diversidad genética es fundamental para caracterizar la estructura genética de las poblaciones y especies de interés para la producción agropecuaria, industrial y la conservación (FAO, 2010; FAO et al., 2007). Además, contribuye en las

estrategias de investigación de especies silvestres subutilizadas con potencial para los sistemas de producción, incluyendo entre éstas las endémicas, y al manejo sustentable de las especies conocidas (Latournerie et al., 2002)

4.8 Marcadores moleculares

Los estudios pioneros de la diversidad genética de las especies aplicaron técnicas como la electroforesis, los marcadores bioquímicos y enzimáticos y los microsátélites, entre otros (Becerra & Paredes, 2000). Los marcadores moleculares permiten estudiar el genoma de un organismo al nivel del ADN; por lo tanto, no son afectados por variaciones relacionadas con el desarrollo o el ambiente. Sin embargo, es necesario tener claridad en la información morfológica de las especies a evaluar. Estas técnicas contribuyen a estimar con precisión la variación de manera intra e interespecífica (Muñoz, Morillo, & Morillo, 2008).

Los marcadores moleculares, se han venido utilizando en diferentes investigaciones para la identificación de especies y variedades, la diferenciación de individuos y clones, los análisis filogenéticos y taxonómicos, el mapeo de genomas y el mejoramiento genético, entre otras (Gallo, Marchelli, Azpilicueta, & Crego, 2006; Gómez Zuluaga, 2012; Morillo-Coronado, Morillo-Coronado, González-Mendoza, & Morales-Ávila, 2016; Morillo, Morillo, & Zamorano, 2005). Cada uno de los marcadores moleculares desarrollados y utilizados tiene diferentes propiedades, aplicaciones y alcances en las especies evaluadas. En la tabla 1 se muestran algunos de los marcadores utilizados en investigaciones sobre plantas.

Tabla 1. Marcadores moleculares utilizados en investigación de recursos fitogenéticos.

Marcador/ propiedades	Descripción	Propiedades*	Aplicaciones	Polimorfismo**
Isozimas	Marcadores con expresión proteínica	Codominante	Estudios de genética de poblaciones y estudios de sistemas de apareamiento	Bajo a medio
	Marcador fenotípico			
RFLPs	Polimorfismo de longitud en fragmentos de restricción	Codominante	Mediciones de diversidad genética; caracterización de material genético	Alto

Marcador/ propiedades	Descripción	Propiedades*	Aplicaciones	Polimorfismo**
RAPDs	Polimorfismo ampliado al azar	Dominante	Mediciones de diversidad genética	Medio
AFLPs	Polimorfismo de longitud en fragmentos amplificados	Dominante	Mediciones de diversidad genética	Alto
SSRs	Repeticiones de simple secuencia (microsatélites)	Codominante	Estudios de genética de poblaciones	Alto
STS	Sitio marcado en la secuencia	Codominante	Estudios de genética de poblaciones	Medio a alto
SNP	Polimorfismo de sencillo nucleótido	Codominante	Estudios de genética de poblaciones	Muy alto
Secuenciación de genes	Cloroplasto (cpADN)	Codominante	Estudios de genética de poblaciones	Bajo a medio
	mitocondrial (mtADN)			
	Nuclear (nADN)			
Conjunto de pedazos de ADN	Micro matrices de secuencias de ADN	Dominante	Identificación de genotipos y estudios de expresión de genes	Alto
RAMs	Microsatélites amplificados al azar	Codominante	Estudios de diversidad genética, identificación de individuos estrechamente relacionados, estudios de mapeo de ligamiento y evolutivos.	Alto

* *Propiedades: dominante (falta de capacidad para diferenciar individuos homocigóticos de individuos heterocigóticos; codominante (capacidad para detectar heterocigotos, o individuos con dos alelos diferentes en el mismo locus).*

** *Polimorfismo: se indica aquí como la capacidad para detectar loci polimórficos, basados en mediciones de heterocigosidad.*

Fuente: Adaptado de (FAO, 2013; Muñoz et al., 2008).

La técnica RAMs (Random Amplified Microsatellites) fue propuesta por Zietkiewicz *et al.* 1994, como un método para el análisis de diversidad genética de plantas, animales y microorganismos, utilizando cebadores basados en microsatelites con los beneficios de los RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA). Utiliza un solo primer de secuencia arbitraria

y detecta un solo alelo por locus. Los RAMs se basan en la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), su reproductividad es alta y detecta polimorfismo del ADN de especie e individuos de forma intra e interespecífica. Dependiendo de la especie de estudio se requiere ADN de buena concentración y calidad, cebadores de secuencias repetidas cortas y conocidas con una longitud de 18 pares de bases y un extremo 5' "degradado", los primers que amplifiquen y unas condiciones de amplificación específica por cada primer (tabla 2).

Esta técnica ha sido ampliamente utilizada en especies como uchuva (*Physallis peruviana* L.) (Bonilla Betancourt, Espinosa Piedrahíta, Posso Terranova, Vásquez Amariles, & Muñoz Flórez, 2008), mora (*Rubus* sp.) (Morillo et al., 2005), guayaba (*Psidium guajava* L.) (Sanabria, García, Muñoz, & Díaz, 2006), nacedero (*Trichantera gigantea*) (Posso, Cárdenas Henao, Murgueitio, Leterme, & Muñoz Flórez, 2011), guadua (*Guadua angustifolia* Kunth), (Rugeles Silva, 2011) manzana (*Malus communis*), pera (*Pyrus communis*), albaricoque (*Prunus armenica*) y almendro (*Prunus dulcis*) (Morillo-Coronado et al., 2016).

4.9 Secuenciación

La metodología de códigos de barra consiste en la secuenciación de regiones específicas del ADN con el objetivo de identificar organismos al menor nivel taxonómico como complemento a los métodos de taxonomía basados en claves físicas para la observación de características biológicas (Padial & De La Riva, 2007). Contribuye a minimizar los problemas taxonómicos debidos a la plasticidad fenotípica y las diferencias ontogénicas, entre otros factores (Paz, Gonzalez, & Crawford, 2011). Al obtener las secuencias de los organismos estudiados y para lograr la identificación o el objetivo del estudio, se compara con secuencias de especímenes de referencia que reposan en organizaciones científicas (GenBank) para su conservación y que estén a disposición de los investigadores a nivel mundial (Goldstein & DeSalle, 2011; Lanteri, 2007; Paz et al., 2011). La secuenciación del ADN permite no sólo la identificación de especímenes sino también estimar la variación entre individuos y entre poblaciones (Lanteri, 2007).

Los códigos de barras que se utilizan para animales y plantas son diferentes. En el caso de las plantas se basó en el genoma nuclear y plastídico donde se concluyó que un método

multilocus era necesario para lograr resultados confiables (Cowan, Chase, Kress, & Savolainen, 2006; Paz et al., 2011). Después de diversas investigaciones se aprobaron las regiones plastídicas matK y rbcL para el trabajo de barcode con plantas. Sin embargo, los resultados de algunos trabajos muestran que, en especies muy cercanas, estas regiones no han presentado diferenciación suficiente. Como resultado de esto se ha propuesto la región transgénica psbA-trnH, el intron trnL y la región nuclear ITS (Gonzalez et al., 2009; Paz et al., 2011; Yao et al., 2010).

Los códigos de barra no sólo se utilizan para completar la identificación o la relación intra e interespecífica de las especies y sus poblaciones. También se pueden llevar a cabo estudios que contribuyan al conocimiento ecológico y conservación de la biodiversidad como es el caso de estudios realizados en aves y mamíferos donde se obtienen códigos de barra de las muestras del tracto digestivo o excremento para conocer de qué especies de plantas se alimentan (Soininen et al., 2009).

4.10 Caracterización morfométrica

El estudio de la morfometría de las plantas, caracteriza similitudes o diferencias entre individuos de las especies evaluadas, por medio de observaciones de las características macroscópicas y microscópicas de la forma, estructura y dimensiones de las plantas (Pérez-García & Mendoza, 2002). Esta caracterización es el primer paso en el conocimiento de los recursos genéticos, para planes de conservación, manejo, uso adecuado y mejoramiento (Hernández, 2013).

En la identificación o caracterización de especies, variedades o razas vegetales, los rasgos morfológicos y morfométricos juegan un papel importante y los cambios en estas variables a lo largo de los ciclos biológicos de las plantas, indican fases o etapas en su desarrollo fenológico (Meza-Vázquez, Lépiz-Ildefonso, López-Alcocer, & Morales-Rivera, 2015).

Para llevar a cabo la caracterización morfométrica, es necesario seleccionar un conjunto de descriptores morfológicos que pueden ser cualitativos o cuantitativos según la especie y el objetivo del estudio a desarrollar. Los descriptores deben ser fácilmente observables y medibles en el tiempo (Barrera, 2003; Franco & Hidalgo, 2003; Gómez-Zuluaga, 2012; Sanabria, García, Díaz, & Muñoz, 2006).

5. Materiales y métodos

5.1 Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en el Piedemonte Orinocense, de donde es endémico el yopo pelú, y el Valle del Cauca, Colombia, donde el árbol fue plantado en sistemas ganaderos.

El Piedemonte Orinocense se encuentra en las estribaciones orientales de la Cordillera Oriental. La clasificación de la zona de vida según Holdridge (1987) es bosque muy húmedo tropical (bmh-T). Las actividades económicas principales de la región son la ganadería bovina y en menor escala la agricultura (plátano, yuca, palma de aceite, maracuyá, entre otros). El trabajo se llevó a cabo en dos localidades:

1. Municipio de Cubarral, Departamento del Meta (figura 1), en la finca Villa Sandy de la vereda San Miguel, donde se han realizado trabajos de agricultura ecológica, propagación de especies nativas y donde se establecieron cercas vivas de *M. trianae*. La altura media es de 560 msnm, rango de temperatura ambiental entre 23 a 30°C, humedad relativa de 65% (Gobernación del departamento del Meta, 2017) y precipitación monomodal con promedio anual de 5200mm, los picos en los meses de mayo a julio y la época seca entre agosto y abril (Jaramillo & Chaves, 2000) La zona de trabajo se encuentra en las coordenadas N 3° 47'28" W 73° 46'29 ".

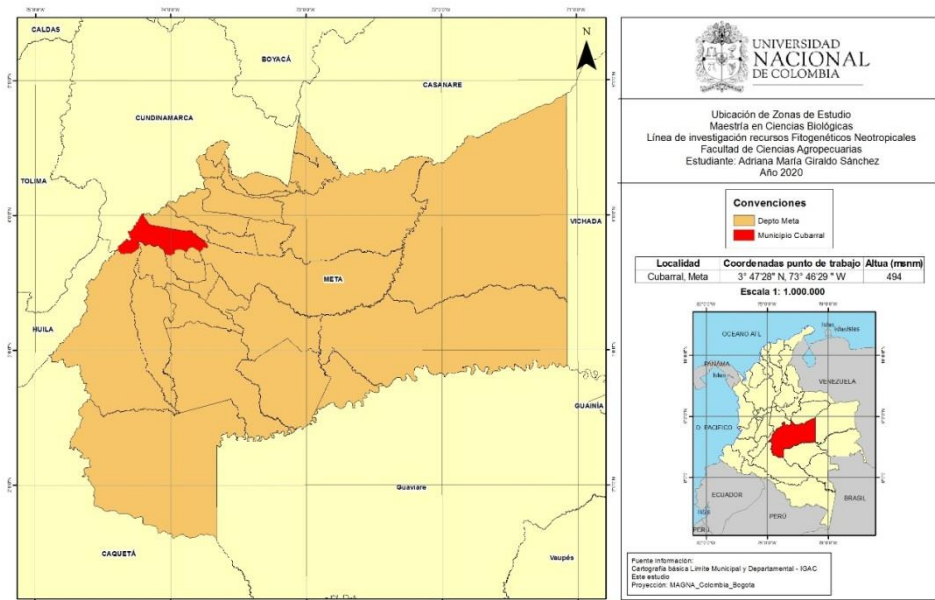


Figura 1. Ubicación espacial del área de estudio. Municipio de Cubarral, departamento de Cundinamarca, Colombia (Elaboración: Ingeniero Santiago Martínez Bacca).

1. Municipio de Medina, Departamento de Cundinamarca (figura 2), veredas Choapal y Fátima, donde existen rodales naturales de yopo pelú. La zona se encuentra a una altura media de 576 msnm, con temperatura promedio de 25°C, humedad relativa de 85% (Alcaldía de Medina, 2019) y precipitación monomodal con un promedio anual de 4600mm y picos de lluvia en los meses de mayo a julio (Jaramillo & Chaves, 2000). Las actividades económicas principales son la ganadería y la agricultura. La zona de estudio se ubica en las coordenadas geográficas 4° 32' 40" N 73° 21'28" W.

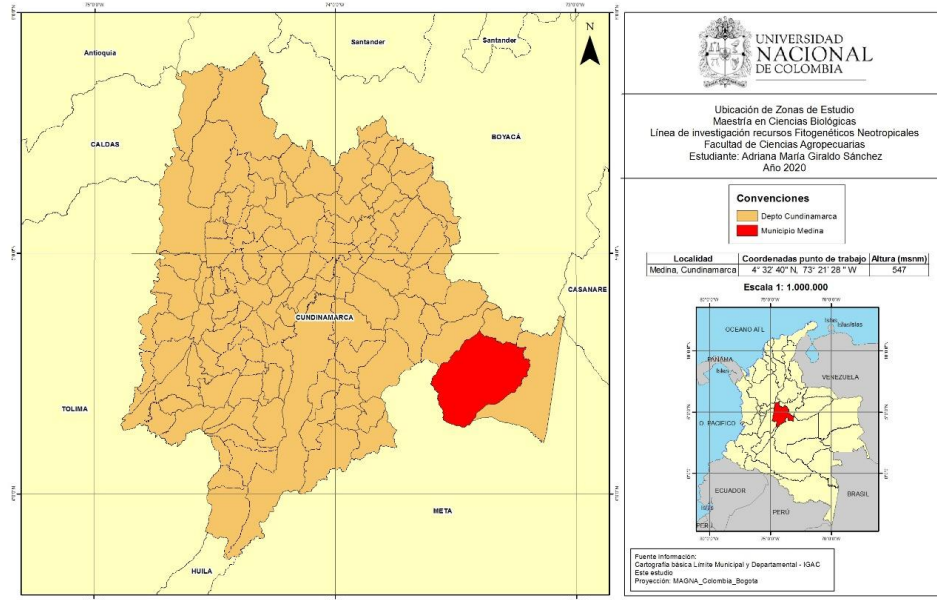


Figura 2. Ubicación espacial del área de estudio. Municipio de Medina, departamento del Meta, Colombia (Elaboración: Ingeniero Santiago Martínez Bacca).

En el Valle del Cauca, el trabajo se llevó a cabo en la Reserva Natural El Hatice ubicada en el municipio de El Cerrito (figura 3) en las coordenadas N 3° 38' 04" W 76° 19' 22", con altura media de 1000 msnm, temperatura promedio de 24°C (Alcaldía de El Cerrito, 2016) y precipitación bimodal (marzo a mayo y octubre a diciembre), con un promedio anual de 750mm (Jaramillo & Chaves, 2000). La clasificación de la zona de vida según Holdridge (1987) es bosque seco tropical (bs-T). La actividad económica principal de la región es la agricultura, basada en producción intensiva de caña de azúcar. Sin embargo, desde hace varias décadas los propietarios de El Hatice han aplicado los principios agroecológicos a la producción agropecuaria, han liderado y facilitado varios proyectos de investigación, además han integrado especies nativas en los sistemas silvopastoriles. En el año 2013, se plantaron 170 árboles de *M. trianae* Benth en cercas vivas de El Hatice, con el objetivo de hacer el seguimiento del desarrollo de esta especie de estudio *ex situ*.

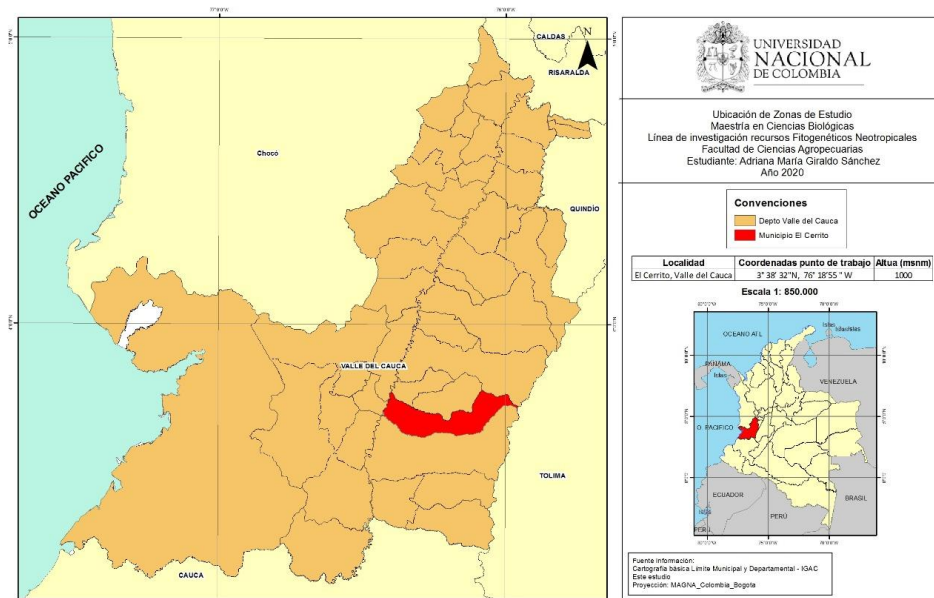


Figura 3. Ubicación espacial del área de estudio. Municipio El Cerrito, departamento del Valle del Cauca, Colombia (Elaboración: Ingeniero Santiago Martínez Bacca).

5.2 Diseño de la investigación

5.2.1 Fenología

En el Piedemonte Orinocense, el seguimiento fenológico se llevó a cabo en 60 árboles, 30 ubicados en rodales naturales del municipio de Medina y 30 en cercas vivas plantadas en Cubarral en el año 2009. En la reserva natural El Hatico (Valle del Cauca), se estudiaron 45 árboles, plantados en una cerca viva en el año 2013.

Se utilizó el método de transecto para seleccionar los árboles del monitoreo a lo largo de un recorrido por las áreas de siembra o rodales naturales (Bencke & Morellato, 2002; D'eca-Neves & Morellato, 2004). En la selección de los árboles, se tuvieron en cuenta las condiciones de desarrollo y se prefirieron árboles con una altura superior a 5 m para garantizar que hubieran alcanzado la etapa reproductiva. Además, sólo se evaluaron árboles de aspecto saludable para evitar un sesgo en los datos causado por individuos enfermos (Cárdenas et al., 2015; Pérez, Villalba, & Almaza, 2013). Cada individuo fue marcado con una etiqueta de plástico siguiendo una numeración consecutiva, que permitió identificar cada árbol en el registro (Ochoa-Gaona et al., 2008). Se tomaron muestras botánicas para confirmar su identificación y las coordenadas geográficas para su

ubicación. De cada árbol se determinó la altura, para lo cual se utilizó una vara telescópica de 15 m; el diámetro a la altura del pecho (DAP) tomado con una cinta métrica; la cobertura de dosel medido con un densiómetro esférico de copa, y el número de ramas de primer y segundo orden con un conteo.

Las visitas para el seguimiento fenológico se realizaron una vez al mes, durante diez meses en las localidades situadas en el departamento de Meta. Sin embargo, en El Cerrito se aumentó la frecuencia de las observaciones a dos veces por mes durante la etapa reproductiva con el fin de obtener estimativos más confiables de la fecundidad en la plantación *ex situ* (Justiniano & Fredericksen, 2000; Talora & Morellato, 2000). Para la toma de datos en campo y el análisis estadístico se tomó como base (con algunas modificaciones) la metodología descrita y utilizada por Calle (2002) en la investigación sobre fenología y regeneración natural del arboloco *Montanoa quadrangularis* de la siguiente manera:

Para determinar el recambio foliar se registró la abundancia relativa de hojas nuevas (recién formadas) en cada árbol y se asignó para cada situación encontrada un valor (Calle, 2002; Falcao & Clement, 2000; Pérez et al., 2013):

- a. 0 (ninguna) no hay presencia de hojas nuevas en el árbol.
- b.1 (pocas) en menos del 50% del árbol hay hojas nuevas.
- c. 2 (muchas) en más del 50% se observan hojas nuevas.

Para describir las diferentes fenofases reproductivas se utilizaron registros de cinco etapas de la formación de flores y frutos como se resume en las figuras 4-8 (Calle, 2002; Falcao & Clement, 2000):



Brotos incipientes



Brotos redondos de color verde



Figura 4. Etapa 1. Inflorescencias de flores en preantesis: desde brotes incipientes hasta brotes redondos de color verde.



Figura 5. Etapa 2: Inflorescencias con flores en antesis: flores completamente formadas, con cáliz de color amarillo, corola blanca, estambres y pistilo extendidos.



a. Infrutescencias inmaduras con brotes de legumbres incipientes (fase 1)



b. Infrutescencias inmaduras con legumbres en formación (fase 2)



c. Infrutescencia inmadura con legumbres formadas de color verde y semillas en formación (fase 3)

Figura 6. Etapa 3. Infrutescencias inmaduras: desde los brotes incipientes de las legumbres hasta aquellas recién formadas, de color verde.



Figura 7. Etapa 4. Infrutescencia madura, legumbres bien formadas de color amarillo pardo, con semillas bien formadas de color verde.



Figura 8. Etapa 5. Infrutescencia seca, legumbre de color café, con semillas bien formadas de color café claro.

Para describir los patrones temporales de la floración y fructificación, en cada árbol y en cada jornada de seguimiento se contaron las ramas que tenían estructuras en cada una de las etapas descritas anteriormente (inflorescencias e infrutescencias con diferentes grados de maduración).

Para estimar la fecundidad de cada árbol en términos del número de espigas con flores y frutos, se seleccionaron al azar tres ramas en las partes baja, media y superior del árbol. En estas tres ramas se hizo un conteo detallado de las inflorescencias en etapas 1 y 2, el número de espigas con flores por inflorescencia, las infrutescencias en etapas 3, 4 y 5 y los números de raquis y de legumbres por infrutescencia. De este conteo se obtuvo un promedio, el cual se multiplicó por el número total de las ramas (figura 9).

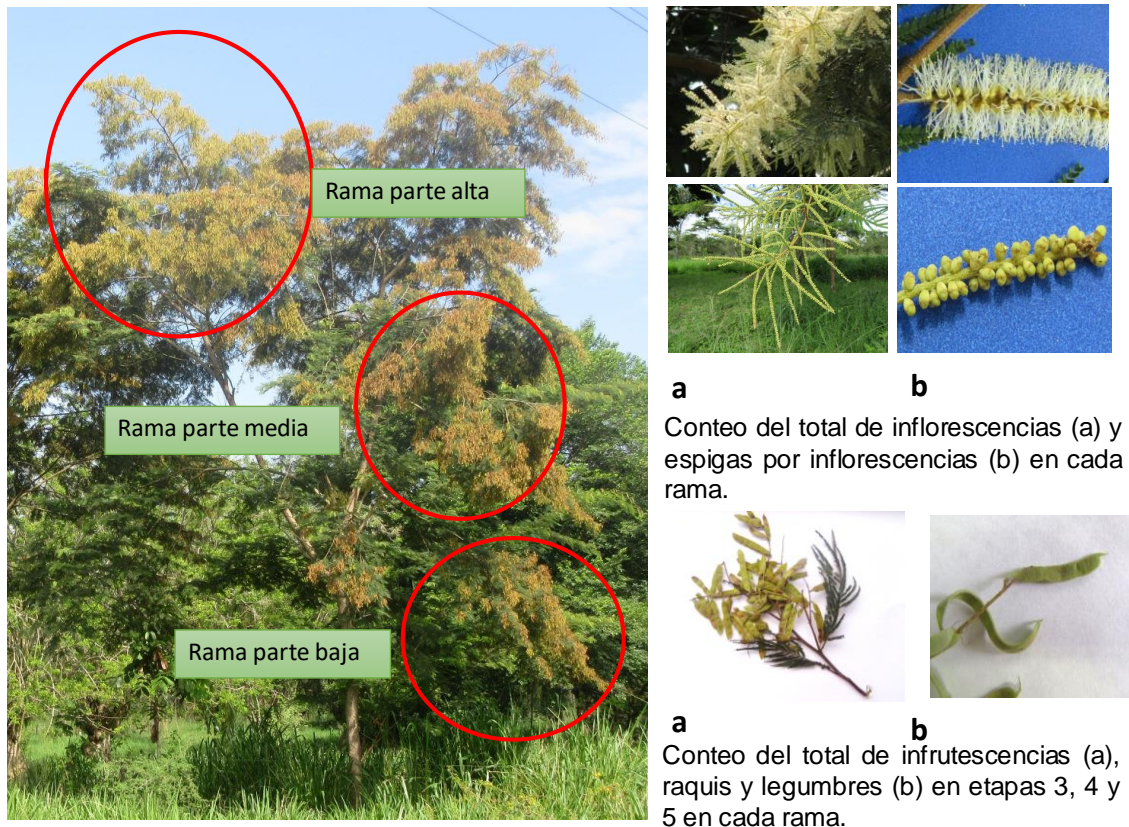


Figura 9. Método del conteo total de inflorescencias y espigas, infrutescencias, raquis y legumbres en sus diferentes etapas en cada rama.

Para evaluar el efecto del tamaño de los árboles sobre la fecundidad, se exploró la relación del diámetro a la altura del pecho, la altura de los árboles y el área de copa con las cosechas de inflorescencias e infrutescencias (Calle, 2002; Falcao & Clement, 2000). Las variables ambientales de pluviosidad (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM) y fotoperíodo (Van der Staay, 2019) se utilizaron para relacionarlas con dos fenofases: la floración y el recambio foliar (Calle, 2002; Françoso et al., 2014; Ochoa-Gaona et al., 2008; Pérez et al., 2013).

5.2.2 Crecimiento de *Mimosa trianae* Benth

Durante el período de estudio, se registró la muerte del 11% de los árboles que habían sido plantados en 16 cercas vivas de divisiones de potreros en el año 2013. Como consecuencia de esto, el crecimiento se evaluó en un número variable de árboles en la

Reserva Natural El Hatico (167 a 150 individuos). Los árboles habían sido plantados a una distancia de 6 m, asociados con árboles de caoba *Swietenia macrophylla* King. Las mediciones se realizaron cada seis meses durante un periodo de seis años (2013 a 2019).

Los datos de altura, diámetro y sobrevivencia obtenidos entre 2013 y 2016 se analizaron preliminarmente y se publicaron (Calle Díaz et al., 2017). Este estudio amplía los datos publicados en 2017 con los registros obtenidos entre 2017 y 2019, con el objetivo de correlacionar las variables evaluadas. Los registros de 6 años consecutivos proporcionan una herramienta para estimar el crecimiento y prever los tiempos de cosecha.

Se evaluaron las siguientes variables:

1. *Altura*: Se midió cada árbol con una pértiga telescópica (15m) desde la copa hasta la base del mismo.
2. *Sobrevivencia*: Se registró el número de individuos vivos y muertos; posteriormente los datos se compararon con el número de árboles establecidos inicialmente.
3. *Diámetro*: En los individuos con una altura inferior a 1,30m se midió el diámetro basal (DB) a 10 cm del suelo, y en los árboles con una altura mayor a 1,30m se registró el diámetro a la altura del pecho (DAP).

5.2.3 Diversidad genética

Se utilizó la técnica RAMs (Random Amplified Polymorphic DNA) que consiste en el análisis molecular por medio de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) utilizando microsatélites aleatorios que amplifican fragmentos de ADN de secuencia corta que se encuentran en todo el genoma. Con esta metodología se obtiene la detección de polimorfismo en el ADN intra e inter específico, información sobre la diversidad genética, y la estructura genética con la variación al interior de la especie, población y entre sitios geográficos (Muñoz et al., 2008; Zietkiewicz, Rafalski, & Labuda, 1994). En la aplicación de esta técnica se tuvo como referencia la metodología descrita por (Morillo et al., 2005; Muñoz et al., 2008; Rugeles Silva, 2011). Para determinar la diversidad genética de *M.*

trianae, se realizó una fase de campo con la colecta de material vegetal y una de laboratorio siguiendo los protocolos mencionados.

▪ **Colecta del material vegetal**

El estudio se llevó a cabo en los árboles evaluados en el seguimiento fenológico: 30 en la localidad de Cubarral, (identificados como población 1V en el análisis), 30 en Medina (población 2M) y 45 en El Cerrito (población 3E).

De cada árbol se tomaron dos muestras de brotes foliares nuevos, las cuales se conservaron en sílica gel, bolsas de papel y de plástico de cierre hermético para transportarlas hasta el Laboratorio de Biología Molecular de la Universidad Nacional de Colombia (sede Palmira) y llevar a cabo los análisis correspondientes (Posso et al., 2011; Rugeles Silva, 2011).

▪ **Extracción de ADN**

Para la extracción del ADN se hicieron ensayos con el protocolo Doyle y Doyle (1990), utilizado en otros estudios con plantas en el Laboratorio de Biología Molecular de la Universidad Nacional de Colombia, con el objetivo de ajustarlo a la especie de estudio (Marghali, Zitouna, Gharbi, Chennaoui-kourda, & Trifi-farah, 2014; Muñoz et al., 2008; Posso et al., 2011; Sánchez-coello et al., 2012).

El protocolo consistió en tomar las muestras y macerarlas en nitrógeno líquido para conservar el ADN e inhibir metabolitos secundarios que pudieran interferir en el proceso de extracción. Posteriormente se utilizó un gramo del tejido macerado para la extracción de ADN y el restante se almacenó en tubos de 1,5ml marcados con información del lugar de colecta en un ultracogelador a -80°C para su conservación en banco de ADN.

▪ **Evaluación del ADN**

Para la medición de la calidad, concentración y cantidad de ADN, se utilizó el espectrofotómetro de micro volumen (Colibri Titertek Berthold). Se determinó la cantidad de ADN por muestra para la dilución y posterior utilización en la PCR. Se verificó la concentración de la dilución; para esto se utilizaron 2ul de ADN (diluido) de cada muestra,

con 1 µl de una solución de Gel Red (1:1 µl) más azul de bromofenol y se corrieron en gel de agarosa al 0.8% con un tampón de TBE 0.5X (Tris-borato 0.045M; EDTA 0.001M) en una cámara (Labnet™ ENDURO™ Gel XL Electrophoresis System E0160230V) a 100 voltios por 30 minutos. Se utilizó el marcador de peso (GeneRuler 100pb DNA Ladder) para comprobar la presencia de ADN (Morillo et al., 2005; Muñoz et al., 2008; Rugeles, 2012).

Para cada una de las muestras la dilución del ADN se calculó a una concentración de 10ng/µl. La cantidad de ADN concentrado por muestra se diluyó en agua purificada Milli-Q y se obtuvo un volumen final de 50 µl. Esta dilución se utilizó para todo el proceso de laboratorio. El ADN concentrado se almacenó a -20°C para conservación. Se verificó la concentración de ADN diluido en gel de agarosa.

▪ Marcadores moleculares RAMs

Para esta evaluación se ajustó la metodología descrita por Posso *et al.*, (2011) y Rugeles Silva (2011):

Cebadores: se emplearon ocho cebadores RAMS (CT, CGA, ACA, CCA, AG, TG, GT, CA), para evaluar inicialmente cuáles de ellos amplificaban con la especie de estudio (tabla 2).

Tabla 2. Primers utilizados para la técnica RAMs

Primer	Secuencia (5 a 3)
CCA	DDB(CCA)5
AGA	DHB(CGA)5
ACA	BDB(ACA)5
GT	VHV(GT)7G
AG	HBH(AG)7A
CT	DYD(CT)7C
TG	HVH(TG)7T
CA	DBDA(CA)7
Designaciones para sitios degenerados	
H (A o T o C)	B (G o T o C)
V (G o A o C)	D (G o A o T)

Fuente: (Muñoz et al., 2008)

Coctel para PCR: se utilizaron los siguientes reactivos 2ul de MgCl₂ (concentración 50mM), 1,25ul de Buffer TAQ (concentración 10X), 2ul de dNTPS (concentración 0.2mM), 0,5ul de primer (concentración 2μM), 4,2ul de agua purificada Milli-Q, 0,5ul de BSA (Albumina de suero bovino, concentración 10mg/ml), 0,05ul de Taq DNA polimerasa (concentración 5U/ul) y 2ul de ADN (concentración 10ng) para un volumen total de 12.5ul por muestra.

Para la PCR se probaron las condiciones de cada cebador con diferentes gradientes de temperatura y tiempos. Se modificaron las condiciones para obtener la amplificación requerida para la especie de estudio como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Condiciones definidas para PCR.

Pasos	Temperatura (°C)	Tiempo
Desnaturalización inicial	95	5 minutos
37 ciclos de desnaturalización	95	30 segundos
Hibridación		
Primer CGA	60	45 segundos
Primer AG	54	45 segundos
Primer CCA	57	45 segundos
Primer CT	59	45 segundos
Primer ACA	55	45 segundos
Extensión	72	2 minutos
Extensión final	72	7 minutos

Electroforesis para visualización de productos amplificados: se utilizaron geles de poliacrilamida al 7%, los cuales se corrieron en la cámara vertical de electroforesis (Minigel-Twin BIOMETRA) a 120 voltios, 400 miliamperios durante una hora y media. Para visualizar se utilizó una mezcla (1:1ul) de GelRed más azul de bromofenol como intercalante y se tomó una foto en el fotodocumentador para verificar las bandas. Posteriormente el secado se realizó sobre papel celofán transparente y vidrio. A cada gel seco, con el revelado de las bandas, se le sellaron los bordes con cinta adhesiva para evitar la humedad. Finalmente, los geles se almacenaron para su lectura (anexo 2).

5.2.4 Morfometría de *Mimosa Trianae* Benth

Inicialmente se realizó una revisión bibliográfica sobre las descripciones morfológicas de la especie de estudio y se compararon los datos con la información obtenida en el presente trabajo de investigación.

Para la determinación de la morfometría del yopo pelú, se utilizaron como base las investigaciones llevadas a cabo por Castañeda Garzón (2014), quien trabajó con la caracterización morfológica de Anonáceas y Mendoza Gamboa (2003), quien investigó especies de árboles del bosque xerófilo de México. Los descriptores y análisis estadísticos se adaptaron a la especie de estudio.

Las mediciones se realizaron en los 45 árboles que se evaluaron en el seguimiento fenológico en la cerca viva de la Reserva Natural El Hatico. Las variables medidas fueron:

Hoja: forma, dimensiones de la lámina (ancho de la base, ancho del ápice, largo), número y longitud de folíolos (tres por árbol). Se describió la forma y el color; se midió el largo y ancho del pecíolo, pulvínulo, estípula y estipela. Se registró la presencia o ausencia, el color y la forma de los tricomas en cada estructura.

Folíolo y foliólulo: se describió la forma, color y se midió el largo y ancho del pecíolo, la lámina, estipela y raquis. Tricomas en cada estructura (presencia, ausencia, forma y color).

Corteza: descripción del tipo, color y forma.

Inflorescencia: posición en la rama (lateral o apical), número de espigas, número de flores por espiga, color y forma. Se midió el largo y ancho del pedúnculo, raquis y bráctea. Se registró la presencia o ausencia, el color y la forma de los tricomas en cada estructura.

Espiga: se describió la disposición, forma y color. Se midió el largo y ancho del pedúnculo, raquis y bracteola. Tricomas en cada estructura (presencia, ausencia, forma y color).

Flor: cáliz (color, forma, ancho, largo, número de lóbulos, tricomas), corola (color, forma, ancho, largo, número de lóbulos, largo y ancho del tubo, tricomas), estambres (número,

color), filamentos (largo, color), antera (tipo, color), estigma (color), estilo (largo, color), ovario (tipo, largo, ancho, color, tricomas).

Infrutescencias: número de raquis, número de legumbres, color, largo y ancho basal y apical. Tricomas en cada estructura (presencia, ausencia, forma y color).

Legumbres: color; largo del cuerpo, el apículo y el pedúnculo; número y ancho de los segmentos; ancho del segmento y la constricción; forma lateral y frontal; tricomas y número de semillas. Tricomas en cada estructura (presencia, ausencia, forma y color).

Semillas: largo, ancho, grosor, color, textura, color del hilum, rafe y lente.

Por último, se hicieron ilustraciones botánicas de cada estructura evaluada (Barbosa Barretto & Ferreira, 2011; Barrera, 2003; Castañeda Garzón, 2014; Franco & Hidalgo, 2003; Gómez Zuluaga, 2012).

5.3 Análisis estadísticos

Para cada componente de la investigación se realizaron diferentes análisis estadísticos.

5.3.1 Fenología

Se compararon los patrones temporales de la floración, la fructificación y el recambio foliar en las tres localidades de estudio durante 10 meses. Para esto se usaron dos variables: el porcentaje de árboles y el porcentaje de ramas (promediado para los árboles de cada población) en cada fenofase.

La fecundidad de los árboles en las tres localidades se estimó a través de la sumatoria del número de estructuras reproductivas (flores y frutos) evaluadas en cada árbol durante 10 meses. Se realizó el análisis descriptivo para entender la variación temporal en la actividad de formación de flores y frutos.

Para cada tipo de estructura se calculó el promedio entre los árboles de cada población y en cada fecha de monitoreo. Se compararon las fechas en que cada población alcanzó el pico de abundancia de cada tipo de estructura.

El efecto de las variables ambientales (fotoperiodo y pluviosidad) sobre la floración y el recambio foliar, se evaluó mediante una prueba de correlación simple.

Para los análisis descriptivos, de frecuencias y la prueba de correlación simple, se utilizó el software Microsoft Excel versión 2016.

Se comparó la distribución de alturas y diámetros de los árboles entre las tres poblaciones mediante un análisis descriptivo y prueba de chi-cuadrado para tabla de contingencia. La relación entre la fecundidad (producción de flores y frutos) y el tamaño de los árboles (altura, DAP y área de copa), se exploró mediante un análisis de correlación de Pearson y un análisis de Co-inercia, que permite observar la relación de los dos grupos de variables: 1. estructura (altura, DAP y área de copa) y 2. fecundidad (flores y frutos). Para los análisis se utilizó el programa estadístico R versión 3.5.2 (disponible en: www.rproject.org).

5.3.2 Crecimiento

Para los árboles de El Cerrito se elaboró una curva de sobrevivencia con el porcentaje de árboles vivos y la edad (meses). Con el fin de describir el crecimiento de los árboles plantados se hicieron análisis de correlación simple de las variables altura y diámetro (promedios de las mediciones durante seis años) con relación a la edad de los árboles (meses). Para esto se utilizó el programa Excel (2016).

Para explorar la relación entre el crecimiento diamétrico (mm) y el aumento en la altura (m) se hizo un análisis de dispersión con los datos (DAP y altura) de cada árbol (150) en las diferentes mediciones (12 en los seis años). Para dicho análisis se utilizó el programa PAST 3.0 (Hammer, Harper, & Ryan, 2001).

También se realizó un análisis de Modelo Lineal Generalizado (GLM) para entender el comportamiento del crecimiento de cada árbol utilizando la edad (meses) como variable independiente y altura (m) y diámetro (mm) como variables dependientes. Para este

análisis se utilizó el software estadístico Statistical Analysis System versión 9.4 (Statistical Analysis System (SAS), 1999).

5.3.3 Diversidad genética

Los datos obtenidos de la lectura de las bandas por cada cebador e individuo, se compilaron en una matriz en Excel (2016), y con base en ésta, se realizaron los siguientes análisis:

- **Diversidad genética: Heterocigosidad esperada (He) y loci polimórficos (P).**

Para este análisis se utilizó la fórmula no sesgada de Nei (1978), que consiste en muestrear todos los loci en una o varias poblaciones y subgrupos:

$$H = 1 - \sum f(i)^2$$

f(i): Frecuencia del alelo i en la población.

El análisis se realizó con GenAEx 6.2: genetic analysis in Excel (Peakall & Smouse, 2012).

- **Distancia genética coeficiente de Nei-Li.**

Para este análisis de similitud se utilizó el índice de Nei-Li (Morillo-Coronado et al., 2016; Morillo et al., 2005; J. . Muñoz et al., 2008; Rugeles-Silva, Posso-Terranova, Londono, Barrera-Marín, & Muñoz-Flórez, 2012; Rugeles Silva, 2011).

Este método toma los datos del conjunto de individuos y bandas de la matriz de variables binarias (0: ausencia de bandas, 1: presencia de bandas); los individuos forman filas y las bandas evaluadas, columnas. Para este análisis se utilizó el programa GenAEx 6.2: Genetic Analysis en Excel (Peakall & Smouse, 2012).

- **Análisis de varianza Molecular (AMOVA).**

Con este análisis se estableció si existían diferencias entre las poblaciones de los diferentes sitios geográficos y dentro de las poblaciones. Para esto se utilizó el programa GenAEx 6.2: genetic analysis in Excel (Peakall & Smouse, 2012) (Henríquez, 2000; Rugeles-Silva et al., 2012; Rugeles Silva, 2011)

- **Diferenciación genética (Fst)**

También se utilizó la clasificación de estadístico Wright del coeficiente de diferenciación genética (Fst) que muestra el valor de diferenciación entre las poblaciones evaluadas y si es significativo respecto al valor de P (<0.001) (Wright 1978, citado por Morillo & Morillo, 2003) para esto se utilizó el programa estadístico Arlequin versión 3.5.2.2 (Excoffier & Lischer, 2010) (Morillo-Coronado et al., 2016; Morillo et al., 2005; Rugeles-Silva et al., 2012)

- **Análisis descriptivo**

Se utilizó el coeficiente de distancia o similitud de Dice Nei-Li, método gráfico de agrupamiento para conocer, con base en los grupos que se forman en el dendrograma, cuales individuos son más parecidos entre si y la relación entre poblaciones, este se construyó con el programa TREE de NTSYS – pc, versión 2.02. (Rohlf, 1998).

- **Estructura genética**

Este análisis permite identificar la estructura genética en las poblaciones y compararlas entre sí. Para esto se utilizó el programa STRUCTURE versión 2.3.4 (Pritchard, Stephens, & Donnelly, 2000) que utiliza el método de asignación bayesiana. Este programa estima las frecuencias alélicas y asigna a los individuos a una población específica. Se generó un modelo de ascendencia de mezcla con frecuencias alélicas correlacionadas para un número supuesto de subpoblaciones (K) de 1 a 4. Se llevaron a cabo 10 réplicas para cada K con 100000 iteraciones de Burn-in y con número de iteraciones de Cadenas de Markov de Monte Carlo (MCMC) de 1000000 repeticiones (Garrido-garduño & Vázquez-domínguez, 2013; Ocampo, Acosta-barón, & Hernández-fernández, 2017; Pritchard et al., 2000).

- **Secuenciación de ADN**

Se revisaron y analizaron los resultados que se obtuvieron previamente con la técnica RAMs, y se seleccionaron los perfiles más cercanos que formaran un par en el clado y los que hubiesen quedado solos para un total de 33 árboles (tabla 4), el propósito de este análisis fue corroborar la cercanía entre las poblaciones y conocer la población ancestro.

Tabla 4. Árboles de las tres poblaciones escogidos para la secuenciación.

Población	Árbol
1V	V4, V7, V8, V10, V11, V13, V16, V19, V22, V24, V27, V28
2M	M1, M2, M3, M5, M8, M9, M10, M13, M16, M20, M21, M23, M25, M26, M30
3E	E6, E25, E57, E71, E130, E142, E171

Cubarral: 1V, Medina: 2M, El Cerrito: 3E

Se utilizó el gen cloroplástico TrnL como marcador estándar de código de barras y dos primers, su respectiva secuencia se muestra en la tabla 2 (Bessega & Fortunato, 2011; Lopez-Alvarez, Lopez-Herranz, Betekhtin, & Catalan, 2012; Susilowati, Rachmat, Rangkuti, Elfiati, & Ambarwati, 2019). El ADN de las muestras a utilizar (tabla 5) fue revisado para comprobar su concentración y calidad utilizando el espectrofotómetro de micro volumen (Colibri Titertek Berthold).

Tabla 5. Marcadores moleculares utilizados y secuencia

Número	Primer	Secuencia
1	TrnLc-f	5'- CGAAATCGGTAGACGCTACG-3'
2	TrnLf-r	5'- ATTTGAACTGGTGACACGAG-3'

Para la PCR se utilizaron 2ul de ADN en una concentración de 50ng, 2,5 ul de Buffer, 2,5 ul de MgCl₂, 1ul de dNTP, 0,12ul de Taq-DNA polimerasa, 0,8ul de cada cebador (tabla 1) y 15,28ul de agua purificada Milli-Q., Los ciclos de la PCR fueron: desnaturalización inicial a 95 ° C durante 4 min, desnaturalización en 35 ciclos de 94 ° C durante 30 segundos, hibridación a 55 ° C durante 30 segundos, extensión a 72 ° C durante 2 min, con un paso de extensión final adicional de 10 min. a 72 ° C (Bessega & Fortunato, 2011; Susilowati et al., 2019).

La secuenciación se realizó con un secuenciador automático de ADN ABI 3730 XL por Macrogen Inc. (Seúl, Corea).

Una vez obtenidas las secuencias en formato ab1, se limpiaron, editaron y alinearon 33 secuencias empleando el programa Geneious. Posteriormente se llevó a cabo un análisis

filogenético mediante el criterio de optimización de Máxima Verosimilitud, usando el programa IQ-TREE (v 1.6.8) (Trifinopoulos, Nguyen, von Haeseler, & Minh, 2016). Finalmente, para visualizar el árbol se utilizó el programa FigTree (v1.6.8) (disponible en: <http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree/>).

5.3.4 Morfometría

Las variables cuantitativas se analizaron para obtener las medidas de tendencia central y de dispersión con el programa PAST 3.0 (Hammer et al., 2001) y las cualitativas se clasificaron de acuerdo a la frecuencia (mayor a menor) en las muestras. Para esto se hizo un conteo en la base de Excel y se incluyeron en la descripción (Barbosa Barretto & Ferreira, 2011; Castañeda Garzón, 2014; Franco & Hidalgo, 2003; Mendoza Gamboa, 2003).

6. Resultados

6.1 Fenología del yopo pelú *Mimosa trianae* Benth

6.1.1 Patrón temporal de la reproducción

Los resultados obtenidos en las tres localidades se resumen en términos de dos variables: porcentaje de árboles y porcentaje de ramas (promediado para todos los árboles) en los que se registró cada fase fenológica.

- **Inflorescencias en preantesis**

Esta fase se registró en 95 y 98% de los árboles en las localidades de El Cerrito y Medina (45 y 30 árboles respectivamente) (Figura 12a y b) y en el 100% en Cubarral (30 árboles) (figura 12c), con una diferencia de tres semanas entre localidades, lo cual indica un grado importante de sincronía en las tres poblaciones. En Cubarral se registró el mayor porcentaje de ramas con inflorescencias en preantesis (92%, equivalente a 3-9 ramas por árbol), seguido de El Cerrito (90%, con 2-9 ramas) y Medina con 83% (2-8 ramas).

En dos de las tres localidades evaluadas, se presentaron diferencias temporales en la duración de la fase de inflorescencias en preantesis. En El Cerrito se registró de agosto a enero (6 meses), con un pico de actividad de formación de inflorescencias entre septiembre y noviembre. En Medina y Cubarral, se registró de septiembre a abril (8 meses), con picos de abundancia entre octubre y noviembre. En las dos localidades ubicadas en el Piedemonte Orinocense la floración inició un mes después que en la localidad situada en el Valle del Cauca (El Cerrito) (Figura 12).

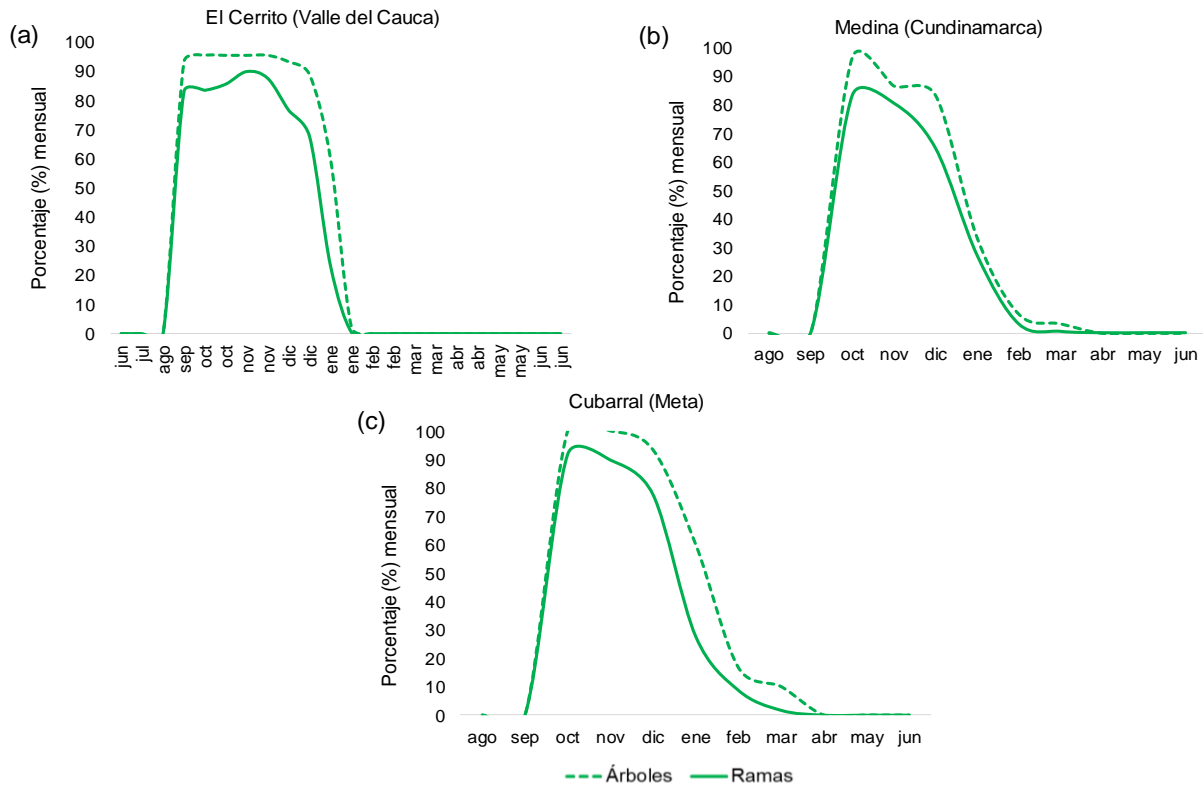


Figura 10. Variación temporal en el porcentaje de árboles y ramas (promediado para todos los árboles) con inflorescencias en preantesis en las tres localidades.

▪ Inflorescencias en antesis

A lo largo del año, la fase de flores en antesis se registró en 20-91% de los árboles y 5-79% de las ramas en El Cerrito (figura 9a), 3-93% de los árboles y 1-55% de las ramas en Cubarral (figura 13c) y 3-63% de los árboles y 1-40% de las ramas en Medina (figura 13b). Dos patrones son evidentes en estos datos. Por una parte, la floración se presenta sólo una vez en el año en las localidades de estudio. Además, la intensidad de la floración fue menor en Medina que en El Cerrito y Cubarral.

Esta fase tuvo una duración de cinco meses en las tres localidades: septiembre a febrero en El Cerrito, noviembre a marzo en Medina y octubre a marzo en Cubarral. En El Cerrito se observaron dos interrupciones en la floración: a finales de octubre (asociada a un fuerte vendaval que afectó a varios árboles; octubre y noviembre son los meses más lluviosos en la zona) y en enero (durante la transición del periodo de lluvias al verano). La máxima abundancia de flores en antesis se registró entre la segunda quincena de noviembre y la

primera de diciembre. En Medina y Cubarral la máxima abundancia de flores en antesis también se registró entre noviembre y diciembre. Sin embargo, en Cubarral se observó una interrupción de la floración en diciembre, al comienzo del verano (figura 13).

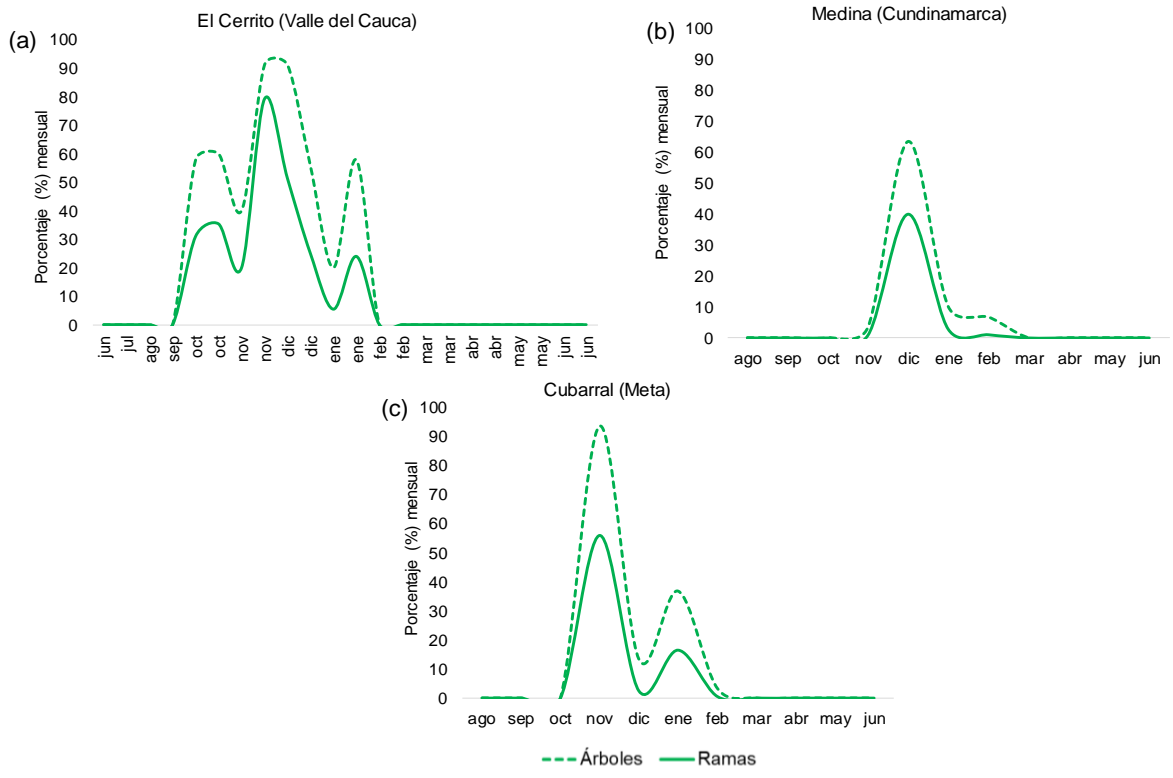


Figura 11. Variación temporal en el porcentaje de árboles y ramas con inflorescencias de flores en antesis en las tres localidades.

▪ Fructificación

La intensidad en la fructificación fue mayor en El Cerrito (93% de los árboles y 80% de las ramas) (Figura 14a), intermedia en Cubarral (80% de los árboles y 64% de las ramas) (Figura 14c) y notoriamente menor en Medina (37% de los árboles y 23% de las ramas) (Figuras 14b). En las tres localidades, esta fase se registró de noviembre a febrero (El Cerrito) y de noviembre a marzo (Cubarral y Medina), con el pico de actividad en diciembre (figura 14).

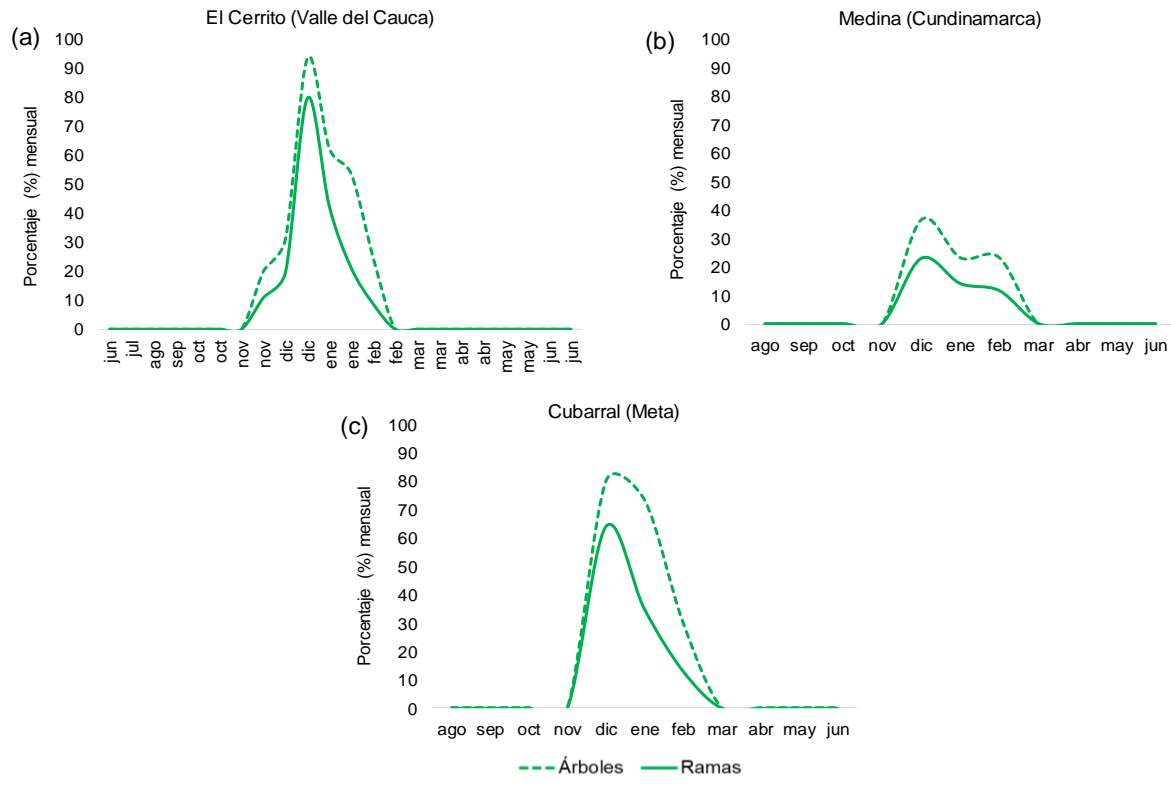


Figura 12. Variación temporal en los porcentajes de árboles y ramas con infrutescencias inmaduras en las tres localidades.

Se observaron infrutescencias maduras y secas en 93% de los árboles y 89% de las ramas en El Cerrito, 93% de los árboles y 86% de las ramas en Cubarral y 80% de los árboles y el 66% de las ramas en Medina. La maduración de los frutos inició en noviembre y se extendió hasta marzo en El Cerrito y de diciembre a abril en Medina y Cubarral, con el pico de mayor actividad en enero (figura 15a).

Los primeros frutos secos se observaron a mediados de diciembre en El Cerrito y en enero en Medina y Cubarral, con un pico de actividad entre febrero y marzo, que se extendió hasta junio en las tres localidades. En los meses de febrero y marzo, las semillas estaban completamente formadas y maduras en la totalidad de los árboles (figura 15b).

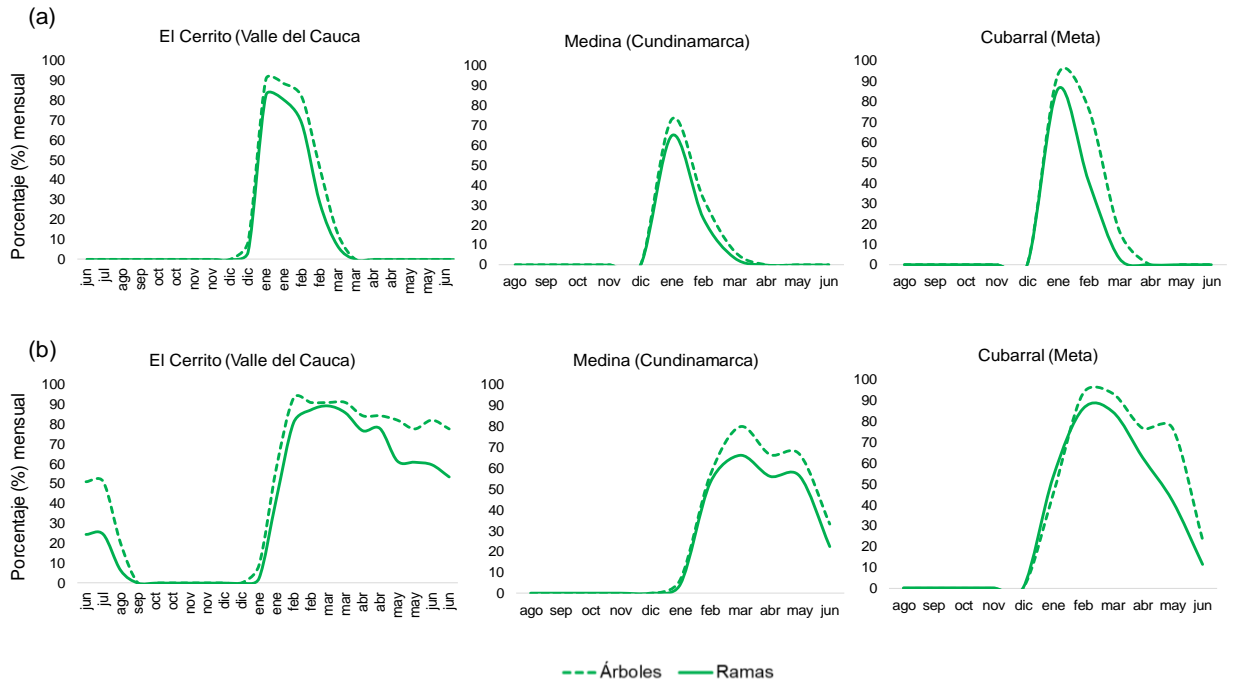


Figura 13. Variación temporal en los porcentajes de árboles y ramas con infrutescencias maduras (a) y secas (b) en las tres localidades.

En las tres localidades se encontraron árboles adultos sin actividad reproductiva (7% en promedio), sin causas aparentes. Sólo en Cubarral el 100% de los árboles presentaron inflorescencias en preantesis, aunque tres árboles no desarrollaron flores, ni frutos.

6.1.2 Fecundidad

Los resultados de la fecundidad se presentan para cada tipo de estructura reproductiva y fenofase evaluada durante el seguimiento fenológico.

- **Estructura reproductiva 1: Inflorescencias e infrutescencias**

La población de Cubarral presentó la mayor abundancia de inflorescencias en preantesis e infrutescencias (maduras y secas) en el periodo 2017 a 2018 (figura 16c). La población de El Cerrito, tuvo la mayor abundancia de flores en antesis e infrutescencias inmaduras (figura 16a), en tanto que la población de Medina tuvo la menor fecundidad (figura 16b).

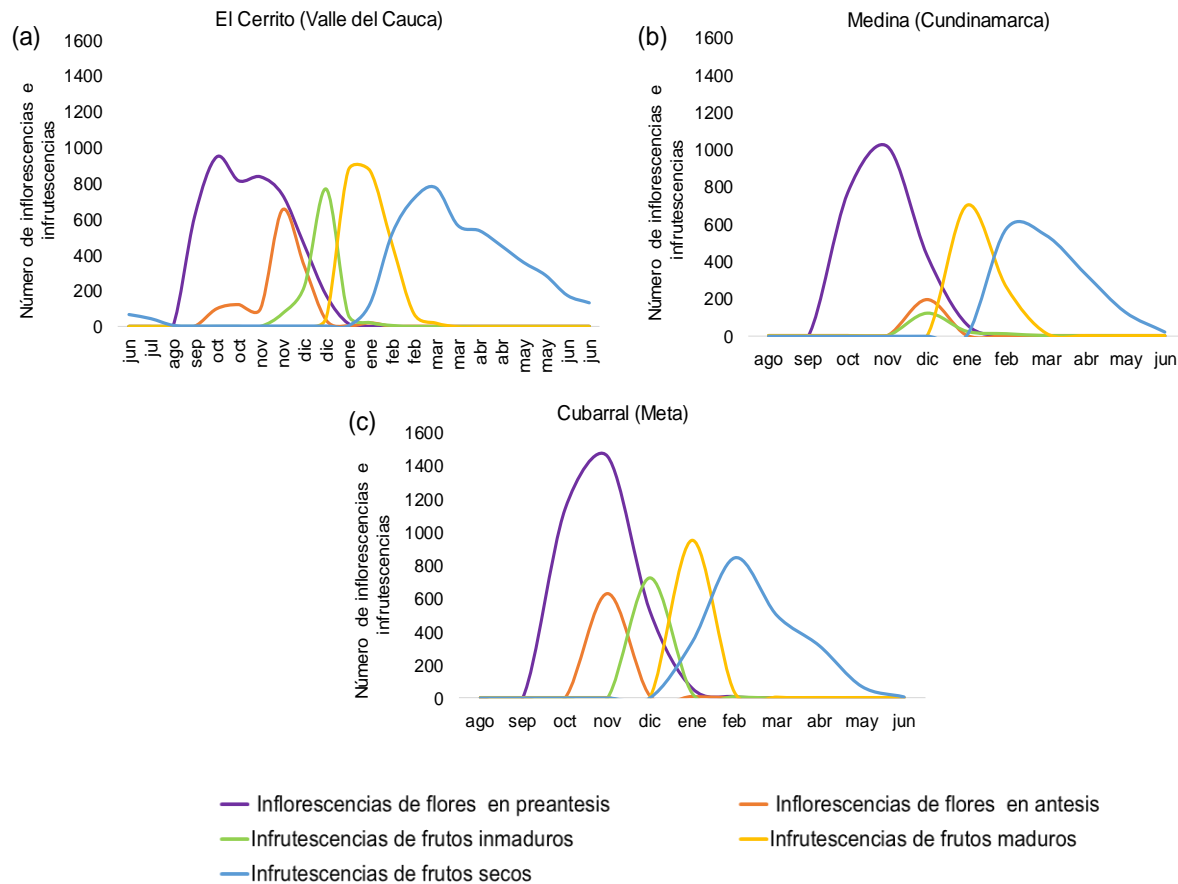


Figura 14. Variación temporal en la abundancia de inflorescencias e infrutescencias en las cinco fases fenológicas evaluadas en las tres localidades

La fecundidad más alta se registró en los árboles de Cubarral, con un promedio de 1457 inflorescencias en preantesis, de las cuales 949 formaron infrutescencias maduras (65%). Lo árboles de Medina tuvieron valores intermedios con 1016 inflorescencias en preantesis y 700 infrutescencias maduras, que equivalen a 69%. Los árboles de El Cerrito tuvieron una menor cosecha de inflorescencias en preantesis (950), pero éstas dieron origen a 873 infrutescencias maduras; por lo tanto, la proporción de flores que se transformaron en frutos fue la más alta entre las tres localidades (92%) (Figura 17).

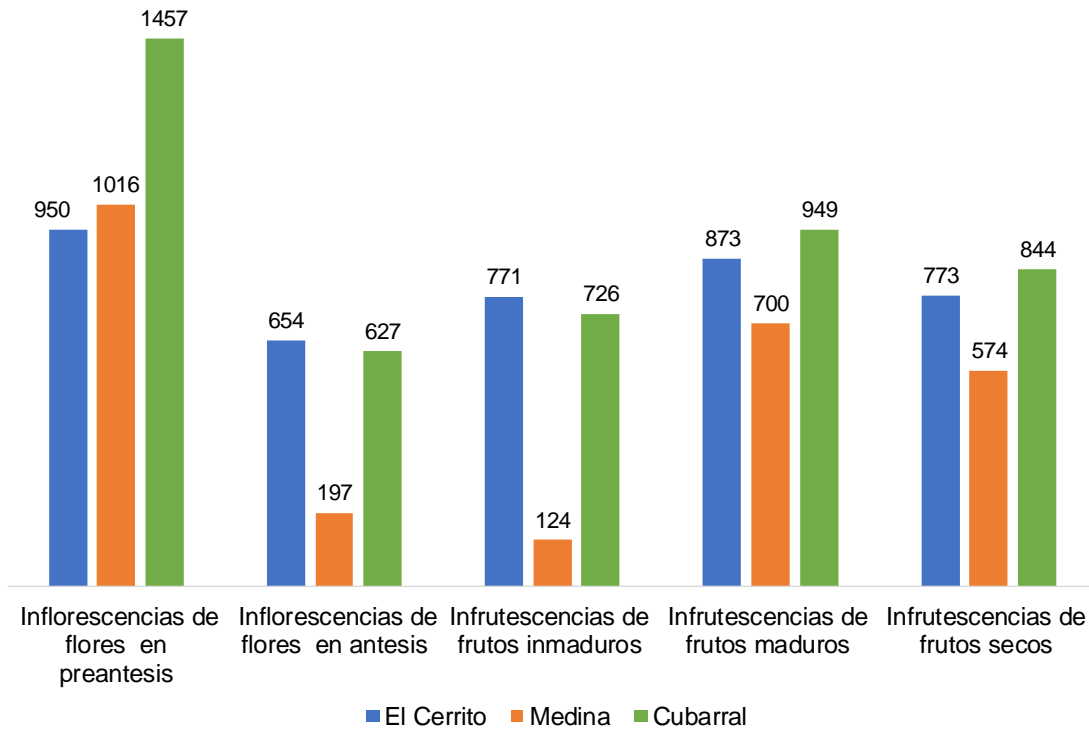


Figura 15. Fecundidad total (número promedio por árbol en el pico de abundancia) de inflorescencias e infrutescencias en las cinco fases fenológicas en las tres localidades.

▪ Estructura reproductiva 2: Espigas de flores y frutos

El número de espigas por inflorescencia e infrutescencia varió entre 4 y 12. En las tres localidades, el número de espigas de flores en preantesis fue mayor que el de espigas con flores en antesis. Esto se debe en parte a que la floración de esta especie es efímera o “explosiva” (tiene una duración promedio de sólo 8 días); por lo tanto, la frecuencia del seguimiento fenológico de este estudio no permitió registrar la totalidad de la cosecha. Por otro lado, es posible que algunas espigas se desprendieran después de la preantesis o que no hubieran avanzado en su desarrollo más allá de esta etapa.

Un patrón similar se observó con los frutos inmaduros. En las flores en post-antesis (estructura de la flor seca de color café) no fue posible detectar a simple vista cuáles estaban fecundadas y cuáles estaban en proceso de aborto. Además, el desarrollo de los frutos ocurrió en un periodo corto y la frecuencia de muestreo (de 15 días a un mes) no permitió registrar la totalidad de las estructuras (figura 18).

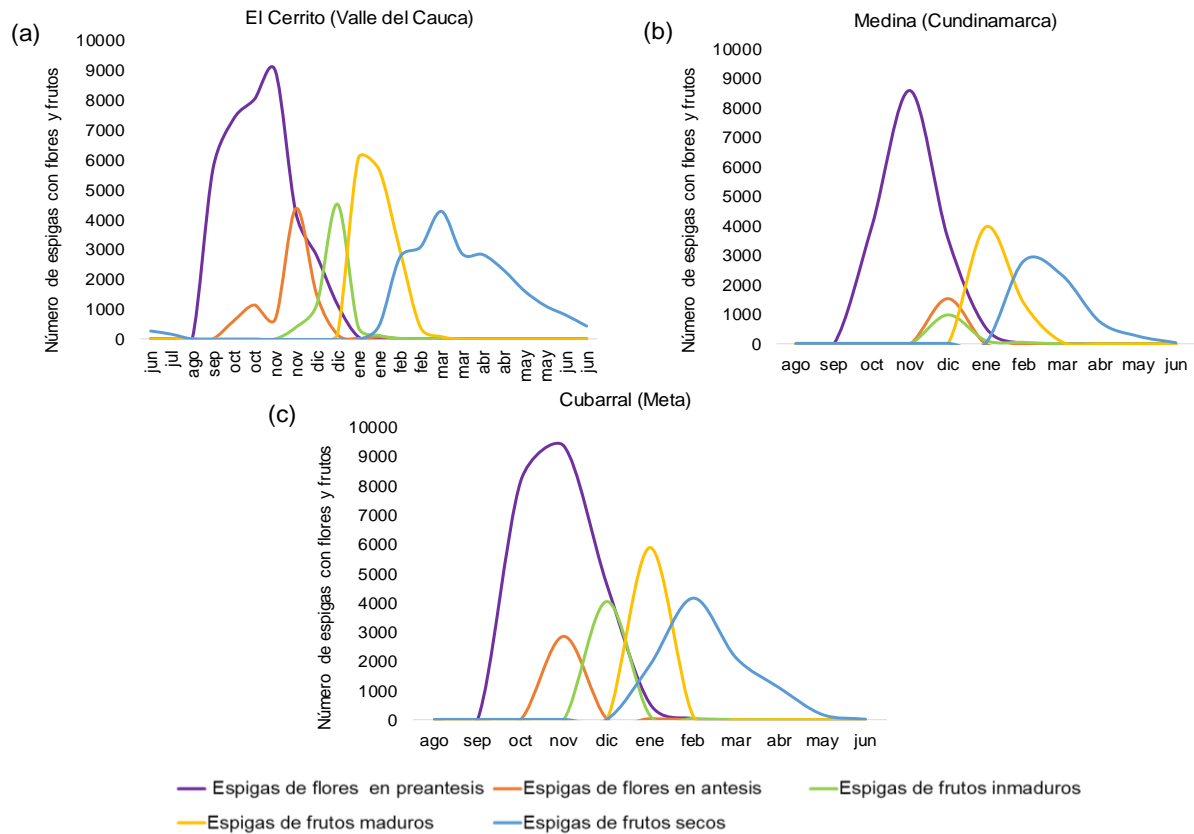


Figura 16. Variación temporal en el número de espigas con flores o frutos en las cinco fases fenológicas evaluadas en las tres localidades.

En El Cerrito se registraron las cosechas de mayor tamaño en casi todas las fenofases, desde las espigas con flores en antesis (4381) hasta los frutos maduros (6044). En Cubarral se registró la mayor cantidad de espigas con flores en preantesis (9349) y menos estructuras de las demás fenofases que en El Cerrito. En Medina se registró la fecundidad más baja (figura 19).

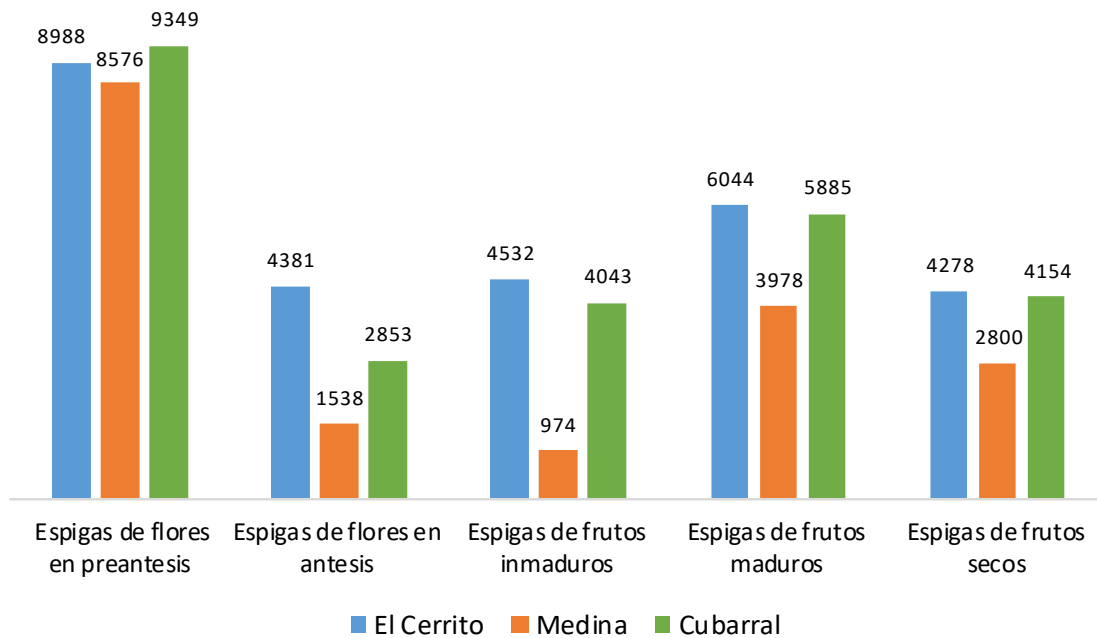


Figura 17. Fecundidad total (número promedio por árbol en el pico de abundancia) de espigas con las cinco fases fenológicas en las tres localidades.

▪ **Estructura reproductiva 3: Número promedio de legumbres por espiga**

En las tres localidades se hicieron conteos del número de estructuras por espiga: flores en preantesis (257 en promedio), flores en antesis (161) y legumbres inmaduras y maduras (1 a 10 por cada espiga). Estos números disminuyeron a medida que las legumbres se secaron y empezaron a desprenderse por acción del viento, hasta registrarse sólo 1 a 5 legumbres secas por espiga (figura 20).

Hubo un mes de diferencia entre las fases de floración (preantesis, antesis) y fructificación (inmadura, madura y seca) en las tres localidades; sin embargo, en Cubarral las legumbres secas se empezaron a registrar en diciembre (figura 20c).

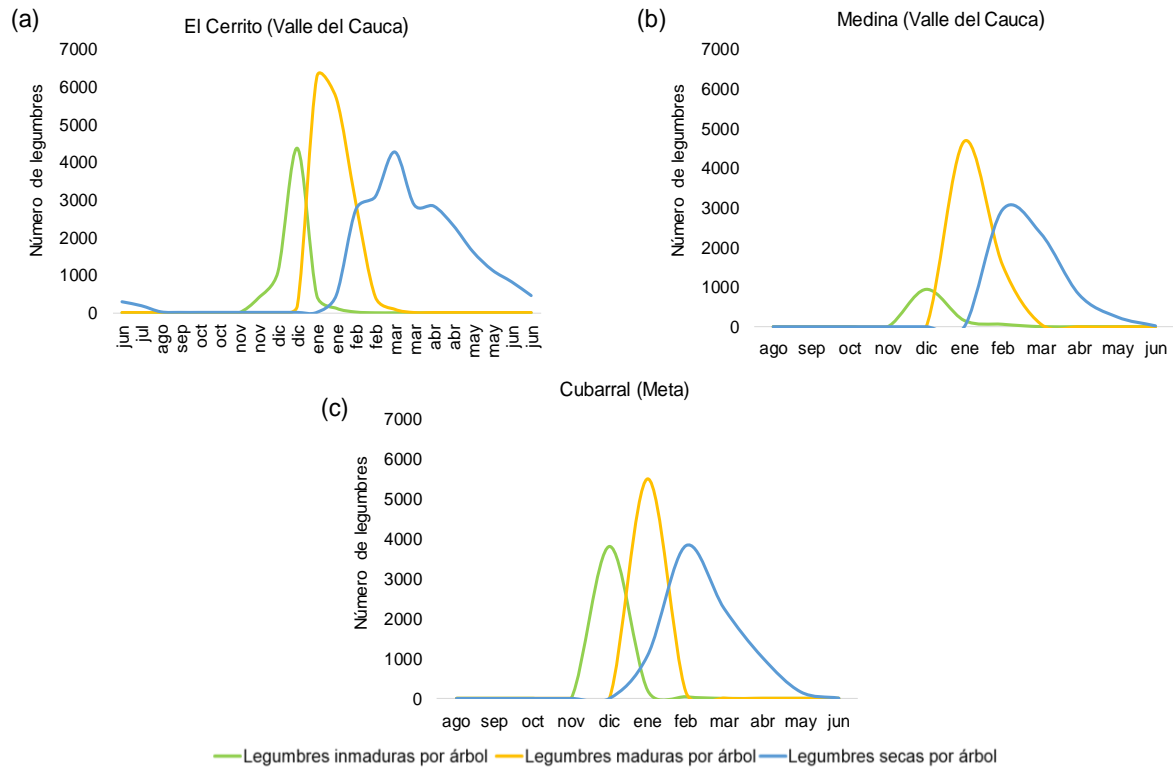


Figura 18. Variación temporal en el número de legumbres inmaduras, maduras y secas producidas por los árboles en las tres localidades.

6.1.3 Tamaño y fecundidad de los árboles de *M. trianae*

La tabla 6 resume los datos descriptivos del tamaño y fecundidad de los árboles en las tres localidades. En El Cerrito se registró la mayor producción de flores y frutos, aunque los árboles eran más pequeños (promedio de 12,9m de altura, 191,4mm de DAP y 88,7m² de copa). En Medina se registró la menor fecundidad, aunque los árboles tuvieron el mayor porte (15,8m de altura, 271mm de DAP y la mayor área de copa con 107,4m²). En Cubarral se registró la segunda mayor cosecha de flores, en árboles de porte intermedio (15,1m de altura, 297,7mm de DAP y 88,3m² de copa).

Tabla 6. Tamaño y fecundidad de los árboles en las tres localidades (El Cerrito, Medina y Cubarral), valores máximos y mínimos, promedio y medidas de dispersión.

	Altura (m)	DAP (mm)	Copa (m²)	Inflorescencias con flores en antesis	Infrutescencias maduras
<u>El Cerrito</u>					
N	45	45	45	45	45
Min	2,34	125,7	24,06	0	0
Max	18,53	340,6	157,92	76917,56	66351,33
Media	12,91	191,48	88,76	8540,40	15572,99
Desviación estándar	2,69	44,10	28,50	12133,68	17000
Varianza	7,28	1945,03	812,30	1,47	2,89
<u>Medina</u>					
N	30	30	30	30	30
Min	10,5	0	61,02	0	0
Max	21,36	439	182,05	21150	31807,22
Media	15,86	271,13	107,45	1539,78	6290,57
Desviación estándar	2,84	86,23	28,79	4314,30	8236,31
Varianza	8,10	7436,46	829,32	1,86	6,78
<u>Cubarral</u>					
N	30	30	30	30	30
Min	10,3	145	25,07	0	0
Max	18,08	567	199,55	17581,33	18904,89
Media	15,13	297,73	88,32	2897,17	5595,23
Desviación estándar	2,06	82,54	42,63	3724,06	4803,89
Varianza	4,24	6814,06	1817,36	1,38	2,30

Se encontraron diferencias significativas en la altura (m) de los árboles (χ^2_6 , =89,4, $P < 0.001$) y el diámetro (mm) y (χ^2_4 , =127, $P < 0.001$) entre las tres poblaciones estudiadas. Los árboles de El Cerrito son más pequeños que los de Medina y Cubarral. En esta población la mayoría de los árboles tienen menos de 15 m de altura y 200mm de DAP. En Cubarral y Medina la mayor parte de los árboles tienen una altura entre 15 y 20m y DAP de 200 a 400mm (figuras 21 y 22).

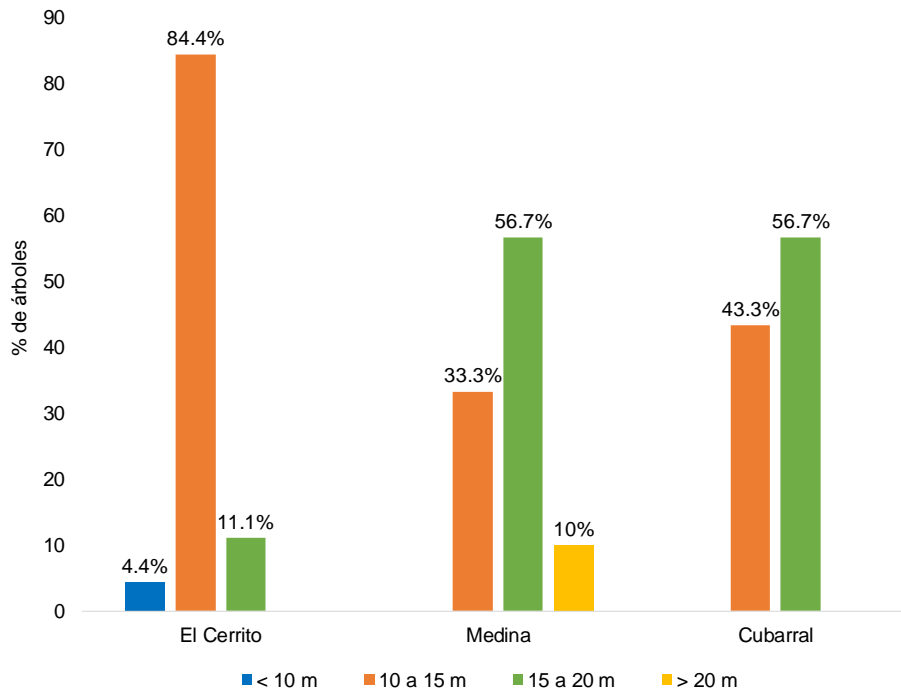


Figura 19. Distribución de altura (m) de los árboles en las tres poblaciones evaluadas.

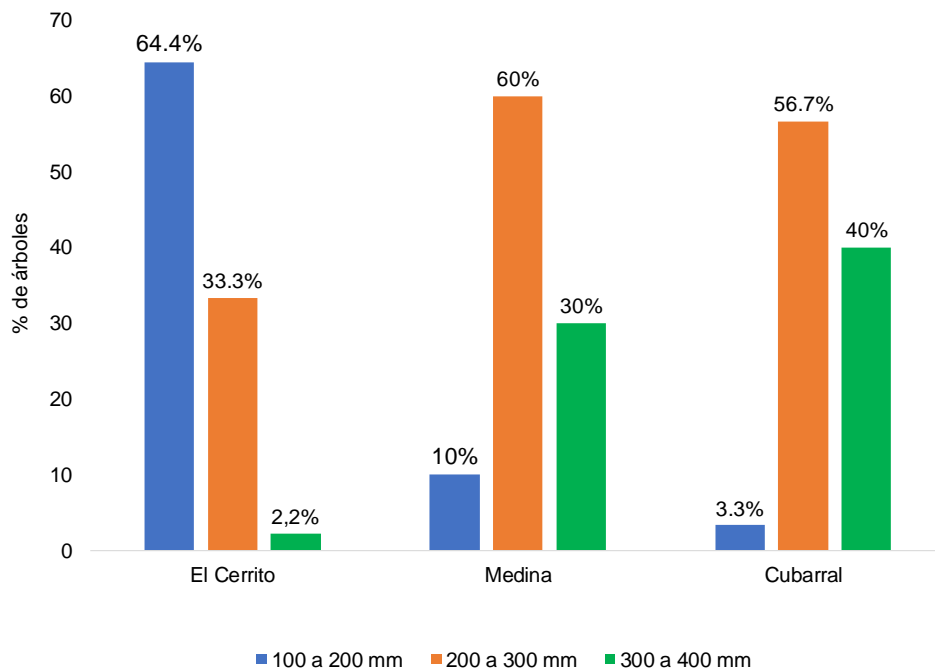


Figura 20. Distribución diamétrica (mm) de los árboles en las tres poblaciones evaluadas.

Se exploró la correlación entre las variables relacionadas con el tamaño de los árboles (altura, diámetro y área de la copa) y la cosecha de flores y frutos para determinar en qué medida el tamaño y la capacidad de acumular recursos energéticos determinan la fecundidad. En los análisis de correlación (coeficiente de Pearson) y de Co-inercia se obtuvieron los siguientes resultados para cada una de las poblaciones.

Los valores de los coeficientes de correlación entre las variables de tamaño de los árboles (altura, DAP y copa) y las de fecundidad (flores y frutos) son positivas en 11 casos, y oscilan entre 0,03 y 0,4; sin embargo, los valores son muy bajos. Hay 6 correlaciones negativas, todas ellas débiles (valores entre -0,17 y -0,01). Como era de esperarse, las variables de tamaño pueden estar fuertemente correlacionadas entre sí; dicha correlación se obtuvo entre la altura de los árboles y el tamaño de copa en las tres localidades. En Medina, los datos muestran una fuerte correlación entre los tamaños de cosecha de flores y frutos (tabla 7).

Tabla 7. Matriz de correlación (coeficiente de Pearson) entre el tamaño y la fecundidad de los árboles de las tres localidades (El Cerrito, Medina y Cubarral).

	Altura (m)	DAP(mm)	Copa (m ²)	Flores (n)	Frutos (n)
El Cerrito					
Altura (m)	1				
DAP (mm)	0.05	1			
Copa (m ²)	0.58	0.43	1		
Flores (n)	0.03	-0.02	-0.01	1	
Frutos (n)	0.05	0.28	0.33	0.37	1
Medina					
Altura (m)	1				
DAP (mm)	0.32	1			
Copa (m ²)	0.70	0.31	1		
Flores (n)	0.05	0.40	-0.03	1	
Frutos (n)	0.22	0.36	0.18	0.68	1
Cubarral					
Altura (m)	1				
DAP (mm)	0.26	1			
Copa (m ²)	0.57	0.33	1		
Flores (n)	0.09	0.00	0.20	1	
Frutos (n)	-0.17	-0.11	-0.13	0.46	1

* Se consideró una correlación alta a partir de 0.60.

El análisis de Co-inercia mostró una variabilidad alta de los datos: CV=83% ($P < 0,005$) en El Cerrito y CV=94% ($P < 0,005$) en Medina. La variable de estructura que más aporta a dicha varianza es el diámetro, que parece estar relacionado con el tamaño de la cosecha de frutos en mayor medida que con la cosecha de flores. En Cubarral, la altura y copa aportan mayor porcentaje de la varianza y se relacionan con el tamaño de las cosechas de flores y frutos (CV=84%; valor de $P < 0,005$) (figura 23).

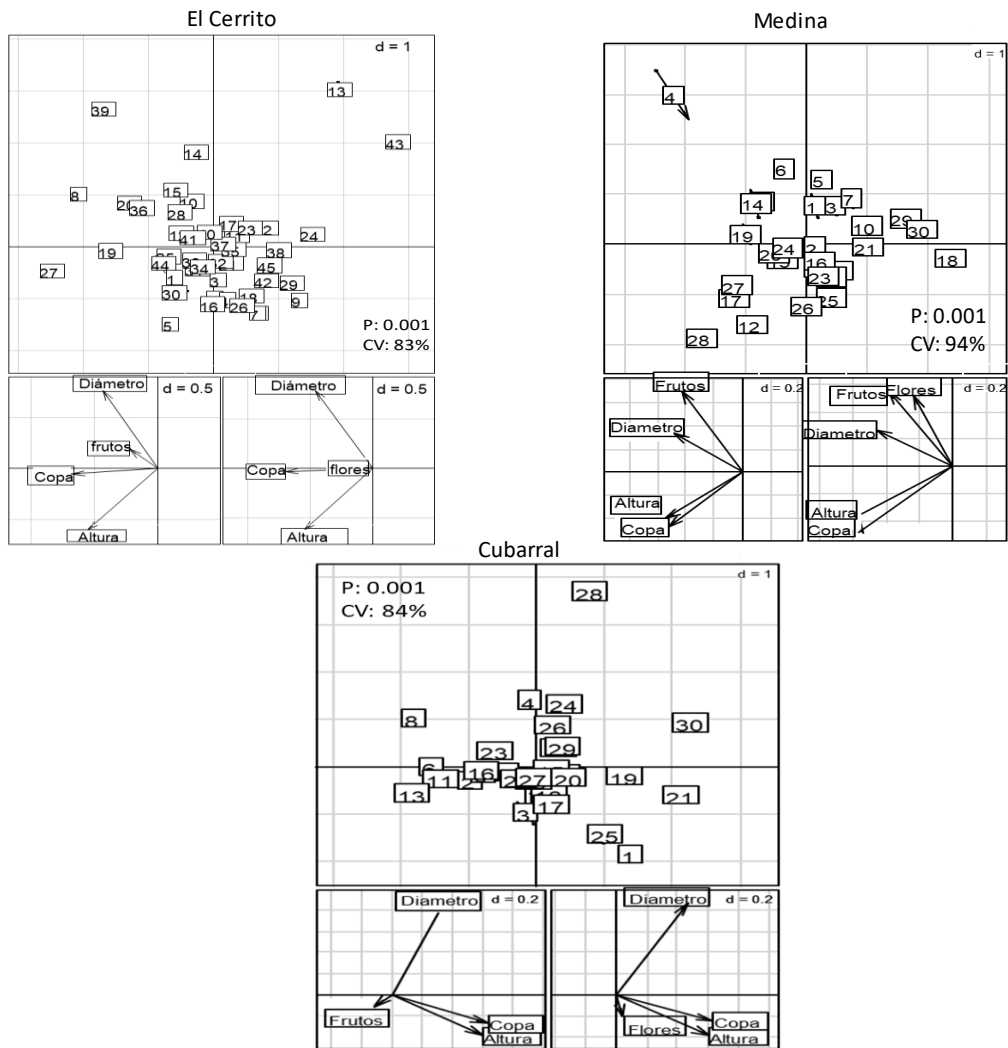


Figura 21. Análisis de Co-inercia entre las variables de tamaño del árbol (altura, DAP y área de copa) y variables de fecundidad (cosecha de flores y frutos) en las tres localidades.

6.1.4 Variables ambientales

Se exploró la relación entre la floración *M. trianae* y las variables ambientales que más podrían incidir sobre la floración y foliación de los árboles en la franja ecuatorial, según la revisión bibliográfica de varias investigaciones fenológicas en los trópicos (Borchert et al., 2005; Calle et al., 2010; Calle, Strahler, & Borchert, 2009). Estas variables son el fotoperiodo (duración de la luz del día) y la pluviosidad (milímetros de lluvia por mes). Se exploró la correlación de ambas con la iniciación de la floración, evaluada en términos del número de inflorescencias con flores en preantesis.

▪ Fotoperiodo

En las tres localidades evaluadas, la floración inició poco después del equinoccio de otoño (septiembre 22). Los registros fenológicos de las tres localidades sugieren que la inducción de la floración ocurre a partir de esa fecha. El descenso rápido en el fotoperíodo (o alguna señal ambiental relacionada con el acortamiento de la luz del día) parece desencadenar la floración sincrónica de las tres poblaciones de árboles (figura 24).

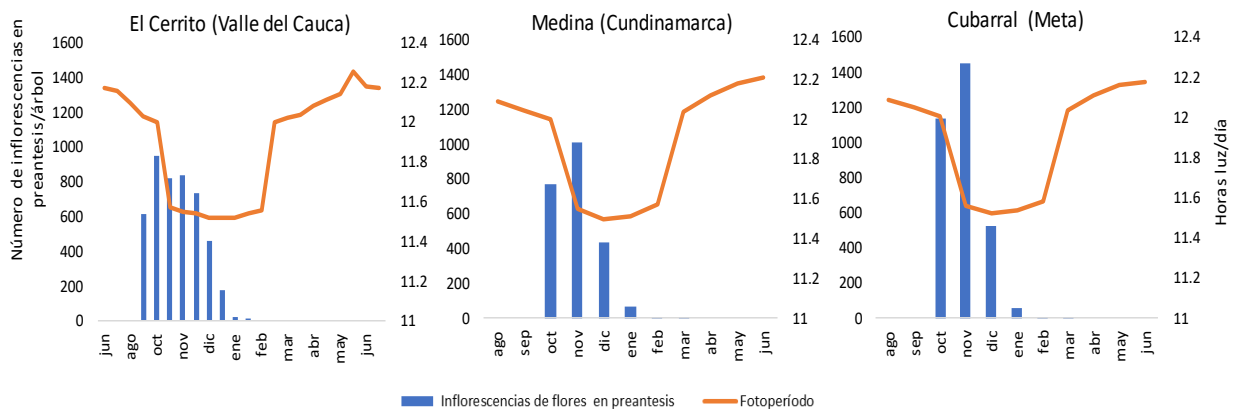


Figura 22. Fotoperiodo e inicio de la floración en las tres localidades evaluadas.

En cuanto al recambio foliar, en las tres poblaciones se observó una reducción en la actividad después el equinoccio de otoño, durante los meses de la floración y fructificación de los árboles: octubre a febrero en El Cerrito y diciembre a marzo en Medina y Cubarral. La fase más activa de recambio foliar (período de mayor abundancia relativa de hojas nuevas) coincidió con en el período de baja actividad reproductiva: marzo a septiembre en El Cerrito y abril a noviembre en Medina y Cubarral (figura 25).

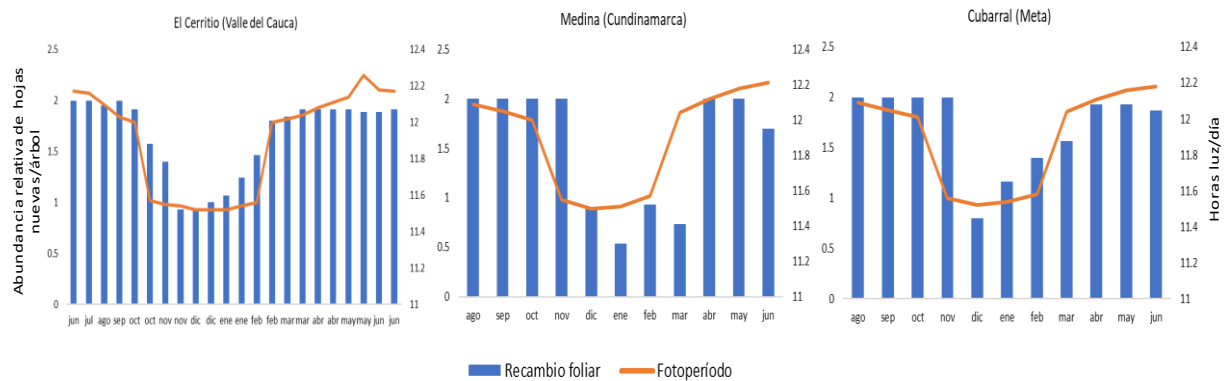


Figura 23. Fotoperíodo y recambio foliar en las tres localidades evaluadas.

▪ Precipitación

En las tres poblaciones estudiadas, la iniciación de la floración coincide con el mes más lluvioso. En el Valle del Cauca, las lluvias tienen un patrón bimodal, con dos temporadas lluviosas en marzo a mayo y septiembre a diciembre. Durante el monitoreo de fenología de 2017, el pico de precipitación se registró en octubre y coincidió con la máxima actividad de formación de flores en preantesis. En el Piedemonte Orinocense, las lluvias se distribuyen en forma monomodal de abril a noviembre, con la máxima precipitación de mayo a julio y un leve aumento en octubre. Durante el monitoreo de fenología en Medina (agosto de 2017 a junio de 2018), el mes más lluvioso fue noviembre y coincidió con la mayor actividad de formación de flores en preantesis. También en Cubarral la precipitación más alta fue en octubre y coincidió con los primeros brotes de flores. A pesar de la coincidencia entre iniciación de la floración y las lluvias intensas, no se observa una relación consistente entre la distribución mensual de las lluvias y la floración (figura 26).

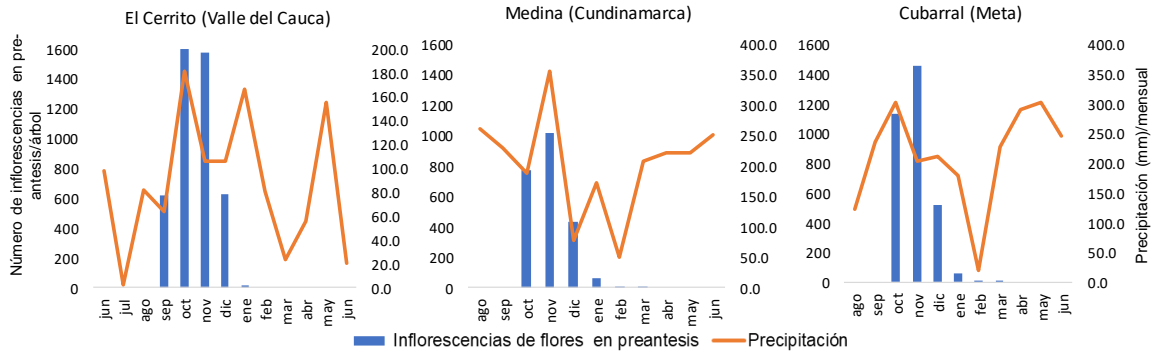


Figura 24. Variación mensual en la precipitación y floración en las tres localidades evaluadas.

En las tres localidades, el recambio foliar disminuye durante el período reproductivo, principalmente en la fase de flores en antesis y fructificación. En El Cerrito, esta es la época de mayor precipitación, mientras que en Medina y Cubarral es la época en que empiezan a disminuir las lluvias y comienza el verano (Figura 27).

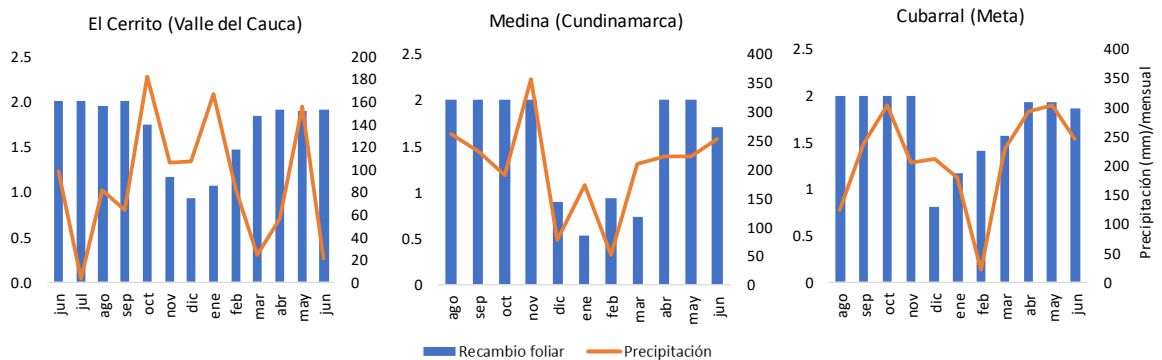


Figura 25. Relación entre el recambio foliar y la precipitación en las tres localidades evaluadas.

6.2 Crecimiento

6.2.1 Supervivencia de *M. trianae*

En los primeros treinta meses después de la plantación se registró una mortalidad del 10% de los árboles, debido principalmente al estrés hídrico durante varios meses de sequía en la región. Otros factores que afectaron la supervivencia fueron el ramoneo y el daño mecánico causado por el ganado a los tallos de los árboles. Además, las tormentas

registradas en el año 2017, causaron el volcamiento y daños en algunos árboles. Seis años después de la siembra, la sobrevivencia se estabilizó alrededor del 85% (figura 28).

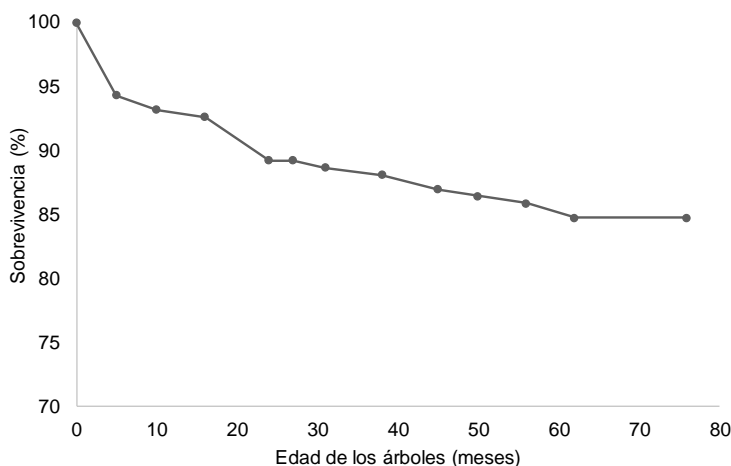


Figura 26. Sobrevivencia de *Mimosa trianae* Benth en la Reserva Natural El Hatico, Valle del Cauca.

6.2.2 Crecimiento de altura y diámetro de *M. trianae*

Cuando los árboles fueron medidos por primera vez en el año 2013, tenían una altura promedio de 0,9 m y un diámetro promedio de 9,1 mm. Seis años después (2019), se registró una altura promedio de 14,5 m (con un rango entre 7,9 y 20,5 m) y un diámetro promedio de 203,2 mm (rango entre 103 y 401mm). Esto equivale a un incremento semestral promedio de 1,23 m de altura y 18 mm de diámetro (tabla 8; figuras 29 y 30).

Tabla 8. Estadística descriptiva de crecimiento de altura (m) y diámetro (mm) de los árboles de *M. trianae* Benth entre 2013 y 2019.

	Edad de los árboles (meses)											
	5	10	16	24	27	31	38	45	50	56	62	76
Altura (m)												
N	167*	165	164	158	158	157	156	154	153	152	150	150*
Min	0,205	0,22	1,18	1,3	1,74	2,3	1,44	1,1	4,34	5,42	7,06	7,9
Max	2,76	5,01	6,63	8,94	10	10,5	11,18	13,65	14,9	15,5	17,45	20,5
Media	0,88	2,26	3,89	5,33	5,99	6,44	7,83	9,21	10,27	11,35	12,94	14,57
Desviación estándar	0,44	0,89	1,07	1,30	1,48	1,58	1,82	2,04	1,89	2,08	1,95	2,13
DAP (mm)												
N	167	165	164	158	158	157	156	154	153	152	150	150
Min	2	5	7	5	10	14	20	26	46	76	91	103
Max	20	42	65	98	119	148	239	239	201	252	341	401

	Edad de los árboles (meses)											
	5	10	16	24	27	31	38	45	50	56	62	76
Media	9,11	13,42	27,90	55,54	65,89	76,85	90,61	117,25	134,78	155,93	178,04	203,23
Desviación estándar	3,60	6,93	13,09	20,27	21,91	27,30	31,72	37,00	32,65	36,22	41,75	52,06

La edad (meses) y la altura (m) de los árboles mostraron una correlación alta ($r^2 = 0,99$), al igual la edad y el diámetro (mm) ($r^2 = 0,99$). La línea de tendencia muestra que el crecimiento no se ha estabilizado (figuras 29 y 30).

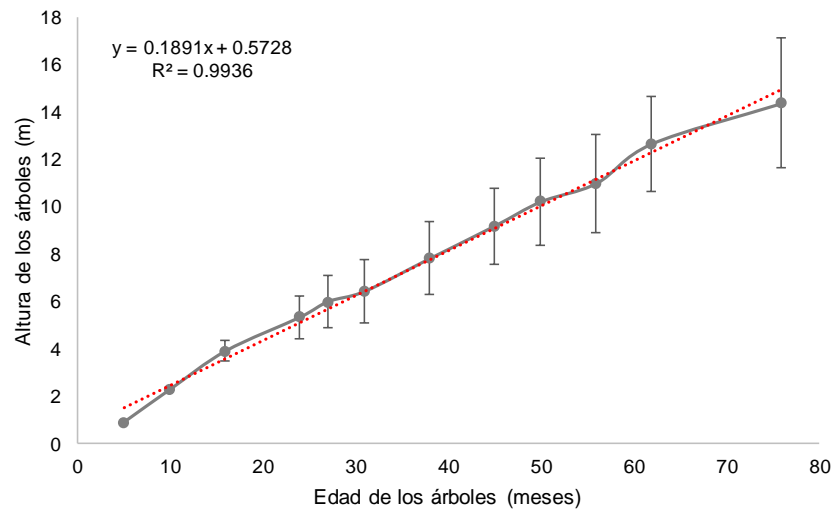


Figura 27. Incremento de altura (m) de árboles de *M. trianae* Benth durante seis años de monitoreo. Las barras indican la desviación estándar.

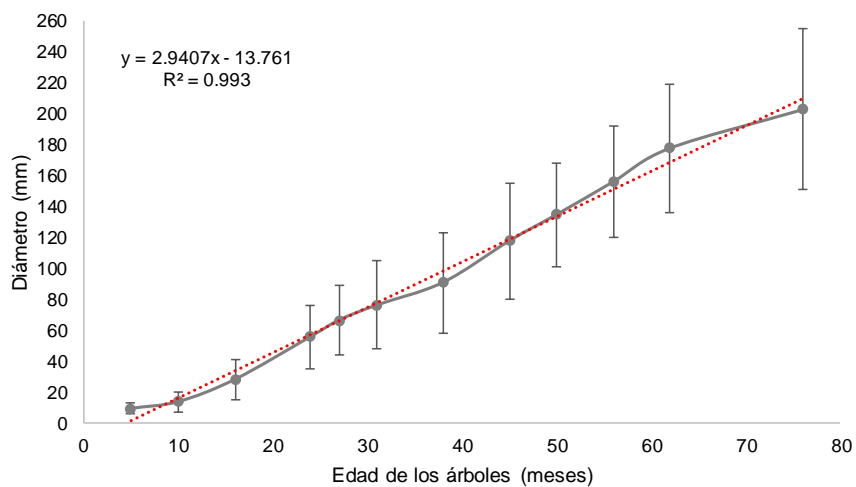


Figura 28. Incremento diamétrico (mm) de árboles de *M. trianae* Benth durante seis años de monitoreo. Las barras indican la desviación estándar.

Por otro lado, el análisis de dispersión también muestra una relación fuerte entre la altura y diámetro de los árboles ($r^2 = 0.98$) y un aumento en la varianza relacionado con el tamaño de los árboles. A medida que los árboles crecen, se amplían las diferencias en altura en árboles con diámetros similares (figura 31).

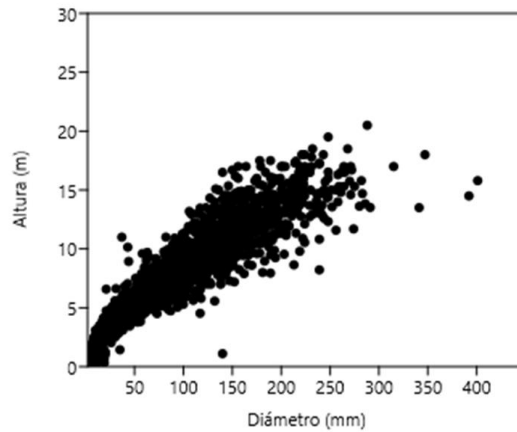


Figura 29. Análisis de dispersión de toda la población de altura (m) respecto al diámetro (mm) de los árboles de *M. trianae* evaluados en seis años.

6.3 Diversidad genética

6.3.1 Evaluación del ADN

En las muestras de ADN de los 79 árboles evaluados en las tres localidades, se obtuvo escasa contaminación por fenoles y sales, y una alta concentración para la mayoría de las muestras (>500ng/ul). En el caso de las muestras que presentaron bajas concentraciones (<500ng/ul) se utilizaron y amplificaron bien en la PCR (tabla 9).

Tabla 9. Evaluación de la concentración de ADN en el espectrofotómetro de micro volumen, para muestras de *M. trianae*

Población	Muestra	Concentración ADN (ng/ul)	Población	Muestra	Concentración ADN (ng/ul)	Población	Muestra	Concentración ADN (ng/ul)
3E	1	2735.48	2M	1	522.58	1V	1	238.42
3E	3	2638.92	2M	2	785.45	1V	2	478.95
3E	6	2140.18	2M	3	579.36	1V	3	243.43
3E	8	942.20	2M	4	966.47	1V	4	737.63
3E	11	642.32	2M	5	710.28	1V	5	304.09
3E	17	90.21	2M	6	705.82	1V	6	311.72
3E	22	215.43	2M	8	1048.80	1V	7	459.86
3E	25	278.35	2M	9	198.75	1V	8	266.07
3E	29	287.860	2M	10	870.24	1V	9	518.7
3E	34	210.03	2M	12	976.90	1V	10	532.34
3E	39	73.13	2M	13	192.80	1V	11	379.07
3E	41	415.17	2M	14	733.15	1V	12	619.16
3E	44	113.71	2M	15	1091.89	1V	13	514.54
3E	52	242.88	2M	16	851.51	1V	14	466.5
3E	57	691.24	2M	18	1333.73	1V	15	689.97
3E	68	461.63	2M	20	523.16	1V	16	595.03
3E	71	978.82	2M	21	623.30	1V	17	18.74
3E	72	197.06	2M	22	932.21	1V	19	327.45
3E	88	61.49	2M	23	714.80	1V	20	449.46
3E	92	83.66	2M	24	569.43	1V	21	329.76
3E	99	236.79	2M	25	563.57	1V	22	497.01
3E	105	460.35	2M	26	183.54	1V	23	589.2
3E	117	150.77	2M	28	572.77	1V	24	785.73
3E	128	559.52	2M	29	951.65	1V	26	457.57
3E	130	229.54	2M	30	666.92	1V	27	273.97
3E	142	204.19				1V	28	385.77
3E	153	65.46						
3E	171	369.71						
3E	175	105.87						

El Cerrito: 3E, Medina: 2M, Cubarral: 1V

La verificación del ADN diluido se llevó a cabo en gel de agarosa, como se muestra en la figura 32 cada muestra contenía ADN para los análisis correspondientes.

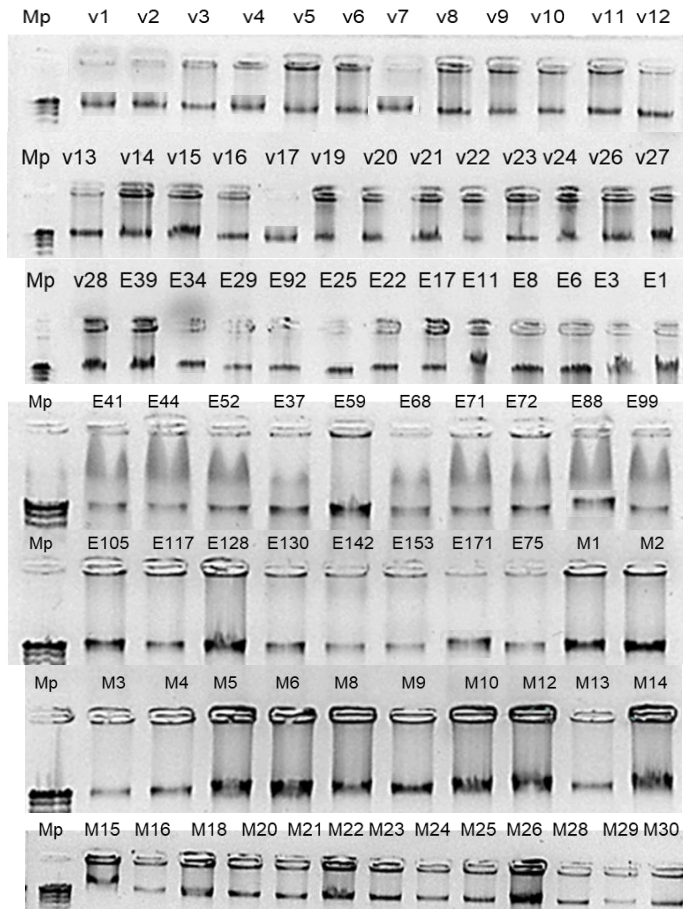


Figura 30. Verificación de la presencia de ADN diluido.

▪ Marcadores moleculares RAMs

De los ocho cebadores (CT, CGA, ACA, CCA, AG, TG, GT, CA), cinco amplificaron para la especie de estudio (tabla 10). Los cebadores TG, GT y CA no amplificaron para ninguna de las muestras; por lo cual fueron descartados.

Tabla 10. Cebadores que amplificaron y sus secuencias.

Cebador	Secuencia
CT	DBDCTCTCTCTCTCTC
CGA	DHBCGACGACGACGACGA
ACA	DBDACACACACACACACA
AG	HBHAGAGAGAGAGAGAGAG
CCA	DDBCCACCACCACCA

En la visualización de la amplificación en geles se encontraron patrones de bandas diferentes entre los individuos y entre las tres poblaciones. Estos patrones fueron codificados en una matriz de ceros y unos para posteriores análisis. Se anexan las visualizaciones para cada cebador y población (anexo 2).

6.3.2 Heterocigosidad esperada (He) y loci polimorficos

Los cinco cebadores en las tres poblaciones generaron un total de 501 bandas con pesos moleculares entre 300 a 1000pb. Se obtuvieron 448 bandas polimorficas, donde las poblaciones 1V y 2M presentaron el mayor número de bandas (tabla 11).

Los análisis de heterocigosidad esperada y el porcentaje de loci polimorficos mostraron que las poblaciones 1V (Piedemonte Orinocense) y 3E (Valle del Cauca) son las de mayor heterocigosidad esperada (He). Cabe recalcar que la población 1V es la primera generación establecida en una cerca viva proveniente de árboles silvestres. La población 3E, es la segunda generación de árboles plantados a partir de semilla sexual proveniente de 1V y esta población (3E) pudo heredar esta característica. Sin embargo, el porcentaje de loci polimórficos (70.40%) es el menor en dicha población (3E).

Por otro lado, la población 2M que correspondió a la población silvestre, su He presentó una pequeña diferencia (0.019), respecto las demás poblaciones, pero con un mayor porcentaje de loci polimórficos (78.5%) (Tabla 11).

Tabla 11. Heterocigosidad esperada (rango de evaluación 0: diversidad mínima, 1: diversidad máxima) y loci polimórficos en las tres poblaciones.

Población	Bandas totales	Bandas polimorficas	Heterocigosidad esperada (He)	Porcentaje de loci polimorficos
1V	168	152	0.198	74.89%
2M	175	152	0.181	78.48%
3E	158	144	0.200	70.40%

Cubarral: 1V, Medina: 2M, El Cerrito: 3E

6.3.3 Distancia genética

El índice de Nei mostró que la distancia genética entre las tres poblaciones es estrecha y refleja que pueden estar relacionadas. Como se explicó anteriormente, el material genético

evaluado de la población 1V está relacionado con la población 3E, porque de éste provino el material para la siembra en la cerca viva en El Cerrito. Mientras que en la población 2M (silvestre) y la población 1V, podría explicarse por la ubicación de estas dos poblaciones en la misma región (Piedemonte Orinocense) (Tabla 12).

Tabla 12. Matriz de población por pares del índice de Nei, distancia genética imparcial de las tres poblaciones evaluadas.

Población	1V	2M	3E
1V	0.00		
2M	0.02	0.00	
3E	0.02	0.02	0.00

Cubarral: 1V, Medina: 2M, El Cerrito: 3E

El análisis de varianza molecular (AMOVA) (Tabla 13), mostró que la mayor varianza se presenta dentro de las poblaciones (91%; P valor= 0.001) por la información genética de los individuos que las conforman. Como se mencionó en el análisis de distancia genética, la variación entre las poblaciones es baja.

Tabla 13. Varianza molecular entre y dentro de las tres poblaciones evaluadas (1V, 2M y 3E).

Variables	Entre poblaciones	Dentro de poblaciones	Total
Df	2	76	78
SS	214.3	2316.75	2531.06
MS	107.15	30.48	
Est. Var.	2.92	30.48	33.4
%	9	91	100

Grados de libertad (Df), suma de cuadrados (SS), media de cuadrados (MS), variación estándar (Est. Var.).

▪ Coeficiente de diferenciación genética (Fst)

El coeficiente de diferenciación genética (Fst) indicó que entre las tres poblaciones la diferenciación genética es moderada, pero significativamente diferente de cero (P= 0.001) (Tabla 14).

Tabla 14. Coeficiente de diferenciación genética F_{st} (Wright), entre las poblaciones evaluadas.

Valores de F_{st}	Grado de diferenciación	Valor F_{st} de este estudio
0 - 0.05	Poca diferenciación genética	
0.06 - 0.15	Moderada diferenciación genética	0.087
0.16 - 0.25	Alta diferenciación genética	
Mayor de 0.25	Gran diferenciación genética	

Fuente: Wright (1978)

▪ **Análisis descriptivo**

La figura 34 muestra el dendrograma de similitud para las poblaciones estudiadas. Los grupos se formaron de acuerdo a tres factores: el origen geográfico, la correlación genética entre los individuos y para el caso de la población 2M, el sitio donde crece. Las poblaciones 1V (color lila) y 3E (color negro), ambas establecidas en cerca viva, formaron el grupo A.

La población 2M (silvestre) ubicada en Medina, se diferenció de las demás, y dentro de este grupo se formaron tres subgrupos (B: color naranja, C: color azul y D: color verde). Los árboles que se evaluaron se encuentran en diferentes sistemas por regeneración natural; los que conforman los grupos B y C se encuentran en cerca viva y dispersos en potrero para sombrío del ganado, mientras que los del grupo D se ubican en el borde de bosque, interior de bosque y cerca viva.

Para el Out-group se utilizaron dos especies de la familia Fabaceae *Senegalia polyphylla* y *Senegalia* sp. colectadas en el Piedemonte Orinocense, estos formaron el grupo E (color rojo) (Figura 34).

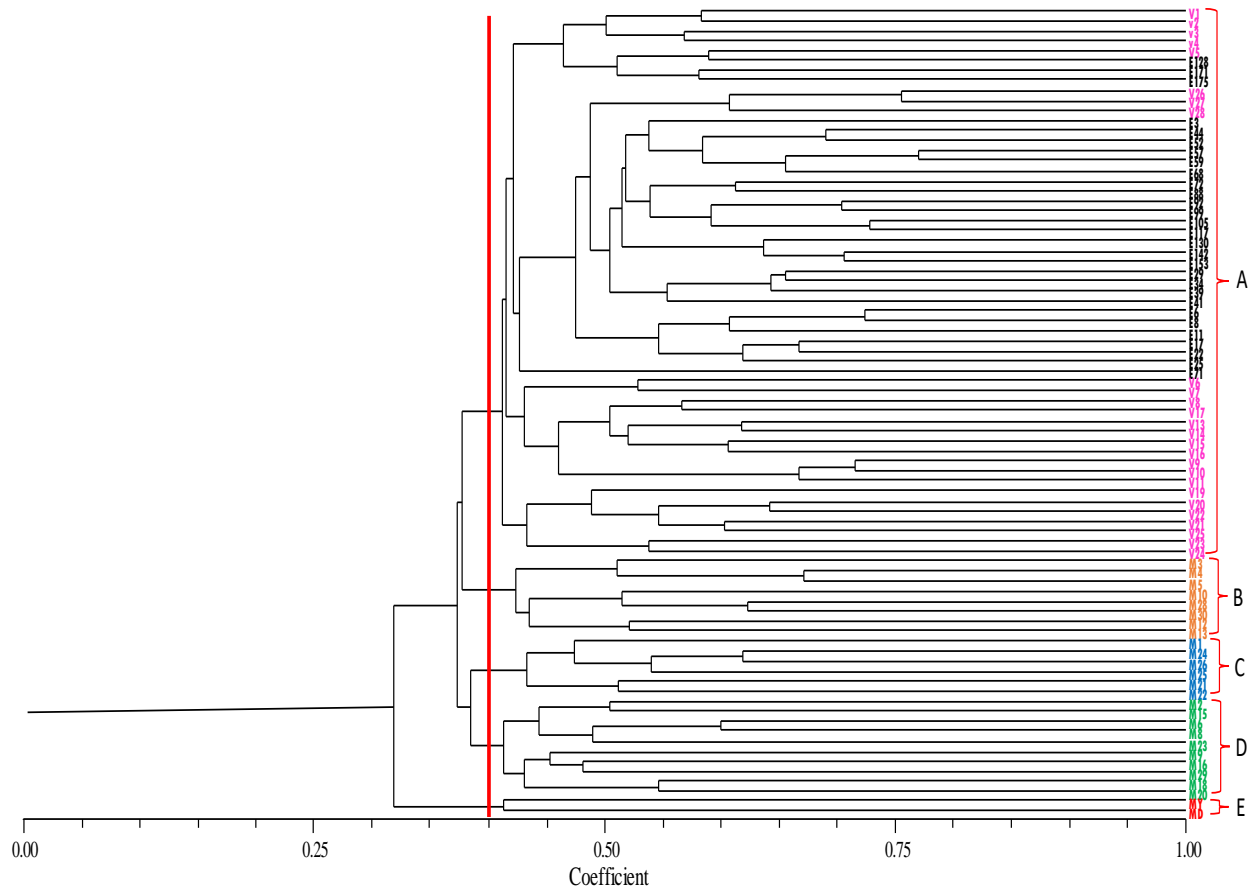


Figura 31. Dendrograma del coeficiente de Dice Nei-Li de las tres poblaciones de estudio: 1V, 3E y 2M, cada árbol tiene la letra que identifica la población, seguido del número.

6.3.4 Estructura genética

En el análisis de estructura genética el valor del delta K que determina la estructura poblacional de los individuos evaluados, presentó punto de inflexión (máxima verosimilitud) en $K=3$ (tabla 15 y figura 35). Por lo tanto, se generaron tres grupos que se diferencian bien entre sí.

Tabla 15. Agrupamientos con mayor verosimilitud ($\ln P(K)$).

k	Reps	Mean $\ln P(K)$	Stdev $\ln P(K)$	$\ln'(K)$	$ \ln''(K) $	Delta K
1	19	-7489.72	0.57	NA	NA	NA
2	15	-7242.77	0.83	246.95	56.67	68.55
3	15	-7052.5	0.60	190.27	136.66	227.31
4	15	-6998.88	3.10	53.61	NA	NA

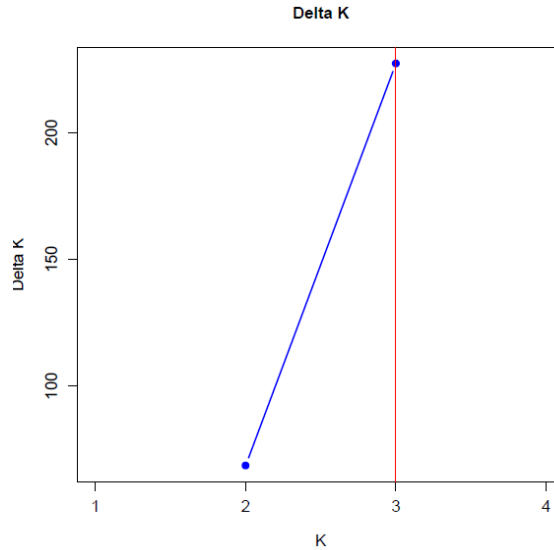


Figura 32. Valor modal de las diferencias de la verosimilitud (delta K) estandarizado con la desviación estándar de los datos donde se obtuvo $K=3$ para la agrupación de los individuos en tres poblaciones.

La población 2M (color rojo), comparte información genética (<10%) con la población 1V (color azul). Aunque la relación es estrecha, esta información puede estar indicando que la cercanía genética entre estas dos poblaciones probablemente se dé por la ubicación de estas dos poblaciones en la misma región (Piedemonte Orinocense).

Por otro lado, se infiere que la población 1V muestra dos linajes representados por el color azul y verde. De esta población solo se utilizaron tres árboles para coleccionar las semillas para la siembra de las cercas vivas en la población 3E, que al parecer fueron mayor proporción del linaje verde que del azul. Por lo tanto, estas dos poblaciones comparten un porcentaje mayor de información genética en algunos individuos entre 80 y 99% (figura 36).

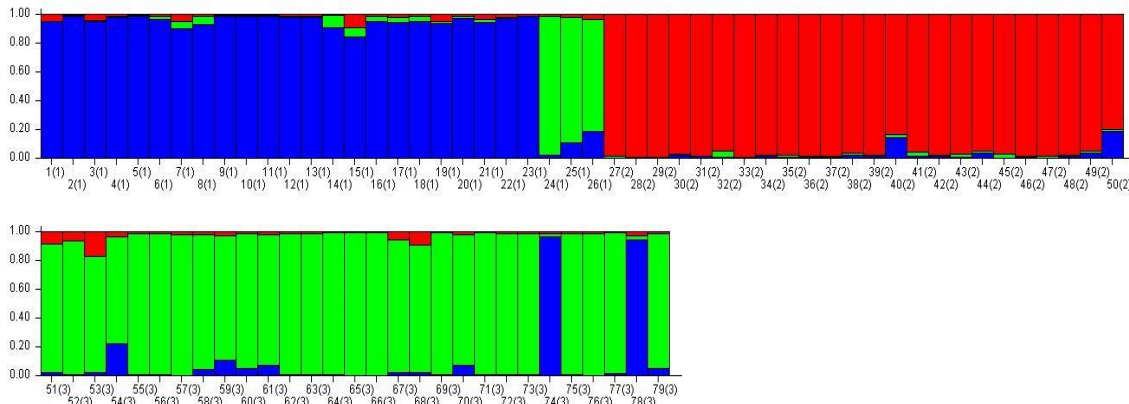


Figura 33. Estructura poblacional. Bar-plot de individuos asignados a una población (K población) identificadas por colores (1V: azul, 2M: rojo, 3E: verde), cada columna representa un árbol (79 en total) que puede tener segmentos que indican su probable origen genético.

6.3.5 Secuenciación

Para este análisis se utilizaron secuencias de otras especies de la familia Fabaceae y genero *Mimosa* como Out-group para anclar el árbol (tabla 16).

Tabla 16. Secuencias de las especies utilizadas para el árbol filogenético.

Código de la secuencia	Especie
DQ784648.1	<i>Mimosa myriadenia</i> Benth.
DQ784647.1	<i>Mimosa guilandinae</i> var.
DQ784646.1	<i>Mimosa colombiana</i> Britton & Killip
DQ784649.1	<i>Mimosa nothacacia</i> Barneby
DQ784650.1	<i>Mimosa revoluta</i> Benth.
AF278512.1	<i>Mimosa albida</i> Humb. & Bonpl.
AF522943.1	<i>Mimosa tenuiflora</i> Benth.

Fuente: National Center for Biotechnology Information (NCBI)

En total se analizaron 33 secuencias de los perfiles de las tres poblaciones. Las secuencias muestran que los individuos de la población 2M son más diversos, ya que forman clados aparte y evolutivamente son los ancestros de las poblaciones 1V y 3E.

M10 y M14 forman un primer grupo, estos árboles están ubicados en cerca viva y bosque, y un segundo grupo está conformado por cinco árboles M1, M15, M6, M13, M12, de estos, cuatro están en cerca viva y uno en potrero. Al presentarse mayor cercanía entre los

árboles en el sitio de estudio estos podrían tener un mayor flujo de genes. Finalmente se evidencia que la población 1V y 3E están más relacionadas genéticamente entre sí, porque forman el grupo más grande en el árbol (figura 37).



Figura 34. Árbol de consenso basado en secuencias del intrón trnL y trnF de los árboles analizados de las tres poblaciones 1V, 2M y 3E.

6.4 Descripción morfométrica

En la revisión bibliográfica sobre la descripción morfológica de *M. trianae* Benth, se encontraron dos referencias: Barneby (1991) y Santos Silva et al. (2015). No obstante, las descripciones contenidas en éstas se basaron solo en especímenes de herbario. Ambas carecen de los detalles de algunas estructuras de las hojas, flores y frutos. Además, las dimensiones de las estructuras difieren de las obtenidas en el presente estudio.

Para la descripción morfométrica de la especie en este estudio, se evaluaron 45 árboles. Se tomaron muestras de hojas, flores, frutos y corteza a cada individuo. Se evaluaron características cuantitativas y cualitativas de cada estructura, tanto vegetativas como reproductivas. Para esto se utilizó un estereoscopio Nikon SMZ-2T y un calibrador digital Vernier de 8". A continuación, se muestran los datos por cada estructura evaluada.

6.4.1 Estructuras vegetativas

Altura y diámetro

El árbol adulto puede superar los 20m de altura y 400mm de DAP (figura 40A).

Corteza

La corteza es fisurada – escamosa, café en el exterior. En la superficie se observa mayormente gris debido a los líquenes que se forman sobre ésta, mientras que el interior es café a rojizo, sin exudado (figura 40B).

Hoja

Las hojas son alternas dísticas, compuestas y bipinadas. En la mayoría de los individuos son paripinadas, pero se pueden encontrar hojas imparipinadas, aunque son muy escasas. La estípula es acicular, de borde entero, ápice agudo, de 3,6 - 21,9 mm de largo, 0,3 -1,1 mm de ancho, con base y ápice de 0,06 - 0,4 mm. Pubescencia café, compuesta por tricomas estrellados sésiles de pocas y muchas ramas y simples; con presencia de cristales de una sustancia no identificada en toda la superficie; es muy frágil y fácilmente se fragmenta. El pulvínulo tiene un largo de 2,7 - 8,0 mm y 1,2-2,5 mm de ancho, café oscuro (casi negro), con pubescencia en toda la superficie, compuesta por tricomas estrellados, pedunculados de muchas ramas, estrellados sésiles y simples, en algunos casos tricomas glandulares, simples y pedunculados largos (tres veces el tamaño de los

comunes en promedio 2 a 3 mm de largo), los cuales, se encontraron en el 64% de las muestras analizadas.

El pecíolo tiene un largo de 2,1 - 12 mm y un ancho entre 0,9 - 2,1 mm, acostillado (dos costillas), café, cubierto de tricomas estrellados sésiles de pocas ramas y pedunculados de pocas ramas, en mayor proporción simples largos (2 – 3 mm), con tricomas glandulares y cristales en toda la superficie. La lámina de la hoja tiene 54,3 - 107 mm de ancho. El raquis tiene 56,3 - 162,7 mm de largo, ancho de la base entre 0,8 - 1,6 mm y del ápice de 0,5 - 0,9 mm, con pubescencia café que cubre toda la superficie del raquis, compuesta de tricomas estrellados sésiles de pocas ramas, en mayor proporción simples, largos, tricomas glandulares y cristales dispersos. Las hojas presentan una especie de bráctea al final del raquis, la cual se denominó estipela terminal, igualmente frágil como la estípula; es acicular, de borde entero, con un largo entre 3,5 - 9,3mm, ancho de la base de 0,1 - 0,7 mm y del ápice de 0,1 - 0,3 mm. Pubescencia compuesta en el lado adaxial por tricomas estrellados sésiles de pocas y muchas ramas, simples y tricomas estrellados pedunculados de muchas ramas en el borde; en el lado abaxial presenta tricomas estrellados sésiles de pocas y muchas ramas, y simples; también se observan cristales en toda la superficie (tabla 17; figura 38: H, I, L).

Tabla 17. Descriptores estadísticos de 15 caracteres morfológicos evaluados en hojas de *Mimosa trianae* Benth.

	EL (mm)	EAB (mm)	EAA (mm)	PL (mm)	PA (mm)	PEL (mm)	PEA (mm)	LA (mm)	RL (mm)	RAB (mm)	RAAP (mm)	FN (mm)	ESTL (mm)	ESTAB (mm)	ESTAA (mm)
N	81	81	81	88	88	88	88	88	88	88	88	88	15	15	15
Min	3,68	0,3	0,06	2,7	1,21	2,12	0,9	54,3	56,3	0,8	0,5	10	3,5	0,1	0,1
Max	21,9	1,1	0,4	8,0	2,51	11,97	2,1	157	162,7	1,6	0,9	20	9,3	0,7	0,3
Media	10,6	0,6	0,1	4,9	1,6	7,16	1,2	91,5	100,5	1,1	0,7	16	6,5	0,5	0,2
Desviación estandar	3,5	0,1	0,06	1	0,2	1,85	0,1	19,7	20	0,1	0,1	2	1,7	0,1	0,07

EL (estípula largo), EAB (estípula ancho de la base), EAA (estípula ancho ápice), PL (pulvínulo largo), PA (pulvínulo ancho), PEL (pecíolo largo), PEA (pecíolo ancho), LA (lámina ancho), RL (raquis largo), RAB (raquis ancho base), RAAP (raquis ancho ápice), FN (folíolo número), ESTL (estipela terminal largo), ESTAB (estipela terminal ancho base), ESTAA (estipela terminal ancho ápice).

Folíolos

Entre 10 y 20 pares por hoja, con disposición opuesta y forma linear. El pecíolo tiene un largo de 0,5 - 2,7 mm y 0,3 - 1,8 mm de ancho, pubescencia café en el lado abaxial, tricomas sésiles en pocas ramas, en mayor proporción simples largos; tricomas

glandulares. Parte adaxial sésiles en muchas ramas, en mayor proporción simples largos, tricomas glandulares y cristales en toda la superficie. La lámina tiene un largo de 3,0 - 87,5 mm, ancho de la base de 2,6 - 11,3 mm, medio de 2,6 - 12,2 mm y en el ápice 0,4 - 5,0 mm. Estipela (dos) en la base de la lámina, largo de 0,1 – 2 mm y 0,04 - 1,1 mm de ancho, cubierta por tricomas estrellados sésiles pocas y muchas ramas, simples y presencia de cristales en toda la superficie.

El raquis es acostillado (dos costillas), largo de 12,7 - 85,2 mm, ancho de 0,1 – 6 mm, pubescencia café, en el lado adaxial con tricomas sésiles de pocas y muchas ramas, simples, también tricomas sésiles glandulares dispersos y presencia de cristales. En el lado abaxial presenta tricomas sésiles de pocas y muchas ramas, y simples dispersos, largos y tricomas sésiles glandulares.

Tiene una estipela terminal, acicular, de borde entero, con un largo de 0,1 - 2,2 mm y 0,07- 1,2 mm de ancho; pubescencia café en toda la superficie compuesta por tricomas estrellados sésiles pocas ramas, sésiles muchas ramas y simples en el lado adaxial, pedunculados muchas ramas en borde; estrellados sésiles pocas ramas, sésiles muchas ramas y simples en el lado abaxial, con presencia de cristales (tabla 18; figura 38L).

Foliólulo

Cada folíolo tiene en promedio 27 pares de foliólulos, verde oliva brillante en el haz (seco) y beige por pubescencia en el envés. Las dimensiones de los foliólulos disminuyen de la base hacia el ápice, el largo varía entre 0,3 - 6,7 y el ancho de 0,1 – 4 mm. La forma del foliólulo es oblonga, ápice de mucronado a agudo, peciolo obsoleto, base de cada foliólulo truncada, borde entero-revoluto. Pubescencia café, lado adaxial tricomas estrellados sésiles pocas ramas dispersos, simples, simples cortos patentes y glandulares; lado abaxial estrellados sésiles pocas ramas, simples y largos sólo en la nervadura central. La venación es palmada, con una vena central hasta ápice y dos a cuatro venas laterales, que tienden a recolectarse en borde; venación terciaria reticulada; en el haz, la vena central es impresa, las laterales y terciaria impresas o prominentes, mientras que en el envés la vena central es prominente y la vena lateral inferior a veces ligeramente prominente; el resto de venas en el envés están ocultas por la pubescencia (tabla 18; figura 38: N, O).

Tabla 18. Descriptores estadísticos de 17 caracteres morfométricos evaluados en folíolo y foliólulo de *Mimosa trianae* Benth.

	PFL (mm)	PFA (mm)	FLL (mm)	FLA (mm)	FLAM (mm)	FLAA (mm)	FEBL (mm)	FEBA (mm)	RL (mm)	RA (mm)	ETL (mm)	ETA (mm)	FON (mm)	FLP (mm)	FLG (mm)	FAP (mm)	FAG (mm)
N	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264
Min	0,5	0,3	3,0	2,6	2,6	0,4	0,1	0,04	12,7	0,1	0,1	0,07	11	0,3	1,9	0,1	0,7
Max	2,7	1,8	87,5	11,3	12,2	4,9	2	1,1	85,2	5,8	2,2	1,2	41	4	6,7	2,1	3,8
Media	1,2	0,6	51,2	5,6	6,3	1,8	0,7	0,1	49,8	0,3	0,8	0,1	27,6	1,3	3,7	0,8	1,4
Desviación estandar	0,3	0,1	14,9	1,4	1,4	0,6	0,2	0,07	14,6	0,3	0,3	0,09	6,9	0,5	0,8	0,3	0,4

PFL (folíolo peciolo largo), PFA (folíolo peciolo ancho), FLL (folíolo lamina largo), FLA (folíolo lamina ancho de la base), FLAM (folíolo lamina ancho medio), FLAA (folíolo lamina ancho ápice), FEBL (folíolo estipela basal largo), FEBA (folíolo estipela basal ancho), RL (raquis largo), RA (raquis ancho), ETL (estipela terminal largo), ETA (estipela terminal ancho), FON (foliólulo numero), FLP (foliólulo pequeño largo), FLG (foliólulo grande largo), FAP (foliólulo pequeño ancho), FAG (foliólulo grande ancho).

6.4.2 Estructuras reproductivas

Inflorescencia

Las inflorescencias son panículas de espigas terminales o subterminales, formadas por un promedio de 17 espigas; el pedúnculo mide entre 1,3 – 5 mm de largo por 1 - 3,2 mm de ancho, pubescencia café que cubre toda la estructura con tricomas sésiles de pocas ramas, sésiles muchas ramas, pedunculados muchas ramas más abundantes, simples y zonas glabras, cristales en toda la superficie. El raquis es acostillado (dos costillas), con un largo entre 25 – 159 mm y ancho de 0,8 - 3,0 mm en la base a 0,8 - 1,8 mm en el ápice. La superficie está cubierta por tricomas cafés sésiles pocas ramas, sésiles muchas ramas, pedunculados muchas ramas (más abundantes) y simples, además de cristales en toda la superficie (tabla 19; figura 38A).

Presenta una bráctea basal, de borde entero, ápice que puede variar de acuminado, agudo y caudado, mide entre 1,8 - 13,8 mm de largo y ancho de 0,35 - 1,21 mm (base) a 0,08 - 0,9 mm (ápice), cubierta de pubescencia café, en el lado adaxial tricomas estrellados sésiles muchas ramas y pocas ramas, pedunculados muchas ramas, simples que pueden concentrarse más hacia el ápice o la base, además se puede presentar superficie con gránulos de color negro. En el lado abaxial los tricomas son estrellados sésiles muchas ramas y pocas ramas, simples, la base puede ser glabra. En toda la superficie hay presencia de cristales (tabla 19; figuras 38A y 39D).

Tabla 19. Descriptores estadísticos de 9 caracteres morfométricos evaluados en la inflorescencia de *Mimosa trianae* Benth.

	EPN (mm)	PEL (mm)	PEA (mm)	RL (mm)	RAB (mm)	RAA (mm)	BLA (mm)	BAB (mm)	BAA (mm)
N	79	79	80	79	80	80	76	77	75
Min	6	1,3	1	25	0,82	0,8	1,8	0,3	0,08
Max	37	5	3,2	159	3	1,8	13,8	1,2	0,9
Media	17,4	2,8	2,1	88,5	1,8	1,3	5,5	0,8	0,2
Desviación estandar	7,8	0,8	0,4	29,7	0,3	0,2	2,4	0,1	0,1

EPN (número de espigas por panícula), PEL (pedúnculo largo), PEA (pedúnculo ancho), RL (raquis largo), RAB (raquis ancho base), RAA (raquis ancho ápice), BLA (bráctea largo), BAB (bráctea ancho base), BAA (bráctea ancho ápice).

Espiga

En el raquis de la inflorescencia, las espigas están dispuestas en pares o, más comúnmente, en grupos de tres. El pedúnculo tiene entre 0,4 - 8,8 mm de largo por 0,1 - 1,8 mm de ancho; está cubierto por tricomas estrellados cafés, sésiles de pocas y muchas ramas, pedunculados de muchas ramas y simples, éstos últimos escasos. El raquis tiene entre 21,2 - 100,2 mm de largo y 0,41 - 1,73 mm de ancho; con tricomas cafés, mayormente estrellados, sésiles de pocas y muchas ramas, pero también estrellados pedunculados concentrados en la base, y simples dispersos; presencia de cristales en toda la superficie (tabla 20; figura 38A y 39D).

Las flores presentan una bractéola basal, trulada, con el ápice acuminado o agudo. El borde es entero, largo entre 0,5 - 1,8 mm y 0,1 - 0,7 mm de ancho. Pubescencia café, en el lado adaxial con tricomas estrellados sésiles de pocas ramas y simples principalmente en el ápice y base, en el resto de la superficie es glabro; en el lado abaxial presenta tricomas estrellados sésiles de pocas y muchas ramas y simples. En toda la superficie hay presencia de cristales (tabla 20; figura 38D).

Tabla 20. Descriptores estadísticos de 8 caracteres morfométricos evaluados en la espiga de *Mimosa trianae* Benth.

	DI (mm)	PL (mm)	PA (mm)	RL (mm)	RAM (mm)	BRL (mm)	BRAB (mm)	BRAM (mm)
N	237	237	237	237	237	236	236	236
Min	1	0,4	0,1	21,2	0,4	0,5	0,07	0,1
Max	4	8,8	1,8	100,2	1,7	1,8	0,4	0,7
Media	2,7	2,6	1,2	65,2	0,8	1,1	0,1	0,4
Desviación estandar	0,5	1,3	0,2	13,4	0,1	0,2	0,05	0,09

DI (disposición), PL (pedúnculo largo), PA (pedúnculo ancho), RL (raquis largo), RAM raquis ancho medio), BRL (bractéola largo), BRAB (bractéola ancho base), BRAM (bractéola ancho medio).

Flor

Es hipógina, sésil, el cáliz es sinsépalo, con los sépalos connados hasta $\frac{3}{4}$ partes del largo del mismo, y de color amarillo. La forma puede variar de obcónico a campanulado, el tubo del cáliz mide entre 0,4 - 1,3 mm de largo por 0,4 - 0,9 mm de ancho. Tiene de tres a cuatro lóbulos, con 0,08 - 0,6 mm de largo y 0,2 - 0,8 mm de ancho. La superficie exterior del cáliz está cubierta por tricomas amarillos, estrellados sésiles de muchas y pocas ramas y simples, con presencia de cristales (esféricos), la superficie interna es glabra, granulosa a tuberculada, con cristales en toda la superficie (tabla 21; figura 38B).

La corola es sinpétala, con los pétalos connados hasta la mitad del largo de la misma, su forma puede ir de obcónica a campanulada, el color puede variar de blanco a amarillo. El largo del tubo es de 0,3 - 1,2mm, ancho de 0,4 - 1,11 mm. Tiene 4 lóbulos con el ápice agudo y un largo entre 0,4 - 1,6mm, ancho de 0,2 - 0,9mm. La superficie externa está cubierta por tricomas de color amarillo estrellados sésiles de muchas ramas cortas y largas, simples; la superficie interior es granulosa hacia el ápice de lóbulos y tuberculada en la base (tabla 21; figura 38E).

Las partes florales están sostenidas por un receptáculo, los estambres son libres, los filamentos son blancos, con un largo entre 1,3 - 9,8mm. Las anteras son dorsifijas, el ápice puede variar de redondeado a agudo de color amarillo, el pistilo presenta un estigma blanco, el estilo es igualmente blanco, con un largo entre 0,7 - 7mm (tabla 21; figura 1: B, C). El ovario es súpero, mide entre 0,2 - 1,5 mm de largo y 0,1 - 0,7 mm de ancho, está cubierto por tricomas de color amarillo, estrellados sésiles de muchas ramas y simples largos, la proporción de la superficie cubierta por éstos puede variar desde la mitad hacia

el ápice, hasta toda la superficie; en algunos casos se encuentran cristales (tabla 21; figura 38: J, K).

Tabla 21. Descriptores estadísticos de 16 caracteres morfométricos evaluados en la flor de *Mimosa trianae* Benth.

	CLN (mm)	CTL (mm)	CTA (mm)	CLL (mm)	CLA (mm)	COLN (mm)	COTL (mm)	COTA (mm)	COLL (mm)	COLA (mm)	ESN (mm)	FLC (mm)	FLL (mm)	EL (mm)	OVL (mm)	OVA (mm)
N	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	235	237	237	236	236	236
Min	3	0,4	0,4	0,08	0,2	3	0,3	0,4	0,4	0,2	6	1,3	1,6	0,7	0,2	0,1
Max	5	1,3	0,9	0,6	0,8	5	1,2	1,1	1,6	0,9	11	7,1	9,8	7	1,5	0,7
Media	4	0,8	0,7	0,2	0,4	4	0,8	0,6	0,9	0,5	8,1	5	5,3	5,1	0,5	0,3
Desviación estandar	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,5	1,1	0,9	1	0,1	0,1

CLN (cáliz lóbulo número), CTL (cáliz tubo largo), CTA (cáliz tubo ancho), CLL (cáliz lóbulo largo), CLA (cáliz lóbulo ancho), COLN (corola lóbulo número), COTL (corola tubo largo) COTA (corola tubo ancho), COLL (corola lóbulo largo), COLA (corola lóbulo ancho), ESN (estambres número), FLC (filamento corto largo), FLL (filamento largo largo), EL (estilo largo), OVL (ovario largo), OVA (ovario ancho).

Fruto

El fruto es una legumbre modificada, de tipo craspedio, indehiscente, ligeramente constreñida lateralmente, de color café; se pueden encontrar un promedio de 69 legumbres por infrutescencias, y de 4 a 6 por espiga. El largo del cuerpo es de 10,2 - 57,8 mm, largo del pedúnculo entre 0,9 - 7,7 mm y del apículo de 0,4 - 4,8 mm. El número de segmentos varía entre 2 a 8 y las semillas de 0, 1 a 7, algunas legumbres no tienen semillas. El ancho del segmento es de 1,1 - 7,6 mm, grosor de 0,4 - 5,0 mm, la constricción tiene un ancho de 0,4 - 7,2 mm, grosor de 0,2 - 0,8 mm. La superficie está cubierta por tricomas estrellados cafés, sésiles pocas y muchas ramas, simples, además de cristales. El interior del endocarpo es glabro en el centro de cavidad seminal, y pubescente, de tipo lanuda en los bordes, con tricomas simples alrededor (tabla 22; figuras 38M y 39: E, F).

Tabla 22. Descriptores estadísticos de 11 caracteres morfométricos evaluados en el fruto de *Mimosa trianae* Benth.

	FN (mm)	ESN (mm)	FLC (mm)	FLP (mm)	FLA (mm)	FAS (mm)	FAC (mm)	FGS (mm)	FGES (mm)	FNSG (mm)	FNSE (mm)
N	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
Min	7	2	10,2	0,9	0,47	1,1	0,4	0,4	0,2	2	0
Max	163	25	57,8	7,7	4,8	7,6	7,2	5	0,8	8	7
Media	69	13,6	31,5	4,6	1,5	6	5,6	1,1	0,4	4,7	3,6
Desviación estandar	27,5	5,2	7,5	1,1	0,7	0,6	0,7	0,3	0,09	1,2	1,5

FN (número de frutos), ESN (número de espigas), FLC (fruto largo cuerpo), FLP (fruto largo pedúnculo), FLA (fruto largo ápículo), FAS (fruto ancho segmento), FAC (fruto ancho constricción), FGS (fruto grosor segmento), FGES (fruto grosor constricción), FNSG (fruto número de segmentos), FNSE (fruto número de semillas).

Semilla

La semilla es redondeada, de textura glabra, color que puede variar entre amarillo, café y verde; pleurograma blanco, hilum gris, rafe blanco y el lente entre café, amarillo y verde. El largo puede estar entre 2,3 - 4,3 mm, el ancho de 1,8 - 5,6 mm y el grosor de 0,53 - 1,7 mm (tabla 23; figuras 38P y 39G).

Tabla 23. Descriptores estadísticos de 3 caracteres morfométricos evaluados en la semilla de *Mimosa trianae* Benth.

	SEL (mm)	SEA (mm)	SEG (mm)
N	240	240	240
Min	2,38	1,84	0,53
Max	4,34	5,6	1,7
Media	3,37	2,74	0,90
Desviación estandar	0,29	0,34	0,12

SEL (semilla largo), SEA (semilla ancho), SEG (semilla grosor).

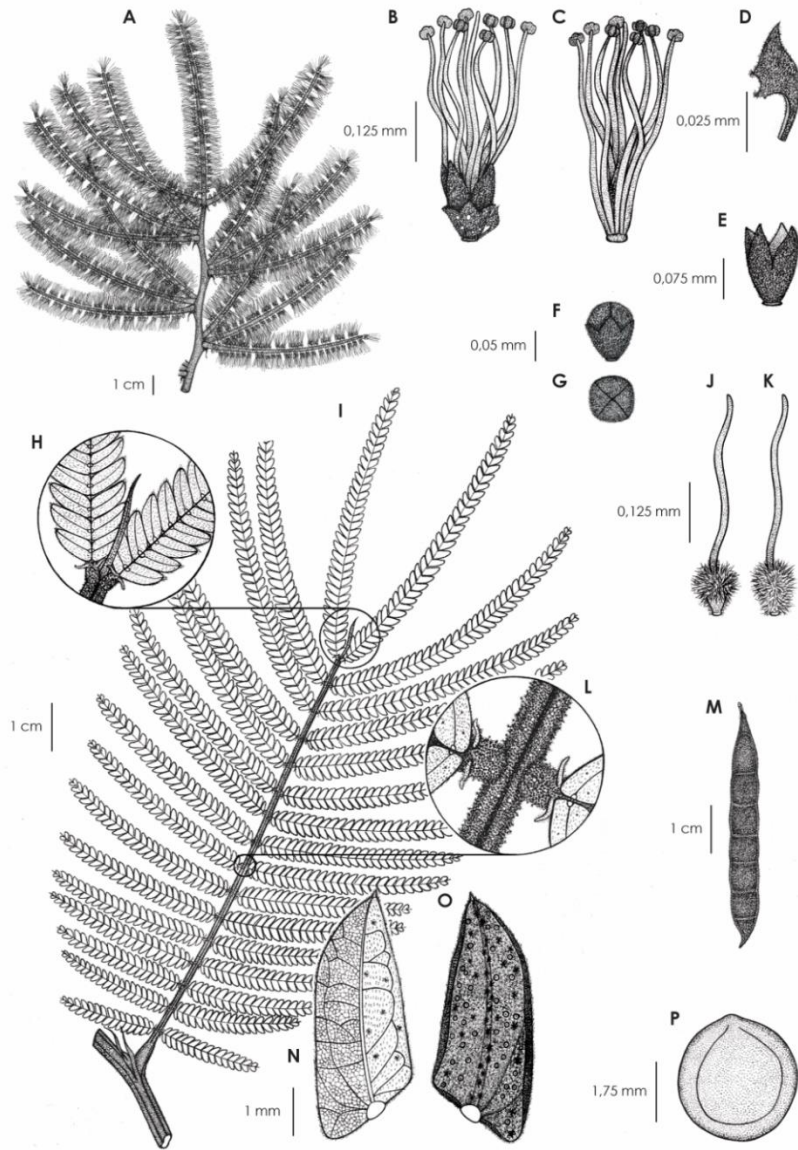


Figura 35 Estructuras evaluadas de *M. trianae*: **A**: Inflorescencia de flores en anthesis; **B**: estructura de la flor en anthesis; **C**: estambres, filamentos y estilo; **D**: bractéola; **E**: Corola; **F** y **G**: botón floral; **H**: estipela terminal; **I**: folíolo; **J**: ovario con la mitad de la superficie con pubescencia y estilo; **K**: ovario con pubescencia en toda la superficie; **L**: raquis acostillado y estipela basal; **M**: legumbre; **N**: foliólulo haz; **O**: foliólulo envés; **P**: semilla (figura elaborada por: Eileen Muñoz Castillo).

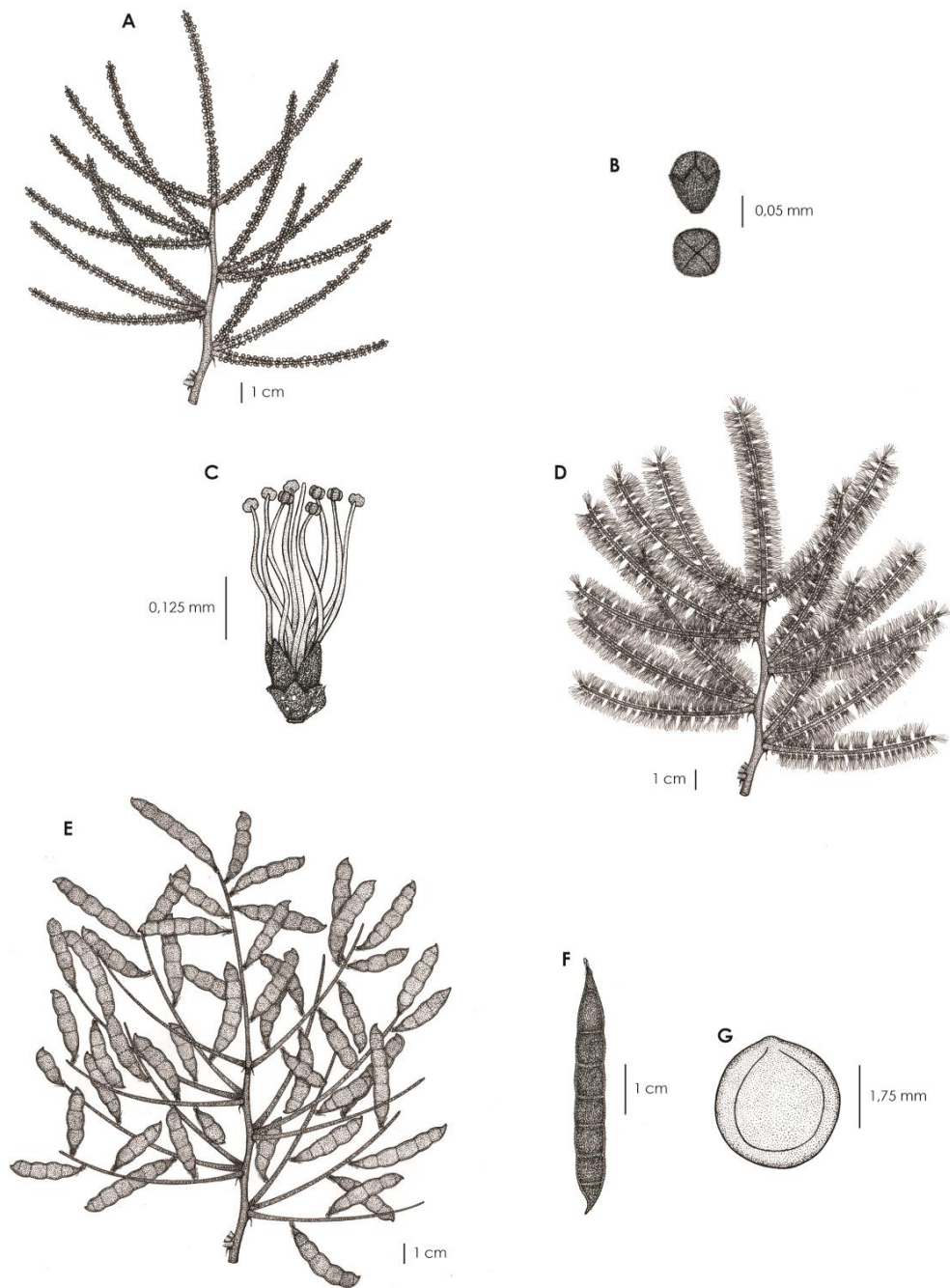


Figura 36. Estructuras evaluadas de *M. trianae*: **A**: inflorescencia de flores en preantesis; **B**: botón floral; **C**: flor en antesis; **D**: inflorescencia en antesis; **E**: infrutescencia con legumbres maduras; **F**: Legumbre; **G**: semilla (figura elaborada por: Eileen Muñoz Castillo).

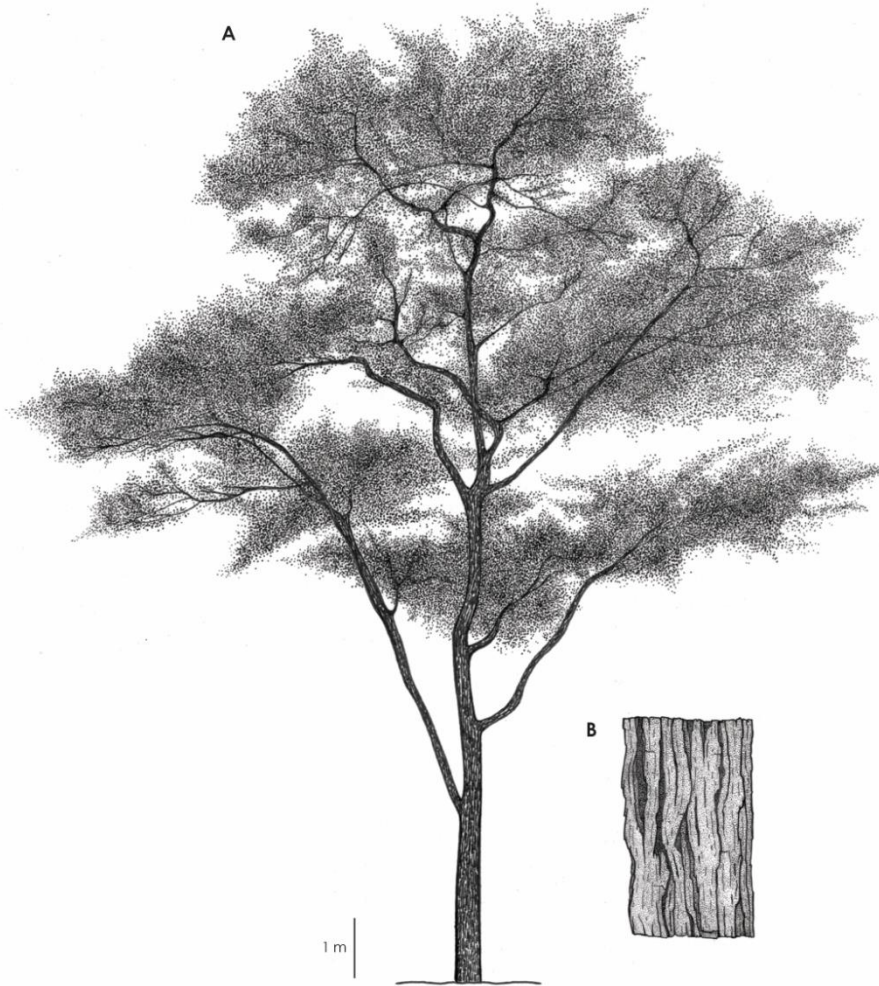


Figura 37. **A:** arquitectura del árbol *M. trianae*; **B:** segmento de corteza (figura elaborada por: Eileen Muñoz Castillo).

7. Discusión

7.1 Fenología

- **Patrón temporal de la reproducción**

En las tres localidades donde se llevó a cabo este estudio, los árboles de *M. trianae* presentaron un patrón reproductivo anual y en el mismo periodo (entre septiembre y abril) en más del 80% de los árboles. Estos resultados indican una fuerte sincronía dentro y entre las poblaciones, con una intensidad de cada fenofase entre el 60 y 90% de las ramas de cada árbol. La floración sincrónica en las poblaciones de plantas influye en el éxito reproductivo de los individuos porque determina el nivel de fertilización cruzada o autofecundación (Ollerton & Lack, 1992; Poole, Rathcke, & Gary Stiles, 1979).

Aunque en la actualidad existen pocos estudios sobre *M. trianae*, investigaciones fenológicas de especies de la familia Fabaceae, han mostrado patrones reproductivos diferentes. En algunas especies se ha observado sincronía entre poblaciones e individuos, al presentar floración tres veces en el año (Falcao & Clement, 2000; Ochoa-Gaona et al., 2008), mientras que otros estudios de Fabáceas y Mimosáceas desarrollados en bosques, encontraron asincronía en la fase reproductiva con registros de tres a cinco eventos reproductivos al año (de Amorim, Sampaio, & Araújo, 2009; Talora & Morellato, 2000). Otras familias de plantas tropicales, tales como las Bignoniáceas presentan patrones fenológicos variados, que pueden estar relacionados con la biología de los polinizadores (Sakai, 2001).

- **Fecundidad**

En las tres zonas de estudio (El Cerrito, Medina, Cubarral), el número promedio de inflorescencias en preantesis por árbol fue mayor que el de estructuras en las demás fases fenológicas. Una explicación de este patrón es que la etapa de antesis es efímera, (no dura más de 8 días) y esto impide registrar la cosecha total de flores en el rango de tiempo (15

a 30 días) entre las visitas de monitoreo. Sin embargo, los frutos maduros incrementaron; se estimó que entre el 65 al 92% de las inflorescencias en preantesis fueron fecundadas.

Se contaron 257 botones florales en espigas con inflorescencias inmaduras y 161 flores en espigas con flores en antesis; de éstas, 5 en promedio fueron fecundadas y formaron legumbres maduras. Esta etapa se registró de septiembre a marzo para legumbres maduras y hasta junio los árboles presentaron legumbres secas. En estudios similares de la fenología reproductiva de Fabaceas como *Inga ornata* Kunth. se registró mayor cantidad de flores (0 y 960) que de legumbres (0 y 100) y estas fenofases se registraron entre septiembre a marzo (Marín-Gómez, García C, Gómez M, & Pinzón L, 2011). En *Inga edulis* la cantidad promedio de flores registradas fue 50.000 y el promedio de frutos fue de 500 por árbol (Falcao & Clement, 2000), en ambas especies las flores en antesis tienen una duración de sólo 24 horas.

Estos datos sugieren que el método para estimar la fecundidad basado en conteos de estructuras en intervalos regulares de tiempo puede subestimar el número de estructuras de duración efímera, como las flores en preantesis. Por otra parte, muchas plantas producen más flores que frutos por diferentes razones. Por ejemplo, el despliegue floral y el número de flores que abren diariamente determinan el potencial de visita de los polinizadores y el éxito de la polinización (Frankie, Opler, & Bawa, 1976; Stephenson, 1982). Estas plantas producen números de flores muy superiores a los números de frutos que sus recursos energéticos les permiten formar.

- **Diferencias entre los patrones de las fenofases**

Todas las fenofases se registraron en un porcentaje mayor de árboles que de ramas, debido a que algunas ramas no mostraron actividad reproductiva. Esto se observó a lo largo de la investigación y en las tres localidades objeto de estudio. Además, los porcentajes más altos de árboles y ramas con actividad reproductiva (en todas las fenofases) se registraron en las localidades de El Cerrito y Cubarral. Estas particularidades pueden estar asociadas a la estructura de edad de las tres poblaciones de árboles, lo cual puede influir sobre la intensidad de la floración y fructificación, en consecuencia, también sobre la fecundidad. Los registros de siembra permiten establecer que los árboles de El Cerrito tienen 6 años y los de Cubarral, 10 años. En Medina, los árboles hacen parte de una población silvestre y probablemente tienen un rango mayor de edades. Otros estudios

de árboles tropicales muestran diferencias en la fecundidad de árboles de diferentes edades. Tanto el tamaño como la edad pueden incidir en el patrón de asignación de recursos para la reproducción. Por ejemplo, los árboles más jóvenes pueden concentrar su inversión reproductiva en un solo evento, mientras que los árboles mayores pueden asignar los recursos en forma más equitativa entre varios eventos reproductivos (Naito et al., 2008).

En las poblaciones que presentaron las mayores cosechas (El Cerrito y Cubarral), los árboles habían sido plantados en cercas vivas, protegidos del ganado, a una distancia de seis metros entre individuos. En Medina, los árboles están ubicados en los bordes e interior de bosque, dispersos en potreros y cercas vivas, y están más expuestos a perturbaciones y daños mecánicos.

Otro aspecto que probablemente incidió sobre los patrones reproductivos, tiene que ver con la cantidad de luz que reciben los árboles. En Medina, los individuos estudiados están en el borde e interior del bosque y pueden tener menos exposición a la luz solar, lo cual limitaría su desarrollo vegetativo y la reproducción, en comparación con los de Cubarral y El Cerrito que, al estar en cercas vivas, tienen mayor acceso a la luz (Montagnini & Jordan, 2005; Moretti et al., 2019; Valladares, Aranda, & Sánchez-Gómez, 2004).

Por último, en El Cerrito y Cubarral se aplicaron fertilizantes a los árboles en la primera etapa de desarrollo (primeros 6 meses), lo que pudo favorecer la mayor fecundidad, esto teniendo en cuenta, que en la solución del suelo se encuentran naturalmente los nutrientes que las plantas requieren para su desarrollo fisiológico. La fertilización garantiza la disponibilidad de los elementos como N, P, K, Mg, S, Ca, micronutrientes como Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Cl, y B, que favorecen el crecimiento de las plantas y la producción de flores y frutos (FAO, 1992; Olliet, Planelles, Artero, & Domingo, 2016; Villar-salvador et al., 2012).

- **Variables ambientales**

El fotoperíodo es la duración de la luz del día y varía a lo largo del año, según las estaciones y el ciclo solar. Múltiples procesos de las plantas son regulados por el fotoperíodo, principalmente en las zonas templadas, donde existen diferencias marcadas en la luz del día entre el verano y el invierno. El fotoperíodo varía a lo largo del año y con la latitud (excepto en la línea ecuatorial, donde es constante), pero no varía de un año a

otro y es independiente del clima. La floración estacional de los árboles en las mismas fechas cada año no puede ser inducida por la lluvia, que varía ampliamente entre localidades y entre años, sino que sugiere un control fotoperiódico (Calle et al., 2009). Sin embargo, en la línea ecuatorial, también hay un gran número de especies que florecen cada año en fechas predecibles y en ecosistemas poco estacionales. En este caso, el factor involucrado en la inducción de la floración no puede ser el fotoperíodo, sino la insolación (Borchert et al., 2005; Calle, Strahler, & Borchert, 2009; Calle et al., 2010).

A 4°N, la duración de la luz del día varía 34 minutos a lo largo del año, alcanzando sus valores máximo y mínimo en los solsticios de verano e invierno (junio 21 y diciembre 21 respectivamente en el hemisferio norte). El descenso más rápido en el fotoperíodo ocurre alrededor del equinoccio de otoño (septiembre 22). El inicio de la etapa reproductiva de *Mimosa trianae* tiene una clara relación con el equinoccio de otoño en las tres localidades de estudio. Sin embargo, no es fácil diferenciar los efectos del fotoperíodo y la insolación. La máxima insolación ocurre en el solsticio de verano a 23°N y en el equinoccio de otoño en la línea ecuatorial, con fechas intermedias en las latitudes entre 0 y 23°N. Cerca del ecuador, el fotoperíodo es constante a lo largo del año, pero la insolación varía lo suficiente como para inducir la floración en un gran número de especies (Calle et al., 2010).

Los datos de este estudio sugieren que los cambios en el fotoperíodo o en la insolación inducen la floración de *Mimosa trianae*. Sin embargo, para poder esclarecer cuál de las dos variables actúa como detonante de la floración en esta especie, sería necesario complementar este estudio con otros de la misma especie en un rango mayor de latitudes y durante varios años. Si la floración es inducida por un descenso en la insolación, debería iniciar antes en latitudes mayores que cerca del ecuador (Calle et al., 2009).

La iniciación de la fase reproductiva (de floración a frutos maduros) de *Mimosa trianae* se relaciona con el descenso en el fotoperíodo (y/o la insolación) y se asocia a la disminución en la actividad del recambio foliar. Al menos un estudio anterior sugiere un papel importante del fotoperíodo en la floración de árboles tropicales de la familia Fabaceae. Una investigación basada en colecciones de herbario de varias especies del género *Erythrina*, muestra que la mayoría de las especies comienzan a florecer en noviembre-diciembre en el hemisferio norte y en junio-julio en el sur (Rivera & Borchert, 2001). Este desfase de un semestre entre las especies de ambos hemisferios es lo que se espera si el factor

involucrado en la inducción de la floración es el fotoperíodo. Otro estudio de la fenología de once especies de la familia Fabaceae, realizado en Brasil, mostró que varias especies se reproducen más de una vez al año, y que la mayor actividad de floración y recambio foliar coincide con un aumento en el fotoperíodo (Souza, Mascarenhas & Silveira, 2018), contrario a lo que se registró para *M. trianae*, Aunque no todas las especies de la familia responden de manera similar al fotoperíodo, es claro que la duración de la luz del día cumple un papel importante en la floración de varias leguminosas.

En las tres localidades de estudio, los picos de lluvias del año 2017 coincidieron con el inicio y la mayor actividad en la formación de las flores de *Mimosa trianae*. Sin embargo, no es probable que las lluvias tengan una relación directa con las fases reproductivas en el Piedemonte Orinocense. En el Valle del Cauca, donde el segundo periodo de lluvias (de septiembre a diciembre) coincidió con el inicio de la fase reproductiva y la reducción del recambio foliar, es imposible separar los efectos del fotoperíodo y las lluvias sobre la fenología, a menos que se lleven a cabo estudios durante varios años.

Estudios de fenología de especies de las familias Fabaceae y Mimosaceae en bosques estacionales, muestran que en algunas especies, el inicio de la etapa reproductiva o la dispersión de las semillas están relacionadas con el periodo de las lluvias (Bulhao & Figueiredo, 2002; Cruz Neto, Lopes, & Machado, 2007; Lucena de Amorim et al., 2009; Marín-Gómez et al., 2011). Esto no excluye de ninguna forma que el fotoperíodo pueda estar implicado en la inducción de la floración.

En cuanto el recambio foliar, varios estudios hechos en ecosistemas fuertemente estacionales, han mostrado que los árboles pierden las hojas en la época seca evitando así la pérdida de agua, y la foliación ocurre al comienzo de las lluvias (Bulhao & Figueiredo, 2002; Cruz Neto et al., 2007; Lucena de Amorim et al., 2009; Marín-Gómez et al., 2011). En *M. trianae*, una especie endémica de una región con una estacionalidad menor en las lluvias, el recambio foliar se registró a lo largo del año, con excepción de la época reproductiva, cuando los árboles disminuyeron esta actividad y concentraron sus recursos en la formación de flores y frutos.

7.2 Crecimiento

Los árboles de *M. trianae* fueron plantados en una localidad de bosque seco tropical (bs-T), una zona de vida muy diferente del bosque muy húmedo tropical (bmh-T) del Piedemonte Orinocense, donde es la especie es endémica. En seis años de crecimiento en cercas vivas, se registraron incrementos anuales de 2,20 m de altura y 36 mm de diámetro. Estos resultados muestran el acelerado crecimiento y la capacidad de adaptación del yopo a ecosistemas diferentes de los que existen en la región donde es endémico, lo cual sin duda permite integrarlo en sistemas agroforestales, silvopastoriles e iniciativas de restauración de bosques. Estudios de crecimiento de árboles nativos de la familia Fabaceae (*Pithecellobium saman*, *Dalbergia retusa* y *Diphysa robinoides*) plantados en hileras dobles en sistemas silvopastoriles de Costa Rica, muestran incrementos medios anuales entre 0,6 y 0,8 m de altura y 6 a 23 mm de diámetro (Andrade Castañeda, 2007), muy por debajo de los registrados en *M. trianae*. *Acacia mangium*, otra especie de la familia Fabaceae, reconocida por su crecimiento excepcionalmente rápido, presentó un incremento diamétrico anual de 40mm en una plantación forestal (Pavlotzky & Murillo, 2014), un resultado cercano al obtenido en esta investigación.

Gmelina arborea (Familia Lamiaceae), una especie originaria de la India e introducida en varios países de Latinoamérica por su rápido crecimiento y fácil adaptación, presentó incrementos promedio de 1,31 m de altura y 20 mm de diámetro en un sistema agroforestal (Arteaga & Castelán, 2008). El crecimiento de *M. trianae* supera el registrado en *G. arborea*. Estos resultados sustentan aún más el potencial de crecimiento y adaptación que tiene *M. trianae*, y que la hacen ideal para agroecosistemas y procesos de restauración ecológica.

7.3 Diversidad genética

▪ Heterocigosidad esperada (H_e) y loci polimorficos

Los análisis de Heterocigosidad esperada (H_e) y el porcentaje de loci polimorficos, mostraron que las poblaciones 1V y 3E, ubicadas en el Piedemonte Orinocense y Valle del Cauca, respectivamente, son las que presentaron mayor H_e , sin embargo, la población 3E (El Cerrito) presentó el porcentaje más bajo (70,4%) de loci poliformificos entre las tres poblaciones evaluadas. Estas características se pueden explicar por el origen de los

árboles evaluados, ya que, la población 1V es la primera generación establecida en una cerca viva proveniente de árboles silvestres, cuya ubicación geográfica se desconoce. Se infiere que, al estar en cercas vivas, a una distancia promedio de 6 m entre árbol, facilita el intercambio de polen (polinización autógama funcional), lo cual permitió que la H_e fuese conservada y se transmitiera a la población 3E, que es la segunda generación de árboles sembrada a partir de semilla sexual proveniente de la población 1V. Sin embargo, el porcentaje de loci polimórficos de la población 3E, podría indicar una variación genética relacionada con factores como mutación e inserción de nucleótidos, entre otros.

Por otro lado, en la población silvestre en Medina (2M), la H_e presentó una pequeña diferencia (0.019), con respecto las demás poblaciones, pero con el mayor porcentaje de loci polimórficos, lo cual la hace más diversa y, por lo tanto, con mayor potencial para resistir algunos cambios en su entorno.

La disminución del porcentaje de loci polimórficos en la población 3E es lo que puede suceder cuando las especies silvestres se integran a sistemas productivos e inician el proceso de domesticación. Los factores de cambio moldean la variabilidad genética de las poblaciones naturales determinando las respuesta de adaptación y supervivencia; esto ocurre naturalmente como parte del proceso evolutivo de las especies silvestres (Caruso, Broglia, & Pocovi, 2015). Por otro lado, es importante mencionar que cuando las especies cuentan con el modo de reproducción por autogamia, la pérdida de la heterocigosidad puede alcanzar tasas hasta del 50% en cada generación (Loo, 2011).

- **Distancia genética**

El índice de Nei mostró que la distancia genética entre las tres poblaciones es estrecha (0,02). Esto se dio, posiblemente, porque el material genético evaluado de la población 1V está relacionado con la población 3E, debido a que de éste provino el material para la siembra en la cerca viva en El Cerrito.

La cercanía entre la población 2M (silvestre) y la población 1V, podría explicarse por la ubicación de estas dos poblaciones en la misma región (Piedemonte Orinocense). Frente a esto, se pudieron presentar dos situaciones: 1). que las semillas que se sembraron en la población 1V fuesen de la localidad de la población 2M, por ser el grupo de árboles silvestres, y/o 2). que en algún momento de la historia pudo ocurrir flujo genético natural

entre poblaciones silvestres del flanco oriental de la cordillera, en donde se estima que se concentra la mayoría de las poblaciones de *M. trianae*.

El coeficiente de diferenciación genética ($F_{st}=0.87$) y la varianza molecular (9%), corroboran que la distancia genética es estrecha entre las tres poblaciones (1V, 2M y 3E) e indican una mayor variación dentro de las mismas (91%). Esta variación se podría explicar, principalmente por dos factores: 1. La floración de *M. trianae* es sincrónica, 2. La forma de polinización permite que exista un mayor flujo de genes que garantiza la diversidad en cada árbol. En la presente investigación no se evaluó la polinización, pero se determinó que los órganos femeninos y masculinos están juntos en la estructura de la flor, lo cual indicaría que la especie podría ser autógama; sin embargo, los estambres y estilo tienen el mismo largo y se encuentran expuestos (por fuera de la corola) junto a las anteras (figura 38; sección morfométrica), lo cual permite el traslado de polen entre las flores del mismo individuo y otros árboles con la ayuda de los insectos principalmente, esto se denomina autógamia funcional (Nora, Albaladejo, González Martínez, Robledo-Arnuncio, & Aparicio, 2011). Otra hipótesis es que la especie sea alógama, debido precisamente a la variabilidad genética registrada dentro de las poblaciones. Por esto se sugiere que se lleven a cabo estudios sobre biología floral y polinización en esta especie.

▪ Estructura genética y secuenciación

Tanto el análisis descriptivo mediante el dendrograma del coeficiente de Dice Nei-Li, como el análisis de estructura genética (K) y la secuenciación, evidenciaron agrupamientos y separación de las poblaciones según su origen geográfico, cercanía genética de los individuos y el sitio de crecimiento, como se expone a continuación.

En la población 2M (silvestre), la evaluación se realizó a lo largo de 10 kilómetros. Los árboles que la conforman, regeneraron espontáneamente en diferentes sistemas (bosque, cercas vivas y dispersos en potrero) y los propietarios de las fincas los dejaron a libre crecimiento. Los árboles del bosque están a distancias entre 100 y 300m de los que están dispersos en potrero y entre 100m y 200m de las cercas vivas. Muchas de estas cercas vivas, se ubican a lo largo de las divisiones de áreas de pastoreo y a su vez, están a una distancia de 50 a 150m de los árboles en potrero. El dendrograma muestra tres grupos en esta población que se separaron de acuerdo al sitio de crecimiento, así: los que conformaron los grupos B y C se encontraron en cercas vivas y dispersos en potreros para

sombrío del ganado; mientras que los árboles del grupo D se ubicaron en el borde y el interior del bosque y las cercas vivas. Estos resultados sugieren que las cercas vivas pueden facilitar el traslado del polen entre individuos y también la dispersión de semillas por aves y el viento hacia los sistemas aledaños, lo que permitiría un mayor flujo de genes.

Se sustenta entonces, la importancia del establecimiento de *M. trianae* en modelos como cercas vivas para facilitar su dispersión y la diversidad genética de las poblaciones. En dicho establecimiento, se debe garantizar la mayor variabilidad genética de los árboles. Esto se puede lograr si se cosechan las semillas en diferentes rodales naturales y en el mayor número posible de árboles en cada rodal. Las semillas se pueden mezclar o se pueden germinar separadamente. Lo importante es que las canastillas de plántulas que salen del vivero hacia el campo lleven árboles de diferentes procedencias, propagados a partir de semillas de varios árboles (Aguilar, Quesada, Ashworth, Herrerias-Diego, & Lobo, 2008; Nora et al., 2011).

Finalmente, la estructura genética evidenció una distancia estrecha entre las poblaciones 1V y 2M (<10%) confirmaría que dicha cercanía se pudo dar por la ubicación geográfica (Piedemonte Orinocense). Es posible, que las semillas sexuales que fueron sembradas en las cercas vivas de la población 1V se colectaron cerca de la localidad de la población 2M, en donde se encuentran rodales naturales de la especie y existe o existió un flujo genético entre estos rodales naturales a pesar de la fragmentación del paisaje. El análisis de secuenciación muestra la cercanía entre estas poblaciones, además, que los individuos de la población 2M son más diversos ya que forman clados aparte y evolutivamente son los ancestros de las poblaciones 1V y 3E.

8. Conclusiones y recomendaciones

8.1 Patrón temporal de la reproducción de *M. trianae* Benth, su fecundidad y la relación de la fenología con diferentes variables ambientales en el Valle del Cauca y Piedemonte Orinocense de Colombia.

- Tanto en el Valle del Cauca como en el Piedemonte Orinocense, las poblaciones estudiadas de *M. trianae* tuvieron un único evento reproductivo que se extendió entre septiembre y marzo, desde la iniciación de la floración hasta la formación de los frutos maduros. El desprendimiento de las legumbres secas y la dispersión de las semillas se extendieron hasta junio.
- Estas observaciones son consistentes con un patrón anual de reproducción, caracterizado por un alto grado de sincronía dentro y entre las tres poblaciones evaluadas de *M. trianae*.
- La fecundidad de los yopos fue mayor en el Valle del Cauca que en el Piedemonte Orinocense, lo cual puede estar relacionado con la edad de los árboles, la cercanía entre los mismos en las cercas vivas, algunas acciones de manejo (fertilización y cercado) y las características del suelo.
- La iniciación de la floración de *M. trianae* está claramente relacionada con el descenso en el fotoperíodo que ocurre alrededor del equinoccio de otoño. Es necesario complementar este estudio con observaciones fenológicas de varios años y en diferentes latitudes para esclarecer si la insolación es el factor que induce la floración en esta especie.

- Aunque en el Valle del Cauca los picos de precipitación coincidieron con el inicio de la fase reproductiva de los árboles de *M. trianae* Benth, la relación entre las lluvias y la iniciación de la floración no es consistente.
- La actividad recambio foliar se registró a lo largo del año, con una disminución notable asociada a la fase reproductiva de los árboles y la probable concentración de los recursos energéticos en la formación de flores y frutos.

▪ **Recomendaciones**

1. La falta de estudios más detallados que incluyan conteos de las flores y frutos, limita el conocimiento sobre los factores que determinan la fecundidad de las especies arbóreas de la subfamilia Mimosoideae y el género *Mimosa*. Es importante que las futuras investigaciones sobre la fenología incluyan estas variables para entender las variaciones en la fecundidad dentro y entre las poblaciones.
2. Los futuros estudios sobre *M. trianae* deben incluir un monitoreo más detallado durante la etapa reproductiva, con evaluaciones semanales a lo largo del periodo de floración y formación de los frutos y quincenales en la etapa de maduración de los frutos. Se requiere información más precisa sobre la duración de cada fase fenológica para entender los factores que determinan el éxito en la transición de flor a fruto y la polinización de esta especie, dado que las observaciones incidentales de este estudio revelan la continua visita de diversos insectos a las flores.
3. Las semillas están listas para la recolección desde la segunda semana de febrero hasta abril, tiempo en el que se deben cosechar las legumbres para evitar el daño de las semillas, causado principalmente por insectos.

8.2 Evaluación de la tasa de crecimiento de árboles de *M. trianae* Benth establecidos en cercas vivas en el Valle del Cauca.

- El yopo pelú *M. trianae* se adaptó bien al clima fuertemente estacional del Valle del Cauca y mostró su versatilidad como componente de cercas vivas de sistemas silvopastoriles.
 - La alta tasa de crecimiento del yopo pelú lo convierte en una opción atractiva para el establecimiento de sistemas agroforestales y silvopastoriles o para la restauración ecológica de áreas degradadas. Este árbol puede competir con varias especies exóticas que han sido promovidas para la producción de madera o pulpa, con todos los beneficios ambientales que se desprenden de la autenticidad biológica.
 - Los árboles de *M. trianae* se pueden establecer en cercas vivas asociadas con otras especies arbóreas y con arbustos forrajeros.
- **Recomendaciones**
1. La presente investigación sobre *M. trianae* es un aporte importante al conocimiento incipiente de la especie. Sin embargo, se necesita más información sobre el crecimiento y la adaptación del yopo a diferentes zonas de vida y condiciones agroclimáticas, con el fin de orientar las decisiones sobre su manejo, la asociación con otras especies, los arreglos espaciales y los tiempos de cosecha, entre otros factores.
 2. Los árboles de *M. trianae* se pueden plantar en cercas vivas a una distancia de siembra de ocho metros entre árboles cuando se intercalan con otras especies para evitar el solapamiento de las copas y su interferencia con el crecimiento de las especies asociadas. En arreglos monoespecíficos, se recomienda una distancia mínima de seis metros entre árboles.

3. Se deben hacer podas de formación de los árboles desde el segundo año de siembra, eliminando ramas bajas y dejando un solo un tallo, para dar realce a la estructura del árbol.
4. Los árboles de seis años con altura promedio de 14m y DAP de 203mm se podrían empezar a cosechar para obtención de: postes para cercas, arreglos de infraestructura, carbón vegetal, y las ramas se pueden utilizar como abono verde.
5. Para la propagación se recomienda seguir el protocolo del anexo 3, que recopila la experiencia de trabajo del productor e investigador Osmidio Romero Medina, del municipio de Cubarral, Meta, quien ha producido más de 10.000 plántulas de yopo pelú para el establecimiento de sistemas silvopastoriles. Este protocolo incluye información sobre la cosecha, manejo, almacenamiento y propagación en vivero de *M. trianae*.

8.3 Evaluación preliminar de la diversidad genética de *M. trianae* Benth en su región de endemismo (Piedemonte Orinocense) y en el Valle del Cauca.

- Se encontró una diferenciación genética moderada entre las poblaciones 1V y 2M en el Piedemonte Orinocense y la 3E en el Valle del Cauca. Esto se debe al flujo genético, tanto en la zona de endemismo de la especie, como por la procedencia de la semilla sexual de los árboles del Valle del Cauca.
- Se presentó mayor diversidad genética dentro de la población silvestre 2M, que se estableció naturalmente hace varias generaciones. En segundo lugar, está la población 1V, que corresponde a una primera generación en cercas vivas provenientes de semillas de poblaciones silvestres y donde al parecer existen dos linajes. En tercer lugar, está la 3E proveniente de la 1V.
- Las poblaciones 1V y 3E son las que comparten en mayor proporción los genes (80-90%) debido a que las semillas de la E3, fueron colectadas de tres árboles de 1V. Las

nuevas generaciones que provengan de semillas de estas cercas vivas podrían tener una variabilidad genética reducida y con una alta probabilidad de pérdida de alelos.

- Se debe tener en cuenta que *M. trianae* es una especie de alto valor para la conservación, por ser endémica de Colombia y porque las poblaciones naturales han estado sometidas a una fuerte presión, generada principalmente por la demanda de leña. Por esto, su propagación es prioritaria. Se debe tener especial cuidado en el proceso de recolección de la semilla, que en lo posible debe provenir de un rodal natural y del mayor número posible de árboles con el fin de garantizar que se mantenga la variabilidad genética.
- Los resultados obtenidos demuestran que existe concordancia entre los resultados obtenidos con la técnica RAMs (utiliza todo el genoma de la especie de estudio) y la secuenciación (utiliza una región del genoma), lo que indica complementariedad entre estas.

▪ **Recomendaciones**

1. En futuras siembras de *M. trianae*, es esencial tener en cuenta la procedencia de las semillas. En lo posible, las semillas se deben cosechar en árboles estratégicamente ubicados en su ecosistema natural, con el fin de reducir la pérdida de diversidad genética en las poblaciones de esta especie que se han establecido o se planean establecer en otras zonas de vida del país.
2. En caso de utilizar las semillas de los árboles de cercas vivas, es necesario combinarlas con otras semillas colectadas en rodales silvestres para incrementar la variabilidad genética.
3. Las futuras investigaciones deben incluir la evaluación de la diversidad genética para entender lo que ocurre dentro de las poblaciones y garantizar que esta diversidad se mantenga en el tiempo y espacio.
4. Entre las investigaciones que se adelanten con *M. trianae* se deben incluir estudios sobre la biología floral y polinización para conocer si esta especie es autógama o

alógama y los insectos que participan en este proceso, ya que en las visitas fenológicas se observaron diferentes especies en las flores.

8.4 Contribución al conocimiento botánico de la especie a través de una descripción morfométrica de especímenes en el Valle del Cauca.

- En la descripción morfométrica de los árboles de *M. trianae* se incluyeron algunas estructuras florales y foliares, que no habían sido descritas en la literatura. Además, se realizaron ilustraciones botánicas, lo cual es una contribución importante al conocimiento de la morfología de la especie.
- En la descripción se encontraron diferencias en las dimensiones de las estructuras evaluadas por Barneby (1991) y en la revisión taxonomica de Santos-Silva, et al. (2015). Esto se debe principalmente, a que los investigadores evaluaron especímenes de herbario con estructuras reproductivas incompletas de flores, frutos y carentes de semillas, donde además probablemente se redujeron y se perdieron completamente algunas estructuras pequeñas como estípulas o estipelas. Por otro lado, se actualizó la información sobre la altura del árbol como resultado de las mediciones de individuos en el Valle del Cauca y Piedemonte Orinocense.

Recomendación general

Las investigaciones sobre *M. trianae* que se lleven a cabo en la región de endemismo deben involucrar a las comunidades campesinas aledañas al área de estudio, quienes tienen un conocimiento valioso sobre la ecología, el manejo y el uso de la especie. Este conocimiento, que puede enriquecer el proceso de investigación, ha sido poco valorado, no se ha documentado y está en peligro de desaparecer con la muerte de las personas mayores y la migración del campo a las ciudades. Además, el intercambio de conocimiento puede contribuir a la valoración y uso adecuado de la especie, tanto en su región de endemismo como en otras regiones del país donde se promueve la siembra de este árbol.

Anexo 1. Análisis del Modelo Lineal Generalizado (GLM)

Análisis de Modelo Lineal Generalizado (GLM) de altura (m) y edad (meses) de cada árbol registradas en 12 mediciones durante seis años.

Árbol	Promedio de altura (m)	R ²	Independiente	Tasa de crecimiento (m) respecto la edad (meses)
1	8.44	0.959	-0.142	0.216
2	9.175	0.986	-0.039	0.232
3	8.866	0.974	-0.579	0.238
4	8.302	0.983	-0.134	0.212
5	9.591	0.964	0.751	0.222
6	8.281	0.988	-0.551	0.222
7	8.004	0.947	-1.006	0.227
8	7.937	0.87	1.443	0.163
9	6.488	0.905	-1.672	0.205
10	8.740	0.965	-0.064	0.221
11	7.790	0.963	0.224	0.19
12	6.098	0.976	-0.343	0.162
13	7.641	0.973	-0.973	0.212
14	7.432	0.964	-0.079	0.189
15	7.869	0.985	-1.858	0.245
16	6.726	0.937	-2.978	0.244
17	6.781	0.984	-0.367	0.18
18	6.135	0.735	-3.994	0.255
19	7.605	0.967	0.828	0.17
20	8.544	0.943	1.709	0.172
21	6.823	0.885	-0.781	0.191
22	8.835	0.983	0.485	0.21
23	8.752	0.951	1.854	0.173
24	6.112	0.843	0.82	0.133
25	7.562	0.956	0.5	0.178
26	7.557	0.986	0.42	0.179

Árbol	Promedio de altura (m)	R ²	Independiente	Tasa de crecimiento (m) respecto la edad (meses)
27	6.862	0.97	0.197	0.168
28	9.641	0.957	1.907	0.194
29	6.180	0.942	0.845	0.134
30	7.270	0.977	0.906	0.16
31	8.558	0.955	2.179	0.16
32	7.583	0.956	2.067	0.139
33	7.665	0.863	1.459	0.156
34	97.500	0.961	1.424	0.209
35	9.311	0.861	1.242	0.203
36	7.986	0.945	0.987	0.176
37	7.905	0.936	0.849	0.177
38	8.392	0.96	1.293	0.178
39	8.350	0.98	2.279	0.153
40	8.190	0.957	2.415	0.145
41	10.265	0.994	-0.1	0.261
42	8	0.98	-0.553	0.215
43	6.703	0.932	0.815	0.148
44	8.258	0.905	0.623	0.192
45	6.381	0.956	-0.968	0.185
46	7.262	0.968	0.668	0.166
47	4.135	0.921	-1.327	0.137
48	6.418	0.987	-1.33	0.195
49	6.392	0.987	-1.039	0.187
50	7.332	0.968	-0.875	0.206
51	8.190	0.97	-0.075	0.208
52	5.959	0.984	-0.542	0.163
53	8.762	0.993	-0.124	0.224
54	6.296	0.797	1.140	0.129
55	4.461	0.967	-0.672	0.129
56	6.091	0.908	-2.726	0.222
57	5.835	0.884	-2.074	0.199
58	8.228	0.956	0.433	0.196
59	9.288	0.989	-1.307	0.267
60	8.499	0.971	-0.516	0.227
61	5.400	0.946	-1.729	0.179
62	6.441	0.976	-0.676	0.179
63	5.405	0.946	-0.535	0.149
64	7.510	0.979	-1.515	0.227
65	8.839	0.955	-1.396	0.258

Árbol	Promedio de altura (m)	R ²	Independiente	Tasa de crecimiento (m) respecto la edad (meses)
66	7.213	0.983	-1.991	0.232
67	8.167	0.988	-0.312	0.213
68	7.656	0.989	-0.596	0.208
69	8.547	0.983	0.754	0.196
70	7.789	0.895	1.480	0.159
71	6.568	0.988	-1.018	0.191
72	9.209	0.986	-0.378	0.241
73	8.488	0.953	0.394	0.204
74	7.676	0.968	-0.398	0.203
75	7.939	0.966	-0.398	0.21
76	9.150	0.984	-0.75	0.249
80	8.438	0.979	-1.471	0.249
81	9.336	0.977	-0.048	0.236
82	9.510	0.987	-0.621	0.255
83	89.750	0.944	0.629	0.21
84	8.861	0.969	-0.002	0.223
85	7.814	0.971	-1.300	0.229
86	8.275	0.948	0.263	0.201
87	7.931	0.983	-1.189	0.229
88	8.175	0.973	-0.403	0.216
89	7.911	0.967	-0.543	0.213
90	7.783	0.737	-0.614	0.211
91	7.742	0.98	0.177	0.19
92	8.020	0.988	-1.188	0.232
93	7.322	0.975	-0.487	0.196
94	7.000	0.988	-0.115	0.179
95	9.999	0.988	-1.027	0.277
96	8.437	0.984	-1.593	0.252
97	8.920	0.973	-0.46	0.236
98	7.151	0.988	-0.131	0.183
99	5.253	0.92	-1.447	0.168
100	8.875	0.967	0.426	0.212
101	8.145	0.993	-0.378	0.214
102	8.299	0.972	0.687	0.191
103	6.998	0.954	-1.023	0.202
104	8.040	0.938	0.661	0.186
105	9.075	0.893	1.762	0.184
106	5.925	0.964	0.144	0.145
107	7.880	0.961	1.350	0.164

Árbol	Promedio de altura (m)	R ²	Independiente	Tasa de crecimiento (m) respecto la edad (meses)
108	8.050	0.98	-0.514	0.215
109	7.065	0.982	-0.344	0.186
110	6.465	0.949	-1.083	0.19
111	8.087	0.844	1.281	0.171
112	7.253	0.986	-0.3444	0.191
113	8.819	0.937	1.482	0.184
114	7.787	0.982	0.025	0.195
115	7.963	0.986	0.01	0.2
116	8.291	0.985	0.484	0.196
117	4.898	0.985	-0.606	0.138
118	7.133	0.987	-1.101	0.207
119	8.506	0.938	0.315	0.206
120	7.084	0.953	0.574	0.164
121	9.593	0.978	0.857	0.22
122	7.612	0.957	1.063	0.165
123	5.955	0.918	0.859	0.128
124	6.236	0.968	0.081	0.155
125	7.260	0.927	1.031	0.157
126	7.315	0.976	-0.231	0.19
127	7.610	0.77	2.089	0.139
128	6.591	0.967	-1.132	0.194
129	6.147	0.986	-0.561	0.169
130	6.521	0.932	1.427	0.128
131	8.157	0.984	0.977	0.181
132	9.169	0.966	-0.484	0.243
133	6.411	0.972	0.225	0.155
134	7.322	0.983	-0.911	0.207
135	7.682	0.972	-0.046	0.194
136	6.900	0.972	-0.254	0.18
138	5.495	0.971	-1.200	0.168
139	7.490	0.986	-0.233	0.194
140	6.645	0.971	0.000056	0.167
141	5.277	0.976	-0.763	0.152
142	4.057	0.982	-0.046	0.103
143	3.651	0.881	-0.902	0.114
144	7.444	0.977	-0.654	0.204
145	7.742	0.954	0.577	0.18
146	5.827	0.97	-1.580	0.186
147	9.465	0.951	1.084	0.211

Árbol	Promedio de altura (m)	R ²	Independiente	Tasa de crecimiento (m) respecto la edad (meses)
148	7.530	0.981	-0.18	0.194
149	7.373	0.985	-0.184	0.19

Análisis de Modelo Lineal Generalizado (GLM) del diámetro (mm) y edad (meses) de cada árbol registradas en 12 mediciones durante seis años.

Árbol	Promedio de DAP (mm)	R ²	Independiente	Tasa de crecimiento (mm) respecto la edad (meses)
1	93.16	0.974	3.192	2.268
2	117.25	0.989	-8.186	3.162
3	92.833	0.979	-2.33	2.399
4	112.416	0.989	-2.431	2.840
5	104.500	0.977	-9.797	2.881
6	94.166	0.992	-12.155	2.680
7	78.166	0.939	-7.128	2.150
8	90.750	0.95	-4.534	2.402
9	61.166	0.817	-42.785	2.620
10	96.833	0.987	-25.349	3.080
11	101.250	0.945	-2.621	2.618
12	74.500	0.957	-24.691	2.500
13	82.333	0.724	-13.325	2.411
14	101.166	0.984	-16.392	2.963
15	89.000	0.955	-50.769	3.523
16	70.333	0.959	-35.266	2.662
17	66.583	0.96	-24.993	2.308
18	101.333	0.782	-104.306	5.184
19	74.250	0.979	-1.302	1.904
20	93.750	0.989	-7.168	2.544
21	64.250	0.952	-23.78	2.219
22	104	0.988	-14.46	2.986
23	137	0.979	-14	3.806
24	72.916	0.957	-21.729	2.386
25	105.583	0.983	-30.039	3.419
26	109.25	0.994	-28.800	3.480
27	115.250	0.979	-26.579	3.575
28	144.66	0.974	-3.800	3.742
29	92.08	0.985	-9.511	2.561
30	128.33	0.923	-27.362	3.925
31	15.616	0.883	-4.127	4.041
32	98.666	0.948	12.198	2.179

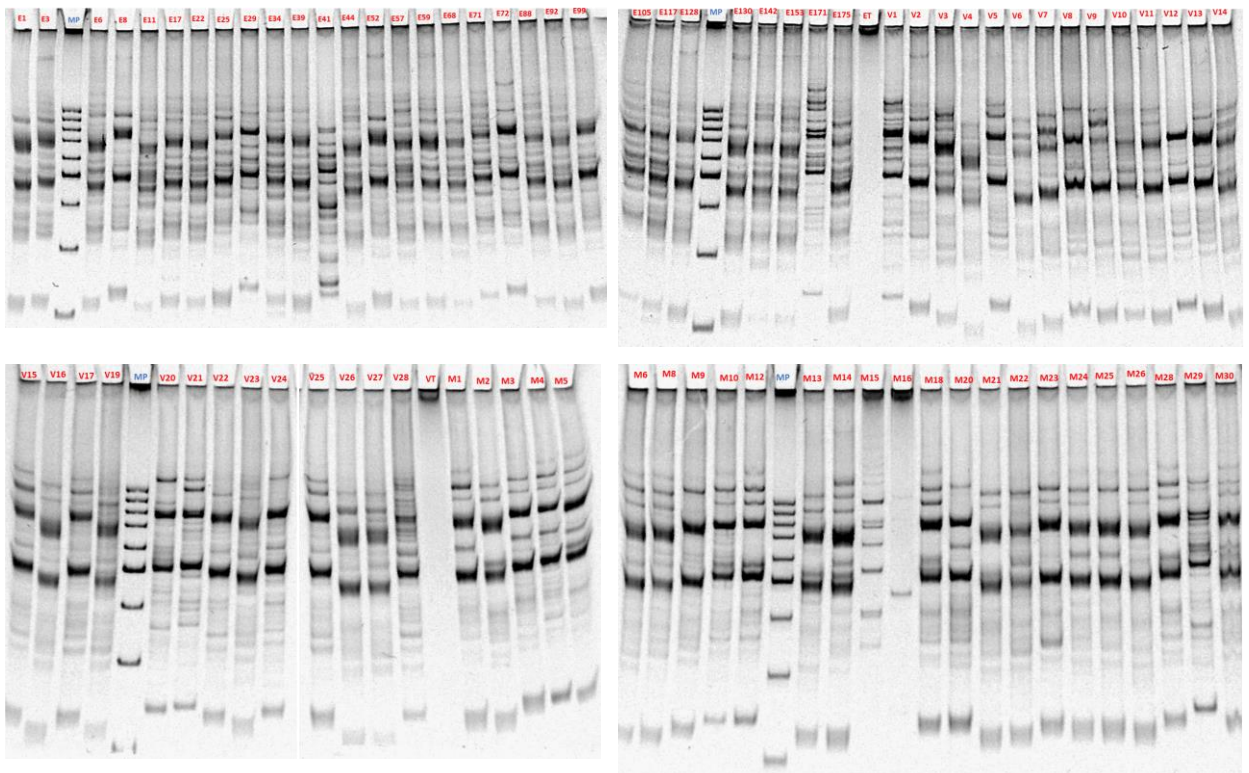
Árbol	Promedio de DAP (mm)	R ²	Independiente	Tasa de crecimiento (mm) respecto la edad (meses)
33	70.500	0.973	-19.726	2.274
34	110.250	0.939	0.048	2.778
35	111.250	0.97	-6.122	2.958
36	99	0.965	-5.053	2.623
37	108.916	0.98	-25.535	3.389
38	89.250	0.953	-8.192	2.456
39	134.666	0.96	-10.347	3.655
40	98.083	0.914	-2.519	2.536
41	130.916	0.988	-304.758	4.068
42	88	0.963	-12.017	2.521
43	82.583	0.965	-24.690	2.704
44	139.250	0.942	-56.074	4.924
45	78.833	0.959	-37.004	2.920
46	83.916	0.988	-27.100	2.798
47	51.08	0.93	-25.736	1.936
48	75.750	0.956	-39.418	2.903
49	79.166	0.929	-41.087	3.031
50	102.25	0.953	-33.097	3.412
51	112.916	0.961	-25.911	3.499
52	78.250	0.949	-36.199	2.885
53	113.250	0.981	-19.273	3.340
54	70.916	0.983	-15.453	2.177
55	61.500	0.957	-29.059	2.283
56	61.750	0.902	-43.658	2.657
57	56.166	0.877	-33.656	2.264
58	100	0.96	-34.590	3.393
59	122.333	0.985	-41.297	4.125
60	106	0.854	-32.967	3.503
61	41.250	0.924	-20.483	1.556
62	59.083	0.962	-17.395	1.928
63	45.166	0.926	-13.778	1.486
64	106.66	0.967	-33.471	3.532
65	107.083	0.984	-46.197	3.864
66	100.916	0.972	-51.806	3.850
67	126.750	0.991	-33.660	40.439
68	107.416	0.977	-38.726	3.684
69	118.833	0.944	-10.345	3.256
70	99.583	0.985	-17.730	2.957
71	69.833	0.981	-22.470	2.326

Árbol	Promedio de DAP (mm)	R ²	Independiente	Tasa de crecimiento (mm) respecto la edad (meses)
72	104.666	0.989	-26.021	3.294
73	83.916	0.887	-9.385	2.352
74	100.625	0.947	-27.491	3.229
75	88.333	0.964	-34.280	3.091
76	99.083	0.992	-25.158	3.132
80	84.000	0.874	-26.481	2.785
81	123.500	0.95	-53.076	4.451
82	117.666	0.953	-23.569	3.560
83	131.250	0.984	-19.506	3.8
84	110.750	0.966	-18.040	3.246
85	98.000	0.929	-34.129	3.331
86	109.833	0.956	-48.368	3.988
87	93.166	0.902	-40.944	3.380
88	115.583	0.98	-31.738	3.713
89	120.000	0.954	-21.246	3.560
90	108.500	0.98	-39.757	3.737
91	96.758	0.96	-12.826	2.762
92	86.166	0.981	-33.004	3.004
93	80.416	0.984	-20.991	2.556
94	98.833	0.989	-25.742	3.140
95	109.166	0.974	-29.722	3.501
96	114.833	0.983	-29.928	3.649
97	78.166	0.963	-9.180	2.202
98	78.750	0.973	-17.655	2.430
99	44.33	0.903	-27.147	1.802
100	95.500	0.98	-14.716	2.778
101	132.666	0.971	-24.250	3.955
102	101.666	0.933	-8.327	2.772
103	58.916	0.948	-26.113	2.143
104	74.083	0.904	-8.687	2.086
105	115.583	0.985	-18.343	3.376
106	103.583	0.957	-46.872	3.793
107	98.750	0.955	-16.055	2.894
108	96.166	0.984	-32.742	3.249
109	131.083	0.982	-41.747	4.357
110	66.583	0.967	-30.824	2.455
111	101.666	0.902	-11.757	2.859
112	96.416	0.983	-14.183	2.788
113	148.833	0.904	-52.740	5.081

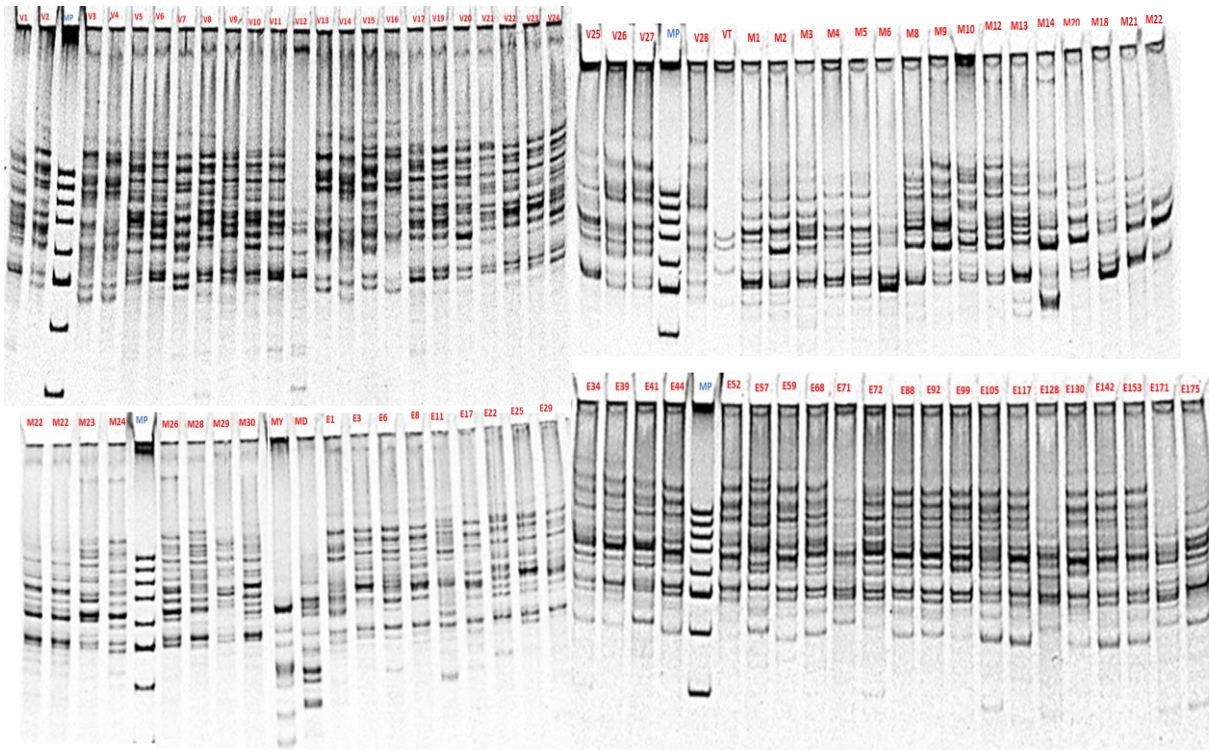
Árbol	Promedio de DAP (mm)	R ²	Independiente	Tasa de crecimiento (mm) respecto la edad (meses)
114	82.333	0.97	-11.167	2.357
115	124.250	0.928	-8.886	3.356
116	131.916	0.981	-16.641	3.745
117	67.583	0.971	-23.531	2.297
118	89.333	0.952	-40.088	3.262
119	84.166	0.952	0.408	2.111
120	87.333	0.986	-23.324	2.789
121	114.083	0.902	-9.878	3.125
122	101.333	0.971	-18.804	3.028
123	83.666	0.984	-22.201	2.668
124	86.083	0.96	-17.616	2.614
125	82.916	0.977	-13.168	2.422
126	83.750	0.981	-22.975	2.690
127	119.750	0.909	-3.709	3.112
128	75.5	0.963	-23.911	2.506
129	73.416	0.974	-11.416	2.138
130	79.916	0.978	-13.722	2.360
131	97.833	0.971	-5.571	2.606
132	110.750	0.98	-34.963	3.673
133	75.666	0.975	-23.098	2.489
134	93.000	0.96	-42.272	3.410
135	93.750	0.975	-30.027	3.120
136	73.750	0.986	-19.111	2.341
138	65.083	0.985	-20.754	2.163
139	83.333	0.987	-25.598	2.746
140	63.250	0.882	3.235	1.512
141	54.166	0.955	-13.871	1.715
142	62.666	0.947	-31.146	2.365
143	41.166	0.902	-17.944	1.490
144	75.166	0.988	-13.808	2.243
145	88.916	0.976	-31.118	3.026
146	60.166	0.969	-31.299	2.305
147	140.583	0.975	-14.802	3.917
148	68.083	0.966	-11.303	2.001
149	84.166	84.166	-29.439	2.864

Anexo 2. Visualización de primer en geles de poliacrilamida.

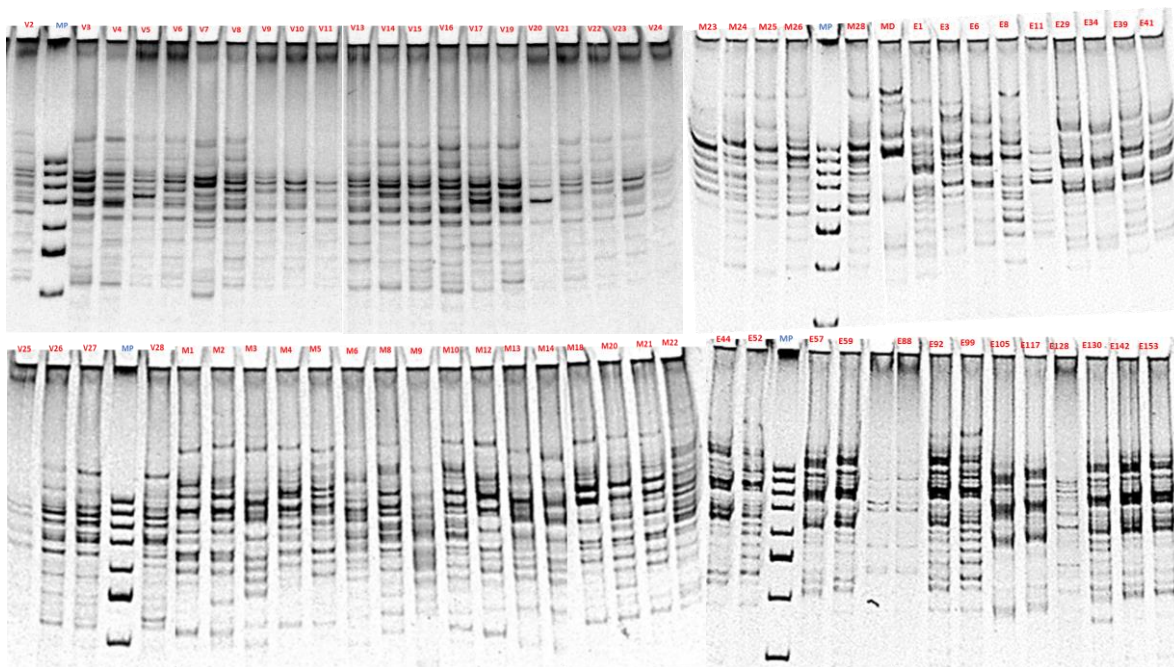
Gel de poliacrilamida con el cebador ACA para las tres poblaciones 2M, 1V y 3E. Cada árbol se identifica con la letra inicial de población y un número consecutivo.



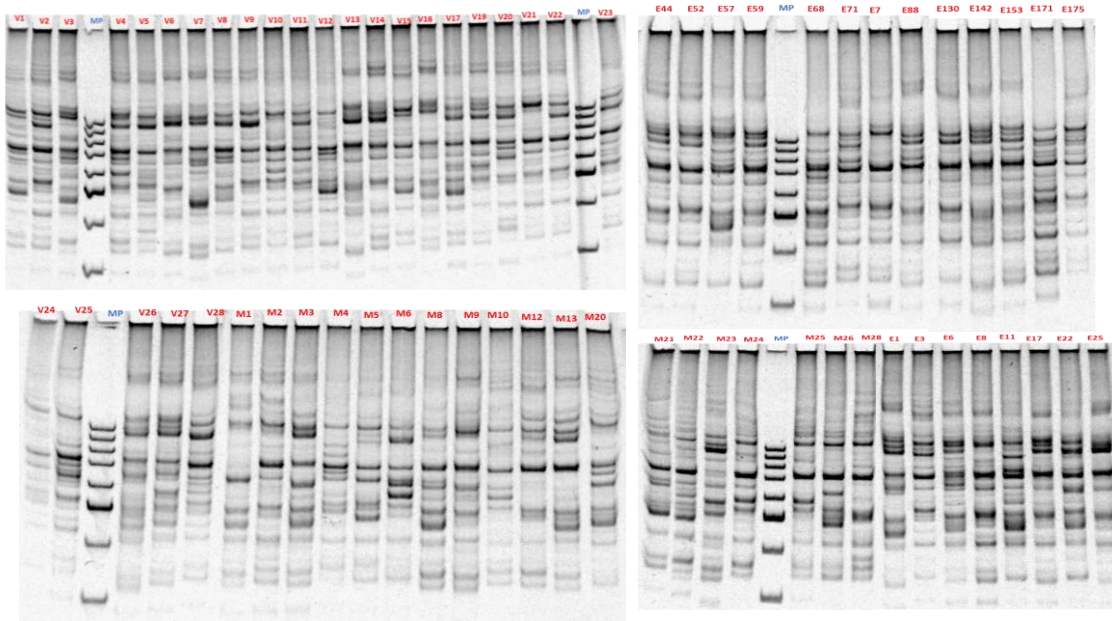
Gel de poliacrilamida con el cebador AG para las tres poblaciones 2M, 1V y 3E. Cada árbol se identifica con la letra inicial de población y un número consecutivo.



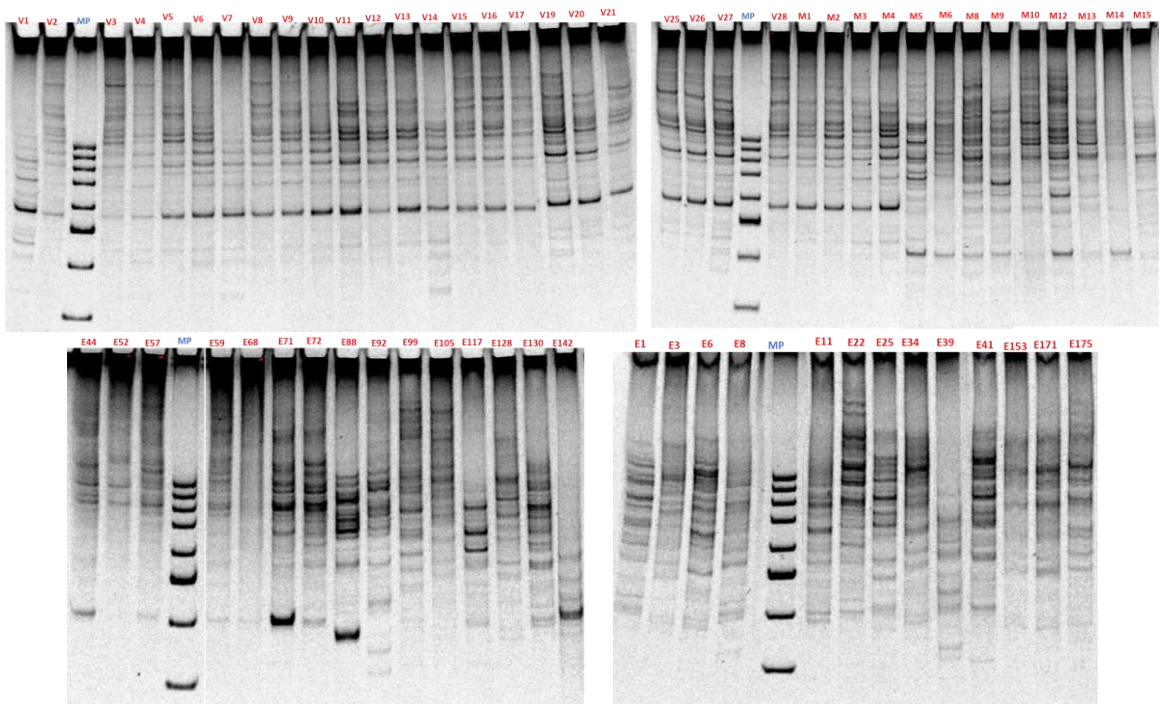
Gel de poliacrilamida con el cebador CCA para las tres poblaciones 2M, 1V y 3E. Cada árbol se identifica con la letra inicial de población y un número consecutivo.



Gel de poliacrilamida con el cebador CT para las tres poblaciones 2M, 1V y 3E. Cada árbol se identifica con la letra inicial de población y un número consecutivo.



Gel de poliacrilamida con el cebador CGA para las tres poblaciones 2M, 1V y 3E. Cada árbol se identifica con la letra inicial de población y un número consecutivo.



Anexo 3. Protocolo para la cosecha, manejo de la semilla y propagación de *Mimosa trianae* Benth

Osmidio Romero Medina

Investigador y productor de la finca Villa Sandy

Vereda San Miguel, Cubarral, Meta

2019

Para la selección cosecha y conservación de las semillas y propagación del yopo en viveros recomienda seguir los siguientes pasos:

- 1. Selección de árboles semilleros:** se deben seleccionar árboles sanos, con un fuste robusto (promedio de 35cm de DAP), en lo posible recto y una copa amplia. La edad de los árboles debe ser superior a los 7 años para garantizar mayor viabilidad de la semilla. Si los árboles son cultivados se debe suministrar riego durante la fase de floración y formación de los frutos para garantizar un mejor llenado de la semilla.
- 2. Cosecha de los frutos:** se pueden cosechar desde la mitad de febrero hasta abril para evitar daños por insectos y la pérdida de la viabilidad. Para cosechar las legumbres se debe extender sobre el suelo un plástico o manta del mismo tamaño de la copa. Posteriormente se sacuden las ramas con un gancho, cortar-ramas (desjarretadora) u otro instrumento que alcance la altura de las ramas. Las legumbres cosechadas se deben depositar en costales o bolsas limpias y secas; allí pueden durar hasta cuatro semanas sin ataque de insectos.

3. **Fraccionar los frutos:** Una vez las legumbres están en un costal, éste se debe golpear con un trozo de madera. El propósito es que la legumbre se fraccione y quede una semilla en cada segmento de la legumbre (suele haber de 4 a 6 semillas por legumbre).
4. **Zaranda:** Después de fraccionar las legumbres, se deben poner sobre una zaranda con orificios de 7mm (igual tamaño que los segmentos de las legumbres), haciendo fricción contra la superficie de la zaranda para eliminar la pubescencia y los segmentos que no tienen semilla. Se recomienda utilizar un tapabocas en esta labor.
5. **Conservación de la semilla:** La semilla (todavía en los segmentos de la legumbre) se puede conservar en frío hasta por 6 meses en bolsas de papel o bolsas de plástico con cierre hermético.
6. **Manejo pre-germinativo:** Se debe hacer un procedimiento pre-germinativo que consiste en pasar la semilla (aún dentro de los segmentos de la legumbre) por agua caliente (80°C) durante 50 segundos, sacarla y extenderla en una superficie para bajar la temperatura. Una vez esté a temperatura ambiente se debe poner en agua fría durante 24 horas, cambiando el agua cada 8 horas. Por último, se debe escurrir bien.
7. **Germinador:** El sustrato de germinación debe tener dos partes de suelo por una de arena para facilitar la germinación y el desarrollo radicular. La semilla se debe extender sobre el germinador esparciendo un poco del sustrato por encima. Posteriormente se debe tapar con una malla de polisombra durante 4 días. Después se debe dejar en el germinador por 15 días más.
8. **Trasplante:** Se utilizan bolsas de calibre 4, de 7cm de ancho por 18cm de alto, las cuales se deben llenar con un sustrato compuesto por dos partes de suelo, una de arena y una de materia orgánica. Una vez trasplantadas a la bolsa, se deben regar cada tres días. Pasados 40 días las plántulas tendrán una altura promedio de 35cm y estarán listas para llevarlas al campo.

Bibliografía

- Acero, L. . (2007). *Plantas útiles de la cuenca del Orinoco* (2da ed.). Meta: CORPORINOQUIA; ECOPETROL.
- Aguilar, R., Quesada, M., Ashworth, L., Herrerias-Diego, Y., & Lobo, J. (2008). Genetic consequences of habitat fragmentation in plant populations: Susceptible signals in plant traits and methodological approaches. *Molecular Ecology*, *17*(24), 5177–5188. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2008.03971.x>
- Alavalapati, J. R. ., Shrestha, R. ., Stainback, G. ., & Matta, J. . (2004). Agroforestry development: An environmental economic perspective. *Agroforestry Systems*, *61*, 299–310. <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000029006.64395.72>
- Alcaldía de El Cerrito. (2016). Alcaldía de El Cerrito. Retrieved from http://www.elcerritovalle.gov.co/informacion_general.shtml
- Altieri, M. . (2002). Agroecology : the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Elsevier Science*, *93*, 1–24.
- Altieri, M. ., & Nicholls, C. . (2007). Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción : teoría , estrategias y evaluación. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente-Ecosistemas*, *16*(1), 3–12. Retrieved from www.revistaecosistemas.net.
- Álvarez-Dávila, E., González-Caro, S., López, W., Velásquez, O., Melo, O., Quinto, H., Restrepo, Z. (2015). *Guía para la selección de especies nativas de árboles multipropósito en proyectos de carbono forestal para Colombia*. Retrieved from www.mvccolombia.co/images/aaManualArbolesNativosParaCarbono_pdf
- Andrade Castañeda, H. J. (2007). *Growth and inter-specific interactions in young silvopastoral systems with native timber trees in the dry tropics of Costa Rica*.
- Arteaga, B., & Castelán, M. (2008). Evaluación dasométrica temprana de una plantación agroforestal de tres especies introducidas, en el Municipio de Huehuetla, Hidalgo. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, *14*(2), 105–111.

- Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v14n2/v14n2a5.pdf>
- Bach, E. P. (2000). *Introducción a la ecología y dinámica del bosque tropical*. Retrieved from <http://www.bio-nica.info/biblioteca/Plana Bach 2000 Ecologia bosque tropical.pdf>
- Badeck, F. W., Bondeau, A., Böttcher, K., Doktor, D., Lucht, W., Schaber, J., & Sitch, S. (2004). Responses of spring phenology to climate change. *New Phytologist*, 162(2), 295–309. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01059.x>
- Barbosa Barretto, S. S., & Ferreira, A. R. (2011). Aspectos morfológicos de frutos, semillas, plántulas e mudas de Leguminosae Mimosoideae: *Anadenanthera colubrina* (Vellozo) Brenan e *Enterolobium contortisiliquum* (Vellozo) Morong. *Revista Brasileira de Sementes*, 33(2), 223–232.
- Barneby, R. . (1991). *Sensitivae Censitae. A description of the genus Mimosa Linnaeus (Mimosaceae) in the New World*. New York.
- Barrera, N. (2003). *Etnobotánica y Domesticación del Chachafruto E. edulis en la zona andina de Colombia*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Becerra V., V., & Paredes C., M. (2000). Uso de marcadores bioquímicos y moleculares en estudios de diversidad genética. *Agricultura Técnica*, 60(3), 270–281. <https://doi.org/10.4067/S0365-28072000000300007>
- Beintema, N., Bossio, D., Dreyfus, F., Fernández, M., Gurib-Fakim, A., Hurni, H., Rol, L. (2009). *Resumen de la evaluación mundial preparado para los responsables de la toma de decisiones*. Retrieved from www.unesco.org/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/SR_Exec_Sum_280508_Spanish.pdf
- Bellon, M. ., Barrientos-Priego, A., Colunga-García, P., Perales, H., Reyes Agüero, J., Rosales, R., & Zizumbo-Villarreal, D. (2009). Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas. *Capital Natural de México, CONABIO, II*, 355–382. Retrieved from http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol II/II08_Diversidad y conservacion de recursos geneticos en pl.pdf
- Bencke, C. S. C., & Morellato, L. P. C. (2002). Estudo comparativo da fenologia de nove espécies arbóreas em três tipos de floresta atlântica no sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 25, 237–248. Retrieved from <http://www.scielo.br/pdf/rbb/v25n2/11459.pdf>
- Bernal, R., Gradstein, S., Celis, S., & (eds.). (2019). Catálogo de plantas y líquenes de

- Colombia. Retrieved from <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>
- Bessega, C., & Fortunato, R. H. (2011). Section *Mimadenia* : its phylogenetic relationships within the genus *Mimosa* (Leguminosae , Mimosoideae) using plastid trn L – F sequence data. *Australian Systematic Botany*, 24, 104–110. Retrieved from www.publish.csiro.au/journals/asb
- Bonilla Betancourt, M. L., Espinosa Piedrahíta, K., Posso Terranova, A. M., Vásquez Amariles, H. D., & Muñoz Flórez, J. E. (2008). Caracterización molecular de 43 accesiones de uchuva de seis departamentos de Colombia. *Acta Agronómica*, 57(2), 109–115. <https://doi.org/10.15446/acag>
- Borchert, R., Renner, S. S., Calle, Z., Havarrete, D., Tye, A., Gautier, L., ... Von Hildebrand, P. (2005). Photoperiodic induction of synchronous flowering near the Equator. *Nature*, 433(7026), 627–629. <https://doi.org/10.1038/nature03259>
- Bulhao, C. F., & Figueiredo, P. S. (2002). Fenología de leguminosas arbóreas em uma área de cerrado marginal no nordeste do Maranhão. *Revista Brasileira de Botânica*, 25(3), 361–369. <https://doi.org/10.1590/s0100-84042002000300012>
- Calle Díaz, Z., Giraldo Sánchez, A., Cardozo, A., Galindo, A., & Murgueitio, E. (2017). Enhancing Biodiversity in Neotropical Silvopastoral Systems: Use of Indigenous Trees and Palms. In F. Montagnini (Ed.), *Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty, Advances in Agroforestry 12* (pp. 417–438). https://doi.org/10.1007/978-3-319-69371-2_17
- Calle Díaz, Z., Giraldo Sánchez, E., Giraldo Sánchez, A., & Tafur, O. (2014). Gustos, percepciones y conocimiento local de los habitantes rurales de la cuenca media del río La Vieja (cuenca del río Cauca, Colombia), sobre 60 especies nativas de árboles, arbustos y palmas. *Biota Colombiana*, 15(2), 39–57. <https://doi.org/10.21068/bc.v15iSupl>
- Calle, Z. (2002). *Fenología y regeneración natural del arboloco montanoa quadrangularis Sch. Bip. Asteraceae en una localidad de la cordillera occidental (El Dovio, Valle del Cauca, Colombia)*. UNIVERSIDAD DEL VALLE.
- Calle, Z. (2011). Plantas de interés para la conservación recomendadas para los núcleos silvopastoriles en el proyecto. In J. Chará, M. Murgueitio, A. . Zuluaga, & C. Giraldo (Eds.), *Ganadería Colombiana Sostenible* (pp. 61–70). Cali: CIPAV.
- Calle, Z, Galindo, A., & Murgueitio, E. (2010). El yopo: Árbol llanero vital para los sistemas silvopastoriles de la cuenca del Orinoco. *FEDEGAN*, 11. Retrieved from

static.fedegan.org.co/Revistas_Carta_Fedegan/148

- Calle, Z., Giraldo, E., Piedrahita, L., López, A., Cucuñame, J., Rivera, J. E., Giraldo, J. A. (2008). Diálogo de saberes para la restauración ecológica de bosques: el papel de los niños y jóvenes investigadores. *Revista Estudios Sociales Comparativos*, 2, 68–85. Retrieved from <http://www.cipav.org.co/pdf/restauracion/Dialogo.de.Saberes.pdf>
- Calle, Z., Murgueitio, E., & Chará, J. (2012). Integración de las actividades forestales con la ganadería extensiva sostenible y la restauración del paisaje. *Unasyva*, 63, 31–40.
- Calle, Z., Schlumpberger, B. O., Piedrahita, L., Leftin, A., Hammer, S. A., Tye, A., & Borchert, R. (2010). Seasonal variation in daily insolation induces synchronous bud break and flowering in the tropics. *Trees - Structure and Function*, 24(5), 865–877. <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0456-3>
- Calle, Z., Strahler, A. H., & Borchert, R. (2009). Declining insolation induces synchronous flowering of *Montanoa* and *Simsia* (Asteraceae) between Mexico and the Equator. *Trees - Structure and Function*, 23(6), 1247–1254. <https://doi.org/10.1007/s00468-009-0364-6>
- Cárdenas, M., Lemos, V., Almario, M., Gonzáles, A. ., Hernández, K., Figueroa, J. ., & Carvazos, M. . (2015). Fenología de cuatro especies arbóreas de bosque seco tropical en el Jardín Botánico Universitario , Universidad del Valle. *Actualidades Biológicas*, 37(103), 121–130. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v37n103a01>
- Caruso, G., Broglia, V., & Pocovi, M. (2015). Diversidad genética. Importancia y aplicaciones en el mejoramiento vegetal. *Publicación Del Instituto de Ecología y Ambiente Humano*, 4(1), 45–50.
- Castañeda Garzón, S. L. (2014). *Evaluación morfológica y molecular de accesiones de anonáceas (anón, chirimoya y atemoya) en condiciones in situ, de las regiones Andina y Caribe Colombiano* (Universidad Nacional de Colombia). Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/42988/1/790803.2014.pdf>
- Chará, J., & Giraldo, C. (2011). *Servicios ambientales de la biodiversidad en paisajes agropecuarios*. (1ra ed.). Cali.
- Chará, J., Murgueitio, E., Zuluaga, A., & Giraldo, C. (2011). *Ganadería Colombiana Sostenible. Mainstreaming Biodiversity in Sustainable Cattle Ranching* (1st ed.; J. Chará, E. Murgueitio, A. Zuluaga, & C. Giraldo, Eds.). Cali.
- Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), & Programa de las Naciones Unidas para

- el Medio Ambiente (PNUMA). (2011). *Convenio sobre la diversidad biológica*. Canada.
- Cowan, R. S., Chase, M. W., Kress, W. J., & Savolainen, V. (2006). 300,000 Species to identify: Problems, progress, and prospects in DNA barcoding of land plants. *Taxon*, 55(3), 611–616. <https://doi.org/10.2307/25065638>
- Cruz Neto, O., Lopes, A. V., & Machado, I. C. (2007). *Fenologia, biologia reprodutiva e eficiência de dois visitantes da flora de espécies simpátricas de Inga (Leguminosae-Mimosoideae) no remanescente da floresta não a nordeste do Brasil*. Universidade Federal de Pernambuco.
- D'eca-Neves, F. ., & Morellato, P. . (2004). Métodos de amostragem e avaliação utilizados em estudos. *Acta Botanica Brasileira*, 18(1), 99–108. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062004000100009>
- Detlefsen, G., & Somarriba, E. (2012). *Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica*. (CATIE, Ed.). Retrieved from <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A9562e/A9562e.pdf>
- Excoffier, L., & Lischer, H. (2010). *Arlequin versión 3.5.2.2* (pp. 564–567). pp. 564–567. Retrieved from <http://cmpg.unibe.ch/software/arlequin35/>
- Falcao, M. de A., & Clement, C. R. (2000). Fenologia e produtividade do Infá-Cipó (*Inga edulis*) na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 30(2), 173–180. <https://doi.org/10.1590/1809-43922000302180>
- Forero, E., & Romero, C. (2005). Estudios de leguminosas en Colombia. In *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* (Vol. 25). Retrieved from <http://www.accefyn.org.co>
- Franco, T. L., & Hidalgo, R. (2003). Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. In *Boletín Técnico Nro 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos IPGRI*. Retrieved from https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/Analisis_estadistico_de_datos_de_caracterizacion_morfologica_de_recursos_fitogeneticos_894.pdf
- Françoso, R., Guaraldo, A. de C., Prada, M., Paiva, A. O., Mota, E. H., & Pinto, J. R. R. (2014). Fenologia e produção de frutos de caryocar brasiliense cambess. e enterolobium gummiferum (Mart.) J.F.Macbr. em diferentes regimes de queima. *Revista Arvore*, 38(4), 579–590. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000400001>
- Frankie, G., Opler, P., & Bawa, K. (1976). Foraging behaviour of solitary bees: implications

- for outcrossing of a neotropical forest tree species. *Ecology*, *64*(3), 1049–1057. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/2258824?origin=crossref&seq=1>
- Freitas, L., & Bolmgren, K. (2008). Synchrony is more than overlap: measuring phenological synchronization considering time length and intensity. *Revista Brasileira de Botânica*, *31*(4), 721–724. <https://doi.org/10.1590/s0100-84042008000400017>
- Gallo, L. A., Marchelli, P., Azpilicueta, M. M., & Crego, P. (2006). The use of genetic markers in *Nothofagus* especially in raulí and roble. *Bosque*, *27*(1), 3–15. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002006000100001>
- Garrido-garduño, T., & Vázquez-domínguez, E. (2013). Métodos de análisis genéticos , espaciales y de conectividad en genética del paisaje Genetic , spatial and connectivity methods of analysis in landscape genetics. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *84*(3), 1031–1054. <https://doi.org/10.7550/rmb.32500>
- Gobernación del departamento del Meta. (2017). Gobernación del departamento del Meta. Retrieved from <http://www.meta.gov.co/web/content/nuestro-departamento>
- Goldstein, P. Z., & DeSalle, R. (2011). Integrating DNA barcode data and taxonomic practice: Determination, discovery, and description. *BioEssays*, *33*(2), 135–147. <https://doi.org/10.1002/bies.201000036>
- Gómez Zuluaga, A. (2012). *Caracterización con marcadores moleculares rams (random amplified microsatellites) de algunas especies del género erythrina presentes en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.
- Gonzalez, M. A., Baraloto, C., Engel, J., Mori, S. A., Pétronelli, P., Riéra, B., ... Chave, J. (2009). Identification of amazonian trees with DNA barcodes. *PLoS ONE*, *4*(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007483>
- Hammer, O., Harper, D. A. T., & Ryan, P. . (2001). Paleontological statistics software package for education and data analysis PAST. *Palaeontologia Electronica*, *4*(1), 9. Retrieved from http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Henríquez, M. . (2000). *Diversidad genética de Phaeoisariopsis griseola (Sacc.) Ferraris utilizando marcadores moleculares*. Universidad Nacional de Colombia.
- Hernández, A. E. (2013). Caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. *Revista Bio Ciencias*, *2*(3), 113–118. <https://doi.org/2007-3380>
- Higuita, H. D., & Álvarez Dávila, E. (2015). Representatividad a escala regional de un inventario florístico detallado de una hectarea en los Andes TRopicales. *Colombia*

- Forestal*, 18(2), 207–224.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2015.2.a03>
- Holdridge, L. (1982). Ecología basada en zonas de vida. IICA (pág. 219). San José, Costa Rica.
- Jadán, O., Torres, B., Selesi, D., Peña, D., Rosales, C., & Günter, S. (2016). *Diversidad florística y estructura en cacaotales tradicionales y bosque natural (Sumaco, Ecuador)*. 19(2), 129–142.
- Jaramillo, R. A., & Chaves, C. . (2000). Distribución de la precipitación en Colombia analizada mediante conglomeración estadística. *Cenicafé*, 51(2), 102–113. Retrieved from [http://www.cenicafe.org/es/publications/arc051\(02\)102-113.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc051(02)102-113.pdf)
- Justiniano, M. ., & Fredericksen, T. . (2000). Phenology of Tree Species in Bolivian Dry Forests. *BIOTROPICA*, 32(2), 276–281. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00470.x/abstract>
- Lanteri, A. (2007). Código de barras del ADN y sus posibles aplicaciones en el campo de la Entomología. *Revista de La Sociedad Entomológica Argentina*, 66(3–4), 15–25.
- Latournerie, L., Chávez, J. L., Pérez, M., Castañón, G., Rodríguez, S. A., Arias, L. ., & Ramírez, P. (2002). Valoración in situ de la diversidad morfológica de chiles (*Capsicum annum* L. y *Capsicum chinense* Jacq.) en Yaxcabá, Yucatán. *Fitotecnia Mexicana*, 25(1), 10. <https://doi.org/0187-7380>
- Libby, W. . (1987). *Genetic resources and variation*. USA.
- Loo, J. A. (2011). *Manual de genética de la conservación Principios aplicados de genética*. Retrieved from www.conafor.gob.mx
- Lopez-Alvarez, D., Lopez-Herranz, M. L., Betekhtin, A., & Catalan, P. (2012). A DNA Barcoding Method to Discriminate between the Model Plant *Brachypodium distachyon* and Its Close Relatives *B . stacei* and *B . hybridum* (Poaceae). *PLOS ONE*, 7(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051058>
- Lucena de Amorim, I., Valadares de Sá Barreto Sampaio, E., & De Lima Araújo, E. (2009). Phenology of woody species in the caatinga of Seridó, RN, Brazil. *Revista Arvore*, 33(3), 491–499. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000300011>
- Machado, M. S., Henrique, P., Brancalion, S., Potascheff, C. D. M., Santos, J. B., Nave, A. G., Gandolfi, S. (2013). *Fenologia da frutificação de espécies vegetais nativas e a restauração florestal no arquipélago de Fernando de Noronha , PE , Brasil*. 40(3), 473–483.

- Madriñán, S., Cortés, A. J., & Richardson, J. E. (2013). *Páramo is the world ' s fastest evolving and coolest biodiversity hotspot*. 4(October), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fgene.2013.00192>
- Mantovani, M., Ruschel, A. R., Sedrez dos, M., Puchalski, A., & Nodari, R. . (2003). Fenologia reproductiva de espécies arbóreas em uma formação secundária da floresta Atlântica. *Árvore*, 27(4), 451–458. <https://doi.org/0100-6762>
- Marghali, S., Zitouna, N., Gharbi, M., Chennaoui-kourda, H., & Trifi-farah, N. (2014). *Morphological and molecular characters : Congruence or conflict in the phylogeny of Sulla species ?* 8(1), 148–158.
- Marín-Gómez, O., García C, R., Gómez M, W., & Pinzón L, W. (2011). Diversidad De Mariposas Y Su Relación Con La Fenología Reproductiva De Inga Ornata Kunth (Mimosoidae) En Un Agroecosistema Ganadero Del Quindío, Colombia. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 15(2), 105–118.
- Mazo, N., Rubiano, J. ., & Castro, A. (2016). Sistemas agroforestales como estrategia para el manejo de ecosistemas de Bosque seco Tropical en el suroccidente colombiano utilizando los sig. *Revista Colombiana de Geografía*, 25, 65–77. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v25n1.41993>
- Medina, A. del municipio de. (2019). Alcaldía de Medina, Cundinamarca. Retrieved from <http://www.medina-cundinamarca.gov.co/>
- Mendoza-Maya, E., Espino-Espino, J., Quiñones-Pérez, C. Z., Flores-López, C., Wehenkel, C., Vargas-Hernández, J. J., & Sáenz-Romero, C. (2015). Proposal for conservation of three endangered species of Mexican spruce. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(3), 235–247. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802015000300002&lng=es&tlng=es.
- Mendoza Gamboa, O. (2003). *Análisis fenológicos y algunos aspectos reproductivos en especies selectas del matorral xerófilo del Noreste de México* (Universidad Autónoma De Nuevo León). Retrieved from <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020146153.PDF>
- Meza-Vázquez, K. ., Lépiz-Ildefonso, R., López-Alcocer, J. J., & Morales-Rivera, M. M. (2015). Caracterización morfológica y fenológica de especies silvestres de frijol (Phaseolus). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(1), 17–28.
- Ministerio de Ambiente, V. y D. T. (MAVDT), & (Humboldt), I. de I. de R. B. A. von H. (2012).

- Informe sobre el estado de los recursos naturales renovables y del ambiente Componente de biodiversidad , 2010-2011 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.* Retrieved from <http://www.humboldt.org.co/images/documentos/pdf/documentos/iern-biodiversidad-2010-2011.pdf>.
- Ministerio de Ambiente, V. y D. T. (MAVDT), & Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (Humboldt). (2011). *Política nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (PNGIBSE)*. Retrieved from <http://www.humboldt.org.co/es/component/k2/item/646-pngibse>
- Montagnini, F., & Jordan, C. . (2005). Tropical forest ecology: the basis for conservation and management. In *Choice Reviews Online* (Vol. 43). <https://doi.org/10.5860/choice.43-2198>
- Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., & Eibl, B. (2015). *Sistemas Agroforestales. Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales*. Turrialpa.
- Moretti, A. P., Olguin, F. Y., Pinazo, M. A., Gortari, F., Vera Bahima, J., & Graciano, C. (2019). Supervivencia y crecimiento de un árbol nativo maderable bajo diferentes coberturas de dosel en el Bosque Atlántico, Misiones, Argentina. *Ecología Austral*, 29(1), 099–111. <https://doi.org/10.25260/ea.19.29.1.0.779>
- Morillo-Coronado, A., Morillo-Coronado, Y., González-Mendoza, L., & Morales-Ávila, I. (2016). *Análisis interespecífico de la diversidad genética en Pyrus spp. y Malus spp.* 14(1), 69–77. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)69-77](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)69-77)
- Morillo, A. C., Morillo, Y., & Zamorano, A. (2005). Caracterización molecular con microsatélites aleatorios rams de la colección de mora, Rubus spp, de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. *Acta Agronómica*, 54(2), 15–24.
- Muñoz, H. J., Coria, V. M., García, J. J., & Balam, M. (2009). Evaluación de una plantación de tres especies tropicales de rápido crecimiento en Nuevo Urecho, Michoacán. *Ciencia Forestal En México*, 34(106), 61–87. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-35862009000200004&lng=es&tlng=es.
- Muñoz, J. ., Morillo, A. C., & Morillo, Y. (2008). Microsatélites amplificados al azar (RAM) en estudios de diversidad genética vegetal. *Acta Agronómica*, 57(4), 219–226. Retrieved from <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/50709>

- Murgueitio, E., Cuartas, C., Murgueitio, M., & Caro, M. (2009). *Modulo Sistemas silvopastoriles. Núcleos municipales de extensión y mejoramiento para pequeños ganaderos, Asistegán, FEDEGAN*. (CIPAV, Ed.). Retrieved from www.cipav.org.co
- Murgueitio, Xóchitl Flores, M., Calle D, Z., Chará, J., Barahona, R., Molina D, C. H., & Uribe, F. (2015). PRODUCTIVIDAD EN SISTEMAS SILVOPASTORILES INTENSIVOS EN AMÉRICA LATINA. In E. S. Florencia Montagnini & B. E. Enrique Murgueitio, Hugo Fassola (Eds.), *Sistemas agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales* (pp. 59–101). Colombia; Costa Rica.
- Naito, Y., Kanzaki, M., Numata, S., Obayashi, K., Okuda, T., Leong, S., & Norwati, L. (2008). Size-related flowering and fecundity in the tropical canopy tree species , *Shorea acuminata* (Dipterocarpaceae) during two consecutive general flowerings. *The Botanical Society of Japan and Springer*, 121, 33–42. <https://doi.org/10.1007/s10265-007-0116-x>
- Neely, C., Bunning, S., & Wilkes, A. (2009). *Review of evidence on drylands pastoral systems and climate change*. 8, 48. Retrieved from www.fao.org/uploads/media/LWdisc_paper8_temp.pdf
- Nora, S., Albaladejo, R. G., González Martínez, S. C., Robledo-Arnuncio, J. J., & Aparicio, A. (2011). Movimiento de genes (polen y semillas) en poblaciones fragmentadas de plantas. *Ecosistemas*, 20(2–3), 35–45. <https://doi.org/10.7818/re.2014.20-2-3.00>
- Ocampo, J., Acosta-barón, N., & Hernández-fernández, J. (2017). *Variability and genetic structure of yellow passion fruit (Passiflora edulis f. flavicarpa Degener) in Colombia using microsatellite DNA markers Variabilidad y estructura genética del maracuyá (Passiflora edulis f . flavicarpa*. 35(2), 135–149. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v35n2.59973>
- Ochoa-Gaona, S., Hernández, I. P., & Jong, B. H. J. De. (2008). Fenología reproductiva de las especies arbóreas del bosque tropical de Tenosique , Tabasco , México. *Biología Tropical*, 56(June), 657–673. Retrieved from <http://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v56n2/art20v56n2.pdf>
- Oliet, J. A., Planelles, R., Artero, F., & Domingo, J. M. (2016). Establishing *Acacia salicina* under dry Mediterranean conditions : The effects of nursery fertilization and tree shelters on a mid-term experiment with saline irrigation. *Ciencias e Investigación Agraria*, 43(1), 69–84. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202016000100007>

- Ollerton, J., & Lack, A. (1992). Flowering phenology: an example of relaxation of natural selection? *Trends in Ecology and Evolution*, 7(8), 274–276. Retrieved from https://www.academia.edu/4661688/Flowering_phenology_An_example_of_relaxation_of_natural_selection?auto=download
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (1992). *Los Fertilizantes y su uso*. Paris.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1997). *the State of the World ' S Plant Genetic Resources for Food and Agriculture* (FAO, Ed.). Roma.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2010). *El Segundo Informe sobre El estado de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura en el Mundo* (FAO, Ed.). Roma.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO); Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2012). *Situación de los Recursos Genéticos Forestales en México Informe Final del Proyecto TCP/MEX/3301/MEX (4) México 2012 Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura* (1ra ed.; C. FAO, Ed.). Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-be793s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2013). *Plan de acción mundial para la conservación, la utilización sostenible y el desarrollo de los recursos genéticos forestales. Comisión de recursos genéticos para la alimentación y la agricultura*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i3849s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2016). *El Estado de los bosques del mundo. Los bosques y la agricultura: Desafíos y oportunidades con relación al uso de la tierra*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i5850s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Bosque y Paisaje de Dinamarca (FLD), & International Bioversity. (2007). *Conservación y manejo de* (1ra ed., Vol. 2). Retrieved from www.bioversityinternational.org/uploads/tx_news/Conservación_y_manejo_de_los_recursos_geneticos_forestales_1297.pdf
- Padial, J. M., & De La Riva, I. (2007). Integrative taxonomists should use and produce DNA barcodes. *Zootaxa*, 68(1586), 67–68. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1586.1.7>

- Pavlotzky, B., & Murillo, O. (2014). Expected genetic gain and genotype- environment interaction in *Acacia mangium* in the northern region of Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, *0*(0), 7–17.
- Paz, A., Gonzalez, M., & Crawford, A. (2011). Barcode of Life : An Introduction and Perspective DNA. *Acta Biológica Colombiana*, *16*(3), 161–175.
- Peakall, R., & Smouse, P. E. (2012). GenAIEx 6 . 5 : genetic analysis in Excel . Population genetic software for teaching and research — an update. *Bioinformatics*, *28*(19), 2537–2539. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460>
- Pérez-García, B., & Mendoza, A. (2002). Morfología vegetal neotropical. *Revista Biología Tropical*, *50*, 893–902.
- Pérez, C. A., Villalba, J. C., & Almaza, M. I. (2013). Fenología del roble (*Quercus humboldtii* bonpland) en Popayán (Cauca, Colombia). *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustria*, *11*, 145–154. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11nspe/v11nespa17.pdf>
- Poole, R., Rathcke, B., & Gary Stiles, F. (1979). Regularity , Randomness , and Aggregation in Flowering Phenologies. *Science*, *203*(40379), 470–472. <https://doi.org/0.1126/science.203.4379.470>
- Posso, A. M., Cárdenas Henao, H., Murgueitio, E., Leterme, P., & Muñoz Flórez, J. . (2011). Diversidad genética de accesiones de nacedero *Trichanthera gigantea* (Hum. & Bonpl.) Nees, mediante RAMs (Random Amplified Microsatellites). *Acta Agronómica*, *60*, 120–131. Retrieved from http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/27834/28082
- Pritchard, J. K., Stephens, M., & Donnelly, P. (2000). Inference of Population Structure Using Multilocus Genotype Data. *Genetics*, *155*(2), 945–959. Retrieved from <https://web.stanford.edu/group/pritchardlab/software.html>
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F., & Real, P. (1997). *Mensura forestal*. Retrieved from <http://repiica.iica.int/docs/B4179e/B4179e.pdf>
- REDAGRES. (2013). *Agroecología y Cambio Climático Metodologías para evaluar la resiliencia socio-ecológica en comunidades rurales* (M. A. Altieri & C. . Nicholls, Eds.). Lima, Perú.
- Reinoso Perez, M. (2014). Agroforestry: A Viable Alternative for Sustainable Agricultural

- Production. *Applied Science Reports*, 1(2).
<https://doi.org/10.15192/pscp.asr.2014.1.2.4956>
- Rivera, G., & Borchert, R. (2001). Induction of flowering in tropical trees by a 30-min reduction in photoperiod : evidence from field observations and herbarium specimens. *Tree Physiology*, 21(4), 201–212. Retrieved from <https://academic.oup.com/treephys/article/21/4/201/1717215>
- Rohlf, F. (1998). NTSYS-pc 2.02 Numerical taxonomy and multivariate analysis system. Exeter Software. *Biostatistics Inc*, p. 37.
- Román, F., De Liones, R., Sautu, A., Deago, J., & Hall, J. (2012). *Guía para la propagación de 120 especies de árboles nativos de Panamá y el Neotrópico*. USA.
- Rugeles-Silva, P. A., Posso-Terranova, A. M., Londono, X., Barrera-Marín, N., & Muñoz-Flórez, J. E. (2012). Caracterización molecular de *Guadua angustifolia* Kunth mediante marcadores moleculares RAMs. *Acta Agronomica*, 61(4), 325–330.
- Rugeles Silva, P. A. (2011). *Genotipificación mediante marcadores moleculares RAMs (Microsatélites amplificados al azar) y multiplicación de materiales superiores de Guadua angustifolia Kunth*. Universidad Nacional de Colombia.
- Ruiz, E. B., & Estrella-Ruiz, J. P. (2008). *Manejo sustentable de los recursos naturales guiado por proyectos científicos en la mixteca poblana mexicana*. 17(2), 3–9.
- Sakai, S. (2001). Phenological diversity in tropical forests. *The Society of Population Ecology and Springer*, 43, 77–86. Retrieved from https://www.academia.edu/4661688/Flowering_phenology_An_example_of_relaxation_of_natural_selection?auto=download
- Sanabria, H., García, M., Díaz, H., & Muñoz, J. . (2006). Caracterización molecular con marcadores RAM de árboles nativos de *Psidium guajava* (guayaba) en el Valle del Cauca. *Acta Agronómica*, 55, 23–30. <https://doi.org/2323-0118>
- Sanabria, H. L., García, M. A., Muñoz, J. E., & Díaz, H. A. (2006). Caracterización molecular con marcadores RAM de árboles nativos de *Psidium guajava* (guayaba) en el Valle del Cauca. *Acta Agronómica*, 55(1), 23–30.
- Sánchez-Coello, N. G., Luna-Rodríguez, M., Vázquez-Torres, M., Sánchez-Velásquez, R. L., Santana-Buzzy, N., Octavio-Aguilar, P., & Iglesias-Andreu, L. G. (2012). Optimización de un protocolo del aislamiento del ADN y de un sistema de amplificación ISSR-PCR para *Ceratozamia mexicana* Brongn. (Zamiaceae). *Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 18(1), 123–133.

<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa>

- Santos-Silva, J., Simon, M. F., & De Azevedo Tozzi, A. M. G. (2015). Revisão taxonômica das espécies de *Mimosa* ser. *Leiocarpae* sensu lato (Leguminosae - Mimosoideae). *Rodriguesia*, 66(1), 95–154. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566107>
- SER. (2004). The Society for Ecological Restoration International Primer on Ecological Restoration. *Ecological Restoration*, 2(2), 206–207. <https://doi.org/S34>
- Shibu, J. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits : an overview. *Springer Science+Business Media B.V.*, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>
- Soininen, E. M., Valentini, A., Coissac, E., Miquel, C., Gielly, L., Brochmann, C., Taberlet, P. (2009). Analysing diet of small herbivores : the efficiency of DNA barcoding coupled with high-throughput pyrosequencing for deciphering the composition of complex plant mixtures. *Frontiers in Zoology*, 9, 1–9. <https://doi.org/10.1186/1742-9994-6-16>
- Souza, Mascarenhas, Y., & Silveira, L. (2018). *Fenologia e modos de polinização e dispersão de Fabaceae em floresta ciliar , Chapada Diamantina , Nordeste do Brasil.* (February). <https://doi.org/10.13102/scb438>
- Souza, H. N., Cardoso, I. M., Fernandes, J. M., Garcia, C. P., Bonfim, V. R., Santos, A. C., Mendonca, E. . (2010). Selection of native trees for intercropping with coffee in the Atlantic Rainforest biome. *Springer Science+Business Media B.V.* (February 2014), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9340-9>
- Statistical Analysis System (SAS). (1999). *Statistical Analysis System versión 9.4* (p. 550). p. 550. Retrieved from https://www.sas.com/en_us/software/sas9.html
- Stephenson, A. G. (1982). When does outcrossing occur in a mass-flowering plant? *Evolution*, 36(4), 762–767.
- Susilowati, A., Rachmat, H. H., Rangkuti, A. B., Elfiati, D., & Ambarwati, A. (2019). Optimizing Genomic DNA Isolation and PCR Amplification For Pasak Bumi (*Eurycoma longifolia*). *KnE Engineering*, 2019, 30–39. <https://doi.org/10.18502/keg.v1i2.4429>
- Tadeo-Noble, A. E., Valdez-Hernández, J. I., Beltrán-Rodríguez, L., & García-Moya, E. (2019). Efecto del aprovechamiento forestal sobre la estructura y diversidad arbórea en selvas tropicales de Quintana Roo, México. *Bosque (Valdivia)*, 40(2), 129–140. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002019000200129>

- Talora, D. ., & Morellato, P. . (2000). Fenología de especies arbóreas em floresta de planície litorânea do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 3(1966), 13–26. Retrieved from <http://www.scielo.br/pdf/rbb/v25n2/11459.pdf>
- Trifinopoulos, J., Nguyen, L.-T., von Haeseler, A., & Minh, B. (2016). *W-IQ-TREE Una herramienta filogenética rápida en línea para el análisis de máxima verosimilitud* (pp. 232–235). pp. 232–235. Retrieved from <https://doi.org/10.1093/nar/gkw256>
- Urbina-Casanova, R., Saldivia, P., & Scherson, R. A. (2015). Consideraciones sobre la sistemática de las familias y los géneros de plantas vasculares endémicos de Chile. *Gayana Bot.*, 72(2), 272–295. Retrieved from <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432015000200011>
- Uribe, F., Zuluaga, A. ., Valencia, L., Murgueitio, E., Zapata, A., & Solarte, L. (2011). *Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles*. Retrieved from www.cipav.org.co/pdf/1.Establecimiento.y.manejo.de.SSP.pdf
- Valdés de la Cruz, M., González, C., Lara, R. M., Román, M. I., Hernández, Y., Hernández, R. M., Torrecilla, G. (2010). Diversidad genética de especies silvestres del género *Nicotiana* I: caracterización mediante Marcadores Bioquímicos. *Rev. Protección Veg.*, 25(2), 88–97. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522010000200003&lng=es&tlng=es.
- Valladares, F., Aranda, I., & Sánchez-Gómez, D. (2004). La luz como factor ecológico y evolutivo para las plantas y su interacción con el agua. In *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (pp. 334–370). España.
- Van der Staay, M. (2019). Solartopo. Retrieved from [Calculos solares con topografía website: www.solartopo.com](http://www.solartopo.com)
- Vázquez Yanes, C., Muñoz Batis, A. I., Alcocer Silva, M. I., Gual Díaz, M., & Sánchez Dirzo, C. (1999). *Arboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación*. Retrieved from http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/inicio.pdf
- Villar-salvador, P., Puértolas, J., Cuesta, B., Peñuelas, J. L., Uscola, M., Heredia-, N., & Benayas, J. M. R. (2012). Increase in size and N concentration enhances seedling survival in Mediterranean plantations. Insights from an ecophysiological conceptual model of plant survival. *New Forests- Springer*, 43, 755–770.

<https://doi.org/10.1007/s11056-012-9328-6>

- Williams-Linera, G. (1996). Crecimiento diamétrico de árboles caducifolios y perennifolios del bosque mesófilo de montaña en los alrededores de Xalapa. *Madera y Bosques*, 2(2), 53. <https://doi.org/10.21829/myb.1996.221386>
- Wright, S. (1978). Evolution and the genetics of populations, variability within and among natural populations, Vol 4. University of Chicago Press. Chicago
- Yao, H., Song, J., Liu, C., Luo, K., Han, J., Li, Y., Chen, S. (2010). Use of ITS2 region as the universal DNA barcode for plants and animals. *PLoS ONE*, 5(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013102>
- Zietkiewicz, E., Rafalski, A., & Labuda, D. (1994). Genome finger printing by Simple Sequence Repeat (SSR)-anchored polymerase Chain Reaction Amplification. *Genomics, Science Direct*, 20(2), 176–183. Retrieved from <https://doi.org/10.1006/geno.1994.1151>
- Zuluaga, A., Galindo, W., Chará, J., & Calle, Z. (2011). Descripción de los sistemas silvopastoriles y especies a utilizar en el proyecto. In J. Chará, M. Murgueitio, A. . Zuluaga, & C. Giraldo (Eds.), *Ganadería Colombiana Sostenible* (1ra ed., pp. 49–60). Cali.