

**Evaluación del potencial de producción de semillas de  
seis especies leguminosas forrajeras tropicales en el  
Valle del Patía, Colombia**

**Bolívar Alfady Ledezma Guerrero**

**Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias**

**Director:**

**Nelson José Vivas Quila. D.Sc**

**Codirectora:**

**Juliana Isabel Carvajal Tapia. D.Sc**

**Universidad del Cauca  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Maestría en Ciencias Agrarias  
Popayán, 2019**

**Evaluación del potencial de producción de semillas de  
seis especies leguminosas forrajeras tropicales en el  
Valle del Patía, Colombia**

**Bolívar Alfady Ledezma Guerrero**

**Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del  
Cauca para la obtención del Título de Magíster en Ciencias Agrarias**

**Director:**

**Nelson José Vivas Quila. D.Sc**

**Codirectora:**

**Juliana Isabel Carvajal Tapia. D.Sc**

**Popayán, 2019**

# Dedicatoria

A Dios todo poderoso y a la Santísima Virgen por las bendiciones y por permitirme alcanzar una meta más a nivel profesional.

A mi esposa Diana Patricia Muñoz Romero.

A mis padres Clemira Guerrero Argote y Olman Ledezma Muñoz, y mis hermanos Eblin Bolena Ledezma Guerrero y Rolando Fabián Ledezma Guerrero.

A todas las personas que comparten mi alegría.

# Agradecimientos

A Dios y a la Virgen por estar conmigo en cada momento y por construir el camino a seguir para el logro de este objetivo.

Al director y codirectora de tesis, Nelson José Vivas Quila y Juliana Isabel Carvajal Tapia, por confiar en mí; además por su apoyo económico, orientaciones y paciencia. A mis padres y a mis hermanos por su apoyo incondicional en el ámbito afectivo y económico. A mi esposa Diana Patricia Muñoz Romero por brindarme su amor, esfuerzo, comprensión e infinidad de detalles que nos permiten alcanzar este propósito trazado. A mis abuelos, paternos y maternos, por infundirme el amor e interés por el campo y ser fuente de motivación incondicional. A todos aquellos familiares que me brindaron su apoyo, en especial a mi prima Margarita Chamorro Guerrero, Enoelio Benítez Guerrero y Gabriela Chamorro Guerrero, también a la familia de mi esposa, en especial a Karen Tatiana Muñoz Guzmán y Don Fernando Muñoz Romero.

A la profesora Martha Isabel Almanza Pinzón, por su voluntad para asesorarme y brindarme enseñanzas útiles para el resto de mi vida; al compañero de estudio Jesús Gerardo Galíndez, por sus palabras de motivación y asesoría. A la Universidad del Cauca y a cada una de las escuelas que están presentes en mi formación académica, destacando la función realizada por el Ministerio de Agricultura Nacional por becarme durante el pregrado y a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) por abrirme sus puertas, y a la profesora Lucía Bermúdez, quien, a través del colegio Fundación Liceo Comercial Ciudad de El Bordo, me acogió durante el bachillerato.

A todas aquellas instituciones y personas que me apoyaron económicamente permitiéndome laborar durante el transcurso de mi formación académica: a la Fundación Liceo Comercial Ciudad de El Bordo, resaltando la función de la profesora Leycer Esther Bermúdez, a la Federación Colombiana de Ganaderos y al Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), resaltando la función del jefe Andrés Felipe Osejo Varona. A los autores citados porque sus conocimientos son parte de la base para el desarrollo de la presente investigación.

# Tabla de Contenido

Lista de Figuras	viii
Lista de Tablas	ix
Resumen	x
Abstract	xi
Introducción	1
1 Marco teórico y estado del arte	4
1.1 Perspectivas sobre la producción de semillas de leguminosas forrajeras tropicales y su relación con la ganadería bovina	4
1.1.1 Semillas de leguminosas forrajeras tropicales – ente de transferencia de tecnología para el sector ganadero – y su carencia en varios mercados de Latinoamérica	4
1.1.2 Importancia de la ganadería y el efecto de la adversidad climática sobre los sistemas de producción bovino	5
1.1.3 Directrices institucionales que reglamentan la metodología de evaluación de semillas en el mundo y su comercialización en Colombia	6
1.1.4 Características de la industria semillista forrajera bajo el contexto mundial y nacional	7
1.2 Fenología	8
1.3 Reproducción de las plantas	9
1.3.1 La floración	10
1.3.2 La semilla	11
1.4 Principales factores ambientales en la producción de semillas de leguminosas forrajeras tropicales	12
1.4.1 Factores climáticos	12
1.4.2 Factores edáficos	14
1.4.3 Factores agronómicos	14
1.5 La Germinación	14
1.5.1 Factores que rigen el proceso de germinación de las semillas	15
1.6 Latencia y dormancia de las semillas	16
1.6.1 Métodos para romper la dormición por impermeabilidad de las cubiertas seminales	17

1.7 Parámetros de Calidad de las Semillas	17
1.7.1 Calidad física	17
1.7.2 Calidad fisiológica	18
1.7.3 Calidad sanitaria	18
1.7.4 Calidad genética	18
1.8 Características agronómicas y reproductivas de las especies objeto de estudio	18
1.8.1 <i>Canavalia brasiliensis</i>	19
1.8.2 <i>Centrosema macrocarpum</i>	19
1.8.3 <i>Centrosema molle</i>	20
1.8.4 <i>Desmodium heterocarpon</i>	20
1.8.5 <i>Desmodium velutinum</i>	21
1.8.6 <i>Leucaena leucocephala</i>	21
1.9 Estado del Arte	21
1.9.1 <i>Canavalia brasiliensis</i>	22
1.9.2 <i>Centrosema macrocarpum</i>	22
1.9.3 <i>Centrosema molle</i>	23
1.9.4 <i>Desmodium heterocarpon</i>	23
1.9.5 <i>Desmodium velutinum</i>	23
1.9.6 <i>Leucaena leucocephala</i>	23
2 Materiales y métodos	25
2.1 Localización	25
2.2 Características ambientales	25
2.2.1 Precipitación y temperatura	25
2.2.2 Análisis químico del suelo	26
2.3 Materiales	27
2.3.1 Material biológico	27
2.3.2 Material prueba de germinación	27
2.4 Establecimiento de ensayos	27
2.5 Características metodológicas de los parámetros de evaluación	28
2.6 Variables evaluadas	30

2.7 Análisis estadístico	30
3 Resultados y discusión	31
3.1 Caracterización patrón fenológico de floración	31
3.1.1 <i>Desmodium heterocarpon</i> , <i>Desmodium velutinum</i> y <i>Leucaena leucocephala</i>	31
3.1.2 <i>Centrosema macrocarpum</i> y <i>Centrosema molle</i>	38
3.1.3 <i>Canavalia brasiliensis</i>	41
3.1.4 Correlación entre la variable inicio de floración y las variables climáticas temperatura y precipitación	42
3.2 Producción de semillas (gr/planta y estimación kg/ha)	43
3.2.1 <i>Desmodium heterocarpon</i> , <i>Desmodium velutinum</i> y <i>Leucaena leucocephala</i>	43
3.2.2 <i>Centrosema macrocarpum</i> y <i>Centrosema molle</i>	45
3.2.3 <i>Canavalia brasiliensis</i>	46
3.3 Calidad física y fisiológica de las semillas	47
3.3.1 Prueba de análisis de pureza	47
3.3.2 Prueba de germinación	49
Conclusiones	55
Recomendaciones	57
Referencias	58

# Lista de Figuras

	Pág.
Figura 2.1 Precipitación y temperatura durante los años 2016 y 2017	25
Figura 3.1 <i>Desmodium heterocarpon</i> – primer periodo (izquierda) y segundo periodo de floración (derecha) en La Torre –.	33
Figura 3.2 <i>Desmodium velutinum</i> – primer periodo (izquierda) y segundo periodo de floración (derecha) en El Porvenir –.	34
Figura 3.3 <i>Desmodium velutinum</i> – primer periodo (izquierda) y segundo periodo de floración (derecha) en La Torre.	35
Figura 3.4 <i>Leucaena leucocephala</i> . – primer periodo (izquierda) y segundo periodo de floración (derecha) en El Porvenir.	37
Figura 3.5 <i>Leucaena leucocephala</i> – primer periodo (izquierda) y segundo periodo de floración (derecha) en La Torre.	37
Figura 3.6 <i>Centrosema macrocarpum</i> – primer periodo de floración en El Porvenir (izquierda) y en La Torre (derecha) –.	39
Figura 3.7 <i>Centrosema molle</i> – primer periodo de floración en El Porvenir (izquierda) y en La Torre (derecha) –.	40
Figura 3.8 <i>Canavalia brasiliensis</i> – primer periodo de floración en El Porvenir (izquierda) y en La Torre (derecha) –.	41
Figura 3.9 Fotografía de la prueba de germinación.	49

# Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 2.1 Análisis químico del suelo de las localidades El Porvenir y La Torre	26
Tabla 3.1 <i>Desmodium heterocarpon</i> (patrón fenológico de floración)	33
Tabla 3.2 <i>Desmodium velutinum</i> (patrón fenológico de floración)	35
Tabla 3.3 <i>Leucaena leucocephala</i> (patrón fenológico de floración)	37
Tabla 3.4 <i>Centrosema macrocarpum</i> (patrón fenológico de floración)	39
Tabla 3.5 <i>Centrosema molle</i> (patrón fenológico de floración)	40
Tabla 3.6 <i>Canavalia brasiliensis</i> (patrón fenológico de floración)	42
Tabla 3.7 <i>Desmodium heterocarpon</i> , <i>Desmodium velutinum</i> y <i>Leucaena leucocephala</i> – producción de semillas (g/planta) y estimación de producción (kg/ha) –.	44
Tabla 3.8 <i>Centrosema macrocarpum</i> y <i>Centrosema molle</i> – producción de semillas (gr/planta) y estimación de producción (kg/ha) –.	45
Tabla 3.9 <i>Canavalia brasiliensis</i> – producción de semillas (g/planta) y estimación de producción (kg/ha) –.	46
Tabla 3.10 <i>Desmodium heterocarpon</i> , <i>Desmodium velutinum</i> y <i>Leucaena leucocephala</i> (análisis de pureza de las semillas)	48
Tabla 3.11 <i>Centrosema macrocarpum</i> y <i>molle</i> (análisis de pureza de las semillas)	48
Tabla 3.12 <i>Canavalia brasiliensis</i> (análisis de pureza de las semillas)	48
Tabla 3.13 <i>Desmodium heterocarpon</i> , <i>Desmodium velutinum</i> y <i>Leucaena leucocephala</i> (prueba de germinación)	50
Tabla 3.14 <i>Centrosema macrocarpum</i> y <i>Centrosema molle</i> (prueba de germinación)	52
Tabla 3.15 <i>Canavalia brasiliensis</i> (prueba de germinación)	53

# Resumen

Se investigó el potencial de producción de semillas de especies leguminosas forrajeras tropicales en la región geográfica del Valle del Patía (Cauca, Colombia). Se seleccionaron dos localidades (El Porvenir y La Torre) y seis tratamientos – *Canavalia brasiliensis*, *Centrosema macrocarpum*, *Centrosema molle*, *Desmodium heterocarpon*, *Desmodium velutinum* y *Leucaena leucocephala*. Se evaluó el inicio de floración, producción gr/planta, análisis de pureza y el potencial de germinación. Los ensayos en campo se trabajaron con un diseño de bloques completos al azar, para las pruebas de germinación se utilizó el diseño estadístico totalmente al azar y seguimiento de normas ISTA. Todos los tratamientos manifestaron floración y formación de semillas. *Leucaena leucocephala* durante la segunda cosecha alcanzó una producción de 800,2 gr/planta (871,5 kg/ha) en El Porvenir. Los resultados de semilla pura fueron igual y superior al 95 % en todos los tratamientos. El menor potencial de germinación (20 %) se obtuvo con *Desmodium heterocarpon* y el mayor (99 %) con *Canavalia brasiliensis*, ambos casos durante la primera cosecha en la localidad La Torre. Se concluye que los tratamientos referenciados, bajo las condiciones ambientales de los dos microambientes (localidades) de la región geográfica del Valle del Patía, presentan potencial de producción de semillas y las semillas obtenidas alcanzan porcentajes de pureza y germinación que superan los requisitos mínimos de calidad física y fisiológica exigidos por el Instituto Colombiano Agropecuario – ICA – para la comercialización en el territorio nacional, a excepción del tratamiento *Desmodium heterocarpon* durante la primera cosecha debido al bajo porcentaje de germinación.

**Palabras clave:** *Canavalia brasiliensis*, *Centrosema macrocarpum*, *Centrosema molle*, *Desmodium heterocarpon*, *Desmodium velutinum*, *Leucaena leucocephala*, floración, pureza y germinación.

## Abstract

The potential for seed production of tropical forage leguminous species in the geographic region of the Valle del Patía (Cauca, Colombia) was investigated. Two locations (El Porvenir and La Torre) and six treatments were selected - *Canavalia brasiliensis*, *Centrosema macrocarpum*, *Centrosema molle*, *Desmodium heterocarpon*, *Desmodium velutinum* and *Leucaena leucocephala*. The beginning of flowering, gr / plant production, purity analysis and germination potential were evaluated. The field trials were worked with a randomized complete block design, for the germination tests the completely randomized statistical design and ISTA standards follow-up was used. All treatments showed flowering and seed formation. *Leucaena leucocephala* during the second harvest reached a production of 800,2 gr / plant (871,5 kg / ha) in El Porvenir. The results of pure seed were equal to and greater than 95 % in all treatments. The lowest germination potential (20 %) was obtained with *Desmodium heterocarpon* and the highest (99 %) with *Canavalia brasiliensis*, both cases during the first harvest in the location of La Torre. It is concluded that the referenced treatments, under the environmental conditions of the two microenvironments (localities) of the geographic region of the Valle del Patía, have potential for seed production and the seeds obtained reach percentages of purity and germination that exceed the minimum quality requirements Physical and physiological required by the Instituto Colombiano Agropecuario - ICA - for commercialization in the national territory, with the exception of *Desmodium heterocarpon* treatment during the first harvest due to the low germination percentage.

**Keywords:** *Canavalia brasiliensis*, *Centrosema macrocarpum*, *Centrosema molle*, *Desmodium heterocarpon*, *Desmodium velutinum*, *Leucaena leucocephala*, flowering, purity and germination.

# Introducción

Las semillas están ligadas a la historia de la humanidad (FAO, 2016), una de las formas es a través de hacer parte de los insumos para el desarrollo agrario de una nación (FAO, 2006; Douglas, 1982) al ser uno de los medios para que varias especies de interés económico se dispersen en el tiempo y en el espacio (Doria, 2010). De la misma manera, en la actualidad gracias a los trabajos de fitomejoramiento, se constituyen en vehículo de transferencia de tecnología para el logro de objetivos de producción (FAO, 2016, Ferguson, 1990; Douglas, 1982).

A nivel mundial uno de los sectores más importantes para la nutrición humana y la producción económica es la ganadería bovina, aunque se conocen también sus efectos negativos sobre el medio ambiente (CIAT, 2015). La investigación ha permitido reconocer que especies de leguminosas forrajeras tropicales presentan atributos benéficos en escala multifuncional para la sostenibilidad ambiental y potencialización de la productividad económica del sector ganadero bovino (Arango *et al.*, 2016). A pesar de su importancia, una de las características de los mercados en varios países es la carencia de semillas de las especies en referencia (Sánchez y Cardozo, 2001).

Con base en principios ecofisiológicos se puede definir la producción de semilla como la respuesta de adaptabilidad reproductiva, coordinada por el programa de desarrollo de la planta, ante factores ambientales que caracterizan a una región determinada (Sánchez y Cardozo, 2001). Bajo el contexto anterior se planteó el problema de investigación ¿Cuáles son los efectos de las condiciones ambientales de la región geográfica del Valle del Patía sobre la manifestación del patrón fenológico de floración, la producción y características de calidad fisiológica de semillas de especies leguminosas forrajeras tropicales?

La justificación para el desarrollo de la presente investigación está centrada en dos aspectos. En primer lugar, en contrastar la teoría con la realidad, debido a que existen investigadores (FAO, 2011; Sánchez y Cardozo, 2001) que afirman que cada especie y su respectiva accesión tienen exigencias particulares que favorecen la floración y fructificación, estando dentro de las posibilidades la existencia de regiones geográficas donde una especie

no manifiesta la etapa reproductiva, siendo prevalente el desarrollo vegetativo. En segundo lugar, con la generación de instrumentos cognitivos que pueden ser empleados por personas interesadas en la producción de semillas con fines comerciales, ya sea bajo un enfoque industrial o artesanal, a través del conocimiento de la cuantificación de la producción y las características de calidad de las semillas que se producen bajo las condiciones ambientales de la región geográfica del Valle del Patía, resultados que se pueden contrastar con los parámetros mínimos de calidad establecidos en la normatividad nacional (resolución 3168 del 07 de septiembre de 2015, del Instituto Colombiano Agropecuario – ICA) para la autorización de la comercialización con fines de implementación en programas de establecimiento y renovación de pasturas.

Bajo la hipótesis que la región geográfica del Valle del Patía tiene las condiciones ambientales necesarias para que al menos una especie leguminosa forrajera tropical produzca semillas, se evaluó el potencial (cantidad y calidad) de producción de semillas de seis especies leguminosas forrajeras tropicales – *Canavalia brasiliensis*, *Centrosema macrocarpum*, *Centrosema molle*, *Desmodium heterocarpon*, *Desmodium velutinum* y *Leucaena leucocephala* – en dos microambientes del Valle del Patía, Colombia, para aportar a la identificación de una región geográfica que permita la manifestación reproductiva de las especies nombradas y por ende, a la superación de una de las principales limitantes – carencia de semillas comerciales – en la transferencia de tecnologías presentes en los múltiples modos de utilización de las especies objeto de estudio. Para el logro del objetivo general anteriormente nombrado se desarrollaron los siguientes objetivos específicos, primero, caracterizar el patrón fenológico de floración (inicio de floración); segundo, determinar la producción de semillas mediante la cuantificación de gramos por planta (gr/planta) y la estimación de producción kilogramos por hectárea (kg/ha); y tercero, determinar la calidad de las semillas (prueba de análisis de pureza y prueba de germinación).

Se concluye que la región geográfica del Valle del Patía, en los dos ambientes evaluados y para los tratamientos referenciados, presenta condiciones ambientales que permite la expresión de la etapa reproductiva y las semillas obtenidas presentan un porcentaje de pureza y germinación que superan los requisitos mínimos de calidad física y fisiológica exigidos por el Instituto Colombiano Agropecuario – ICA – para la comercialización en el

territorio nacional. Los resultados obtenidos permiten tener la perspectiva de que se continúe con la investigación en producción de semillas de leguminosas forrajeras tropicales en la región geográfica del Valle del Patía, con el propósito de generar nuevas alternativas de ingresos económicos para la comunidad y aportar al fortalecimiento de la ganadería bovina bajo términos de sostenibilidad ambiental y productividad económica, a través de la disponibilidad de semillas comerciales para ser incorporadas a los sistemas de producción.

# 1 Marco teórico y estado del arte

En este apartado se aborda información sobre diferentes contextos relacionados con la producción de semillas y específicamente, sobre el grupo al que pertenece las especies objeto de estudio; conceptos relacionados con el planteamiento del problema de investigación, información pertinente para el cultivo de las parcelas experimentales y se relacionan publicaciones científicas previas que abordan las variables seleccionadas.

## 1.1 Perspectivas sobre la producción de semillas de leguminosas forrajeras tropicales y su relación con la ganadería bovina

Las semillas no son solamente embriones vegetales con capacidad de germinación, también son portadoras de capacidad genética que en el caso de variedades promisorias se convierten en catalizadoras de cambios en pos de alcanzar objetivos de producción agrícola (FAO, 2016; Douglas, 1982). Dentro del mundo de los forrajes, en especies y cultivares de leguminosas y gramíneas, las semillas tienen importancia de carácter transcendental: primero, son insumo indispensable para la investigación en materia de evaluaciones de germoplasma; segundo, son recurso estratégico para adelantar el proceso de liberación de cultivares nuevos; tercero, son clave para que los cultivares lleguen a ganaderos, quienes establecen con ellas las pasturas y directamente obtienen los beneficios de la investigación (Ferguson, 1990). Sin duda alguna las semillas ocupan un lugar central en el proceso de desarrollo agrario de una nación (FAO, 2006).

**1.1.1 Semillas de leguminosas forrajeras tropicales – ente de transferencia de tecnología para el sector ganadero – y su carencia en varios mercados de Latinoamérica.** Las semillas hacen parte de las estrategias para enfrentar el cambio climático (FAO, 2011). Una de las formas en que están presentes es a través de especies y cultivares de leguminosas forrajeras – promisorias – que están dentro del abanico de

opciones para que la ganadería haga frente a los fenómenos naturales adversos (Arango *et al.*, 2016), debido a que desempeñan un papel benéfico clave en la generación de eficiencia y eficacia bajo términos de sostenibilidad ambiental y productividad económica (Sánchez y Cardozo, 2001). Con relación al medio ambiente se tiene como ejemplo que la incorporación de leguminosas forrajeras en la dieta de ganado bovino contribuye a la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero provenientes de la fermentación ruminal (Gerber *et al.*, 2013) y un ejemplo en el componente económico es que la pradera aumenta la disponibilidad de forraje en época de sequía (Arango *et al.*, 2016), sin desconocer que también aportan en los ámbitos de mejoramiento de la fertilidad del suelo (Sánchez y Cardozo, 2001) y el bienestar animal (Mirela, 2013).

La carencia de semillas es una de las limitantes más comunes en el desarrollo de pasturas mejoradas (Sánchez y Cardozo, 2001). Entre los ejemplos que ilustran lo anteriormente manifestado se encuentran: la poca disponibilidad de semillas de especies forrajeras gramíneas y leguminosas es uno de los principales obstáculos para la investigación, desarrollo y recuperación de pasturas en la Amazonía peruana (Reyes y Ará, 1997), en México la situación es semejante a excepción de que el énfasis está directamente en la carencia de semillas de leguminosas forrajes (Carvajal y Lara, 2003), la marcada problemática nombrada en México también está presente en Colombia (Plazas y Lazcano, 2006).

**1.1.2 Importancia de la ganadería y el efecto de la adversidad climática sobre los sistemas de producción bovino.** La ganadería es una actividad de importancia mundial por los aportes biológicos a la nutrición humana y monetarios en varios sectores económicos, sin embargo, causa un efecto negativo en el medio ambiente. Un dato que ilustra parte de la complejidad del sector ganadero es que dos terceras partes de la superficie agrícola del mundo (4.900 millones de hectáreas) se utiliza para alimentar las unidades de producción animal, de las cuales 3.400 millones de hectáreas están en pastoreo (CIAT, 2015).

Los sistemas de producción de ganadería bovina en Colombia cuentan con una población distribuida en 494.402 predios y constituida aproximadamente por 22.689.420 de

cabezas (ICA, 2016), los cuales, debido a la economía globalizada actual y a la adversidad climática enfrentan grandes retos en materia de procesos productivos e innovación tecnológica (FEDEGÁN, 2014). A través del tiempo la ganadería bovina ha sido y es fuertemente criticada por la baja eficiencia productiva y baja sostenibilidad ambiental (Arando *et al.*, 2016; Cruz, 2011; Mahecha *et al.*, 2002), un par de ejemplos sobre estos efectos en materia ambiental son: el alto nivel de degradación de los suelos y aporte en la emisión de gases de efecto invernadero (CIAT, 2015); un ejemplo en baja eficiencia productiva es la capacidad de carga promedio de unidades animal por hectárea: 0.67 (CGIAR, 2016); la articulación de las críticas nombradas se refleja en el impacto de los fenómenos ambientales en los años 2010 y 2011 que ocasionaron la muerte de 135.000 bovinos (FEDEGÁN, 2013); en otro informe de FEDEGÁN se reporta que desde el 2010 al 2016 se han perdido más de 2,6 millones de cabezas de ganado bovino por el mismo tipo de fenómenos (Revista Semana, 2016).

En la región del Valle del Patía, en el año 2012, murieron cerca de un millar de cabezas de ganado bovino por efecto de la sequía (Barrera, 2012). Entre los factores que se conjugan en el Valle del Patía, generadores de vulnerabilidad ante la inclemencia ambiental, están: sistema de producción extensivo con pasturas naturalizadas degradadas que influyen para que en época de sequía se reduzca la disponibilidad de forraje; carencia de prácticas de conservación de forrajes (heno y ensilaje) y mínima utilización de forrajes multipropósitos (Vivas *et al.*, s.f.). Es de resaltar que los tres factores nombrados anteriormente están presentes dentro del grupo de factores que afectan la ganadería bovina en Colombia (FEDEGÁN, 2014).

**1.1.3 Directrices institucionales que reglamentan la metodología de evaluación de semillas en el mundo y su comercialización en Colombia.** Uno de los principales referentes a nivel mundial en torno a la metodología de evaluación de semillas es la Asociación Internacional de Ensayos de Semillas – ISTA (*International Seed Testing Association*) (ICA, 2017; Quijada *et al.*, 2017; Sánchez y Cardozo, 2001), que tiene como objetivo principal proporcionar métodos y servicios para el análisis de semillas. A partir de 1931 ISTA publica periódicamente el Manual de Normas ISTA, donde se describen los procedimientos y técnicas que deben ser usadas. En la composición del manual están, entre

otros temas, técnica de muestreo, análisis de pureza, pruebas de germinación (Hernanz *et al.*, s.f).

El sector semillista es diferente en cada país y posee características, dinámicas y normas propias según los contextos locales, incluso, dentro de un país coexisten diferencias entre el sector semillista referente a cultivos y regiones (Arenas *et al.*, 2015). En Colombia, el Instituto Colombiano Agropecuario – ICA, es la entidad que reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país. La resolución 3168 del 07 de septiembre de 2015 establece los requisitos mínimos de calidad para la comercialización de semilla seleccionada bajo los parámetros de porcentaje mínimo de semilla pura y porcentaje mínimo de germinación, la cual incorpora dentro del grupo de leguminosas forrajeras clima cálido a las especies *Centrosema macrocarpum*, *Centrosema molle*, *Desmodium heterocarpon* y *Leucaena leucocephala*, bajo los siguientes características: 95 % semilla pura y 70 % en germinación, a excepción del valor de germinación mínimo de *Desmodium heterocarpon* que es del 60 % (ICA, 2015).

**1.1.4 Características de la industria semillista forrajera bajo el contexto mundial y nacional.** La industria mundial actual de semillas forrajeras tropicales está dominada por la producción de especies y cultivares de gramíneas. Las empresas productoras son numerosas en Brasil (Ferguson, 1994), donde se ha convertido en los últimos años en uno de los sectores más tecnificados debido a las exigencias del mercado y por la búsqueda de mayor rentabilidad económica para los productores (Takashi, 2010). La producción actual de semilla de leguminosas forrajeras es relativamente pequeña y muy variable entre países y entre un año y otro, una de las razones es que el uso que se da a las leguminosas forrajeras en el trópico es menor en comparación con las gramíneas, pero tiende a aumentar, en un futuro todo pasto se lanzará acompañado de una o más leguminosas (Ferguson, 1994).

La demanda de semillas forrajeras varía año tras año influenciada por varios factores, el precio del ganado, los precios de los productos agrícolas, entre otros (Ferguson, 1994). En concordancia, se alertó de una posible carencia de semillas forrajeras a partir del año 2017

debido al efecto negativo de factores ambientales en los cultivos de semillas en Brasil (CONtexto ganadero, 2016).

En Colombia la producción de semillas forrajeras tropicales inició hace varias décadas en forma rudimentaria, solo a partir de 1970 se desarrolla técnicamente la producción y surgen las empresas productoras y comercializadoras de semillas de gramíneas y leguminosas forrajeras. La producción de semillas es realizada casi en su totalidad por la industria privada, quien produce semillas de varias especies y cultivares de gramíneas y leguminosas forrajeras, dentro de este último grupo están: *Stylosanthes capitata*, *Arachis pintoi* y *Pueraria phaseoloides* (Ferguson, 1994).

La investigación en producción de semillas forrajeras es escasa (Ferguson *et al.*, 1997). En Colombia un referente es la comparación del grado de investigación sobre semillas forrajeras con otros cultivos de grano (soya, arroz, maíz, etc.), donde se encuentra una gran diferencia en la existencia de programas de semillas. Los cultivos de grano nombrados cuentan con un programa de semillas integral en particular, mientras que el enfoque dado al desarrollo de programas de suministro de semillas forrajeras no ha sido el apropiado (Ferguson, 1990); casi tres décadas después, la prevalencia nombrada anteriormente, es una fiel copia en el territorio nacional (Arenas *et al.*, 2015). Un ejemplo práctico es que la mayoría de las publicaciones científicas sobre la identificación de regiones geográficas para la producción de semillas leguminosas forrajeras tropicales se ubican cronológicamente en los años 60 y 70 del siglo pasado (Febles *et al.*, 2009).

## 1.2 Fenología

Las manifestaciones visibles (fenotipo) del desarrollo de una planta se conocen como fenología, incluido el crecimiento vegetativo y la reproducción, los cuales son el resultado de los diferentes procesos fisiológicos de las plantas (García, 2010). La expresión fenotípica de los diferentes caracteres es dependiente del genotipo, del ambiente y de la interacción genotipo por ambiente (Vallejo y Estrada, 2002). Las condiciones climatológicas (temperatura, precipitación, luz y humedad) controlan, en mayor parte, las manifestaciones

fenológicas. Para la agricultura las evaluaciones fenológicas son importantes porque permiten identificar la adaptabilidad de especies y cultivares – materiales genéticos – a una región en particular (García, 2010). Las principales características de un patrón fenológico son: frecuencia, amplitud (intensidad de respuesta), duración (corta o extensa), fecha y sincronía en que se expresa (Wencomo y Ortiz, 2010).

Las plantas presentan frecuencias de floración y de subsecuente fructificación, que va desde producción continua de frutos durante todo el año hasta la producción sincrónica de frutos dentro de una generación de plantas a intervalos que pueden ser incluso de más de un siglo. Dentro del anterior rango existen varios patrones de producción de semillas, uno de ellos es la fructificación anual de duración relativamente fija, sin embargo, el tamaño de la cosecha de semillas de la población y entre plantas individuales de una especie puede variar. El periodo de fructificación puede cambiar entre diferentes localidades, incluso dentro de una misma región, la variabilidad se debe a diferencias en la disponibilidad de recursos para la reproducción o a los ciclos endógenos que diferencian distintos niveles de esfuerzo reproductivo entre años (Vásquez *et al.*, 1997). Bajo el contexto anterior y delimitado a la producción de semillas forrajeras, cada especie tiene exigencias particulares que favorecen la floración y fructificación, manifestaciones fenológicas sujetas a la influencia de factores ambientales, que generalmente no pueden ser compensadas con prácticas de manejo en un lugar particular. A veces es frecuente que el mejor sitio de comportamiento de la especie como forrajera no sea el sitio más recomendable para la producción de semillas (Sánchez y Cardozo, 2001).

### **1.3 Reproducción de las plantas**

La reproducción es una de las etapas más importantes en la vida de las plantas (Amasino y Michaels, 2010). Hace referencia a los procesos biológicos que permiten su supervivencia e incluye dos tipos: sexual y vegetativa (Hernández, 2015). Las semillas y los meristemas son las estructuras de propagación de las plantas en su estado natural. La semilla sexual es resultado del proceso de autopolinización y polinización cruzada natural

(Vallejo y Estrada, 2002). Los procesos celulares de meiosis y mitosis son los mecanismos fisiológicos que rigen la reproducción (Vásquez *et al.*, 1997).

En plantas angiospermas la reproducción sexual da inicio con la formación de los órganos masculinos (polen) y femeninos (óvulo) en las flores. La distribución de los sexos entre individuos presenta una amplia diversidad. El embrión se origina a partir de la fecundación, proceso direccionado por la polinización. Existen especies y cultivares con autopolinización, otras con polinización cruzada y también apomícticas (Vásquez *et al.*, 1997).

**1.3.1 La floración.** La floración determina el paso del desarrollo vegetativo hacia el reproductivo (Sánchez, 2016). Presencia de estímulos reproductivos hacen que los meristemas inicien la formación de la flor. El proceso de floración se divide en tres etapas: inducción, evocación y desarrollo; la *inducción* hace referencia a los estímulos que alteran la fisiología de la planta pasando del estado vegetativo al reproductivo; la *evocación* involucra los eventos que ocurren en los ápices después de la inducción y que provocan la reorganización de las yemas para producir primordios florales; y el *desarrollo* incluye la formación de las diferentes estructuras florales hasta la manifestación final la flor o inflorescencia, proceso que no ocurre en varios casos inmediatamente posterior a los dos procesos nombrados anteriormente (inducción y evocación) sino que requiere de un tiempo determinado por condiciones externas cuya duración varía entre especies (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Existen factores que determinan la respuesta floral. En una región determinada es probable que las plantas hayan evolucionado hasta florecer en una época del año que potencialice la reproducción (Amasino y Michaels, 2010). Las plantas manifiestan la floración con base en información endógena y exógena (Bratzel y Turck, 2015).

Dentro de los principales factores endógenos están el desarrollo vegetativo y la activación de genes heterocromos. El *desarrollo vegetativo* para la inducción floral está ligado al fenómeno de juvenilidad, característica que asegura que la floración no se dé, aunque las condiciones ambientales sean las adecuadas, hasta que la planta tenga el desarrollo necesario (madurez) para abastecer la demanda energética requerida para la

producción de semillas. La *activación de genes heterocromos*, genes que constituyen el primer paso en la inducción floral, ocurre antes de que se detecten los primeros cambios morfológicos en los meristemas apicales, desencadenando en forma de cascada los demás pasos para que la floración inicie (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Los más importantes factores ambientales son el fotoperiodo y la temperatura, señales que permiten a algunas poblaciones florecer en forma sincronizada en el mismo periodo (Sánchez, 2016) y existen plantas que no dependen de la influencia de factores ambientales para florecer, está fijado genéticamente (Azcón-Bieto y Talón, 2008). El *fotoperiodo* es la capacidad de la planta para percibir la duración relativa de horas luz y oscuridad del día. Con base en la respuesta al fotoperiodo las plantas se clasifican en tres categorías: *plantas de día corto*, que florecen cuando las horas luz no superan un determinado valor crítico (rango de tiempo necesario para que se manifieste la floración en una especie determinada), por encima del cual las especies sensibles retardan la floración o no florecen; *plantas de día largo*, la floración se estimula por periodos de luz que sobrepasan el valor crítico de horas luz día; *plantas de día neutro*, no son afectadas por el fotoperiodo. Vale la pena resaltar que existen especies de día corto o día largo absolutas o facultativas (Azcón-Bieto y Talón, 2008); varias especies utilizan la información del fotoperiodo para dar inicio a la floración en concordancia con los cambios estacionales para incrementar las posibilidades de éxito reproductivo (Sánchez, 2016). El efecto de la *temperatura* mediante la vernalización actúa sobre la inducción floral, proceso que hace referencia al efecto benéfico que tiene un periodo prolongado de frío – temperaturas por debajo de 10 °C cuando se aplica a plantas en estados iniciales de desarrollo vegetativo, siempre que no descendan por debajo de la temperatura de congelación – en ciertas especies (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

**1.3.2 La semilla.** La semilla es una unidad reproductiva compleja (Vásquez *et al.*, 1997). Es la primera fase del desarrollo de una nueva planta, un embrión de planta acompañado de un almacén de alimento y perfectamente protegido por una serie de envueltas exteriores (De la Cuadra, 1993). Constituye el órgano de dispersión y perpetuación de las angiospermas y representa la culminación de la evolución reproductiva de las plantas (Matilla, 2008), por lo tanto, inmerso en el contexto agrícola se convierte en uno de los elementos más eficaces para que las especies de interés económico se dispersen en el tiempo y en el espacio (Doria, 2010).

El proceso de desarrollo de la semilla se da posterior a la fecundación, transición que tiene lugar en fases sucesivas, con características bien definidas, pero variables en duración según las condiciones ambientales, las especies y en algunos casos los cultivares (Azcón-Bieto y Talón, 2008). La semilla se forma mediante una embriogénesis cigótica que comprende los cambios morfológicos y de expresión genética que tienen lugar desde la formación del embrión hasta la maduración de la semilla. El desarrollo de la semilla comprende tres fases principales: histodiferenciación (periodo embriogénico); expansión (depósito de sustancias de reserva) y maduración; y desecación (Matilla, 2008).

Existen factores que regulan la cantidad y calidad de las semillas durante el proceso de desarrollo: el embrión de semillas de angiospermas puede afectarse directamente por las condiciones de la planta parental; las deficiencias en los minerales del suelo, que de no ser severas van a afectar principalmente la cantidad de semilla y en menor escala la calidad; el contenido de nitrógeno de la semilla se ve afectado por la distribución de la precipitación pluvial y, de una manera específica, la carencia de humedad en el suelo durante el periodo de maduración reduce el peso de la semilla; la temperatura afecta la tasa de crecimiento y el contenido de aceites en algunas especies; y una condición ambiental que afecte la acumulación de reservas nutritivas en la semilla afecta directamente el vigor de la plántula (Jara, 1996).

## **1.4 Principales factores ambientales en la producción de semillas de leguminosas forrajeras tropicales**

La identificación de una región geográfica que cuente con las condiciones pertinentes para la producción de semillas de especies leguminosas forrajeras es la decisión más importante dentro de un proyecto (Ferguson *et al.*, 1997; Hopkinson y Ried, 1979). Una región óptima combina factores climáticos, edáficos y agronómicos (Ferguson y Burbano, 1979).

**1.4.1 Factores climáticos.** Los cultivos de semillas forrajeras tropicales son sensibles a condiciones ambientales, especialmente a condiciones climáticas. Los altos rendimientos

se obtienen únicamente en condiciones específicas favorables para cada especie (Ferguson y Burbano, 1979).

Es importante conocer la reacción de una especie o variedad en particular al fotoperiodo (duración del día), para plantas de reacción neutral ante la duración del día no importa la latitud de localización de los lotes de producción, pero con plantas sensibles a día corto o día largo debe tenerse en cuenta cual latitud favorece la floración de la especie (Ferguson y Burbano, 1979).

La distribución de las lluvias es más importante que el volumen total de la precipitación. Los requerimientos varían de una especie a otra (Ferguson y Burbano, 1979), en términos generales un rango óptimo es de 800 a 2000 mm anuales y la distribución en la época seca no debe superar los 400 mm. Hasta los cultivos de desarrollo más rápido necesitan una estación de lluvias de aproximadamente cuatro meses para garantizar un eficaz desarrollo vegetativo y posterior producción óptima de semillas. Especies anuales y perennes presentan diferencias ante una corta estación de lluvias, hay casos de anuales en las que se disminuye la formación de semillas y en algunas perennes se reduce el crecimiento y se estimula la floración antes de que se complete la etapa vegetativa del cultivo. Una estación de lluvia prolongada o su ocurrencia durante la estación seca ocasiona problemas de hongos, lo cual puede arruinar la cosecha de semillas. Cualquier pluviosidad superior a la requerida para el crecimiento del cultivo constituye una desventaja para la producción de semillas (Hopkinson y Ried, 1979).

En ocasiones, es necesario un factor estresante para una actividad reproductiva vigorosa. Especies de fuerte respuesta al fotoperiodo no requieren ser estimuladas con un factor estresante, el déficit hídrico es el factor más común y pertinente. Los cultivos de semillas se comportan mejor en un clima donde las estaciones lluviosas y secas son confiables y están claramente diferenciadas (Hopkinson y Ried, 1979).

Hay especies que activan el proceso de reproducción ante el fenómeno vernalización. Una temperatura baja durante la época reproductiva con frecuencia constituye una restricción para la producción de semillas, por lo tanto, el índice que se acepta para el mes

más frío debe ser igual o superior 17 °C de temperatura diaria promedio (Hopkinson y Ried, 1979).

**1.4.2 Factores edáficos.** El buen drenaje, textura liviana y buena profundidad del suelo favorece el desarrollo del cultivo y el área plana beneficia la utilización de maquinaria. Las características químicas óptimas del suelo varían con la especie e influyen en la necesidad de fertilización (Ferguson y Burbano, 1979).

**1.4.3 Factores agronómicos.** Son numerosos y están relacionados con la especie en particular y con el sistema de producción, incluye todos los elementos de manejo (Ferguson y Burbano, 1979): el momento de siembra con relación a la estación del año, la densidad de siembra de las plantas, el programa de fertilización (Ruiz, 1995), control de arvenses y el soporte físico para promover una mayor floración y fructificación (Sánchez y Cardozo, 2001). Durante el proceso de planeación es de carácter transcendental la identificación del método de reproducción de la especie, debido a que influye en la organización de los lotes de cultivo, especies de autofecundación y apomícticas pueden estar juntas dentro del mismo lote a distancias solamente relacionadas con la necesidad de evitar mezclas físicas, las especies con polinización cruzada necesitan prácticas de aislamiento (Ferguson y Burbano, 1979) que pueden ser en el tiempo o en el espacio (Izquierdo y Granados, 2011).

## 1.5 La Germinación

Es el conjunto de procesos que inician con la absorción de agua por parte de la semilla, continua con la posterior elongación del eje embrionario y concluye cuando la radícula atraviesa las estructuras que rodean el embrión (Matilla, 2008). Comprende tres etapas sucesivas que se superponen parcialmente: primero, la absorción de agua (imbibición) que genera hinchamiento y la ruptura de la testa; segundo, inicio de la actividad enzimática y del metabolismo respiratorio, translocación y asimilación de las reservas alimentarias en las regiones en crecimiento del embrión; tercero, el crecimiento y la división celular que provoca la emergencia de la radícula y posteriormente de la plúmula. La primera manifestación de germinación exitosa es la emergencia de la radícula (Vásquez *et al.*, 1997). La germinación

de las semillas presenta un comportamiento heterogéneo producto de factores ambientales e intrínsecos (Sánchez *et al.*, 2004).

**1.5.1 Factores que rigen el proceso de germinación de las semillas.** La semilla y el ambiente que la rodea deben reunir una serie de condiciones para que se desarrolle el proceso de germinación (De la Cuadra, 1993).

Los factores ambientales pueden inhibir o estimular la germinación, entre los más importantes están la disponibilidad de agua, la temperatura, la disponibilidad de luz, oxígeno y dióxido de carbono (factores de efecto en conjunto). El *agua* es indispensable para que ocurra el proceso de imbibición, entre las semillas de especies y cultivares existen diferencias frente al nivel de humedad requerido. La *temperatura*, al igual que el agua, interfiere en la disponibilidad de oxígeno para el embrión, donde la influencia de la temperatura presenta una relación directa con el centro de origen de la especie (Herrera *et al.*, 2006), existiendo puntos cardinales de temperatura (mínimo, óptimo y máximo) para grupos de especies y para una especie en particular (De la Cuadra, 1993). El exceso de *oxígeno* afecta la germinación *sensu stricto*, probablemente al elevar la respiración. El *dióxido de carbono* en concentraciones mayores a las normales en el aire tiene un efecto inhibitorio de la germinación, el nivel de concentración está dado por la profundidad en las que se encuentra enterrada la semilla y microambientes circundantes (Herrera *et al.*, 2006). Hay semillas que germinan indiferentemente bajo la *luz* o en la oscuridad, pero también existen semillas que únicamente germinan en presencia de luz y otras en la ausencia de luz (De la Cuadra, 1993).

Los factores intrínsecos de la semilla de mayor importancia que rigen la germinación son: viabilidad, madurez e impermeabilidad al agua y oxígeno. La *viabilidad* de la semilla incluye tener el embrión vivo y conservar el poder germinativo, características que varían entre especies y por las condiciones de conservación. La viabilidad y madurez conservan estrecha relación con las prácticas de campo: momento y método de cosecha, beneficio (secado y limpieza), embalaje y almacenamiento de las semillas (Ruiz, 1995).

La semilla puede o no presentar *madurez* de forma bimodal (morfológica y fisiológica), la madurez morfológica es la que se obtiene cuando la semilla se desprende de la planta

progenitora y se comprende como la aptitud de la semilla para germinar (De la Cuadra, 1993), mientras la madurez fisiológica está ligada a un estrecho rango de tiempo dentro del proceso de desarrollo de la semilla, cuando el punto de máximo peso seco coincide con el momento en que la semilla alcanza el máximo poder germinativo y vigor, momento de funciones fisiológicas óptimas o, dicho de otra manera, punto de madurez fisiológica; posterior al momento referenciado, la calidad fisiológica de la semilla disminuye naturalmente (Popinigis, 1985); se pueden presentar tres casos: primero, la madurez fisiológica antes que la morfológica, que tiene como efecto que la semilla germina sobre la planta; segundo, ambos tipos de madurez se presentan simultáneamente y la semilla puede germinar en cuanto se desprende de la planta, si las condiciones ambientales son apropiadas; y tercero, las semillas se desprenden de la planta antes de conseguir desarrollar plenamente la capacidad de germinación fisiológica, estas semillas pasan por un período relativamente largo antes de desarrollar totalmente su capacidad germinativa (De la Cuadra, 1993).

El factor de *impermeabilidad* en algunas semillas, entre ellas las de material parental leguminosa, impide la penetración del agua y oxígeno a través de las cubiertas seminales. Existen métodos de escarificación para romper este tipo de dormancia (De la Cuadra, 1993).

## 1.6 Latencia y dormancia de las semillas

La latencia y la dormancia son procesos diferentes con igual efecto, una semilla viable no germina. La latencia se caracteriza por condiciones ambientales inapropiadas para la germinación, la dormición se caracteriza por un ambiente apropiado para el desarrollo del proceso de germinación, pero la semilla no germina hasta después de un periodo de tiempo, está sujeta a condiciones intrínsecas de la semilla (De la Cuadra, 1993).

Dentro del programa de desarrollo de la planta la dormancia es uno de los mecanismos naturales para asegurar la supervivencia en la etapa de semilla (Smith *et al.*, 2010). Con una simplificación al máximo se argumenta que existen dos tipos de dormición: la impuesta por las cubiertas seminales y la embrionaria (Pérez y Pita, 1999).

**1.6.1 Métodos para romper la dormición por impermeabilidad de las cubiertas seminales.** Los principales métodos de escarificación de semillas para eliminar la dormición por impermeabilidad al agua y oxígeno, en varias familias de plantas, son: la escarificación mecánica, que es la perforación de la testa mediante incisión, punción, lijado, etc.; los tratamientos con ácido, en los que se sumerge la semilla en ácido sulfúrico concentrado durante unos pocos minutos; los tratamientos con calor, donde se puede utilizar calor seco (estufa) o agua caliente, temperaturas entre 50 - 100 °C y diferentes periodos de tiempo de exposición según la mayor o menor dureza de las cubiertas seminales (Pérez y Pita, 1999). Un referente a considerar es que en varios grupos de semillas la escarificación mecánica y la escarificación con calor pueden presentar similar efecto que la escarificación con ácido sulfúrico, además el uso de esta sustancia química presenta limitaciones, entre ellas: difícil acceso por ser una sustancia de venta controlada y alto riesgo para la salud de quien lo manipula (Faría *et al.*, 1996).

## 1.7 Parámetros de Calidad de las Semillas

Existen cuatro parámetros generales que rigen las características de calidad de las semillas: física, fisiológica, sanitaria y genética (FAO, 2011). Las pruebas de evaluación pueden implementarse dentro del programa de control de calidad en diferentes etapas del sistema de producción: cosecha, secado, almacenamiento, etc. (Sánchez y Cardozo, 2001).

**1.7.1 Calidad física.** Hace referencia al mínimo de semillas dañadas, otras semillas, material inerte, semillas enfermas (decoloradas o manchadas), tamaño casi uniforme, entre otros, presente en una muestra. Una de las pruebas de calidad física es el análisis de pureza, que incluye la cuantificación bajo términos porcentuales del peso de la muestra, conformada por tres parámetros: semilla pura, material inerte y otras semillas, en función de determinar la composición del lote de semillas. Entre la información que se puede obtener con el análisis de pureza está: condiciones de producción, corregir el beneficio, ajustar el precio de venta, entre otros. Con base en los resultados de semilla pura se monta la prueba de germinación (FAO, 2011; Sánchez y Cardozo, 2001). De existir la necesidad de alcanzar algún porcentaje de pureza en especial, ejemplo: requisito mínimo para la comercialización

en un país, se debe ajustar de manera independiente el método de beneficio a las características de la semilla de cada especie y a las condiciones del lote de cosecha en particular (Sánchez y Cardozo, 2001).

**1.7.2 Calidad fisiológica.** Se enfoca en pruebas de germinación y vigor, el porcentaje de germinación es indicador de la habilidad de la semilla para emerger del suelo y para producir una planta en campo bajo condiciones normales; el *vigor* de la semilla es la capacidad de emerger del suelo y sobrevivir bajo condiciones de campo potencialmente estresantes y crecer rápidamente bajo condiciones favorables (FAO, 2011; Sánchez y Cardozo, 2001). La prueba bioquímica de viabilidad en tetrazolio también se utiliza para medir la calidad fisiológica (Santos, 2012).

**1.7.3 Calidad sanitaria.** Hace referencia a la presencia o ausencia de organismos que causan enfermedades: hongos, bacterias, virus, también plagas y animales, incluido nematodos e insectos (FAO, 2011; Sánchez y Cardozo, 2001).

**1.7.4 Calidad genética.** Destaca la pureza varietal, adaptabilidad a condiciones locales (las plantas crecerán y producirán semillas solo en el ambiente adecuado), tolerancia a plagas y enfermedades, entre otras (FAO, 2011).

## **1.8 Características agronómicas y reproductivas de las especies objeto de estudio**

Especies y variedades forrajeras, por definición, son plantas que se comportan bien básicamente por cumplir requisitos como: persistencia, tolerancia al pastoreo, producción de materia seca digestible, etc., en praderas (Ferguson y Burbano, 1979). *Canavalia brasiliensis*, *Centrosema macro*, *Centrosema molle*, *Desmodium heterocarpon*, *Desmodium velutinum* y *Leucaena leucocephala*, son especies leguminosas forrajeras con capacidad para hacer parte de estrategias para elevar la productividad y sostenibilidad ambiental de los

sistemas de producción bovino, adaptables desde 0 a 1.800 m s. n. m. en regiones tropicales (Peters *et al.*, 2013).

**1.8.1 *Canavalia brasiliensis* (Mart. ex. Benth).** Familia: leguminosa (Peters *et al.*, 2010). Nativa de Latinoamérica (INTA, 2014). Se utiliza como abono verde, cobertura, control de erosión, corte, acarreo, pastoreo, concentrado, mejoramiento de rastrojo, harina de hojas, heno y ensilaje (Peters *et al.*, 2010).

Especie de polinización cruzada. Presenta floración anual, continúa, de larga duración, con períodos de mayor actividad en la estación seca; con inflorescencias de tipo paniculado. Presenta flores blancas, moradas y violetas (Sales *et al.*, 2009). Según el cultivar y condiciones ambientales, produce semilla entre 15 y 18 semanas después de la siembra (Franco y Peters, 2007). Vainas largas de color café y semillas grandes de color café claro (Sales *et al.*, 2009). La producción de semillas es superior en aquellos ambientes más secos (Vivas, 2014). La utilización de tutores estimula una mayor producción de semillas (Douxchamps *et al.*, 2011). Para que la respuesta germinativa de un lote de semillas sea uniforme se requiere escarificar (Douxchamps *et al.*, 2011). El peso promedio de 100 semillas es 65,8 gramos (Peters *et al.*, 2010). Son semillas ortodoxas.

**1.8.2 *Centrosema macrocarpum* (Benth).** Familia: leguminosa (Peters *et al.*, 2010). El trópico americano es el lugar de origen (Schultze-Kaft *et al.*, 1997). Tiene múltiples formas de utilización: pastoreo, banco de proteína, abono verde, coberturas en plantaciones y para corte y acarreo (Peters *et al.*, 2010).

La respuesta de inducción floral ante el fotoperiodo demuestra que es una especie de día corto (Ferguson *et al.*, 1997), en concordancia al norte del paralelo ecuatorial el inicio de la floración corresponde al mes de octubre y la intensidad de la respuesta está condicionada por la presencia de polinizadores, en especial insectos grandes como los abejorros (Schultze-Kaft, s.f). Tiene un periodo vegetativo relativamente largo y es de polinización cruzada (Ferguson *et al.*, 1997). Presenta inflorescencia en racimos axilares, formada hasta por 30 flores insertadas en pares, flores papilionáceas de color crema con el centro púrpura; vaina dehiscente y lineal hasta 30 cm de largo por 1 cm de ancho, con 20 a 25 semillas,

entre oblongas y rectangulares de 5 x 3 mm; de colores amarillo-café, negras y moteadas. Es difícil la producción de semilla (Peters *et al.*, 2010). El estrés por déficit hídrico durante de formación de semillas es perjudicial (Ferguson *et al.*, 1997). Las semillas se caracterizan por ser ortodoxas porque sobreviven a los periodos de desecación y congelación durante su conservación (Muñoz *et al.*, 2009). El peso promedio de 100 semillas es 5,96 gramos (Peters *et al.*, 2010).

**1.8.3 *Centrosema molle* (Mart. ex. Benth).** Conocido inicialmente como *Centrosema pubescens* (Benth). Familia: leguminosa (Peters *et al.*, 2010). El trópico americano es el lugar de origen (Schultze-Kaft *et al.*, 1997). Tiene múltiples formas de utilización: banco de proteína, cobertura, abono verde, barbecho mejorado, heno, ensilaje y pastoreo (Peters *et al.*, 2010).

Planta de día corto cuya floración se estimula con un ligero estrés por déficit hídrico (Ferguson *et al.*, 1997). Presenta flores grandes y vistosas de color lila, vainas lineales con márgenes prominentes de 7,5 a 15 cm, de color castaño oscuro cuando está madura, la semilla es de color castaño-negro (Peters *et al.*, 2010). Semillas ortodoxas (Muñoz *et al.*, 2009). El peso promedio de 100 semillas es 2,89 gramos (Peters *et al.*, 2010).

**1.8.4 *Desmodium heterocarpon* (L.) DC. subsp. *ovalifolium* (Prain) Ohashi.** Familia: leguminosa (Peters *et al.*, 2010). Originaria del sureste asiático (Kerridge, 1997). Tiene múltiples usos: pastoreo, cobertura en plantaciones, renovación de praderas y recuperación de suelos (Peters *et al.*, 2010).

Especie de floración temprana y prolongada en el tiempo (Pérez *et al.*, 2002). La flor es un racimo terminal, color violáceo oscuro en el interior y más claro en el exterior; vaina erecta y pubescente, el fruto es dehiscente con 2 a 8 semillas de 2.5 a 3.5 mm de largo de color amarillo o marrón. La mejor producción de semillas se presenta en latitudes altas (Peters *et al.*, 2010); también tiene la virtud de producir semillas en varios tipos de suelo. La maduración de las semillas ocurre aproximadamente un mes después de la emergencia de las vainas. Las semillas son ortodoxas (Pérez *et al.*, 2002). El peso promedio de 100 semillas es 0,17 gramos (Peters *et al.*, 2010).

**1.8.5 *Desmodium velutinum* (Willd.) DC.** Familia: leguminosa (Peters *et al.*, 2010). Especie nativa de Asia y África tropical (Schultze-Kraft *et al.*, 2005). Puede utilizarse para corte, acarreo, banco de proteína, pastoreo, harinas, heno, ensilaje, abono verde y como pigmento (Peters *et al.*, 2010).

Las flores son en racimos o panículas terminales o axilares, de 4 a 20 cm de ancho y con 2 a 5 flores de color lila, rosada y blanca; vainas oblongas de 1 a 2.5 cm de largo y 2 a 3 mm de ancho y semillas de color amarillo cuando están maduras. El peso promedio de 100 semillas es 0,21 gramos (Peters *et al.*, 2010). Las semillas son ortodoxas y se desconoce el tipo de polinización.

**1.8.6 *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.** Familia: leguminosa (Peters *et al.*, 2010). Especie nativa de México (Wang *et al.*, 2003), con adaptación a una gran variedad de condiciones ambientales (Solorio y Solorio, 2008). Se utiliza como banco de proteína, leña, corte, acarreo, abono verde, sistemas agroforestales, concentrado (aves, cerdos y bovinos), pastoreo, barreras vivas, cercas vivas, rompe vientos y ensilaje (Peters *et al.*, 2010).

Especie de autopolinización (Peters *et al.*, 2010). Presenta inflorescencias formadas por capítulos esféricos y son los capítulos quienes albergan las flores (flósculos) (Zárate, 1994). Florece durante todo el año, donde la humedad y la temperatura son adecuadas, sin desconocer que presenta pico de floración en algunos meses del año (Pastures Australia, s.f). La vaina es alargada y plana de color marrón cuando está madura y presenta dehiscencia. La semilla es aplanada, dura, de color café, y presenta alto porcentaje de dormición en los primeros 2 a 3 meses (Peters *et al.*, 2010). Para una germinación rápida y homogénea es necesario escarificar las semillas (Zárate, 1994). Las semillas son ortodoxas (Navarro, 2003). El peso promedio de 100 semillas es 5,19 gramos (Peters *et al.*, 2010).

## 1.9 Estado del Arte

El mayor número de publicaciones están enfocadas en: la identificación de regiones geográficas favorables para la producción de semillas comerciales y prácticas agronómicas

direccionadas al cultivo de plantaciones productoras de semillas, entre ellas, la identificación de sistemas de soporte diferente al sistema convencional de postes y alambre para plantas herbáceas; técnicas para reducir la dureza de la testa de las semillas antes de la siembra (escarificación) y tecnologías que promueven la longevidad en almacenamiento (longevidad potencial) (Ferguson *et al.*, 1997); la capacidad de las semillas para permanecer viables, sin germinar por diferentes periodos en el suelo de la comunidad a la que pertenecen (longevidad ecológica) (Vásquez *et al.*, 1997). También se priorizan investigaciones sobre factores que determinan la calidad de la semilla: análisis de pureza, germinación y pruebas de vigor, que son temas que merecen total atención porque se relacionan directamente con la actividad de establecimiento y renovación de una pastura, ligado estrechamente al éxito y fracaso de la actividad (Andrade y Ferguson, 1991).

**1.9.1 *Canavalia brasiliensis*.** Bajo las condiciones ambientales del municipio de Pocinhos, Brasil, es una especie que produce flores (Sales *et al.*, 2009), en Managua, Nicaragua, florece tres meses después de la fecha de siembra (Douxchamps *et al.*, 2011), y en el departamento del Cauca, Colombia, presenta floración a los 56 días después del corte de homogenización (Vivas, 2014). La capacidad de producción de semillas está entre 1.500 a 2.500 kilogramos por hectárea (Peters *et al.*, 2010) y bajo las condiciones del Valle del Patía, Colombia, se observa una alta producción semillas (Vivas, 2014). Las semillas presentan un alto potencial de germinación (Franco y Peters, 2007; Peters *et al.*, 2010).

**1.9.2 *Centrosema macrocarpum*.** En el estado de Campeche, México, se presenta el inicio de floración a los seis meses después de la fecha de siembra (Carvajal y Lara, 2003). Especie que presenta un potencial de producción de semillas de 500 kg/ha, y en el territorio colombiano se puede obtener entre 100 a 250 kg/ha con cosecha manual (Ferguson *et al.*, 1997), en México se puede obtener producciones de hasta 123 k/ha por cosecha (Carvajal y Lara, 2003). Se obtienen porcentajes de germinación del 94 al 98 %, con semillas escarificadas (Carvajal y Lara, 2003) y con semillas que tenían 14 años de ser cosechadas y almacenadas bajo condiciones desfavorables, escarificadas térmica y químicamente, se obtiene un porcentaje del 2 % (Muñoz *et al.*, 2009).

**1.9.3 *Centrosema molle*.** En el estado Anzoátegui, Venezuela, presenta floración (Rodríguez *et al.*, 2003), en Campeche, México, floreció a los cuatro meses después de la fecha de siembra (1997). El potencial de producción de semillas es de 800 a 1.000 kg/ha (Ferguson *et al.*, 1997), en Anzoátegui, Venezuela, se consigue producciones entre 96 y 44 gr/planta (Rodríguez *et al.*, 2003), y 670, 760, 1.100 y 990 kg/ha, en cuatro plantaciones bajo las siguientes condiciones: monocultivo, en asocio con sorgo, maíz y girasol, respectivamente, en la provincia de Granma, Cuba (Gómez *et al.*, 2009). Especie en la cual se obtienen porcentajes de germinación hasta del 100 % con semillas escarificadas mecánicamente (González *et al.*, (2011) y germinación del 79 % con semillas previamente escarificada químicamente (Reino *et al.*, 2011).

**1.9.4 *Desmodium heterocarpon*.** En la localidad de Santander de Quilichao (Cauca, Colombia) florece a los 230 días después de la fecha de siembra (Schultze-Kraft, 1997), en la altillanura colombiana el inicio de floración se presenta entre 150 a 180 días (Pérez *et al.*, 2002) y en las localidades de Popayán y El Valle del Patía (Cauca, Colombia) presenta floración (Vivas, 2014). Se obtienen producciones de semillas de entre 300 y 400 kg/ha al año (Pérez *et al.*, 2002) y se alcanza hasta los 450 kg/ha/año (Peters *et al.*, 2010). Las semillas tienen una alta germinación (Pérez *et al.*, 2002).

**1.9.5 *Desmodium velutinum*.** Especie que, bajo las condiciones ambientales de Cerrado, Brasil, no manifiesta floración (Pizarro y Carvalho, 1996), en Cochabamba, Bolivia, sí presenta floración (Vallejos y Cardona, 1996) y en Santander de Quilichao (Cauca, Colombia) el inicio de floración se presenta en promedio a los 183 días después de la fecha de siembra (Vivas, 2005). La producción de semilla es de 15.82 kg/ha (CIAT, 1989) y actualmente se carece de estudios que presenten cifras numéricas sobre los volúmenes de producción de semillas (Peters *et al.*, 2010). Se logra porcentajes de germinación entre el 50 a 60 % con semillas escarificadas previamente (Mzamane y Agishi, 1986).

**1.9.6 *Leucaena leucocephala*.** En la provincia de Matanzas (Cuba) existen accesiones que no presentan floración y otras que sí florecen (Toral y Hernández, 1997), todas las accesiones evalúan en la provincia de Villa Clara (Cuba) presentan floración (Wencomo *et al.*, 2009) y en Matanzas (Cuba) las 11 accesiones evaluadas también

manifiestan floración (Wencomo y Ortíz, 2010). Se obtienen producciones de semillas de 13.4, 24.6, 22.2 y 27.5 kg/ha, recolecciones de cuatro trimestres (Wencomo *et al.*, 2009) y se considera que es una especie que tiene una producción abundante de semillas (Peters *et al.*, 2010). Se alcanzan porcentajes de germinación del 98 % con semillas escarificadas térmicamente (González y Mendoza, 2008), 86 % con semillas escarificadas mecánicamente (Ramírez *et al.*, 2012), entre 83 y 89 % con semillas previamente escarificadas químicamente; y porcentajes de germinación menores al 5 % con semillas sin escarificar (Insuasty *et al.*, 2012) y 5 % con semillas no escarificadas (Ramírez *et al.*, 2012).

## 2 Materiales y métodos

La planeación y desarrollo de la investigación contó con la coordinación del Grupo de Investigación Nutrición Agropecuaria – NUTRIFACA – perteneciente a la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca.

### 2.1 Localización

La investigación se realizó en la región geográfica del Valle del Patía (Cauca, Colombia). Los ensayos se montaron en dos localidades: finca El Porvenir, ubicada en la vereda El Cabuyo, municipio de Patía, coordenadas N: 1° 59' 13" y O: 77° 5' 57", altitud de 625 m s. n. m., y en la hacienda La Torre, ubicada en la vereda el Pílon, municipio de Mercaderes, con coordenadas N: 1° 56' 1.96" y O: 77° 10' 21.01", altitud de 608 m s. n. m.

### 2.2 Características ambientales

**2.2.1 Precipitación y temperatura.** Ambiente que cuenta con temperatura media de 27,9 °C y una precipitación anual de 1.414 mm, (Figura 2.1).

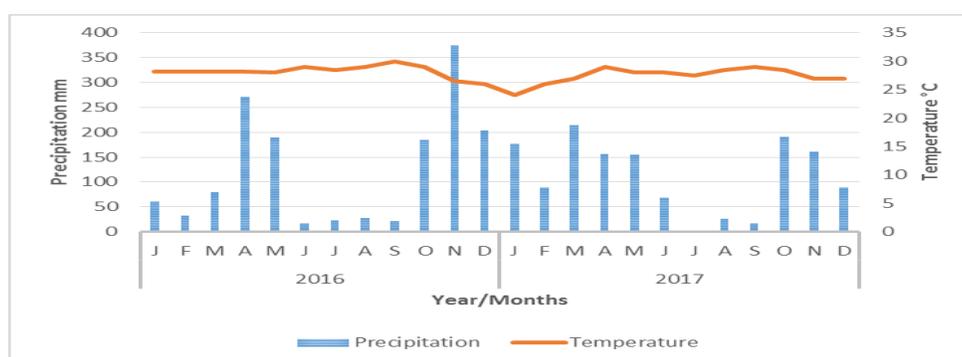


Figura 2.1 Precipitación y temperatura durante los años 2016 y 2017

Fuente: Estación meteorológica portátil del grupo de investigación NUTRIFACA ubicada en la localidad El Porvenir.

**2.2.2 Análisis químico del suelo.** A continuación, se presenta información obtenida sobre el suelo de las localidades, previo establecimiento de los ensayos (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 *Análisis químico del suelo de las localidades El Porvenir y La Torre*

<b>Parámetro (unidad).</b>	<b>El Porvenir</b>	<b>La Torre</b>
pH	5.63	6.31
P – Bray II (mg/kg)	3.07	32.1
MO (g/kg)	58.31	13.3
Ca (cmol/kg)	15.07	4.02
Mg (cmol/kg)	7.02	2.03
Na (cmol/kg)	0.16	0.04
K (cmol/kg)	0.49	0.19
CICE (cmol/kg)	24.45	NA
CIC (cmol/kg)		8.52
Fe (mg/kg)	12.53	56.3
Cu (ppm)	1.68	3.63
Zn (mg/kg)	2.36	1.88
Mn (mg/kg)	47.77	18.7
S (mg/kg)	19.54	19.7
B (mg/kg)	0.80	0.43
Textura	Franco arcilloso	Franco arenoso

Fuente: Gutiérrez (2018).

Ambas localidades presentan suelos con pH ligeramente ácidos con tendencia a neutralidad; no hay saturación de aluminio en concentraciones limitantes para el desarrollo de los tratamientos (especies); los elementos menores también presentan un comportamiento similar y se observa contenidos altos de materia orgánica. En La Torre el fósforo presenta un contenido alto y en El Porvenir un contenido bajo. En El Porvenir la Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) es alta y en La Torre es baja; al tener en cuenta que esta última localidad nombrada tiene suelo franco arenoso y el contenido de Materia Orgánica presente, es probable que la condición de CICE baja, esté relacionada principalmente con las características del par de parámetros referenciados (Gutiérrez, 2018).

## 2.3 Materiales

**2.3.1 Material biológico.** El material biológico (semilla botánica) de las especies leguminosas forrajeras tropicales: *Canavalia brasiliensis* (CIAT17009), *Centrosema macrocarpum* (CIAT5713), *Centrosema molle* (CIAT15160), *Desmodium heterocarpum* (CIAT13651), *Desmodium velutinum* (CIAT23981) y *Leucaena leucocephala* (CIAT17263), fue suministrado por el programa de forrajes del CIAT, Palmira. Uno de los criterios de selección de los tratamientos, además de los ya expuesto en los capítulos anteriores, es que el grupo de Nutrición Agropecuaria – NUTRIFACA – ha evaluado la adaptación de las especies a las condiciones ambientales del Valle del Patía, he incluido la tolerancia a la adversidad climática que se presenta en la época de sequía, considerándolas aptas para el cultivo en la región.

**2.3.2 Material prueba de germinación.** Los principales materiales fueron: bandejas de icopor, que se utilizaron como soporte para el sustrato, papel absorbente (sustrato) y las respectivas semillas de cada tratamiento.

## 2.4 Establecimiento de ensayos

Unos de los criterios de selección de los lotes de siembra fue la pendiente y que estuviesen libres de árboles para minimizar el efecto de la sombra. La preparación del terreno se realizó de manera convencional con una arada y dos rastrilladas.

La siembra se caracterizó por realizarse en tres fechas diferentes: *D. heterocarpum*, *D. velutinum* y *L. leucocephala* se sembraron el 01 de diciembre de 2016; *C. macrocarpum* y *C. molle* se sembraron el 07 de marzo de 2017 y *C. brasiliensis* el 02 de mayo de 2017. Los tres primeros tratamientos nombrados anteriormente se sembraron con semillas colocadas directamente sobre el suelo de las parcelas experimentales, los demás tratamientos se cultivaron inicialmente bajo condiciones de vivero (45 días) y tuvieron como sustrato de germinación y establecimiento inicial: jiffy pots, posteriormente, en las fechas mencionadas,

se sembraron en campo (trasplante). Del grupo de tratamientos el único que se sembró en una sola localidad fue *D. heterocarpon* (La Torre).

Entre las prácticas agronómicas se resalta que se utilizó sistema de tutorado para los tratamientos *C. macrocarpum*, *C. molle* y *C. brasiliensis*. El desarrollo de prácticas agronómicas presentó homogeneidad en los diferentes grupos de tratamientos. El área total en cada localidad fue de aproximadamente 3.000 m<sup>2</sup>, incluidos la distancia de 2.5 metros entre parcelas y 3 m del borde de la cerca perimetral.

Características de las parcelas experimentales por localidad, *Canavalia brasiliensis* tuvo un área de 10 x 10.5 metros (m), distancia de siembra de 1 x 2.5 m y una población de 50 plantas. *Centrosema macrocarpum* y *molle* tuvieron un área de 9 x 10.5 m, distancia de siembra de 1 x 1.5 m y una población de 80 plantas por cada tratamiento. *Desmodium heterocarpon* tuvo un área de 5 x 6 m, distancia de siembra de 0,5 x 1.7 m y una población de 84 plantas. *Desmodium velutinum* tuvo un área de 10 x 10 m, distancia de siembra de 1 x 2 m y una población de 72 plantas. *Leucaena leucocephala* tuvo un área de 9 m x 12 m, distancia de siembra de 3 x 3 m y una población de 20 plantas.

## **2.5 Características metodológicas de los parámetros de evaluación**

Los tratamientos se agruparon de acuerdo a las fechas de siembra debido a la consecuente homogeneidad de condiciones ambientales y agronómicas para el desarrollo vegetativo y reproductivo, lo que condicionó la comparación entre tratamientos bajo términos estadísticos ante los diferentes parámetros de evaluación, según lineamientos de diseño experimental expresados por Kuehl (2000). La evaluación fenológica de la floración se realizó bajo la metodología establecida por Rodríguez *et al.*, (2006), y con los registros de las observaciones se caracterizó el patrón fenológico de floración (frecuencia, fecha, duración y sincronía) de acuerdo a lo propuesto por Wencomo y Ortiz (2010); la periodicidad de evaluación fue cada 15 días, la cual inició a partir del primer registro de observación de floración de la primera especie y se mantuvo constante hasta el registro de la última especie

en florecer. También se realizó el análisis de correlación entre la variable inicio de floración y las variables climatológicas, precipitación y temperatura, a través del análisis de coeficiente de correlación de Pearson.

La cuantificación de la producción de semillas gr/planta y kg/ha se desarrolló de acuerdo a la metodología establecida por Rodríguez *et al.*, (2006). El método de recolección de las semillas fue manual y se ejecutó cada ocho días sobre el total de las parcelas experimentales de cada tratamiento hasta el fin de la cosecha; el indicador de recolección fue la presencia de vainas secas (color marrón). Las vainas fueron trilladas manualmente dentro de un costal para facilitar la extracción de las semillas, las cuales pasaron al proceso de beneficio (se ejecutó manualmente y bajo la directriz de la cuantificación del análisis de pureza) y se colocaron a secar – según metodología de Insuasty (2012) – bajo sombra durante ocho días con la intención de homogenizar la humedad de cada una de las recolecciones. Una vez las semillas limpias de impurezas y secas se guardaron en bolsas de papel y se almacenaron bajo condiciones ambientales hasta el momento en el cual se realizó la medición de los parámetros anteriormente referenciados y obtención de las muestras para el montaje de las pruebas de germinación.

La prueba de análisis de pureza y la prueba de germinación se establecieron y evaluaron de acuerdo a la metodología propuesta por Quijada *et al.*, (2017); Sánchez y Cardozo (2001), ambas publicaciones tienen como soporte teórico y metodológico las normas ISTA. El registro de las observaciones de la emergencia de la radícula se realizó día por medio a partir del segundo día de colocadas las semillas en las bandejas de germinación en presencia de agua, y tuvo una duración de 15 días, a excepción de los tratamientos del género *Desmodium* que se observaron durante 21 días; las semillas fueron escarificadas mecánicamente. Uno de los criterios de selección de las semillas fue la época climática de recolección: el primer montaje de pruebas de germinación se realizó únicamente con semillas recolectadas durante la época de verano y el segundo montaje con semillas únicamente recolectadas durante la época de lluvias, en concordancia con la producción de cada tratamiento; la ejecución de los montajes de germinación se realizaron una vez finalizadas las recolecciones de las semillas durante cada una de las épocas climáticas referenciadas.

## 2.6 Variables evaluadas

Inicio de floración: determinado a través del número de días transcurridos desde la fecha de siembra (día cero) hasta la fecha de inicio de floración (manifestación de al menos una flor). Producción de semillas: medida a través de la cuantificación gr/planta y estimación kg/ha de la (s) primera (s) fase (s) de producción de cada uno de los tratamientos, en concordancia con los periodos de inicio de floración manifestados. Análisis de pureza: establecido a través de los porcentajes de las variables, semilla pura, material inerte y otras semillas. Porcentaje de germinación: cuantificado por el número de semillas que manifestaron la emergencia de la radícula.

## 2.7 Análisis estadístico

Todos los análisis de comparación se realizaron utilizando el programa SPSS (IBM Statistics V19). Los ensayos en campo se trabajaron con el diseño de bloques completos azar, con tres repeticiones por tratamiento (especie); la pendiente del terreno fue el factor bloqueado debido al probable cambio de fertilidad que se puede presentar en el suelo. Para la evaluación de la germinación de semillas se utilizó el diseño estadístico completamente al azar, con cuatro repeticiones – cada una con 100 semillas – por cada repetición en campo. Se utilizó estadística descriptiva y estadística inferencial; todos los análisis se trabajaron con un nivel de significancia de 0,05.

## 3 Resultados y discusión

El interés en que una planta florezca o no, va a depender de los objetivos de producción (Chaves, 2017). Para la producción de semilla sexual es de interés que las plantas florezcan y fructifiquen (Rodríguez, 2017). Las expresiones fenotípicas no solo dependen del ambiente, también del genotipo y de la interacción genotipo por ambiente (Vallejo y estrada, 2002), en concordancia, la identificación de una región geográfica que permita el desarrollo de las etapas vegetativa y reproductiva en las especies y accesiones de interés es la decisión más importante dentro de un proyecto de producción de semillas (FAO, 2011; Sánchez y Cardozo, 2001; Hopkinson y Ried, 1979). Las seis especies (respectivas accesiones) manifestaron floración y producción de semillas bajo las condiciones ambientales del Valle del Patía.

### 3.1 Caracterización patrón fenológico de floración

El número de días transcurridos desde la fecha de siembra (día cero) hasta la fecha de inicio de floración (manifestación de al menos una flor) de cada unidad de observación, ordenadas de manera cronológica dentro de las respectivas repeticiones (bloque), durante el (los) periodo (s) de floración se presentan en la (s) gráfica (s) perteneciente (s) a cada tratamiento. Las tablas presentan la caracterización del patrón fenológico de cada tratamiento. Se finaliza la caracterización con el análisis de correlación entre la variable inicio de floración y las variables climáticas temperatura y precipitación.

**3.1.1 *Desmodium heterocarpon*, *Desmodium velutinum* y *Leucaena leucocephala*.** Las especies presentaron dos periodos de floración (frecuencia) y en ambos periodos se registraron las observaciones de la variable seleccionada. Los periodos de floración estuvieron separados por ausencia de floración en todos los tratamientos durante los meses de agosto, septiembre y octubre en El Porvenir; en La Torre durante los dos primeros meses nombrados anteriormente y la mayor parte del mes de octubre; lo anterior puede estar relacionado posiblemente con el efecto de la época de sequía, donde las

unidades de observación presentaron defoliación y posterior recuperación del área foliar durante el comienzo de la época de lluvias.

Los análisis de comparación de la variable de interés dentro de los respectivos periodos de floración entre el conjunto de tratamientos presentes en cada localidad y las comparaciones de cada tratamiento, entre localidades, no presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P > 0,05$ ); caso diferente el de los análisis de varianza entre repeticiones de cada tratamiento, donde al menos en uno de los periodos de floración presentaron diferencias estadísticas ( $P < 0,05$ ) (sincronía). *L. leucocephala*, en El Porvenir, y *D. velutinum*, en La Torre, fueron las especies con las que inició el registro de observaciones el 18 de abril de 2017 (fecha). *D. velutinum* presentó el registro de inicio de floración más corto: 35 días en ambas localidades; y *L. leucocephala* presentó el más largo: 70 días durante el segundo periodo en localidad La Torre (duración).

- ***Desmodium heterocarpon***. El inicio de floración se presentó desde el día 153 (valor mínimo) hasta el día 228 (valor máximo), en promedio 222 días durante el primer periodo de floración; y desde el día 348 hasta el día 408, en promedio 370 días para el segundo periodo (Figura 3.1 y Tabla 3.1). El análisis de varianza (ANOVA) entre repeticiones no presentó diferencias estadísticas significativas ( $P > 0,05$ ) en ninguno de los periodos de floración.

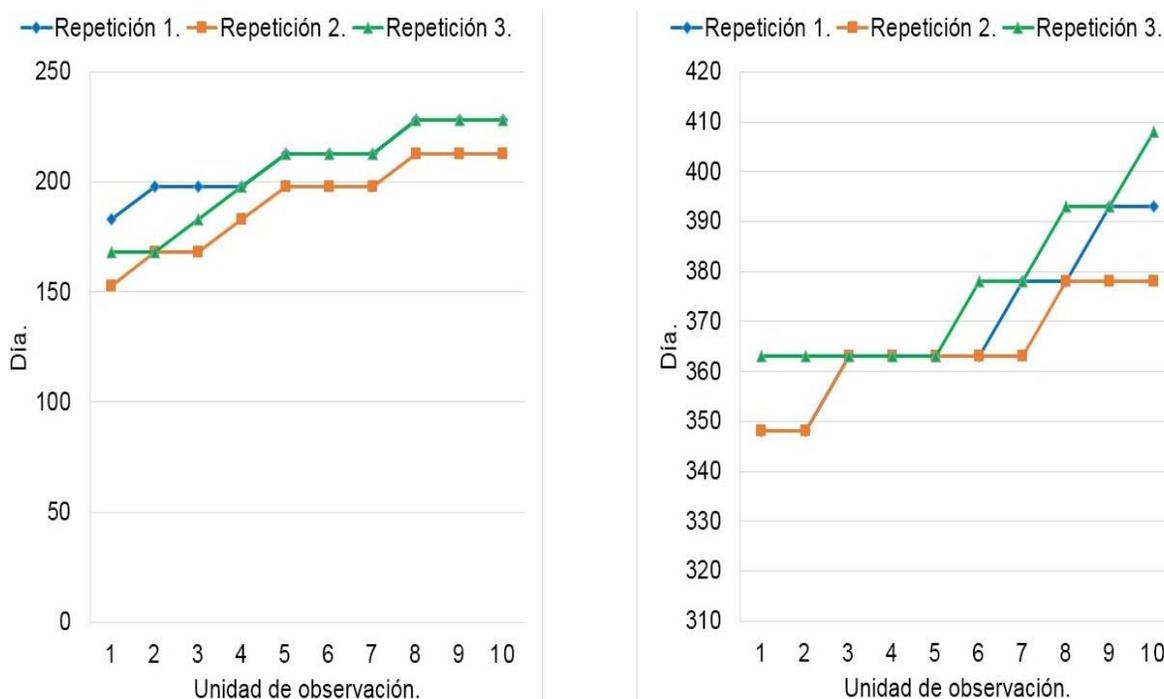


Figura 3.1 *Desmodium heterocarpon* – primer periodo (izquierda) y segundo periodo de floración (derecha) en La Torre –.

Tabla 3.1 *Desmodium heterocarpon* (patrón fenológico de floración)

Localidad	Tratamiento	Frecuencia (PF)	Fecha		Duración (días)
			Iniciación	Finalización	
La Torre	<i>D. heterocarpon</i>	1	03/05/2017	17/07/2017	55
		2	14/11/2017	13/01/2018	40

PF: Periodo de floración.

Sobre la expresión de floración se concuerda con una investigación realizada bajo las condiciones ambientales de Popayán y El Valle del Patía (Cauca, Colombia), estudio realizado con la misma accesión (Vivas, 2014). Similares resultados sobre el número de días transcurridos desde la fecha de siembra hasta la fecha de inicio de floración, de 150 a 180 días, han sido reportados en una evaluación realizada en la altillanura colombiana (Pérez *et al.*, 2002) y con accesiones diferentes, se han reportado resultados mayores a 230 días en la localidad de Santander de Quilichao (Cauca, Colombia) (Schultze-Kraft, 1997).

- Desmodium velutinum***. En la localidad El Porvenir, el inicio de floración se presentó desde el día 168 hasta el día 213, en promedio 194 días; y desde el día 348 hasta el día 393, en promedio 371 (Figura 3.2 y Tabla 3.2). En La Torre, a partir del día 138 hasta el día 198, en promedio 170 días; y desde el día 348 hasta el día 393, en promedio 372 días (Figura 3.3 y Tabla 3.2) – primero y segundo periodo de floración en cada localidad, respectivamente –. Los análisis de varianza (ANOVA) entre repeticiones, excepto en el primer periodo de floración en La Torre, no presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P>0,05$ ).

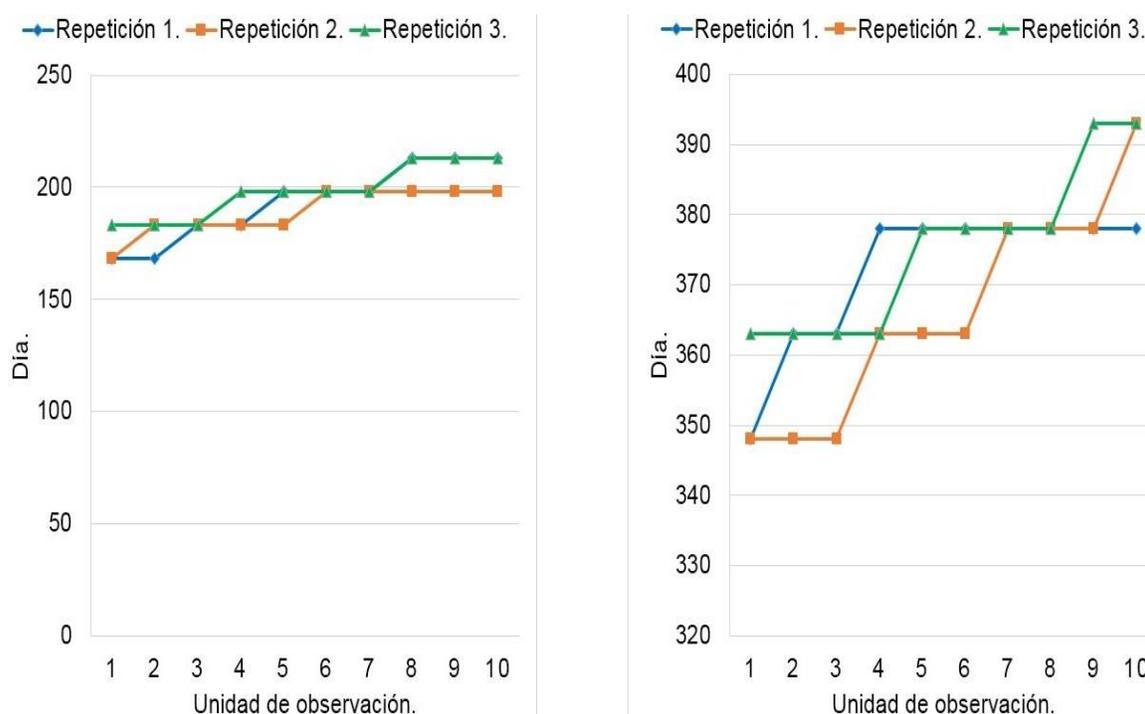


Figura 3.2 *Desmodium velutinum* – primer periodo (izquierda) y segundo periodo de floración (derecha) en El Porvenir –.

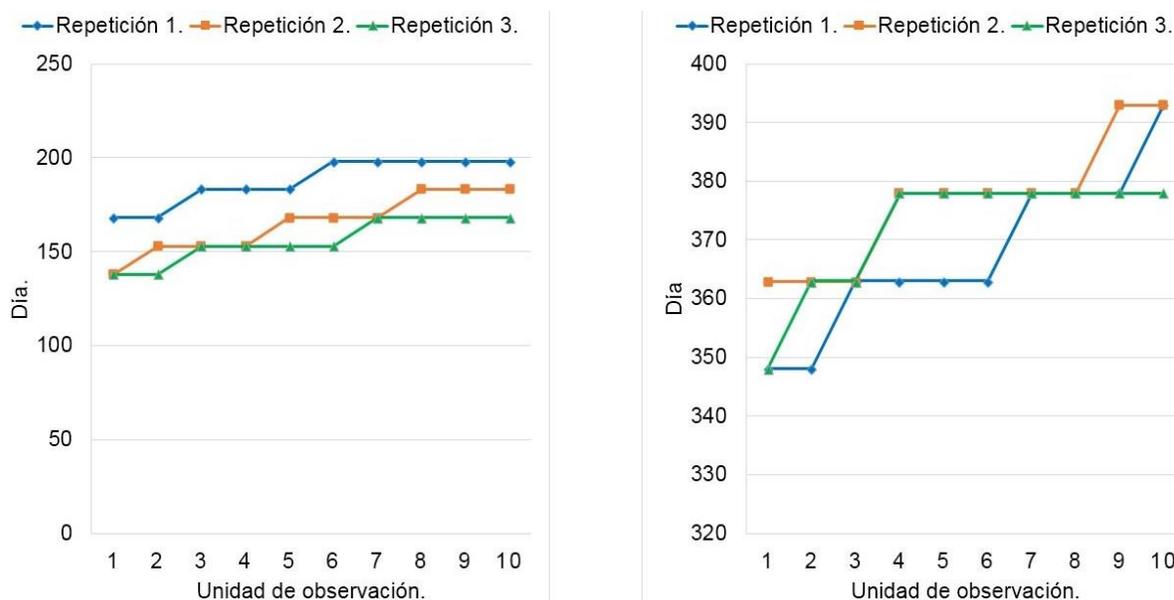


Figura 3.3 *Desmodium velutinum* – primer periodo (izquierda) y segundo periodo de floración (derecha) en La Torre.

Tabla 3.2 *Desmodium velutinum* (patrón fenológico de floración)

Localidad	Tratamiento	Frecuencia (PF)	Fecha		Duración (días)
			Iniciación	Finalización	
El Porvenir	<i>D. velutinum</i>	1	18/05/2017	02/07/2017	35
		2	14/11/2017	29/12/2017	35
La Torre	<i>D. velutinum</i>	1	18/04/2017	17/06/2017	35
		2	14/11/2017	29/12/2017	35

PF: Periodo de floración

Similares resultados han sido reportados por Vivas (2005), trabajo realizado en la localidad de Santander de Quilichao (Cauca, Colombia) con la misma accesión (inicio de floración 183 días después de la siembra); de las demás accesiones evaluadas, en total 137, también se reporta la que menos tiempo demoró en florecer (131 días), la que más tiempo demoró (428 días), y la media en general (191 días). En relación con la expresión de floración se concuerda con Vallejos y Cardona (1996), quienes expresan que, bajo las condiciones ambientales de una localidad del departamento de Cochabamba, Bolivia, las

tres accesiones evaluadas presentaron floración, existiendo entre ellas diferencias estadísticas entre el número de días al inicio de floración.

Pizarro y Carvalho (1996) no lograron el objetivo de evaluar la floración y producción de semilla debido al lento establecimiento y presencia de condiciones ambientales adversas, como fue la prolongación de la época seca y susceptibilidad a nematodos, que impidieron la persistencia por más de seis meses. Es posible que los resultados concuerden con lo expresado por Sánchez (2016) y Amacino y Michaels (2010), investigadores que expresan que el desarrollo de la etapa vegetativa y la superación del estado de juvenilidad hasta el estado de madurez, es determinante para la manifestación reproductiva.

- ***Leucaena leucocephala***. En la localidad El Porvenir, el inicio de floración se presentó a partir del día 138 hasta el día 213, en promedio 179 días; y desde el día 363 hasta el día 423, en promedio 388 días (Figura 3.4 y Tabla 3.3). En la localidad La Torre, a partir del día 153 hasta el día 213, en promedio 186 días; y desde el día 333 hasta el día 438, en promedio 387 días (Figura 3.5 y Tabla 3.3) – primero y segundo periodo de floración en cada localidad, respectivamente –. En ambas localidades el análisis de varianza (ANOVA) entre repeticiones, en cada periodo, presentó diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ).

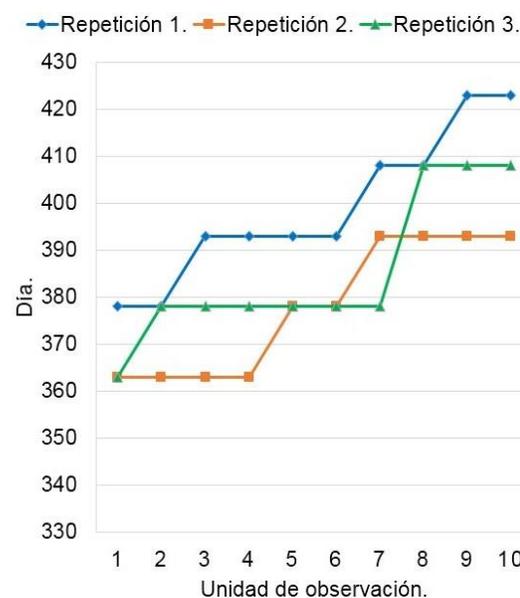
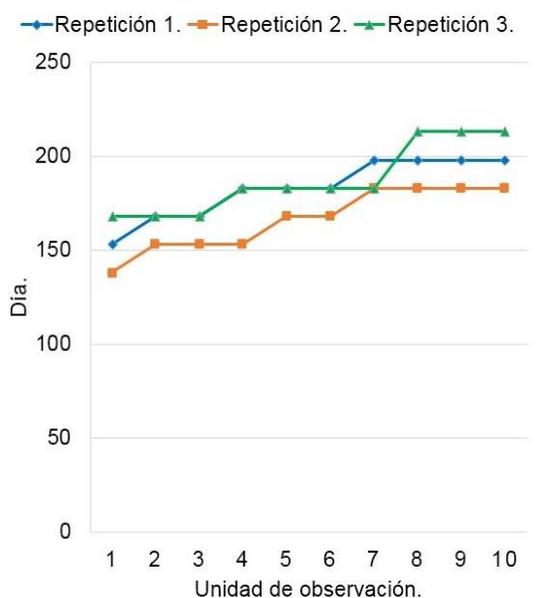


Figura 3.4 *Leucaena leucocephala*. – primer periodo (izquierda) y segundo periodo de floración (derecha) en El Porvenir.

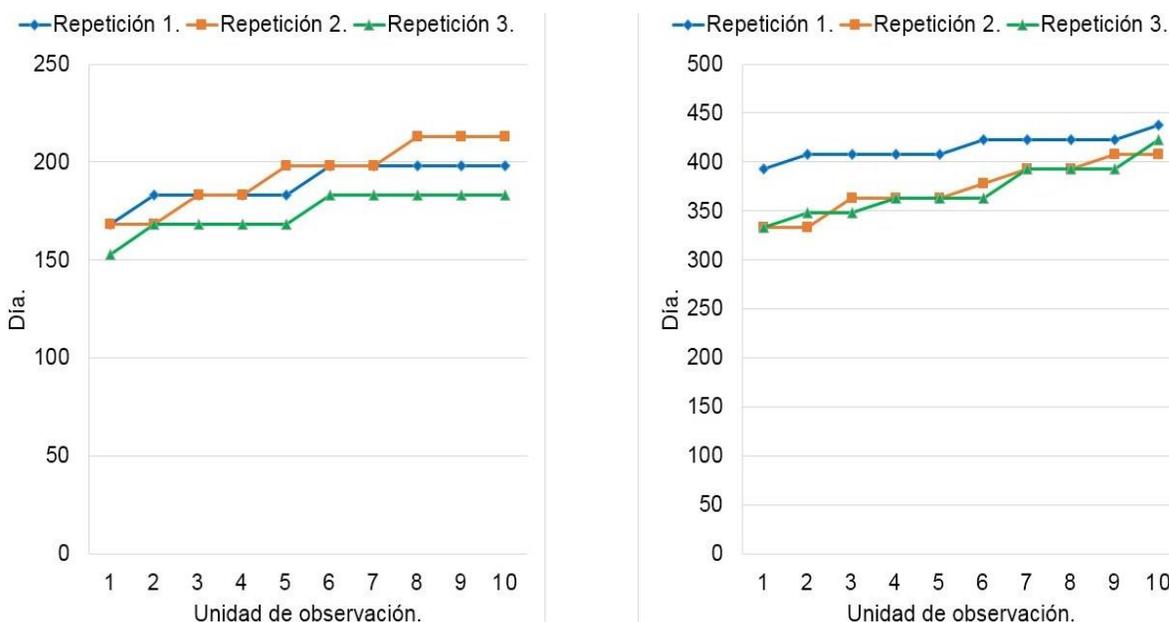


Figura 3.5 *Leucaena leucocephala* – primer periodo (izquierda) y segundo periodo de floración (derecha) en La Torre.

Tabla 3.3 *Leucaena leucocephala* (patrón fenológico de floración)

Localidad.	Tratamiento	Frecuencia (PF)	Fecha		Duración (días)
			Iniciación	Finalización	
El Porvenir	<i>L. leucocephala</i>	1	18/04/2017	02/07/2017	45
		2	29/11/2017	28/01/2018	40
La Torre	<i>L. leucocephala</i>	1	05/05/2017	02/07/2017	35
		2	30/10/2017	12/02/2018	70

PF: Periodo de floración

Resultados similares y diferentes sobre la manifestación de la floración han sido reportados en una evaluación fenológica que trabajó con 10 accesiones de *L. leucocephala*, realizada en la provincia de Matanzas (Cuba), sin estar dentro de ellas la accesión 17263. Tres accesiones florecieron dentro del primer semestre, otras cuatro florecieron dentro del segundo semestre y tres permanecieron vegetativas durante todo el año de evaluación. Una

característica metodológica fue que todos los materiales experimentales estuvieron tres meses en vivero antes de la siembra en campo (Torral y Hernández, 1997). En el municipio de Perico, provincia de Matanzas (Cuba), las 11 accesiones evaluadas manifestaron floración durante la etapa de establecimiento (Wencomo y Ortíz, 2010) e igualmente en todas las accesiones evaluadas en la provincia de Villa Clara (Cuba) (Wencomo *et al.*, 2009).

Es posible que la sincronía expresada por los tres tratamientos esté relacionada por compartir la fecha de siembra y las mismas condiciones ambientales durante el desarrollo vegetativo, que según Kuehl (2000) es un principio metodológico; y también con lo expresado por Sánchez (2016) quien afirma que la superación del estado de juvenilidad hacia el estado de madurez reproductiva está condicionado también por factores externos, entre ellos los más importantes son el fotoperiodo y la temperatura. Es de resaltar que según Noble *et al.* (2015) la sincronización en la manifestación de eventos naturales, incluido patrones fenológicos en plantas, se da a pesar de grandes distancias que separen a los individuos.

**3.1.2 *Centrosema macrocarpum* y *Centrosema molle*.** Se evaluó el primer periodo de inicio de floración. Los análisis de comparación entre el conjunto de tratamientos presentes en cada localidad y las comparaciones de cada tratamiento, entre localidades, presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) (sincronía). *Centrosema molle*, en la localidad El Porvenir, fue la especie con la que inició el registro de observaciones el día 02 de julio de 2017 (fecha). En la localidad La Torre, ambas especies, presentaron el periodo de inicio de floración más corto (60 días), el periodo de inicio de floración más largo (175 días) fue presentado por *Centrosema macrocarpum* en la localidad El Porvenir (duración).

- ***Centrosema macrocarpum*.** En la localidad El Porvenir, el inicio de floración se presentó desde el día 192 hasta el día 387, en promedio 313 días; en la localidad La Torre, a partir del día 297 hasta el día 387, en promedio 348 días (Figura 3.6 y Tabla 3.4). El análisis de varianza (ANOVA) entre repeticiones no presentó diferencias estadísticas significativas ( $P > 0,05$ ) en ninguna de las localidades.

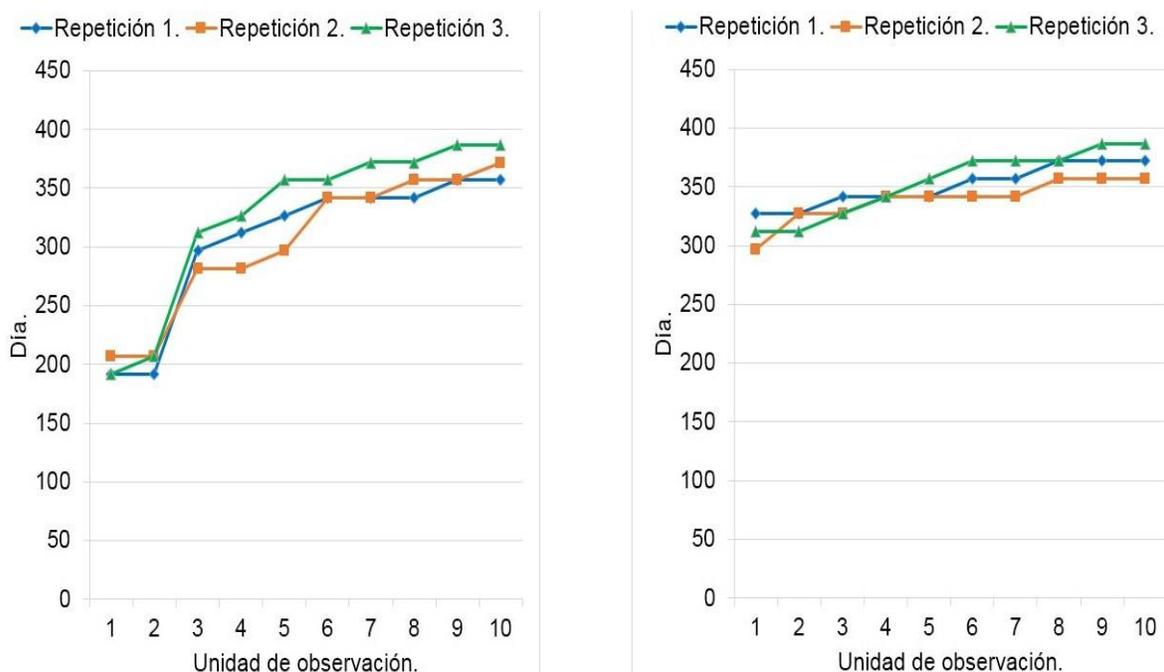


Figura 3.6 *Centrosema macrocarpum* – primer periodo de floración en El Porvenir (izquierda) y en La Torre (derecha) –.

Tabla 3.4 *Centrosema macrocarpum* (patrón fenológico de floración)

Localidad	Tratamiento	PF	Fecha		Duración (días)
			Iniciación	Finalización	
El Porvenir	<i>C. macrocarpum</i>	1	15/09/2017	29/03/2018	175
La Torre	<i>C. macrocarpum</i>	1	29/12/2017	29/03/2018	60

PF: Periodo de floración

Resultados similares sobre el número de días transcurridos desde la fecha de siembra hasta la fecha de inicio de floración han sido reportados dentro de una investigación realizada en México, con cultivos que iniciaron el desarrollo vegetativo en el mes de junio y presentaron la floración entre el 15 y el 20 de diciembre, aproximadamente a los seis meses (Carvajal y Lara, 2003), como aconteció en la localidad El Porvenir en algunas unidades de observación de cada repetición. El inicio de floración a finales de la época de sequía en la localidad referenciada anteriormente, es probable que esté asociado con lo expresado por Schultze-Kaft (s.f), investigador que expresa que al parecer el estrés hídrico (déficit) estimula la floración de *Centrosema macrocarpum*.

- ***Centrosema molle***. En la localidad El Porvenir, el inicio de floración se presentó a partir del día 117 hasta el día 312, en promedio 214 días; en la localidad La Torre a partir del día 282 hasta el día 357, en promedio 323 días (Figura 3.7 y Tabla 3.5). El análisis de varianza (ANOVA) entre repeticiones no presentó diferencias estadísticas significativas ( $P>0,05$ ) en ninguna de las localidades.

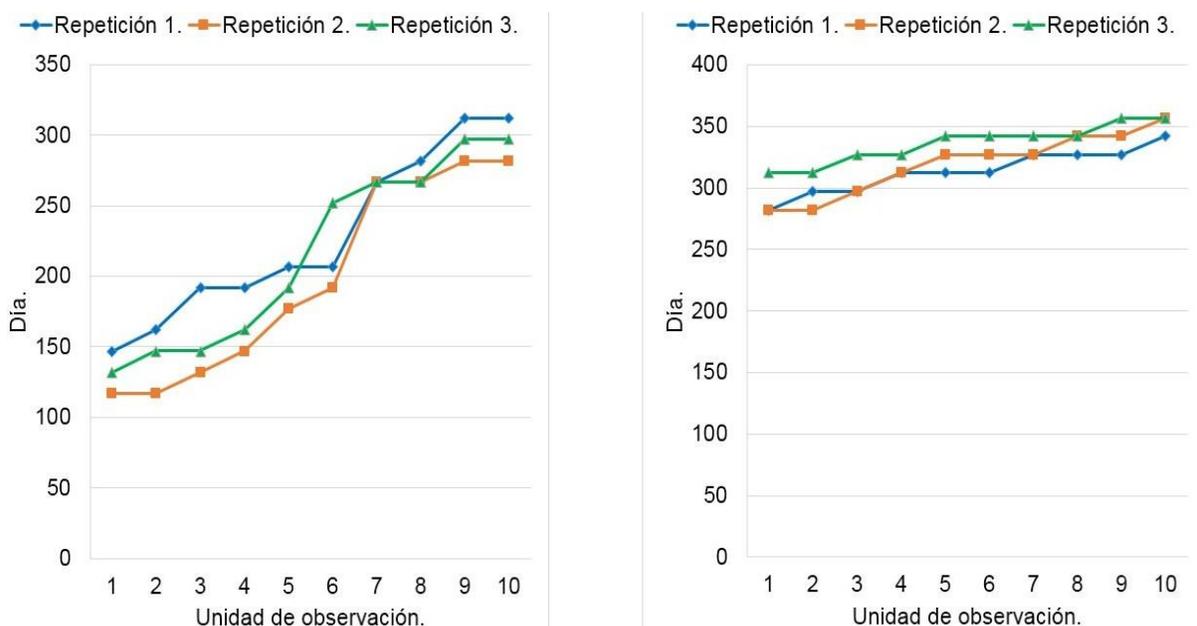


Figura 3.7 *Centrosema molle* – primer periodo de floración en El Porvenir (izquierda) y en La Torre (derecha) –.

Tabla 3.5 *Centrosema molle* (patrón fenológico de floración)

Localidad	Tratamiento	PF	Fecha		Duración (días)
			Iniciación	Finalización	
El Porvenir	<i>C. molle</i>	1	02/07/2017	13/01/2018	165
La Torre	<i>C. molle</i>	1	14/12/2017	12/02/2018	60

PF: Periodo de floración

En una investigación donde se ha evaluado la respuesta reproductiva de *Centrosema molle*, se reporta que presentó floración bajo las condiciones ambientales de una localidad del estado Anzoátegui, Venezuela (Rodríguez *et al.*, 2003). Resultados similares han sido reportados sobre el número de días transcurridos desde la fecha de siembra hasta la fecha

de inicio de floración, en una plantación sembrada en agosto y que floreció a partir del 30 de noviembre, resaltando la concordancia de la respuesta de inducción floral con la disminución del número de horas luz día (fotoperiodo); lugar de evaluación Campeche, México (Carvajal y Huchín, 1997).

Con base en lo expresado por Ferguson *et al.* (1997) es posible que ante las condiciones ambientales de la localidad El Porvenir, la respuesta de floración de las primeras unidades de observación se debió al estrés por déficit hídrico.

**3.1.3 *Canavalia brasiliensis*.** El inicio de floración en la localidad El Porvenir se presentó desde el día 76 hasta el día 166, en promedio 122 días; en la localidad La Torre a partir del día 61 hasta el día 121, en promedio 90 días (Figura 3.8 y Tabla 3.6). El análisis de varianza entre repeticiones no presentó diferencias estadísticas significativas ( $P > 0,05$ ) en El Porvenir, pero sí en La Torre; el análisis de comparación del tratamiento entre localidades presentó diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) (sincronía).

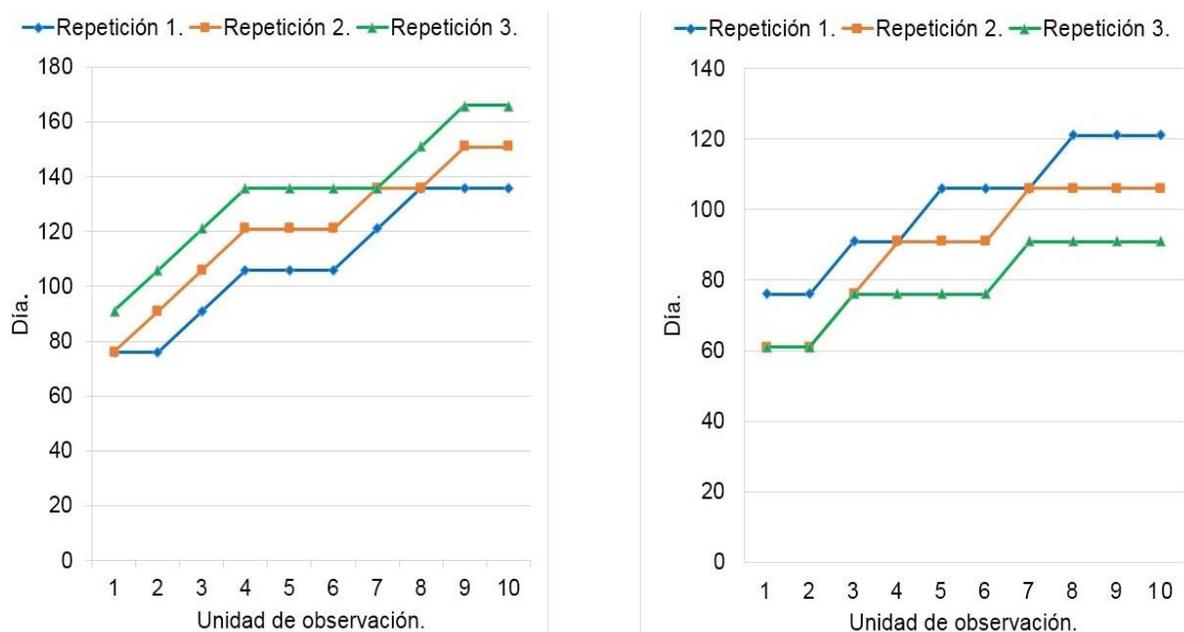


Figura 3.8 *Canavalia brasiliensis* – primer periodo de floración en El Porvenir (izquierda) y en La Torre (derecha) –.

Tabla 3.6 *Canavalia brasiliensis* (patrón fenológico de floración)

Localidad	Tratamiento	PF	Fecha		Duración (días)
			Iniciación	Finalización	
El Porvenir	<i>C. brasiliensis</i>	1	17/07/17	15/10/17	70
La Torre	<i>C. brasiliensis</i>	1	02/07/17	31/08/17	40

PF: Periodo de floración

Resultados similares son reportados bajo las condiciones de una localidad ubicada en el municipio de Pocinhos, estado de Paraíba, Brasil, bajo la expresión que presentó floración (Sales *et al.*, 2009). En el departamento del Cauca, Colombia, presentó la floración a los 56 días después del corte de homogenización (Vivas, 2014) y a tres meses después de la siembra en Managua, Nicaragua (Douxchamps *et al.*, 2011).

**3.1.4 Correlación entre la variable inicio de floración y las variables climáticas temperatura y precipitación.** El análisis del coeficiente de correlación de Pearson mostró diferencias estadísticas ( $P < 0,05$ ) entre el inicio de la floración y la temperatura en la localidad La Torre, correlación negativa ( $r = -0,60$ ), lo que se interpreta que cuando la temperatura disminuyó el inicio de la floración aumentó. Es posible que el comportamiento observado esté relacionado con lo expresado por Blázquez *et al.* (2011) y Amasino y Michaels (2010), quienes argumentan que las plantas tienen la capacidad de percibir estímulos ambientales, e incluido la temperatura, para seleccionar el mejor momento del año para el desarrollo reproductivo y de esta manera encontrar condiciones ambientales óptimas para la formación de las semillas; y según Sánchez (2016) la temperatura junto con el fotoperiodo son los dos principales factores que promueven en poblaciones de plantas, algunas conformadas por diferentes especies, florezcan de forma sincronizada. De acuerdo a lo argumentado por García (2010), la temperatura no es la única variable climatológica que controla, en mayor parte, el desarrollo de las manifestaciones fenológicas, que interactúa principalmente con la precipitación, la luz y la humedad atmosférica, condiciones ambientales (microclima) que caracterizan a una localidad determinada en donde se encuentran las plantas, y agrega que las manifestaciones fenológicas también están directamente relacionadas con el componente edáfico (disponibilidad de nutrientes).

## 3.2 Producción de semillas (gr/planta y estimación kg/ha)

La producción de semillas se evaluó en los tres grupos de tratamientos presentes en ambas localidades. En el primer grupo (*Desmodium heterocarpon*, *Desmodium velutinum* y *Leucaena leucocephala*) se evaluó la producción de dos cosechas. En el segundo grupo (*Centrosema macrocarpum* y *Centrosema molle*) y tercer grupo (*Canavalia brasiliensis*) se evaluó la producción de una sola cosecha, en concordancia con los periodos de inicio de floración manifestados por cada tratamiento durante el periodo de evaluación.

Una de las variables comúnmente evaluadas dentro de la cuantificación de la producción es el peso de 100 semillas, la cual no se determinó porque en la selección de variables se priorizaron aquellas que directamente aportaban a la corroboración de la hipótesis de investigación. Para referencia de la unidad de medida del peso de 100 semillas de cada especie, en el marco teórico se presentó el trabajo realizado por Peters *et al.*, (2010).

**3.2.1 *Desmodium heterocarpon*, *Desmodium velutinum* y *Leucaena leucocephala*.** Los resultados de producción gr/planta fueron diferentes entre tratamientos, uno de los principales factores que influyó fue la variación natural entre ellos, motivo por el cual no se buscó establecer diferencias estadísticas entre tratamientos. En la localidad El Porvenir *Desmodium velutinum* no presentó diferencias estadísticas significativas ( $P > 0,05$ ) entre cosechas, caso contrario en *Leucaena leucocephala*; en la localidad La Torre el único tratamiento que presentó diferencias estadísticas entre cosechas fue *Leucaena leucocephala* y se caracterizó por la disminución en la producción durante la segunda cosecha. En las comparaciones de tratamientos entre localidades, el único tratamiento que presentó diferencias estadísticas ( $P < 0,05$ ) fue *Leucaena leucocephala* durante la segunda cosecha (Tabla 3.7). En *Desmodium heterocarpon*, *Desmodium velutinum* y *Leucaena leucocephala* el dato kg/ha se estimó con base en una densidad de siembra de 28.571, 5.000 y 1.089 plantas/ha, respectivamente.

Tabla 3.7 *Desmodium heterocarpon*, *Desmodium velutinum* y *Leucaena leucocephala* – producción de semillas (g/planta) y estimación de producción (kg/ha) –.

Localidad	Tratamiento	Primera cosecha		Segunda cosecha	
		g/planta	kg/ha	g/planta	kg/ha
El Porvenir	<i>D. velutinum</i>	38,2 a	191	48,9 a	244,3
	<i>L. leucocephala</i>	143,7 a	156,5	800,2 b	871,5
La Torre	<i>D. heterocarpon</i>	0,70 a	20	0,66 a	19
	<i>D. velutinum</i>	37,7 a	188,5	48,4 a	242,2
	<i>L. leucocephala</i>	116,7 a	127	43 c	46,8

Letras diferentes en las filas, entre los datos g/planta, y letras diferentes en las columnas, entre un mismo tratamiento presente en ambas localidades, representa la existencia de diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ).

Sobre *Desmodium heterocarpon* diferentes resultados han sido reportados por investigadores que afirman que los rendimientos obtenidos en la altillanura colombiana fueron altos, siendo mayores cuando el cultivo se manejó dentro de una plantación arbórea, donde alcanzó una producción de 400 kg/ha al año, y en el cultivo sin sombra el rendimiento de semilla alcanzó los 300 kg/ha al año (Pérez *et al.*, 2002); también, diferentes resultados (450 kg/ha/año) han sido reportados por Peters *et al.*, (2010).

En una evaluación de una accesión de *Desmodium velutinum* se han reportado resultados diferentes (15.82 kg/ha) de semilla clasificada con pureza mínima del 50 % (CIAT, 1989). En una publicación más reciente se ha expresado es una especie que produce abundante semilla, pero no se exponen cifras numéricas por la carencia de la información (Peters *et al.*, 2010).

Los resultados obtenidos con el tratamiento *Leucaena leucocephala* coinciden con la expresión: tiene una producción abundante de semillas (Peters *et al.*, 2010). Diferentes resultados (13.4, 24.6, 22.2 y 27.5 kg/ha) se han obtenido en una evaluación realizada durante un año y dividida en cuatro trimestres, donde se resalta que la accesión CIAT17263 fue una de las destacadas en producción de semillas dentro de las 120 accesiones evaluadas; la densidad de siembra fue de 555 plantas/ha (Wencomo *et al.*, 2009).

**3.2.2 *Centrosema macrocarpum* y *Centrosema molle*.** En la localidad El Porvenir los tratamientos presentaron una mayor producción y bajo términos de significancia estadística la variable gr/planta – comparación entre localidades – presentó diferencias ( $P < 0,05$ ) (Tabla 3.8); la comparación entre los tratamientos, en ambas localidades, no difirió estadísticamente ( $P > 0,05$ ). Según Peters *et al.* (2010) 100 semillas de *Centrosema macrocarpum* y 100 semillas de *Centrosema molle* presentan un peso en promedio de 5,96 y 2,89, respectivamente, lo que permite establecer que las semillas de *Centrosema macrocarpum* superan en más de la mitad el peso de las semillas de *Centrosema molle*, por lo tanto, es probable que la producción de unidades de semillas de *Centrosema molle* haya sido superior a la producción de unidades de semillas de *Centrosema macrocarpum*. En ambas especies el dato kg/ha se estimó con base en una densidad de siembra de 6.600 plantas/ha por tratamiento.

Tabla 3.8 *Centrosema macrocarpum* y *Centrosema molle* – producción de semillas (gr/planta) y estimación de producción (kg/ha) –.

Localidad	Tratamiento	gr/planta	kg/ha
El Porvenir	<i>C. macrocarpum</i>	4,8 a	31,5
	<i>C. molle</i>	4,9 a	32,3
La Torre	<i>C. macrocarpum</i>	2 b	13
	<i>C. molle</i>	1,5 b	10,1

Letras diferentes entre los datos de la columna g/planta, entre un mismo tratamiento, representa la existencia de diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) entre localidades; letras iguales entre tratamientos de una misma localidad representa la no existencia de diferencias estadísticas ( $p > 0,05$ ).

Sobre *Centrosema macrocarpum* resultados diferentes han sido reportados por Ferguson *et al.* (1997), investigadores que expresan que presenta un potencial de producción de semillas de 500 kg/ha, aproximadamente, y que las pocas observaciones que han hecho en Colombia indican que se puede obtener entre 100 a 250 kg/ha con cosecha manual. Carvajal y Lara (2003) reportan una producción de semillas de 123 k/ha por cosecha, investigación desarrolla sobre cultivos del estado de Campeche, México. Similares resultados han sido expresados por Peters *et al.* (2010) a través de la afirmación: la producción de semillas es difícil.

Sobre *Centrosema molle* resultados diferentes han sido reportados por varios investigadores, entre ellos hay quienes afirman que el potencial de producción de semillas es de 800 a 1.000 kg/ha, y que los rendimientos de cultivos comerciales que utilizan soportes y cosecha manual para la recolección de las semillas varían desde 200 a 400 kg/ha en Tailandia y desde 75 a 98 kg/ha en Perú; en Brasil y Australia, los cultivos comerciales que utilizan combinada para la recolección de las semillas, presentan rendimientos entre 150 a 300 kg/ha (Ferguson *et al.*, 1997). Otra evaluación reporta producciones entre 96 y 44 gr/planta durante las cosechas de los años 1989 y 1990, respectivamente, información de un cultivo establecido bajo condiciones de sabana bien drenada del estado Anzoátegui, Venezuela (Rodríguez *et al.*, 2003); y 670, 760, 1.100 y 990 kg/ha han sido reportados de cuatro plantaciones bajo las siguientes condiciones: monocultivo, en asocio con sorgo, maíz y girasol, respectivamente; en la provincia de Granma, Cuba (Gómez *et al.*, 2009).

**3.2.3 *Canavalia brasiliensis*.** La producción fue mayor en El Porvenir y bajo términos de significancia estadística la variable gr/planta – comparación entre localidades – presentó diferencias ( $P < 0,05$ ) (Tabla 3.9). El dato kg/ha se estimó con base en una densidad de siembra de 4.000 plantas/ha.

Tabla 3.9 *Canavalia brasiliensis* – producción de semillas (g/planta) y estimación de producción (kg/ha) –.

Localidad	Tratamiento	gr/planta	kg/ha
El Porvenir	<i>C. brasiliensis</i>	36,1 a	144,3
La Torre	<i>C. brasiliensis</i>	15,8 b	63,3

Letras diferentes entre los datos de la columna g/planta representa que existieron diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) entre localidades.

Resultados diferentes (1.500 a 2.500 kilos por hectárea) han sido reportados en una publicación realizada por el CIAT (Peters *et al.*, 2010). Una investigación más reciente y con igual accesión expresa que, bajo las condiciones del Valle del Patía, produce abundante semilla (Vivas, 2014), afirmación que concuerda con lo expresado por Franco y Peters (2007).

Frente a los resultados obtenidos, en consideración de todos los tratamientos, concuerdan con lo expresado por Ferguson y Burbano (1979), investigadores que argumentan que los cultivos de semillas leguminosas forrajeras tropicales son sensibles a condiciones ambientales, especialmente a condiciones climáticas, y altos rendimientos se obtienen únicamente en condiciones específicas favorables para cada especie. Es posible que entre los múltiples factores que regulan la cantidad de las semillas producidas por una planta, uno que pudo haber influenciado en los resultados obtenidos en las diferentes localidades esté relacionado con lo expresado por Jara (1996), quien afirma que las deficiencias en los minerales del suelo, de no ser severas, van a afectar principalmente la cantidad de semilla y en menor escala la calidad.

### **3.3 Calidad física y fisiológica de las semillas**

El análisis de pureza es una de las pruebas que incluye la cuantificación de la variable semilla pura, la cual, se convierte en la muestra base para el montaje de las pruebas de germinación. Entre los objetivos que tiene la prueba de germinación está la identificación de la calidad fisiológica que poseen las semillas que se obtienen de una determinada región geográfica (Sánchez y Cardozo, 2011).

**3.3.1 Prueba de análisis de pureza.** El análisis de pureza en todos los tratamientos de ambas localidades y respectivas cosechas, referente a la variable semilla pura (SP) osciló entre 95 y 99 %, la variable material inerte osciló entre 2 y 4 % y la variable otras semillas fue una constante con valor cero (Tabla 3.10; Tabla 3.11 y Tabla 3.12).

Tabla 3.10 *Desmodium heterocarpon*, *Desmodium velutinum* y *Leucaena leucocephala*  
(análisis de pureza de las semillas)

Localidad	Tratamiento	Primera cosecha (%)			Segunda cosecha (%)		
		SP	MI	OS	SP	MI	OS
El Porvenir	<i>D. velutinum</i>	97	3	0	96	4	0
	<i>L. leucocephala</i>	98	2	0	98	2	0
La Torre	<i>D. heterocarpon</i>	96	4	0	95	5	0
	<i>D. velutinum</i>	97	3	0	97	3	0
	<i>L. leucocephala</i>	97	3	0	98	2	0

SP: Semilla Pura; MI: Material Inerte; OS: Otras Semillas.

Tabla 3.11 *Centrosema macrocarpum* y *molle* (análisis de pureza de las semillas)

Localidad	Tratamiento	Época de verano (%)			Época de lluvias (%)		
		SP	MI	OS	SP	MI	OS
El Porvenir	<i>C. macrocarpum</i>				98	2	0
	<i>C. molle</i>	98	2	0	98	2	0
La Torre	<i>C. macrocarpum</i>				98	2	0
	<i>C. molle</i>				97	3	0

SP: Semilla Pura; MI: Material Inerte; OS: Otras Semillas

Tabla 3.12 *Canavalia brasiliensis* (análisis de pureza de las semillas)

Localidad	Tratamiento	Época de verano (%)			Época de lluvias (%)		
		SP	MI	OS	SP	MI	OS
El Porvenir	<i>C. brasiliensis</i>	99	1	0	98	2	0
La Torre	<i>C. brasiliensis</i>	99	1	0	99	1	0

SP: Semilla Pura; MI: Material Inerte; OS: Otras Semillas

Con base en los resultados y en concordancia con lo expresado por la FAO (2011); Sánchez y Cardozo (2001) es posible afirmar que las condiciones de producción y beneficio han sido apropiadas y de acuerdo a los requerimientos para la comercialización establecidos por el ICA (2015) los lotes de semillas cumplen con el requisito mínimo del 95 % de semilla pura.

**3.3.2 Prueba de germinación.** Todos los tratamientos manifestaron potencial de germinación (Figura 3.9)



Figura 3.9 Fotografía de la prueba de germinación.

En la prueba de germinación de la primera cosecha y con base en los resultados de ambas localidades, en los tratamientos varió entre 20 y 99 %, *Desmodium heterocarpon* y *Canavalia brasiliensis*, respectivamente, en la localidad La Torre; en la prueba de germinación de la segunda cosecha y con base en los resultados de ambas localidades, entre tratamientos varió entre 57 y 97 %, *Desmodium velutinum* en El Porvenir y *Centrosema macrocarpum* en La Torre, respectivamente.

- ***Desmodium heterocarpon*, *Desmodium velutinum* y *Leucaena leucocephala*.**

En El Porvenir, entre tratamientos existieron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ) en ambas cosechas, pero la comparación entre cosechas de cada tratamiento no difirió estadísticamente ( $P > 0,05$ ). En La Torre, entre tratamientos difirieron estadísticamente ( $P < 0,05$ ) en la primera cosecha; en la segunda cosecha las dos especies del género *Desmodium* no presentaron diferencias estadísticas ( $P > 0,05$ ), pero a la vez ambos tratamientos difirieron de *L. leucocephala*; en la comparación entre cosechas solo *Desmodium heterocarpon* presentó diferencias ( $P < 0,05$ ). Las comparaciones de *Desmodium velutinum* y *L. leucocephala*, entre localidades, no

presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P>0,05$ ) (Tabla 3.13), al igual que el análisis de varianza (ANOVA) entre repeticiones en campo, de cada tratamiento.

Tabla 3.13 *Desmodium heterocarpon*, *Desmodium velutinum* y *Leucaena leucocephala* (prueba de germinación)

Localidad	Tratamiento	Germinación (%)	
		Época verano	Época invierno
El Porvenir	<i>D. velutinum</i>	59 b	57 b
	<i>L. leucocephala</i>	96 c	94 c
La Torre	<i>D. heterocarpon</i>	20 a	62 b
	<i>D. velutinum</i>	64 b	63 b
	<i>L. leucocephala</i>	95 c	96 c

En las filas, letras iguales entre datos representan la no existencia de diferencias estadísticas ( $p>0,05$ ); en las columnas, letras diferentes representan la existencia de diferencias estadísticas ( $p<0,05$ ).

En *Desmodium heterocarpon* y teniendo como referente la segunda cosecha, es probable que los resultados sean similares ante lo expresado por Pérez *et al.*, (2002), investigadores que afirman que las semillas de este tratamiento tienen alta germinación. Para *Desmodium velutinum* han sido reportados resultados similares de germinación (50 a 60 %) con semillas escarificadas con ácido sulfúrico o agua caliente (Mzamane y Agishi, 1986).

Es posible que los bajos porcentajes de germinación de *Desmodium heterocarpon* durante la primera cosecha se deba a lo afirmado por Amasino y Michaels (2010), quien expresa que el desarrollo de la etapa reproductiva en un momento incorrecto pone en riesgo la eficacia de la reproducción a través de la exposición a condiciones climáticas adversas, ausencia o disminución de polinizadores y una de las consecuencias es la producción de semillas inmaduras; y de acuerdo con Ruiz (1995) un factor más que pudo haber influido es la fecha de siembra con relación a la época del año, la cual brinda las condiciones necesarias para el desarrollo vegetativo y posterior actividad reproductiva, considerado un factor de carácter agronómico determinante.

Ante los resultados de los tratamientos del género *Desmodium* y la complejidad del tema de germinación, es posible que estén relacionados, en primer lugar, con lo expresado Herrera *et al.*, (2006) y De la Cuadra (1993), quienes afirman que existen condiciones especiales establecidas por la conjugación de factores de efecto en conjunto, estando entre los más importantes la humedad, la temperatura, la disponibilidad de luz y el oxígeno, para un desarrollo óptimo de la germinación para grupos de especies y para una especie en particular; en segundo lugar con lo afirmado por Pérez y Pita (1999), quienes argumentan que en la familia de leguminosas las semillas presentan dormancia por impermeabilidad debido a la dureza de las cubiertas seminales y no se descarta la existencia de embriones inmaduros en alguna semillas, y de acuerdo con Charuc (2016) el método de escarificación física es eficiente pero también presenta limitaciones; en tercer lugar, por lo expresado por Takachi (2010), quien afirma que el método de cosecha es determinante en los resultados de las pruebas de germinación debido a la desuniformidad en la madurez fisiológica de las semillas que puede llegar a existir en determinadas especies.

Resultados similares (98.6, 99.6 y 98.5 %) sobre *Leucaena leucocephala* han sido reportados con semillas escarificadas con un método térmico – agua a 80 °C y sumergidas durante dos minutos – previamente conservadas bajo condiciones controladas favorables durante 12, 24 y 48 meses, respectivamente; también porcentajes de: 96.2, 97.7 y 97.7 con semillas conservadas bajo condiciones ambientales durante 6, 12 y 18 meses, respectivamente (González y Mendoza, 2008); 86 % de germinación con semillas tratadas con combinación de dos métodos de escarificación (remojo en agua por 24 horas y escarificación con lija durante 20 minutos) (Ramírez *et al.*, 2012) y 83,3 y 89,3 % con semillas previamente tratadas con ácido sulfúrico de 50 y 75 % de concentración e inmersión durante 10 minutos, respectivamente (Insuasty *et al.*, 2012). Resultados diferentes (67,3 %) en *Leucaena leucocephala* han sido reportados con semillas recién cosechadas y sin escarificar (González y Mendoza, 2008); 4.9 % también con semillas no escarificadas (Ramírez *et al.*, 2012) y menor al 5 % se han obtenido con los tratamientos: testigo, ácido sulfúrico al 100 % más 10 minutos de inmersión y ácido sulfúrico al 50 % y cinco minutos de inmersión; resultados que están sustentados con semillas sin escarificar (testigo) y el tiempo inadecuado de inmersión en ácido sulfúrico (Insuasty *et al.*, 2012). Existen métodos térmicos, físicos y químicos que son eficientes para romper la dormancia por impermeabilidad de las cubiertas seminales en las semillas de *Leucaena leucocephala* y se resalta que semillas sin

escarificar y con tiempo inadecuado de inmersión en ácido sulfúrico son factores determinantes para bajos porcentajes de germinación.

- ***Centrosema macrocarpum* y *Centrosema molle*.** *Centrosema molle* fue la única especie que durante la época de verano produjo semillas en la localidad El Porvenir; en época de lluvias ambos tratamientos produjeron semillas en ambas localidades. Los porcentajes de germinación fueron igual y superiores al 95 %, en concordancia no existieron diferencias estadísticas significativas ( $P > 0,05$ ) entre semillas recolectadas en época de verano y las semillas recolectadas en época de lluvias de la especie *Centrosema molle*, ni en comparaciones de cada tratamiento entre localidades (Tabla 3.14), e igual en el análisis de varianza entre repeticiones en campo para cada tratamiento.

Tabla 3.14 *Centrosema macrocarpum* y *Centrosema molle* (prueba de germinación)

Localidad	Tratamiento	Germinación (%)	
		Época verano	Época invierno
El Porvenir	<i>C. macrocarpum</i>		98 a
	<i>C. molle</i>	97 a	96 a
La Torre	<i>C. macrocarpum</i>		97 a
	<i>C. molle</i>		95 a

Letras iguales entre datos, fila y columna, representan la no existencia de diferencias estadísticas ( $p > 0,05$ ).

Similares resultados de germinación (94 al 98 %) han sido reportados en *Centrosema macrocarpum*, previa escarificación de las semillas con ácido sulfúrico (Carvajal y Lara, 2003). Diferentes resultados (2 %) han sido reportados con semillas que tenían 14 años de ser cosechadas y estaban almacenadas bajo condiciones desfavorables, lo cual, puede ser un factor que afectó la viabilidad de las semillas; utilizaron dos métodos de escarificación: térmica y química (Muñoz *et al.*, 2009).

Similares resultados de germinación (100 %) han sido reportados en *Centrosema molle*, previa escarificación física – corte sobre la cubierta de la semilla – (González *et al.*, 2011); otros investigadores han reportados en germinación el 79 %, semillas previamente

escarificada químicamente – ácido sulfúrico concentrado al 96 % por 5 minutos – (Reino *et al.*, 2011).

- ***Canavalia brasiliensis***. Los porcentajes de germinación fueron igual y superiores al 94 %, en concordancia no existieron diferencias estadísticas ( $P > 0,05$ ) en semillas recolectadas en época de verano y las semillas recolectadas en época de lluvias en ambas localidades, ni en la comparación entre localidades (Tabla 3.15), y tampoco en el análisis de varianza (ANOVA) para repeticiones en campo.

Tabla 3.15 *Canavalia brasiliensis* (prueba de germinación)

Localidad	Tratamiento	Germinación (%)	
		Época verano.	Época lluvias.
El Porvenir	<i>C. brasiliensis</i>	98 a	95 a
La Torre	<i>C. brasiliensis</i>	99 a	94 a

En filas y en columnas, letras iguales entre datos representan no existencia de diferencias estadísticas ( $p > 0,05$ ).

Resultados similares han sido reportados bajo la expresión: “es una especie que presenta semillas con un alto potencial de germinación” (Peters *et al.*, 2010; Franco y Peters, 2007).

De acuerdo con lo expresado por el ICA (2015) y con los resultados obtenidos de los tratamientos que se encuentran dentro de la resolución 3168 del 07 de septiembre de 2015, los resultados dejan en evidencia que se supera el requisito de mínimo porcentaje de germinación, a excepción de la primera cosecha de *Desmodium heterocarpon*. La FAO (2016) y la resolución nombrada anteriormente, establecen que para la comercialización de las semillas también se debe cumplir con requisitos fitosanitarios, entre otros, que son de trabajo de acondicionamiento de las semillas, como lo son la humedad y pureza varietal.

La prueba de germinación es uno de los métodos de verificación de la calidad fisiológica de las semillas obtenidas de una plantación y también aplicable bajo otros contextos (FAO, 2016), más no es la única, y si uno de los fines de las semillas es la incorporación a programas de establecimiento y renovación de pasturas, donde se resalta que la calidad de

las semillas está ligado estrechamente al éxito y fracaso de la actividad, también se deben realizar pruebas de vigor y emergencia de las semillas (Quero *et al.*, 2016; Andrade y Ferguson, 1991).

Los resultados en general concuerdan con Hernández (2015) quien afirma que cuando una planta se reproduce manifiesta la habilidad de supervivencia en un ambiente determinado, y con Vallejo y Estrada (2002) y Vásquez *et al.* (1997) quienes argumentan que dentro de los diferentes procesos biológicos que anteceden la formación de las semillas existieron las condiciones necesarias para la manifestación reproductiva de los tratamientos; y con lo expresado por García (2010) a través de la proposición de que las evaluaciones fenológicas permiten identificar la adaptabilidad de especies y cultivares – materiales genéticos – a una región en particular.

Con base en los resultados de los tratamientos en general y en relación con lo expresado por Sánchez y Cardozo (2001); Ferguson y Burbano (1979) y Hopkinson y Ried (1979) frente a las actividades de investigación a desarrollar para la producción de semillas de leguminosas forrajeras tropicales, es posible afirmar que la región geográfica del Valle del Patía – dentro de los dos ambientes evaluados – si tiene las condiciones necesarias para que los tratamientos seleccionados produzcan semillas.

## Conclusiones

La región geográfica del Valle del Patía, en las dos localidades: finca El Porvenir y hacienda La Torre, presenta condiciones ambientales que permiten la expresión de la etapa reproductiva de los materiales biológicos: *Canavalia brasiliensis* (CIAT17009), *Centrosema macrocarpum* (CIAT5713), *Centrosema molle* (CIAT15160), *Desmodium heterocarpum* (CIAT13651), *Desmodium velutinum* (CIAT23981) y *Leucaena leucocephala* (CIAT17263), y las semillas obtenidas presentan capacidad de germinación.

Las semillas que se producen en la región geográfica del Valle del Patía, de los tratamientos: *Centrosema macrocarpum*, *Centrosema molle*, *Desmodium heterocarpon* y *Leucaena leucocephala* – especies referenciadas en la resolución 3168 del 07 de septiembre de 2015 – presentan porcentajes, con semillas escarificadas, que superan los requisitos mínimos de calidad fisiológica (70 % de germinación y en el caso específico de *Desmodium heterocarpon* el valor de germinación mínimo es del 60 %) y física (95 % de semilla pura) exigidos por el Instituto Colombiano Agropecuario – ICA – para la autorización de su comercialización en el territorio nacional; a excepción de las semillas del tratamiento *Desmodium heterocarpon* durante la primera cosecha debido al bajo porcentaje de germinación (20 %).

La evaluación del potencial de producción de semillas bajo términos de cantidad y calidad, son conocimientos prioritarios a establecer dentro del trabajo investigativo de identificación de una región geográfica para la producción de semillas de leguminosas forrajeras tropicales, debido a que las condiciones ambientales que ofrece una localidad si son las apropiadas permiten que el material biológico de interés pueda expresar la etapa reproductiva, y altos rendimientos de producción (gr/planta) y potencial de germinación se consiguen únicamente en condiciones específicas que favorecen a cada especie y accesión.

Entre *Desmodium heterocarpum*, *Desmodium velutinum* y *Leucaena leucocephala*, ésta última especie presenta el mejor comportamiento de producción de semillas, destacándose por altos niveles de germinación (igual y mayor a 94 %) en ambas cosechas de cada localidad y la producción (156,5 y 871,5 kg/ha, durante la primera y segunda cosecha,

respectivamente) en la localidad El Porvenir; lo que también permite expresar que esta localidad para el tratamiento nombrado, es el ambiente que presenta mayor potencial de producción de semillas.

La respuesta de interacción genotipo-ambiente de *Desmodium velutinum* con base en el total de los resultados y las respectivas comparaciones de las cosechas entre localidades (Porvenir: 191 y 244,3 kg/ha; La Torre: 188,5 y 242,2 kg/ha, primera y segunda cosecha, respectivamente) (Porvenir: 59 y 57 %, La Torre: 64 y 63 % de germinación de las semillas recolectadas en época de verano y época de invierno, respectivamente) presentan similitud, lo que permite concluir que el potencial de producción de semillas de *Desmodium velutinum* en ambas localidades presenta similar comportamiento.

*Desmodium heterocarpon* durante el desarrollo del segundo periodo de floración y consecuente proceso de formación de frutos, encontró condiciones ambientales que permitieron un mayor porcentaje de germinación de las semillas (62 %) con respecto al primer periodo de floración (20 %).

En ambas localidades las semillas de *Canavalia brasiliensis*, *Centrosema macrocarpum* y *Centrosema molle* presentan porcentajes de germinación igual y mayor al 95 %, pero la producción kg/ha (144,3; 31,5 y 32,3, respectivamente) fue mayor en El Porvenir, superando en más de la mitad la producción de la localidad La Torre (63,3; 13 y 10,1, respectivamente), lo que permite concluir que los tres materiales biológicos bajo las condiciones ambientales de la localidad El Porvenir presentan un mayor potencial de producción de semillas.

## Recomendaciones

Para investigaciones futuras en El Valle del Patía se recomienda mantener el esquema de evaluaciones multilocacionales, trabajar con un número mayor de especies y accesiones y extender los periodos de evaluación con el objetivo de incrementar el conocimiento sobre la respuesta reproductiva de leguminosas forrajeras tropicales en la región; e incorporar la variable intensidad de respuesta, no abordada en la presente investigación, para obtener una caracterización completa del patrón fenológico de floración de acuerdo a la metodología planteada por Wencomo y Ortiz (2010), y en lo posible poder establecer correlaciones con observaciones de variables relacionadas con la fructificación y la producción gr/planta.

Se propone que se realicen nuevas investigaciones donde se incorporen programas de fertilización química, orgánica, la combinación de química y orgánica y se maneje un grupo control sin fertilización, para la identificación de la respuesta de producción de las semillas bajo términos de cantidad y calidad ante la modificación del componente edáfico, e incorporar la variable peso de 100 semillas.

Con base en los resultados de las pruebas de germinación de los tratamientos del género *Desmodium*, se propone que se realice pruebas de germinación en diferentes condiciones ambientales, previa escarificación de las semillas con igual y diferentes métodos, y utilización de diferentes técnicas de recolección de semillas he incluida la recolección de semillas únicamente del suelo, para establecer la eficacia de nuevas metodologías en el incremento de los porcentajes de germinación.

Finalmente se recomienda evaluar las condiciones fitosanitarias de las semillas obtenidas en El Valle del Patía y en cualquier otra región geográfica que se esté investigando la producción de semillas, por ser uno de los requisitos obligatorios para la autorización de su comercialización en el territorio nacional; e incorporar variables no abordadas en la presente investigación y que son importantes dentro de calidad fisiológica de las semillas como las pruebas de emergencia y vigor.

## Referencias

- Amasino, R. & Michaels, S. D. (2010). The Timing of Flowering. *Plant Physiology*, 154, 516 – 520. DOI: 10.1104/pp.110.161653
- Andrade, R. y Ferguson, J. E. (1991). Calidad de las Semillas en el Establecimiento de las Pasturas. En C. Lazcano y J. Spain. *Establecimiento y Renovación de Pasturas: Conceptos, Experiencias y Enfoques de la Investigación* (pp. 19 – 51). Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT.
- Arango, J., Gutiérrez, J. F., Mazabel, J., Pardo, P., Enciso, K., Burkart, S., Sotelo, M., Hincapié, B., Molina, I., Herrera, Y. y Serrano, G (2016). *Estrategias Tecnológicas para Mejorar la Productividad y Competitividad de la Actividad Ganadera: Estrategias para Enfrentar el Cambio Climático*. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, p. 68.
- Arenas, W., Cardozo, C. y Baena, M. (2015). Análisis de los Sistemas de Semillas en Países de América Latina. *Acta Agron*, 64 (3), 239 – 245.
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (Ed.). (2008). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Madrid, España. McGraw-Hill Interamericana, p. 669.
- Barrera, L. (3 de octubre de 2012). La Sequía en el Patía Causa Pérdidas Millonarias en el Campo. *Proclama del Cauca*. Recuperado de <https://www.proclamadelcauca.com/2012/10/la-sequia-en-el-patia-causa-perdidas.html>
- Blázquez, M. A., Piñeiro, M. y Valverde, F. (2011). Bases Moleculares de la Floración. *Investigación y Ciencia*, 28 – 36.
- Bratzel, F. & Turck, F. (2015). Molecular memories in the regulation of seasonal flowering: from competence to cessation. *Genome Biology*. DOI 10.1186/s13059-015-0770-6
- Carvajal, J. J. y Huchín, J. A. (1997). Establecimiento, Producción y Calidad de Semillas de Centrosema, Clitoria y Pueraria. En A. Sanchez. Y L. E. Amador (Ed.), *Memorias Congreso Regional de Ciencia y Tecnología de la Península de Yucatán* (pp. 282 – 284). Campeche, México: Universidad Autónoma de Campeche.
- Carvajal, J. J. y Lara del Río, M. (2003). Producción de Semilla de *Centrosema macrocarpum* en Campeche, México. *Pasturas Tropicales*, 28 (1), 47 – 51.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). (2015). *Estrategia CIAT 2014 – 2020: Ganadería Eco-eficiente*. Recuperado de <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/56902/LIVESTOCKPLUS-FINAL-ESPAN%20OL-baja.pdf?sequence=5>
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). (1989). *Agronomía Llanos – Programa Pastos Tropicales*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, p. 11.

- CGIAR (Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional). (2016). *GanaderíaPlus: Apoyando el desarrollo de estrategias bajas en emisiones del sector ganadero en Latinoamérica*. Recuperado de <https://cgspace.cgiar.org/rest/bitstreams/73535/retrieve>
- Charuc, J. F. (2016). *Evaluación de Métodos de Escarificación en Semillas de Pacaína (Chamaedorea sp)*. (Tesis de pregrado). Universidad Rafael Landívar. Quetzaltenango, Guatemala.
- Chaves M. A. (2017). *Floración en la Caña de Azúcar*. San José, Costa Rica: Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar – Laica –, p. 69.
- CONtexto ganadero. (2016). Alertan por Posible Escasez de Semillas Forrajeras a Partir de 2017. Recuperado de <http://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/alertan-por-posible-escasez-de-semillas-forrajeras-partir-de-2017>
- Cruz, F. (2011). Tendencias para la Producción Bovina Mundial. *Rev. cienc. anim.* (4), 97 – 103.
- De la Cuadra, C. (1993). *Germinación, Latencia y Dormición de la Semilla – Dormición en Avenas Locas*. Madrid, España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, p. 24.
- Doria, J. (2010). Revisión Bibliográfica Generalidades sobre las Semillas: su Producción, Conservación y Almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31 (1) 74 – 85.
- Douglas, J. E. (1982). *Programas de Semillas, Guía de Planeación y Manejo*. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, p. 357.
- Douxchamps, S., Mena, M., Hoek, R. Benavidez, A. y Schmidt, A. (2011). *Canavalia brasiliensis* Mart. ex Benth CIAT 17009: Forraje que Restituye la Salud del Suelo y Mejora la Nutrición del Ganado. Managua, Nicaragua. Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, p. 30.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2006). *Sistema de Semillas de Calidad Declarada*. Recuperado de [https://books.google.com.co/books?id=sQoc\\_qo5lYEC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=sQoc_qo5lYEC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2011). *Semillas en Emergencia – Manual Técnico*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i1816s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2016). *Evaluación de la seguridad de semillas, una guía para profesionales*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i5548s.pdf>
- Faría, J., García, L, y Gonzales, B. (1996). Métodos de Escarificación de Semillas de Cuatro Leguminosas Forrajeras Tropicales. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, (13) 573 – 579.

- Febles, G., Ruiz, T. E. y Baños, R. (2009). Efecto del Clima en la Producción de Semillas de Pastos Tropicales de Gramíneas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícolas*, 43 (2), 105 – 112.
- FEDEGAN (Federación Nacional de Ganaderos) – Fondo Nacional de Ganado (FNG). (2013). *Análisis del Inventario Ganadero Colombiano, Comportamiento y Variables Explicativas*. Recuperado de <http://www.fedegan.org.co/publicacion-presentaciones/analisis-del-inventario-ganadero-colombiano-comportamiento-y-variables>.
- FEDEGAN (Federación Nacional de Ganaderos) – Fondo Nacional del Ganado (FNG). (2014). *Informe de Gestión, Vigencia 2014*. Recuperado de [http://static.fedegan.org.co/Ley\\_1712/01\\_Informes\\_de\\_Gestion\\_y\\_Plan\\_Estrategico/Informe\\_de\\_Gestion\\_Consolidado\\_2014.pdf](http://static.fedegan.org.co/Ley_1712/01_Informes_de_Gestion_y_Plan_Estrategico/Informe_de_Gestion_Consolidado_2014.pdf)
- Ferguson, J. E. (1990). (Ed.). *Desarrollo del Suministro de Semillas de Especies Forrajeras Tropicales en Costa Rica y Otros Países*. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de Costa Rica, p. 258.
- Ferguson, J. E. (Ed.). (1994). *Semillas de Especies Forrajeras Tropicales: Conceptos, Casos y Enfoque de la Investigación y la Producción*. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, p. 370.
- Ferguson, J. E. y Burbano, E. A (1979). Regiones Geográficas en la Producción de Semillas Forrajeras Tropicales. En A. Ramírez. (Ed.), *Programa de Pastos Tropicales – Referencias y Ayudas Utilizadas en el Programa de Capacitación Científica en Investigación para la Producción y Utilización de Pastos Tropicales* (pp. 348 – 358). Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT.
- Ferguson, J. E., Hopkinson, J. M., Humphreys, L. R. y Andrade, R. P. (1997). Producción de Semillas de especies de *Centrosema*. En R. Schultze-Kraft., R. J. Clements. y G. Keller-Grein. (Ed.), *Centrosema: Biología, Agronomía y Utilización* (pp. 255 – 281). Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT.
- Franco, L. H. y Peters, M. (2007). *Canavalia brasiliensis*, Una Leguminosa Multipropósito. Colombia. CIAT. Recuperado de: [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos\\_Ciat/Digital/67794C.3\\_Canavalia\\_brasiliensis,\\_una\\_leguminosa\\_multiprop%C3%B3sito.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/67794C.3_Canavalia_brasiliensis,_una_leguminosa_multiprop%C3%B3sito.pdf)
- García, J. (2010). *Fenología del Cultivo del Mango (Mangifera indica L.) en el Alto y Bajo Magdalena: Bases Conceptuales para su Manipulación*. Espinal, Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA, p. 75.
- Gerber, P. J., Henderson. B. y Makkar, H. P. (Ed.). (2013). *Mitigación de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la Producción Ganadera – Una Revisión de las Opciones Técnicas para la Reducción de las Emisiones de Gases Diferentes al CO2*. Roma, Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), p. 231.
- Gómez, I., Olivera, Y., Fernández, J. L. y Botello, A. (2009). Establecimiento y Producción de Semillas de Centrosema Híbrido CIAT – 438 (*Centrosema pubescens*), solas y asociadas

- con cultivos temporales en suelo vertisol. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 43 (3), 291 – 295.
- González, Y. y Mendoza, F. (2008). Efecto del Agua Caliente en la Germinación de las Semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Perú. *Pastos y Forrajes*, 31 (1), 47 – 52.
- González, Y., Reino, J. y Toral, O. (2011). Calidad de las Semillas de Accesiones Colectadas en las Regiones Occidental, Oriental y Central de Cuba (Nota técnica). *Pastos y Forrajes*, 34 (3), 259 – 266.
- Gutiérrez, J. F. (2018). *Evaluación de germoplasma forrajero con uso potencial en el enclave subxerófitico del Patía, Cauca, Colombia*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Hernández, C. (2015). *Definición y Alcance de las Plantas Cultivadas*. Madrid, España. Universidad Politécnica de Madrid.
- Hernanz, A., Sablechero, N., Entón, E., Jiménez, C. y Durán, J. (s.f). Las Normas ISTA: Análisis de Pureza. Recuperado de [http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf\\_Agri%2FAgri\\_2005\\_879\\_814\\_817.pdf](http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Agri%2FAgri_2005_879_814_817.pdf)
- Herrera, J., Alizaga, R., Guevara, E. y Jiménez, V. (2006). *Germinación y Crecimiento de la Planta*. Recuperado de [https://books.google.com.co/books?id=ohoEQYJFq0QC&pg=PA18&dq=germinacion+semillas&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=germinacion%20semillas&f=false](https://books.google.com.co/books?id=ohoEQYJFq0QC&pg=PA18&dq=germinacion+semillas&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=germinacion%20semillas&f=false)
- Hopkinson, J. M. & Reid, R. (1979). La importancia del clima en la producción de semillas de leguminosas forrajeras tropicales. En L. E. Tergas y P. A. Sánchez. (Ed.), *Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos* (pp. 365 – 383). Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT.
- Insuasty, E., Ballesteros, W., Chávez, G., Quintero, A. I. (2012). Efecto de Tratamientos Pregerminativos con Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) en Semillas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. *Revista Investigación Pecuaria*, 1 (1), 35 – 46.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). (2015). Resolución 3168 del 07 de Septiembre de 2015. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/getattachment/4e8c3698-8fcb-4e42-80e7-a6c7acde9bf8/2015R3168.aspx>
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). (2016). Censo Pecuario Nacional – 2016: Censo Bovino en Colombia. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/getdoc/8232c0e5-be97-42bd-b07b-9cdbfb07fcac/Censos-2008.aspx>
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). (2017). La Asociación Internacional de Ensayos de Semillas ISTA, Confirma Experticia y Capacidad del Laboratorio Nacional de Semillas del ICA. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/Noticias/Todas/La-Asociacion-Internacional-de-Ensayos-de-Semillas.aspx>

- INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria). (2014). *Canavalia brasiliensis*. Recuperado de <http://www.inta.gob.ni/biblioteca/images/pdf/plegables/Brochure%20Canavalia%20Brasilien%202014.pdf>
- Izquierdo, J. y Granados, S. (Ed.). (2011). *Manual Técnico: Producción Artesanal de Semillas de Hortalizas para la Huerta Familiar*. Santiago de Chile, Chile. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO, p. 98.
- Jara, L. (1996). *Biología de Semillas Forestales*. Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza – CATIE, p. 31.
- Kerridge, P. (1997). Bienvenida del Programa de Forrajes Tropicales. En R. Schultze-Kraft. y A. Schmidt. (Ed.), *Desmodium ovalifolium - la conocemos? Memorias del 1er Taller de Trabajo del Proyecto: La interacción Genotipo con el Medio Ambiente en una Colección Seleccionada de la Leguminosa Forrajera Tropical Desmodium ovalifolium* (pp. 7). Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT.
- Kuehl, R. O. (2000). *Diseño de experimentos – principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones*. México D. F: Thomson Learning, p. 666.
- Mahecha, L., Gallego, L. y Peláez, F. (2002). Situación Actual de la Ganadería de Carne en Colombia y Alternativas para Impulsar su Competitividad y Sostenibilidad. *Rev Col Cienc Pec*, 15 (2), 213 – 225.
- Matilla, A. J. (2008). *Desarrollo y Germinación de las Semillas*. Galicia, España. Universidad de Santiago de Compostela, p. 22.
- Mirela, M. (2013). Contribución de los Sistemas Silvopastoriles en la Producción y el Medio Ambiente. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17 (3), 7 – 24.
- Muñoz, B. C., Sánchez J. A., Montejo, L. A., González, Y. y Reino, J. (2009). Valoración Germinativa de 20 Accesiones de Leguminosas Almacenadas en Condiciones Desfavorables. *Pastos y Forrajes*, 32 (3), 1 – 15.
- Mzamane, N. Y., Agashi, E. C. (1986). *Desmodium velutinum* (Wild) D.C. A promising leguminous browse shrub of Nigeria's savannas. In: A. Sotomayor. & W. D. Pitman (Ed.), *Tropical Forage Plants – Development and Use* (pp. 12 – 24). Washington, D.C. Estados Unidos de América: CRC Press.
- Navarro, M. (2003). *Desempeño Fisiológico de las Semillas de Árboles Leguminosos de Uso Múltiple en el Trópico*. Matanzas, Cuba. Estación Experimental De Pastos Y Forrajes Indio Hatuey, p. 15.
- Noble, A. E., Machta, J. & Hastings, A. (2015). Emergent long-range synchronization of oscillating ecological populations without external forcing described by Ising universality. *Nature Communications*, DOI: 10.1038/ncomms7664

- Pastures Australia. (s.f). *Leucaena*. Recuperado de <http://keys.lucidcentral.org/keys/v3/pastures/Html/Leucaena.htm>
- Pérez, F. y Pita, J. M. (1999). Dormición de Semillas. Madrid, España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación – Secretaría General Técnica, p. 19.
- Pérez, R., Rincón, A., Cipaguata, M., Schmidt, A., Plazas, C., Lazcano, C. (2002). *Maquenque (Desmodium heterocarpon (L.) DC. Subsp. ovalifolium (Prain.) Ohashi CIAT 13651)*. Villa Vicencio, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical, p. 27.
- Peters, M., Vivas, N., Rendón, E., Morales, S., Hincapié, B. y Ordóñez, K. (2013). *Alternativa Forrajeras para el Trópico Bajo: Departamento del Cauca*. Popayán, Colombia. Grupo de Investigación de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad del Cauca – NUTRIFACA, p. 17.
- Peters, M., Franco, L. H., Schmidt, A. y Hincapié, B. (2010). *Especies Forrajeras Multipropósito Opciones para Productores del Trópico Americano*. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, p. 222.
- Pizarro, E. A. y Carvalho, M. A. (1996). Introducción y Evaluación de Leguminosas Forrajeras en el Cerrado Brasileño: *Centrosema* spp. y *Desmodium* spp. *Pasturas tropicales*, 18 (2), 14 – 18.
- Plazas, C y Lazcano, C. (2006). Alternativas de Uso de Leguminosas para los Llanos Orientales de Colombia. *Pasturas Tropicales*, 28 (1), 3 – 8.
- Popinigis, F. (1985). *Fisiología da Semente*. Recuperado de <http://www.popinigis.net/docs/Fisiologia%20Sementes%20Popinigis.pdf>
- Quero, A. R., Hernández, F. J., Velázquez, M., Gámez, H. G., Landa, P. y Aguilar, P. (2016). Métodos de establecimiento de pasturas en zonas áridas de México utilizando semillas crudas o cariósides. *Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales*, 4, 29 – 36.
- Quijada, M., Garay V. y Valera L. (2017). Normas Principales para las Pruebas Rutinarias de Semillas Forestales (Basadas en Normas Internacionales ISTA). Recuperado de <http://www.ula.ve/ciencias-forestales-ambientales/indefor/wp-content/uploads/sites/9/2017/01/Tema-2-PVEP.pdf>
- Ramírez, M., Suárez, H., Regino, M, Caraballo, B. y García, D. E. (2012). Respuesta a Tratamientos Pregerminativos y Caracterización Morfológica de Plántulas de *Leucaena leucocephala*, *Pithecellobium dulce* y *Ziziphus mauritiana*. *Pastos y Forrajes*, 35 (1), 29 – 41.
- Reino, J., Sánchez, J. A., Muñoz, B., González, Y. y Montejo, L. (2011). Efecto Combinado de la Escarificación y la Temperatura en la Germinación de Semillas de Leguminosas Herbáceas. *Pastos y Forrajes*, 34 (2), 179 – 184.

- Revista Semana. (2016). *El Niño deja 50.000 vacas muertas en menos de cinco meses*. Recuperado de <https://www.semana.com/nacion/galeria/fenomeno-de-el-nino-deja-50000-vacas-muertas-en-menos-de-cinco-meses/460252>
- Reyes, C. y Ara, M. (1997). Producción de Semilla Básica de Especies Forrajeras en Pucallpa. *Rev inv pec IVITA (Perú)*, 8 (1), 19 – 28.
- Rodríguez, S. (2017). *Guía para Semilleros y Semilleras*. Heredia, Costa Rica: Red de Coordinación en Biodiversidad, p. 89.
- Rodríguez, I., Flores, A. y Schultze-Kraft, R. (2003). Potencial Agronómico de *Centrosema pubescens* en Condiciones de Sabana Bien Drenada del Estado Anzoátegui, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 21 (2), 197 – 217.
- Rodríguez, I., Schultze-Kraft, R. y Guevara, E. (2006). Potencial de producción de semilla de la leguminosa forrajera *Centrosema pascuorum* Mart. ex Benth en la Mesa de Guanipa, estado Anzoátegui, Venezuela. *Zootecnia Trop*, 24 (3): 251-266
- Ruíz, C. (1995). *Producción de Semillas de Leguminosas en Condiciones de Secano*. (Tesis de Maestría). Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Matanzas, Cuba.
- Sales, R., Maciel, Z. G. y Pereira, E. (2009). Fenología Reproductiva e Biología da Polinização de *Canavalia brasiliensis* Mart. ex Benth (Fabaceae). *Biotemas*, 22 (1), 27 – 37.
- Sánchez, A. (2016). Floración en plantas tropicales y subtropicales: ¿qué tan conservados están los mecanismos que inducen y controlan la floración? *Agroproductividad*, 9 (9), 50 – 55.
- Sánchez, J. A., Muñoz, B. C., Montejó, L. A., Fresneda, J. A. y Reino, J. (2004). Estudio Ecofisiológico de Semillas de Interés Forestal. *Biotecnología Aplicada*, 21 (3), 172 – 174.
- Sánchez, M. y Cardozo, C. (2001). *Semillas de Especies Forrajeras Tropicales: Producción y Suministro*. Palmira, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, p. 103.
- Santos, L. G. (2012). *Pertinencia de la Investigación de Semillas en la Gestión del Banco de Germoplasma*. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, p. 21.
- Schultze-Kraft, R. (s.f). Notas sobre Floración y Fructificación en *Centrosema macrocarpum*. *Pasturas Tropicales*, 9 (2), 34 – 35.
- Schultze-Kraft, R., Clements, R. J. y Keller-Grein, G. (Ed.). (1997). *Centrosema: Biología, Agronomía y Utilización*. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, p. 765.
- Schultze-Kraft, R., Peters, M., Vivas, N., Parra, F. y Franco, L. H. (2005). *Desmodium velutinum* — a High-quality Shrub Legume for Acid Soils in the Tropics. Recuperado de [https://www.tropicalgrasslands.asn.au/Tropical%20Grasslands%20Journal%20archive/PDFs/Vol\\_39\\_2005/Vol\\_39\\_04\\_2005\\_pp231\\_231.pdf](https://www.tropicalgrasslands.asn.au/Tropical%20Grasslands%20Journal%20archive/PDFs/Vol_39_2005/Vol_39_04_2005_pp231_231.pdf)

- Smith, M. T., Wang, B. S. y Msanga, H. P. (2010). Dormancia y Germinación. En J. A. Vozzo. (Ed.), *Manual de Semillas de Árboles Tropicales* (pp. 157 – 182). Departamento de Agricultura de los Estados Unidos - Servicio Forestal.
- Solorio, F. J. y Solorio, B. (2008). *Manual de Manejo Agronómico de Leucaena leucocephala*. Michoacán, México. Fundación Produce Michoacán, p. 48.
- Takachi, A. (2010). Producción, Tratamiento y Beneficio de Forrajeras en Brasil. Recuperado de [http://www.matsuda.com.br/matsuda/upload/artigostecnicos/produccion\\_beneficio\\_e\\_tratamiento\\_de\\_semillas\\_forrajeras\\_en\\_brazil.pdf](http://www.matsuda.com.br/matsuda/upload/artigostecnicos/produccion_beneficio_e_tratamiento_de_semillas_forrajeras_en_brazil.pdf)
- Toral, O. y Hernández, F. (1997). Caracterización de dos especies del genero *Leucaena*. *Pastos y forrajes*, 20, (3). 111 – 116.
- Vallejo, F. y Estrada, E. (2002). *Mejoramiento Genético de Plantas*. Palmira, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, p. 402.
- Vallejos, A. y Cardona, R. (1996). Adaptación y producción de leguminosas forrajeras arbustivas en la región tropical humedad de Bolivia. *Pasturas Tropicales*, 17 (3) 2 – 11.
- Vázquez, C., Orozco, A., Rojas, M., Sánchez, M. y Cervantes, V. (1997). *Reproducción de las Plantas: Semillas y Meristemas*. México. Fondo de la Cultura Económica.
- Vivas, N. J. (2005). Evaluación Agronómica de 137 Accesiones de *Desmodium velutinum*, en Suelos Ácidos. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Vivas, N. J. (2014). *Caupí (Vigna unguiculata) y Canavalia (Canavalia brasiliensis) como Materias Primas no Convencionales en Alimentación de Pollos de Engorde*. (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Vivas, N. J, Morales, S., Albán, N., Prado, F. y González, C. (s.f). *Estudio Cualitativo de los Sistemas Ganaderos del Valle del Patía y Meseta de Popayán en el Departamento del Cauca –Colombia*. Popayán, Colombia. Universidad del Cauca, p. 16.
- Wang, E. T., Kan, F. L., Chen, W. X., Tan, Z. Y., Toledo, I. y Martínez. (2003). Diverse Mesorhizobium Plurifarium Populations Native to Mexican Soils. *Arch Microbiol*, 180 (6), 444 – 454. doi: 10.1007/s00203-003-0610-z
- Wencomo, H., Cepero, B y Ramírez, J. (2009). Producción de semillas de *Leucaena spp.* en Suelo Ácido. *Pastos y Forrajes*, 32 (3), 1 – 11.
- Wencomo, H. y Ortiz, R. (2010). Comportamiento fenológico de 23 accesiones de *Leucaena spp.* *Pastos y Forrajes*, 33 (4), 1 – 8.
- Zárate, S. (1994). Revisión del Género *Leucaena* en México. *Ser Bot*, 65 (2), 83 – 162.