

Universidad Nacional Experimental
de los Llanos Occidentales
“Ezequiel Zamora”



La Universidad que Siembra

VICERRECTORADO
DE INFRAESTRUCTURA Y PROCESOS INDUSTRIALES
ESTADO COJEDES

PROGRAMA
ESTUDIOS AVANZADOS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

**EL GÉNERO *Corymbia* COMO ALTERNATIVA PARA LA
PRODUCCIÓN DE PULPA PARA PAPEL Y OTROS USOS
MADERABLES**

Autor: Joao Leite de Souza
Tutora: Carmen A. Morante A.

SAN CARLOS, OCTUBRE DE 2019

Universidad Nacional Experimental
de los Llanos Occidentales
“Ezequiel Zamora”



La Universidad que Siembra

Vicerrectorado de Infraestructura
y Procesos Industriales
Programa
Estudios Avanzados
Maestría en Ingeniería Ambiental

**EL GÉNERO *Corymbia* COMO ALTERNATIVA PARA LA
PRODUCCIÓN DE PULPA PARA PAPEL Y OTROS USOS
MADERABLES**

Requisito parcial para optar al grado de
Magister Scientiarum en Ingeniería Ambiental

AUTOR: Joao Leite de Souza
C.I. N° E-82.147.968
TUTORA: Carmen Morante Ascanio

SAN CARLOS, OCTUBRE DE 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES “EZEQUIEL ZAMORA”
VICERRECTORADO DE INFRAESTRUCTURA Y PROCESOS
INDUSTRIALES
PROGRAMA ESTUDIOS AVANZADOS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Carmen Angélica Morante Ascanio, titular de la Cédula de Identidad N° V-8.670.988, en mi carácter de tutora del Trabajo de Grado titulado **EL GÉNERO *Corymbia* COMO ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCIÓN DE PULPA PARA PAPEL Y OTROS USOS MADERABLES**, presentado por el Ing. JOAO LEITE DE SOUZA, titular de la Cédula de Identidad N° E- 82.147.968, como requisito para optar al título de *Magister Scientiarum* en Ingeniería Ambiental por la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora (UNELLEZ), por medio del presente certifico que he leído el Trabajo y considero que reúne las condiciones necesarias para ser defendido y evaluado por el jurado examinador que se designe.

En la ciudad de San Carlos, estado Cojedes, a los treinta días del mes de septiembre de dos mil diecinueve.



Dra. Carmen Angélica Morante Ascanio
CI N° V- 8.670.988



**ACTA DE PRESENTACIÓN / DEFENSA TRABAJO ESPECIAL DE GRADO,
TRABAJO DE GRADO, TESIS DOCTORAL**

Nosotros, miembros del jurado de:

Trabajo Especial de Grado	X	Trabajo de Grado	Tesis Doctoral
---------------------------	---	------------------	----------------

Titulado(a):

**EL GÉNERO *Corymbia* COMO ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCIÓN DE PULPA
PARA PAPEL Y OTROS USOS MADERABLES**

Elaborado por el (la) participante:

Nombres, Apellidos y Cédula de Identidad

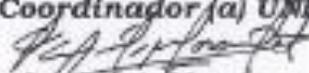
JOAO LEITE DE SOUZA E- 82-147-968

Como requisito parcial para optar al grado académico de: *Magister Scientiarum*, el cual es ofrecido en el programa de: **Maestría en Ingeniería Ambiental**, del Programa de Estudios Avanzados del Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales de la UNELLEZ – VIPI, hacemos constar que hoy, 23/10/2019, a las 10:00 AM, se realizó la presentación y defensa del mismo, acordando:

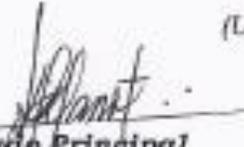
- APROBAR LA PRESENTACIÓN Y DEFENSA DEL TRABAJO / TESIS.
- APROBAR LA PRESENTACIÓN Y DEFENSA DEL TRABAJO / TESIS, OTORGANDO MENCIÓN PUBLICACIÓN.
- APROBAR LA PRESENTACIÓN Y DEFENSA DEL TRABAJO / TESIS, OTORGANDO MENCIÓN HONORÍFICA.
- APROBAR LA PRESENTACIÓN Y DEFENSA DEL TRABAJO / TESIS, OTORGANDO MENCIÓN PUBLICACIÓN Y HONORÍFICA.

Dando fe de ello levantamos la presente acta, la cual finalizó a las: 09:00 AM

1.- Jurado Coordinador (a) UNELLEZ


Dra. Carmen A. Morante
C.I. 8.670.988
(UNELLEZ-Coordinadora)
TUTORA

2.- Jurado Principal


Dr. Jorge Millano
(UNELLEZ)
C.I. 7.605.223

4.- Jurado Suplente 1

MSc. Pedro Flores
C.I. 12.367.401
(UNELLEZ)

3.- Jurado Principal


MSc. Antonio Romero
(EXTERNO-FLASA)
C.I. 4.128.794

5.- Jurado Suplente 2

Dr. Julio Camejo
(Externo-UNESR)
C.I. 7.561.584



AGRADECIMIENTO

A DIOS gracias por estar presente, no solo en esta etapa tan importante de mi vida, sino en todos los momentos de mi existencia. A mis padres Daniel y Honorina (+).

A la UNELLEZ, quien me dió la oportunidad de mi formación en el área de Ingeniería Ambiental.

A DEFORSA y PAVECA; a su directiva; Torbjorn Lovas, Gonzalo Alvarez, Antonio Bruni, Salvador Doganieri (+)

PAINSA Y PLANFORGUA; Eduardo Font y Guillermo García.

A mis compañeros de DEFORSA y PAVECA; por su apoyo y colaboración en la información, experimentación en campo y en planta.

A mi familia, razón de mi vida; Diva, mi amor, esposa y compañera, siempre a mi lado desde mis primeros estudios en mi formación en la carrera de Ingeniería Forestal; mis hijos Mariana, Daniel y Héctor; mis nueras Patricia y Maricarmen y mi yerno Christopher; mis nietos Maximiliano, Alessandro y Valentina. A mis hermanos, cuñados y sobrinos.

A la Dra., Carmen Angélica Morante Ascanio, quien es mi tutora, por la orientación, atención, paciencia, y amistad.

Al amigo Ing. Forestal Osvaldo Navegante Cancio, quien me apoyó en el desarrollo de la investigación y al Dr. Jupiter Muro Abad y Ing. Agrónomo Mario César Gomes Ladeira.

Mis compañeros de estudio y de trabajo, Eleazar Zorrilla y Jesús Pérez.

A mis profesores y colegas de estudio en la carrera de maestría en Ingeniería ambiental.

A mis compañeros de trabajo de DEFORSA.

DEDICATORIA

*A mi familia, quien me ha dado el estímulo y apoyo para
llevar esta investigación hasta el final.*

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	x
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA	4
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	6
1.3 IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	10
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO	11
1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
1.5.1 Objetivo General	12
1.5.2 Objetivos Específicos.....	12
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	13
2.1 DEFORSA; MISIÓN Y VISIÓN	13
2.2 BREVE HISTORIA DE LAS PLANTACIONES FORESTALES EN DEFORSA	13
2.3 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	15
2.3.1 Ámbito Internacional	15
2.3.2 Ámbito Nacional	19
2.4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	19
2.4.1 El Género <i>Corymbia</i>	19
2.4.2 Descripción morfológica y exigencias climáticas.....	20
2.4.3 Algunas propiedades de la madera.....	24
2.4.4 Importancia del papel en la cotidianidad de la vida.....	25
2.4.5 Manejo Forestal Sustentable y Adaptativo	25

2.4.6 La introducción del género <i>Eucalyptus</i> y <i>Corymbia</i> en Venezuela ..	27
2.5 MARCO LEGAL	31
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	33
3.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	33
3.2 UBICACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA UNIDAD DE ESTUDIO	34
3.3 DESCRIPCIÓN FÍSICO NATURAL	36
3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	41
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	42
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1 DESCRIPCIÓN DEL PANORAMA DE LAS ESPECIES FORESTALES USADAS EN EL MUNDO Y EN EL PAÍS PARA LA PRODUCCIÓN DE PULPA, PAPEL Y PRODUCTOS MADERABLES	43
4.1.1 El Panorama Mundial.....	43
4.1.2 El panorama venezolano	45
4.1.3 Cadena de suministro de la materia prima – madera	47
4.1.4 Producción de carbón	47
4.1.5 Otros usos maderables.....	50
4.2 CARACTERIZACIÓN DEL GÉNERO <i>Corymbia</i> , EN LOS PROYECTOS FORESTALES DE PLANFORGUA-GUATEMALA Y DEFORSA-VENEZUELA	52
4.2.1 El género <i>Corymbia</i> en PLANFORGUA-Guatemala	52
4.2.2 El género <i>Corymbia</i> en DEFORSA Venezuela.....	57
4.3 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PLANTACIONES EN CAMPO Y EN LA PLANTA DE PULPA EN TODO SU PROCESO.....	64
4.3.1 Evaluación en Ensayo Clonal.....	64
4.3.2 Prueba de Desempeño de Clones Híbridos de <i>Corymbia</i> en la Astilladora de la Planta PAVECA	68
4.3.3 Primera Prueba de Astillado de la madera	70
4.3.4 Segunda prueba de astillado de madera y refino.....	74
4.3.5 Evaluación preliminar de efluentes primarios en planta de pulpa	78

4.4 CREACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE ESTABLECIMIENTO DE ESPECIES DEL GÉNERO <i>Corymbia</i> Y SUS HÍBRIDOS EN DEFORSA.....	80
4.4.1 Estrategia de mejoramiento genético forestal	80
4.4.2 Programa de establecimiento del género <i>Corymbia</i> en las unidades de manejo de suelos	82
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
ANEXOS.	96
A Distribución de los ensayos de especies y procedencias por estado y piso altitudinal.	97
B Distribución espacial de los bosques naturales, sabanas y cuerpos de agua.	98
C Distribución espacial de todas las unidades naturales y de producción.	99
D La ubicación específica del sitio y la altitud de las principales especies de <i>Eucalyptus</i> y <i>Corymbia</i> en Guatemala.	100
E Clasificación de los suelos en 18 tipos de acuerdo a la norma brasileña	101

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

TABLA 1 Unidades de uso, manejo y aprovechamiento en la empresa DEFORSA.....	38
TABLA 2 Estimación del comportamiento de las plantaciones clonales comparadas con semillas	59
TABLA 3 Ensayo de clones híbridos de <i>Corymbia</i> subsp <i>citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i> (TLD). Parcela 6. Lote V, a los 4 años.	65
TABLA 4 Clasificación de los procesos de pulpación. Rendimientos	69
TABLA 5 Datos de clasificación de las astillas y características de la madera analizadas en laboratorio.	76
TABLA 6 Resultados de las pruebas de laboratorio con la madera del híbrido <i>Corymbia</i>	77
TABLA 7 Resultados de parámetros físicos químicos de los efluentes de entrada y salida del clarificados nº 3 en planta PAVECA.....	78

FIGURAS

FIGURA 1. Árbol de <i>Corymbia citriodora</i> subsp <i>citriodora</i> (a). Botenes (b) y flores (c).....	21
FIGURA 2. Árbol de <i>Corymbia torelliana</i> (a). Flores (b) y botones (c).	23
FIGURA 3. Árbol de <i>Corymbia citriodora</i> subsp. <i>variegata</i> (a). Flores (b) y botones (c). ...	24
FIGURA 4. Unidad de estudio y su representación nacional, estatal y municipal.	35
FIGURA 5. Agrupación de las unidades de uso, manejo y aprovechamiento de la finca.	35
FIGURA 6. Promedio anual de la precipitación (mes). Período 1997 – 2018.....	39
FIGURA 7. Promedio anual de la precipitación. Período 1997 - 2018.	40
FIGURA 8. Promedio mensual de la precipitación. Período 1997 – 2018.	40
FIGURA 9. Tipos de papeles producidos en el mundo.	44
FIGURA 10. Consumo de papel y cartón en venezuela.	46
FIGURA 11. Consumo aparente de los grados de papel, en venezuela para el año 2005.	46
FIGURA 12. Producción mundial de carbón por región.	48
FIGURA 13. Horno tipo “rabo quente” o colmena (a). Horno de metal portátil en experimentación (b). DEFORSA.	49
FIGURA 14. Ubicación espacial del proyecto PLANFORGUA – Plantaciones Forestales de Guatemala.	54
FIGURA 15. Ubicación espacial de las especies encontradas para iniciar el proyecto.	55
FIGURA 16. Equipo de participantes de la “expedición rescate” de material genético de <i>Eucalyptus</i> y <i>Corymbia</i> en Guatemala- 2010..	55

FIGURA 17. <i>Corymbia citriodora</i> subsp. <i>citriodora</i> con 13 años de edad (a). <i>Corymbia citriodora</i> (20 años), semillas de procedencia Australia (b).	56
FIGURA 18. Parque Naciones Unidas con ejemplares de <i>Eucalyptus microcoris</i> (1), <i>Eucalyptus siderophloia</i> (2) y <i>Corymbia citriodora</i> subsp. <i>variegata</i> (3).....	56
FIGURA 19. Recolección de semillas y polen (a). Botones florales (b). Semillas (c). Polen (d).....	57
FIGURA 20. Ensayo de introducción de especies (1991) <i>Eucalyptus tereticornis</i> (a). <i>Corymbia citriodora</i> subsp. <i>citriodora</i> (b).....	60
FIGURA 21. Ensayo de introducción de especies (1994) <i>Corymbia citriodora</i> subsp. <i>citriodora</i>	61
FIGURA 22. Plantación comercial de <i>Corymbia citriodora</i> subsp. <i>citriodora</i> (a). Individuo híbrido natural de <i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i> (toreliodora-tld) (b). Hojas de <i>Corymbia torelliana</i> (c1), hojas de híbrido de tld (c2), hojas de <i>C. citriodora</i> subsp. <i>citriodora</i> (c3).	62
FIGURA 23. Ensayo de introducción de especies (1994) <i>Corymbia citriodora</i> subsp. <i>citriodora</i> (a). <i>Corymbia torelliana</i> (b).....	63
FIGURA 24. Plántulas de <i>C. citriodora</i> subsp. <i>citriodora</i> (a). híbrido de TLD (b), y estacas de híbrido de TLD en invernadero.	63
FIGURA 25. Primer ensayo clonal de híbridos de <i>Corymbia citriodora</i> subsp. <i>citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i> , plantado en 2014 de 6 meses (a). el mismo material a los 3 años (b).....	64
FIGURA 26. Discos de madera comparativos (densidad básica) entre el híbrido de <i>Corymbia</i> TLD y clones de <i>Eucalyptus</i>	66
FIGURA 27. Herida provocada por herramientas (a). Kino presente en la madera en edad de los cuatro años (b).	67
FIGURA 28. Equipo picador (a). Equipo para tamizar (b). Astillas de madera de <i>corymbia</i> . 72	
FIGURA 29. Cosecha (a). Apilado en planta (b). Detalle de las rolas (c). Lavado de la madera y proceso de limpieza (d). Madera en la correa del picador (e). Transportador de astillas (f).....	72
FIGURA 30. Astillas de madera híbrido de <i>Corymbia</i> TLD (a). Astillas de madera clon de <i>Eucalyptus</i> (b). Febrero de 2018.....	73
FIGURA 31. Pantalla de la oficina de control de astillado en la planta de pulpa, indicando el consumo de energía en el astillador. A la izquierda clones de <i>Eucalyptus</i> y a la derecha híbrido de <i>Corymbia</i>	74
FIGURA 32. Madera de híbrido <i>Corymbia citriodora</i> subsp. <i>citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i> (TLD) utilizada en la planta para prueba de astillado y refinación.	74
FIGURA 33. Gráfica comparando el amperaje del astillador con las maderas de los clones de <i>Eucalyptus</i> y del híbrido de <i>Corymbia</i> (TLD).....	75
FIGURA 34. Astillas de madera TLD a los 4 años (izquierda) procesada con más blancura que las astillas de madera del clon 57 de <i>Eucalyptus</i> a los 16 años (derecha).....	76
FIGURA 35. Estrategia de mejoramiento genético forestal para el género <i>Corymbia</i> . Selección Recurrente Recíproca Intra Población Sintética (SRRIPS).	81

FIGURA 36. Mapa con las 4 unidades de manejo de la unidad forestal San Carlos II, como resultado del agrupamiento de suelos con las mismas características de manejo.	83
FIGURA 37. Distribución porcentual de las unidades de manejo de suelos. Área efectiva potencial de plantación.....	85

EL GÉNERO *Corymbia* COMO ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCIÓN DE PULPA PARA PAPEL Y OTROS USOS MADERABLES

AUTOR: Joao Leite de Souza
TUTORA: Carmen Morante Ascanio.
AÑO: 2019

RESUMEN

Para la producción de productos maderables: principalmente pulpa, papel y carbón; se requiere desarrollar materiales genéticos que generen calidad en el producto y productividad; es por ello, que las especies de árboles más usadas en todo el mundo se limitan a pocos géneros, como el *Eucalyptus*, *Pinus*, *Acacia* y *Corymbia*; este último género recientemente clasificado. Es por esto, que el objetivo de esta investigación, es proponer el género *Corymbia* y sus híbridos, como alternativa de producción de pulpa, papel y otros usos maderables en la empresa Desarrollos Forestales San Carlos (DEFORSA), estado Cojedes, Venezuela. La investigación es de campo, no experimental, proyectiva bajo la modalidad de proyecto aplicado. Los resultados obtenidos comparando los géneros *Corymbia* y *Eucalyptus* fueron: densidad básica de la madera, siendo el *Corymbia* (Híbrido Toreliodora-TLD) superior a 10,6%, El Incremento Medio Anual presentó un aumento de 18,29%, el porcentaje de sobrevivencia fue del 100%; y el Volumen Sólido sin Corteza, arrojó valores similares. En la planta, la energía en el proceso de astillado fue alta, pero estable; la pulpa producida de la madera TLD presentó una blancura de aproximadamente 5% GE en refinación indicando una concentración más baja de lignina; y, en los efluentes los parámetros físicos químicos presentaron una disminución considerable de las cargas iónicas, Sólidos Solubles Totales, Demanda Química de Oxígeno y concentraciones de Nitrógeno y Fósforo. Se concluyó que el *Corymbia* y sus híbridos generaron perspectivas como una alternativa potencial para la producción comercial de pulpa para papel, estantillos y carbón vegetal.

Palabras clave: *Corymbia*, torelidora (TLD), pulpa, carbón vegetal, *Eucalyptus*.

THE USE OF THE *Corymbia* GENUS AS AN ALTERNATIVE TO PRODUCE PULP, PAPER, AND OTHER FOREST PRODUCTS

AUTHOR: Joao Leite de Souza
TUTOR: Carmen Morante Ascanio.
YEAR: 2019

ABSTRACT

The manufacture of forest products, specially pulp and paper, requires the use and development of genetic material capable of improving the products quality and productivity; hence, the most used tree species in the world are limited to few genera, such as: *Eucalyptus*, *Pinus*, *Acacia*, and *Corymbia* (this one recently classified). For this reason, the objective of this project is to propose the use of the genus *Corymbia* and its hybrids as an alternative to produce pulp, paper, and other forest products at the company Desarrollos Forestales San Carlos (DEFORSA), in the Venezuelan State of Cojedes. Rather than experimental, this is a field research, projective under the applied project mode. After comparing the *Corymbia* to the *Eucalyptus* genus, it was observed that the specific gravity of the *Corymbia* genus' wood (Toreliodora-TLD hybrid) was above 10,6%, the mean annual increment (MAI) increased by 18,29%, the survival rate was 100%, and the stem volume, without bark, presented similar values for both genera. At the pulp and paper mill, the energy consumption during the chipping process was high but stable. The pulp produced with the TLD wood presented a whiteness value of 5% GE, indicating a lower lignin concentration. Additionally, the physical-chemical parameters observed on the effluents presented considerable lower values of ionic charges, total soluble solids, chemical oxygen demand, and nitrogen and phosphorus concentrations. In conclusion, the *Corymbia* genus and its hybrids represent a potential alternative to produce commercial pulp, paper, and other forest products.

Keywords: *Corymbia*, torelidora (TLD), pulp, charcoal, *Eucalyptus*.

INTRODUCCIÓN

La madera, es el recurso ambiental más antiguo que los seres humanos disponen para satisfacer sus necesidades básicas. La humanidad dependió de la madera para sobrevivir; la utilizó para construir sus refugios, armas, cocinar sus alimentos y para proporcionar calor. Al descubrir la capacidad de flotación de la madera y después de la invención de la rueda, la misma fue utilizada como medio de transporte en la tierra y en el agua. Esta asociación entre los seres humanos y la madera se perpetuó a través del tiempo, aun hoy día, es un elemento fundamental para la humanidad.

Algunas propiedades que posee la madera dándole características que le hacen insustituible en el correr del tiempo son: su belleza, su resistencia mecánica al peso y su versatilidad en el uso, su baja conductividad térmica, su poder incomparable de reproducir y renovarse; y principalmente, su baja demanda de energía en su transformación en productos acabados.

Al transcurrir el tiempo, hasta los tiempos actuales, la madera tiene un sinnúmero de usos; entre los que se pueden mencionar: madera para aserradero (muebles, techos, pisos), madera para pulpa (papel y cartón en todos sus grados; papel sanitario, de imprenta, servilletas, papel periódico, sacos y bolsas, cartón, corrugados, pañales, toallas); madera para la producción de energía (leña y carbón) y otros usos (extracción de aceites esenciales, jarabes, cosméticos, estantillos, postes).

En virtud, de los diversos usos de la madera y el aumento progresivo de la población, la actividad económica se centra en el “aprovechamiento” de los recursos ambientales, que en muchos casos es “explotación” de esos recursos. Esta acción se manifiesta, especialmente en la deforestación y tala de los bosques naturales; es la acción antropogénica más generalizada e importante que se sucede en el planeta.

En consecuencia; en el mundo hay un déficit, tanto de madera disponible al consumo, como de energía, lo que convierte a la producción forestal en un objetivo

prioritario a los diversos países. Los géneros *Eucalyptus* y *Corymbia*, así como el *Pinus* y *Acacia*, son uno de las principales fuentes de madera para uso industrial en el mundo.

La demanda de productos derivados de la madera de *Eucalyptus* y *Corymbia* sigue siendo, a nivel internacional, la que muestra un mayor crecimiento sostenido. El uso de especies introducidas, ofrece ventajas en relación a otras especies nativas; la velocidad de crecimiento y turnos de aprovechamiento más cortos, son fundamentales para desarrollar proyectos forestales económicamente viables y sostenibles. Los bosques y plantaciones debidamente manejados bajos criterios de sustentabilidad, son los indicadores que determinan el abastecimiento de bienes y servicios, necesarios para el bienestar de la humanidad y su desarrollo.

Bajo estas premisas, surgió la inquietud de proponer el uso del género *Corymbia* y sus híbridos como alternativa para la producción de pulpa para papel y otros usos maderables, así como describir el panorama de las especies forestales usadas en el mundo y en el país, caracterizar el género *Corymbia*, en los proyectos forestales de Plantaciones Forestales Guatemala (PLANFORGUA-Guatemala); origen de los germoplasmas que fueron introducidos en el país (Venezuela); y, Desarrollo Forestales San Carlos (DEFORSA) en Venezuela.

Otra de los aspectos estudiados en esta investigación fue la evaluación de los resultados preliminares del comportamiento del género *Corymbia* en las plantaciones en campo y en la planta de pulpa en todo su proceso que dio como resultado la creación de las estrategias de establecimiento de especies del género *Corymbia* y sus híbridos para la producción de pulpa para papel principalmente; estantillos, paletas y carbón, bajo los sistemas agrosilvopastoril y silvopastoril.

En este contexto, esta investigación presenta un estudio inédito en el país. Por lo que demuestra los primeros resultados preliminares en el uso del género *Corymbia* en Venezuela y poco estudiado en Latinoamérica y el mundo. Esto representa el inicio de posteriores investigaciones que se sugieren en la sección de recomendaciones.

Este Trabajo de Grado se estructuró en secciones llamadas Capítulos: el planteamiento y formulación del problema, la importancia, alcances y limitaciones; y los objetivos de la Investigación corresponden al Capítulo I; el Capítulo 2 hace mención al marco teórico, esbozando brevemente ¿Qué es DEFORSA? Sus plantaciones forestales, los antecedentes del estudio, los fundamentos teóricos y el marco legal; el Capítulo 3 especifica los Aspectos Metodológicos; en el Capítulo 4 se presenta el análisis y discusión de los resultados; y, por último, se muestran las Conclusiones y Recomendaciones.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se atribuye la invención del papel a los chinos, entre los años 200 - 250 a.C, producido con seda y lino. Se acredita que el inventor fue Ts`ai Lun, funcionario de la Casa Real. El uso del papel en aquella época era una necesidad burocrática para los registros de las transacciones de la corte, del comercio y de la genealogía de las familias más nobles; de allí, la necesidad de conseguir un producto, en este caso el papel, por la facilidad de manoseo, transporte y almacenado, comparado con las tablillas de madera que se usaban hasta entonces (Turner, 1991).

En la actualidad, la producción de papel es casi toda de fibras de especies vegetales leñosas de crecimiento rápido y extensivamente cultivadas, siendo los géneros *Pinus*, *Acacia* y *Eucalyptus* los más importantes. Hay una gran variedad de productos generados con la fibra de celulosa, por ejemplo: pinturas, barnices, estructuras de acetato, telas, productos de limpieza del hogar, entre otros; no siendo posible imaginar la humanidad vivir sin ellos.

En gran parte del mundo las plantas de pulpa y papel son construidas en las cercanías de grandes plantaciones forestales. Los procesos de producción de pulpa son de base mecánica, semi-químico y químico. Este último presenta varias tecnologías que va depender de la capacidad de inversión y de la escala de producción (Area, 2015).

En el Hemisferio Norte, gran parte de la madera usada por la industria de celulosa y papel es originada de bosques naturales de coníferas (Pinos). En la zona tropical del planeta; sin duda, el Eucalipto es el grupo de plantaciones más importante. Los procesos aplicados a las plantaciones forestales y las tecnologías de punta, constituyen un aporte al conocimiento científico desde la adaptación de la plantación a las diversas condiciones ambientales, hasta el desarrollo genético de clones superiores en

productividad y calidad de la madera (Lopes, 2017 y Valente, 2017). Por ello, la competencia entre los proyectos industriales de envergadura de base forestal ha conllevado la productividad a límites jamás imaginados, siempre buscando la innovación e incorporación de nuevas tecnologías.

Por otra parte, los proyectos forestales y su industria representan superficies muy significativas de ocupación de tierras, las cuales se desarrollan siempre bajo presión de activismo ambiental, exigiendo grandes cuidados con las dimensiones de sustentabilidad (económica, social y ecológica). El sector forestal siempre ha buscado la eficiencia en el uso de la tierra, específicamente en la mitigación de los impactos negativos de su producción forestal e industrial (Area, 2015).

Los desafíos y obstáculos de los proyectos de la industria de base forestal; principalmente pulpa, papel y carbón, ha conllevado a innovadoras investigaciones de nuevas fuentes de fibras y biomasa. Este esfuerzo ha sido enormemente recompensado con el rescate de especies del género *Corymbia*. Hace algunas décadas, este género se encontraba botánicamente dentro del grupo de los eucaliptos; a partir de la década de los 90, botánicos australianos lo describieron como otro género dentro de la familia *Myrtaceae* (Hill y Johnson, 1995).

Las especies del género *Corymbia* fueron muy utilizadas para aplicaciones que exigían mayor dureza de la madera como estantillos, botalones y carbón. A partir de los años 90, después de descubierta la capacidad de hibridación entre las especies de este género y la manifestación del fenómeno genético de *heterose* (el vigor híbrido), se dieron inicio a algunos trabajos de selección de clones híbridos, especialmente para la producción de carbón (Assis, 2014).

Debe señalarse que en las últimas décadas en Brasil, la ocurrencia de fenómenos de sequías anormales y las modernas técnicas industriales en las empresas productoras de pulpa, posibilitaron la utilización de maderas de mayor densidad, hecho que condujo a una especial atención de estos híbridos por parte de los investigadores forestales, específicamente, en el sector de pulpa y papel (Lopes, 2017; Valente, 2017; Assis, 2014).

Con el programa de desarrollo forestal llevado a cabo por las Empresas Desarrollos Forestales San Carlos S.A. (DEFORSA), filial de Papeles Venezolanos C.A. (PAVECA) en Venezuela, y Papelera Internacional S.A. (PAINSA) y Plantaciones Forestales de Guatemala (PLANFORGUA), pertenecientes al mismo grupo industrial y localizado en Guatemala, fue oportuno el intercambio de material genético.

Al respecto, desde Guatemala se trajeron materiales genéticos del género *Corymbia*, encontrados en abundancia en aquel país, los cuales fueron plantados en las áreas de la empresa DEFORSA. Después de los 3 años de establecidas estas plantaciones, en el año 2013, fueron identificados varios individuos (árboles) híbridos naturales entre las especies *Corymbia citriodora* x *Corymbia torelliana* nombrados e identificados en el sector forestal como “Toreliodora” (TLD). Estos ejemplares fueron incorporados, de manera inmediata, al programa de investigación y desarrollo de DEFORSA.

El comportamiento de las plantaciones forestales de los híbridos de *Corymbia*, así como su utilización en la planta de pulpa, son objeto de discusión en esta investigación. Las expectativas que se esperan son: incremento de las ganancias tanto en el sector forestal como en el industrial, reducción significativa de costos, aumento de productividad en campo, mejoras en el proceso industrial con la disminución de uso de químico en la planta, y mitigación de impactos ambientales negativos en todo el proceso.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el seguimiento de la cadena de productos maderables; principalmente pulpa, papel y carbón, es necesario desarrollar nuevos materiales genéticos que permitan que las ganancias se mantengan y sean sostenibles, buscando siempre, a través de la calidad y productividad, la reducción de costos y a su vez, una disminución en el tiempo de cosecha; es por ello que las especies de árboles más usadas en todo el mundo se restringen a pocos géneros, como el *Eucalyptus*, *Corymbia*, *Pinus* y *Acacia*. Los eucaliptos son los más plantados en todo el mundo, su fibra es corta; y, por las

modernas técnicas de producción de pulpa, papel y carbonización, han conquistado espacios en estos sectores; incluso, para papeles de resistencia donde siempre predominaron las coníferas.

El género presenta mayor capacidad productiva, adaptación a las diversas técnicas de mejoramiento genéticos (hibridación y clonación) y una alta capacidad de transformación de la madera en sus múltiples usos.

La gran competencia entre los proyectos industriales de pulpa y papel, principalmente en Suramérica, y las presiones ambientales para la auto-sustentabilidad en la cadena del carbón, ha conducido al esfuerzo por la búsqueda de alternativas que agreguen mayor productividad de biomasa de madera por unidad de plantación, así como reducir los costos de manejo. Los eucaliptos, por su rápido crecimiento, poseen un límite de producción de biomasa por volumen de madera, por las características de las densidades de la propia especie.

La madera de eucalipto de productividad competitiva, de clima tropical, presenta el límite de densidad básica de 650 a 850 Kg/m³, con un contenido de lignina en nivel de 26 a 29 %. Al seleccionar árboles con densidad más elevada, consecuentemente el nivel de lignina sobrepasa el 30 %. Los procesos de pulpa que extraen o neutralizan esa lignina, la cual es responsable del color oscuro de la pulpa, necesitan utilizar productos químicos que, de cierta forma, dañan la fibra de celulosa o la degradan, reduciendo así sus propiedades de resistencia y el rendimiento final de pulpa. Es decir, para la planta de pulpa cuando los valores de lignina de la madera son altos, mayores son las pérdidas y menor calidad del producto final. La elección de especies de mayor densidad básica y mayor cantidad de carbono fijo para el caso de la carbonización, comúnmente se confronta con la baja productividad del volumen (Lopes, 2017; Assis, 2014).

Es imprescindible desarrollar árboles de alta productividad, con densidad de la madera más elevada y con contenido de lignina más bajo para pulpa y mayor carbono fijo para carbón, que mantengan o mejoren las características de cultivo, como resistencia a plagas y enfermedades. Hasta hace poco tiempo, estos objetivos eran prácticamente inconciliables.

Otro factor a considerar, es el tiempo para la cosecha. Los eucaliptos a pesar de su capacidad de rápido crecimiento, presentan un ciclo de cosecha de siete años, por necesitar madurar sus fibras y desarrollar sus propiedades físicas. La proporción de madera madura por madera juvenil tiene la tendencia de aumentar con la edad de los árboles, puesto que la fibra de madera juvenil es perjudicial en el proceso de producción de pulpa, tanto por aumentar el contenido de finos como por la degradación de fibras, bajando la productividad del proceso y reduciendo las propiedades de resistencia. El aumento de contenido de finos aumenta el proceso de lixiviación de fibras en el efluente, aumentando la carga orgánica a ser tratada (Área, 2015.). En el caso del carbón, la madera con mayor proporción de fibra juvenil presenta menor productividad debido que ésta normalmente se gasifica durante el proceso (Santos, 2010).

Por otra parte, el alto consumo de productos químicos en la planta de pulpa en PAVECA, trae como consecuencia un alto costo de producción. Este proceso se lleva a efecto porque la madera utilizada para producción de pulpa está constituida por fibras de celulosa y lignina extraíbles e inorgánicas, donde la extracción o neutralización de la lignina es el componente principal del proceso para producir pulpa blanqueada para papel. Su extracción o neutralización es ciertamente la operación de mayor consumo de productos químicos en una planta (Area, 2015).

Los programas de mejoramientos genéticos que buscan el desarrollo de madera para producción de pulpa, dedican tiempo y recursos para reducir el contenido de lignina en la madera o cambiar su naturaleza química para tornarse más reactiva. Esta es una de las vías para reducir el alto consumo de productos químicos en las plantas de pulpa y papel, aliados con un proceso industrial preciso y eficiente.

Sin duda alguna, es un requisito indispensable el planteamiento de estrategias para minimizar el costo del tratamiento de los efluentes ocasionados en el proceso de elaboración de la pulpa y, consecuentemente, reducir la contaminación del ambiente, dado que el proceso de producción de pulpa utiliza agua en gran cantidad, que después es retirada del sistema una vez culminado el mismo. Estos efluentes contienen productos químicos en cantidades importantes, altas cargas orgánicas, altos residuos

sólidos y de fibras, y en esas condiciones no pueden ser liberados al ambiente. Por consiguiente, una mayor concentración de estos efluentes implica más inversión en el tratamiento, así como mayor tiempo de estabilización. Y en efecto, esto puede generar un aumento significativo de los costos del proceso (Area, 2015).

Ahora bien, la calidad química y física de la madera puede contribuir significativamente a reducir este impacto; por ello, el desarrollo y la selección de clones con características más adecuadas es fundamental para optimizar el proceso de productos maderables. En el caso de la producción de carbón vegetal; por ejemplo, la madera que se selecciona, es aquella que contenga menor cantidad de espacio vacío y, por consiguiente; menor cantidad de agua, que permita mejorar la eficiencia de uso de energía de carbonización, aumentando así el rendimiento final del proceso, logrando un mejor rendimiento gravimétrico en la carbonización.

Otra característica en la cadena de la madera que puede influir sobre los costos es el flete. En el transporte de la madera, una parte considerable de lo que se transporta es aire y agua, agregado al volumen de madera; incluso, la materia seca, por sus características físicas y anatómicas, puede constituir diferencias en la transformación del producto final. Es por ello, que en el desarrollo de nuevos materiales se consideran, entre otros aspectos, la eficiencia de transporte; es decir, mayor peso de biomasa por unidad de volumen de madera. En los programas de investigación de las empresas forestales este tema es muy importante, ya que en las evaluaciones de materiales, normalmente cuando se refiere a rendimiento, se utiliza la unidad de volumen de madera por hectárea (m^3/ha); sin embargo, la unidad de medición que prevalece es la tonelada por hectárea (t/ha) de pulpa seca al aire o tonelada por hectárea de carbón.

En este contexto, ha surgido la necesidad de proponer el uso de nuevos materiales genéticos del género *Corymbia* y sus híbridos en la empresa DEFORSA, como alternativa de producción sustentable, evaluando los resultados del comportamiento en campo, en la planta de pulpa para papel, perspectivas de impacto ambiental en el procesamiento de la pulpa y tratamiento de efluentes, así como los materiales de larga trayectoria, como es el caso del *Eucalyptus* ya establecido.

Todo lo anteriormente expuesto gira en torno a las siguientes interrogantes:

¿Cuál es el panorama de las especies forestales usadas en el mundo y en el país para la producción de pulpa, papel y otros productos maderables?

¿Cuáles son las características del género *Corymbia*, en los proyectos forestales de PLANFORGUA-Guatemala y DEFORSA-Venezuela?

¿Cuáles serán los resultados de la evaluación del comportamiento de las plantaciones en campo, en planta de pulpa, y perspectivas de impacto en el proceso de pulpa y tratamiento de efluentes?

¿Cuáles serían las estrategias de utilización de especies del género *Corymbia* y sus híbridos en DEFORSA?

1.3 IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

No hay duda de la importancia que la industria de base forestal, principalmente de pulpa y papel, para la economía de Venezuela y para la calidad de vida de su población, muy a pesar de la baja participación del Subsector Forestal. Según los registros de las cuentas nacionales para la cadena forestal, el Sector Agrícola representa el 5 % del Producto Interno Bruto (PIB), mientras que el Subsector Forestal apenas alcanza el 1% del PIB agrícola y el 0,05 % del PIB nacional (FAO, 2002a).

En las condiciones actuales, una actividad productiva necesita pasar por la reorganización de su base de manufactura por el protagonismo que la cadena de base forestal podrá tener en el futuro. En este particular, las plantaciones forestales tienen la función secundaria de reducir la presión sobre los bosques naturales en Venezuela, debido a su capacidad de producir fibras y biomasa.

En los países donde la actividad de plantación forestal está desarrollada, la preservación y conservación de los bosques naturales crece proporcionalmente a la misma (Area, 2015). Cualquier ganancia con uso de especies alternativas para producción forestal en el proceso de la planta de pulpa y papel, u otro segmento

económico, representa un significativo incremento de ganancias directa e indirecta en el orden económico o por el uso indirecto de las plantaciones; como por ejemplo, la mitigación del uso de los bosques naturales y servicios ambientales.

En el caso de los efluentes de una planta de pulpa, los parámetros más importantes para describir la calidad del efluente acuoso son: los Sólidos Suspendedos Totales (SST), la Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Halógenos Orgánicos Absorbibles (HOA); o sea, cloro unido al carbono orgánico. Para mitigar el contenido de éstos, una de las acciones más importante es mejorar la eficiencia de uso de biomasa en la planta y reducir la cantidad de productos químicos durante el proceso. Otra acción trascendental es el manejo de la calidad de la madera en las investigaciones forestales, tal como ya se describió en la sección anterior.

Por otro lado, esta investigación generó información pertinente y relevante para el estado Cojedes y a nivel nacional; además de la contribución en la formación técnica-académica, ya que se trata de un tema inédito en el sector forestal e industrial del país.

Finalmente, este Trabajo de Grado está enmarcado en el Plan General de Investigación de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora 2008 – 2012 ([UNELLEZ], 2008), aún vigente, en la línea de investigación “Gestión Sustentable de los Recursos Naturales”.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

La investigación sugiere el incremento del rendimiento, efectividad y eficiencia en la producción forestal y hasta el final del procesamiento de la pulpa y tratamiento de efluentes; que conlleva a una nueva alternativa tecnológica de manejo forestal incursionando en la gestión sustentable de los elementos ambientales. De esto se derivará, un nuevo conocimiento en el área con experiencias concretas para el uso e implementación en el país y otras latitudes y que estará al alcance de científicos, especialistas en el área, empresas procesadoras de pulpa y de otros usos maderables.

Las limitaciones de esta investigación, se refieren a la falta de referencias de estudios científicos en el país y a la reservación de datos confidenciales de la empresa; sin embargo, el investigador tiene acceso a los datos e información necesaria de campo y de planta referente a los parámetros de medición para su evaluación que son necesarios para instaurar la propuesta. En este sentido, existe la disposición de personal técnico y especializado para realizar las diversas actividades inherentes al estudio.

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Objetivo General

Proponer el uso de las especies del género *Corymbia* y sus híbridos, como alternativa para la producción de pulpa para papel y otros productos maderables.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Describir el panorama de las especies forestales usadas en el mundo y en el país, para la producción de pulpa, papel y productos maderables.
- Caracterizar el género *Corymbia*, en los proyectos forestales de PLANFORGUA-Guatemala y DEFORSA-Venezuela.
- Evaluar los resultados del comportamiento del género *Corymbia* en las plantaciones en campo y en la planta de pulpa en todo su proceso.
- Crear las estrategias de establecimiento de especies del género *Corymbia* y sus híbridos para la producción de pulpa para papel y otros usos maderables.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 DEFORSA; MISIÓN Y VISIÓN

Desarrollos Forestales San Carlos (DEFORSA) es una empresa productiva, filial de Papeles Venezolanos (PAVECA), que le provee materia prima (madera de eucalipto) para la elaboración de pulpa para papel tipo tisú o suave. Entre otros productos madereros: madera para carbón, estantillos, botalones, y madera aserrada para paletas. Los productos agroalimentarios obtenidos del sistema agrosilvopastoril y silvopastoril: miel, arroz, café, maíz, carne y leche.

La misión de DEFORSA es:

Garantizar la disponibilidad de madera para producción de pulpa y otros productos relacionados, con elevados niveles de calidad, asegurando la satisfacción de nuestros clientes y trabajadores mediante el fortalecimiento, investigación y desarrollo de la silvicultura, agricultura, agropecuaria y el ecoturismo.

Su visión: “Ser la empresa modelo de producción de madera, ecológicamente integrada, en constante búsqueda de mejoramiento tecnológico y rentabilidad”.

Las Áreas de acción en DEFORSA son: a) Área de producción, b) Área de responsabilidad social, y c) Área de conservación del ambiente. A su vez, el área de Responsabilidad social tiene tres líneas de acción: Educativa, Ambiental y Social.

2.2 BREVE HISTORIA DE LAS PLANTACIONES FORESTALES EN DEFORSA

DEFORSA, inicia sus actividades forestales en el año 1987, con el establecimiento de plantaciones de pino caribe (*Pinus caribaea*) variedad *hondurensis*, con el objetivo de producir pulpa para papel de fibra larga.

A medida que se experimentaba, se realizaban los respectivos análisis técnicos; estos arrojaban resultados no esperados en la planta procesadora de la madera

(PAVECA); la calidad de la pulpa producida, no permitía la obtención de un papel tisú con los parámetros estándares de calidad. Por tal razón, la especie no era apta para el tipo de papel deseado por la empresa.

Lo expuesto, conllevó a tomar la decisión de sustituir el pino caribe (*Pinus caribaea*) por el eucalipto; esto ocurrió en el año 1992. Las especies plantadas fueron *Eucaliptus urophylla* y *Eucalyptus grandis*, así como el híbrido de las dos especies conocidos como “urograndis”. La especie de eucalipto posee fibra corta y blanda, razón que permitió a la planta procesadora la fabricación del papel deseado.

Desde 1987-2001, el manejo de las plantaciones se caracterizaba por un sistema convencional y de monocultivo. Es a partir del año 2002, que se trasciende a implementar el sistema silvopastoril con la incorporación de la ganadería bovina (vacuno y bufalino). Este sistema integral, permitió incorporar un valor agregado incalculable; el control de malezas biológico y la disminución de agroquímicos. También, contribuyó a disminuir el combustible en la época de sequía en áreas con mayor riesgo de incendios. Otros pequeños rebaños de ovinos (ovejos) son utilizados para bajar el combustible en el área de galeras.

Más adelante, en el año 2005; se elimina totalmente la práctica de la quema para eliminar los residuos de la cosecha contribuyendo así a mejorar las condiciones edafológicas.

Las operaciones de aprovechamiento son hechas con máquinas especializadas, denominadas “harvester” (cosechadora forestal), que se encargan de hacer el corte, desrame, descortezado, seccionado de la madera (en rolas de 2,50 m de largo), y apilado. Anualmente se envía a la planta de pulpa, un volumen de 90.000 m³. Los “harvesters” son equipos totalmente automatizados y sus operadores son adiestrados dentro de la empresa. Una vez que la madera es cortada y apilada por los “harvesters”, los autocargadores, retiran las rolas del interior de las parcelas y la apilan en el sitio de carga; luego los cargadores forestales, las cargan en vehículos acondicionados que las transportan a su destino final. Debe destacarse que descortezar la madera en el campo permite que los residuos como: corteza, hojas y ramas finas de los árboles,

permanezcan en el campo y sean incorporadas al suelo, reteniendo gran cantidad de nutrientes que serán aprovechados por las futuras plantaciones. Como los diámetros de la madera permitida en la planta de pulpa varía de 8 cm hasta un máximo de 40 cm, los extremos de los árboles son aprovechados para la producción de carbón y aserrío.

Más tarde; en el año 2008, se activa el Minijardín Clonal; en este se realizan las actividades de selección de clones o material vegetativo (reproducción asexual) y obtener el material ideal para establecer en campo los diversos ensayos. En la actualidad, se ha avanzado en los planes de selección de clones de eucaliptos y *Corymbia* genéticamente superior dando como resultado híbridos adaptados a las condiciones agroclimáticas específicas de la empresa. Hoy día, DEFORSA está a la vanguardia al disponer de un banco genético de importancia económica y científica en el país.

2.3 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.3.1 Ámbito Internacional

Smith, Henson, y Boyton (2007), en su trabajo: “Forests NSW’s spotted gum (*Corymbia* spp.) tree improvement and deployment strategy” plantearon estrategias en los bosques de la costa norte de Nueva Gales del Sur (NSW) en Australia, donde se plantaron 8000 ha desde el año 1994. Para ello, la organización invirtió en programas integrales de investigación para el mejoramiento de árboles de especies de importancia comercial del género *Corymbia*, así como: *Corymbia citriodora* subsp. *variegata*, *C. maculata*, *C. citriodora* subsp. *citriodora*, *C. henryi* y *C. torelliana*. Estos fueron ampliamente probados en ensayos de progenie en diferentes sitios. Forests NSW en 1997, estableció ocho ensayos clonales a escala piloto.

Los resultados obtenidos de este estudio fueron: 1) el mejoramiento de las especies de *Corymbia* pura y la reproducción de plántulas genéticamente mejoradas mediante la producción de semillas en huertos de semillas clonales y germoplasma híbrido. En ambos casos, el enraizamiento fue deficiente y esto económicamente no es factible; 2) Los híbridos de *Corymbia* tuvieron un alto costo de enraizamiento de estacas, aunque

la experiencia fue limitada, los ensayos más antiguos tenían 10 años para la fecha, además se determinó la productividad a largo plazo y adaptabilidad; y no se comprobó la calidad de la madera y ni su aceptación en el mercado; y, 3) *Corymbia torelliana* forma híbridos naturales con otras especies de *Corymbia* spp. (Hill & Johnson 1995; Forests NSW, inédito).

El trabajo de investigación titulado: “Colorimetria de madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* e sua correlação com a densidade” de Garcia, Oliveira, Nascimento, y Souza (2014), se plantearon como objetivo, caracterizar el color de la madera de *Corymbia citriodora* (Hook.) HD Hill & L.A.S Johnson, *Eucalyptus pellita* F. Muell, *Eucalyptus paniculata* Sm y *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden; y determinar su correlación con la densidad de la madera. Los investigadores realizaron los análisis de la técnica colorimétrica utilizando el sistema CIE L *a * b * con espectrofotómetro portátil CM 2600d de Konica Minolta. Los resultados que obtuvieron indicaron diferencias significativas, siendo la madera de *Eucalyptus paniculata* la más densa y la madera de *Eucalyptus grandis* la menos densa.

En cuanto al análisis de correlación entre el color y la densidad resultó que las maderas más densas para las especies de *Eucalyptus* son más oscuras (L * más pequeñas) y tienen más pigmento rojo (a *) y amarillo (b *). En referencia a la *Corymbia citriodora*, su comportamiento fue diferente, la madera presentó alta densidad, color claro y poco pigmento rojo.

En la investigación: “Avaliação de clones híbridos de *Corymbia* para crescimento, qualidade da madeira e carvão vegetal na região do Rio Doce” de Valente (2017): concibió el interés del género como especie potencial para la industria de pulpa. Esto ocurre en virtud de la expansión de los cultivos forestales en regiones no tradicionales en Brasil, donde las condiciones climáticas exigían individuos con mayor resistencia al déficit hídrico, resistencia a plagas y enfermedades.

Asi mismo, Pinto, Machado, Felipetto, Christoforo, Lahr, y Calil (2016) en su estudio: “Thermal Degradation and Charring Rate of *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus grandis* Wood Species.” destacan en su investigación el potencial de

Eucalyptus grandis y *Corymbia citriodora* para aplicaciones en construcción estructural con énfasis en su mayor resistencia a la acción de carbonización de madera en condiciones de incendio. Los resultados de los Análisis Térmico-gravimétrico (TGA, sus siglas *en inglés*) indican que ambas especies son estables en el rango de hasta 250 °C. A temperaturas más altas, de 250 ° C a 400 ° C, comienza la degradación térmica de las macromoléculas, con una gran pérdida de masa (alrededor del 70%).

El análisis químico reveló que *Corymbia citriodora* tenía aproximadamente tres veces más cenizas y aproximadamente 4% más de contenido de extractos que *Eucalyptus grandis*. Estos últimos tenían casi un 6% más de lignina y un 2% más de celulosa que *Corymbia citriodora*, pero un 8% menos de hemicelulosas. Las pruebas de carbonización en condiciones de incendio mostraron que ambas maderas tenían tasas de carbonización similares. Además, los análisis estadísticos mostraron que la contracción y el contenido de lignina son los principales factores que afectan el proceso de carbonización.

López y Vera (2018), en su estudio: “Crecimiento y rectitud del fuste de orígenes geográficos de *Corymbia* spp. en la Mesopotamia argentina”, indican que la *Corymbia* spp. y sus híbridos se revalorizaron como un género importante en la producción de madera de calidad para usos de aserrado de alto valor en diferentes regiones del mundo. El objetivo fue evaluar el comportamiento de materiales cosechados en el área de distribución natural de *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora* (CCC), *Corymbia citriodora* subsp. *variegata* (CCV) y *Corymbia maculata* (CM), en Argentina. A los nueve años de edad se evaluó el crecimiento en diámetro, altura, volumen y rectitud del fuste de 22 orígenes en tres sitios de la Mesopotamia argentina.

De acuerdo a los análisis realizados, los resultados obtenidos subrayan que la *Corymbia citriodora* subsp. *variegata* fue el taxón de mejor comportamiento en crecimiento volumétrico y rectitud del fuste.

En referencia a otros usos maderables, se destaca al género *Corymbia* en la producción de carbón, mangos de herramientas, estantillos para cercas, travesaños, leña, postes, aserraderos (vigas y muebles) (Golfari, Caser, y Moura, 1978; Ferreira,

2003; Boland, Brooker, Chippendale, Hall, Hyland, Johnson, Kleinig, McDonald y Turner, 2006.).

Entre otros usos no maderables de la *Corymbia*, que no son objeto de este estudio, pero el investigador considera pertinente mencionar brevemente, es la extracción de aceite esencial de citronela (en el caso de *Corymbia citriodora* subsp *citriodora*) en el estudio realizado por Reis, Assis, Santos, y Filho (2013). Este es utilizado como materia prima en la aromatización de ambientes y la producción de desinfectantes, detergentes, jabones, máscaras industriales, ceras y piedras sanitarias.

Medice, Alves, Assis, Magno Júnior y Lopes (2007) en su obra: “Óleos essenciais no controle da ferrugem asiática da soja *Phakopsora pachyrhizi*.”; ellos señalan la efectividad del control de la roya asiática en soja con aceite proveniente de *C. citriodora*.

En el trabajo de Souza, Favero y Conte, 2010 “Bioatividade de óleos essenciais de espécies de eucalipto para o controle de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)” demostraron que las acciones tóxicas e inhibitoras del extracto de aceite esencial de la hoja de *C. citriodora* controlan al gusano barredor o perforador del maíz (*Spodoptera frugiperda*).

Así mismo, en la investigación realizada por Franzener, Moura, Meinerz, Schwan-Estrada y Stangarlin (2011) “Extrato aquoso de *Corymbia citriodora* no controle alternativo da antracnose em pepino e do crestamento bacteriano em feijão”; informan sobre el control y/o reducción del ataque de *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*, que causa crecimiento bacteriano en frijoles, también antracnosis (*Colletotrichum lagenarium*) en pepino utilizando como base el extracto acuoso de *C. citriodora*.

Estas contribuciones se relacionaron de manera directa e indirecta con el estudio que se desarrolló; pues unas han concluido en que el género *Corymbia* se han destacado en ventajas, y otras en resultados no tan favorables para la producción de madera para pulpa, madera para construcción civil y para carbonización; de manera que se utilizaron estos basamentos para la propuesta del uso del mencionado género y sus híbridos como

alternativa para la producción de pulpa para papel y otros usos maderables en Venezuela; y específicamente, en el estado Cojedes.

En la revisión bibliográfica, se hizo énfasis en los antecedentes internacionales, por no encontrarse estudios científicos en el país referidos al tema.

2.3.2 Ámbito Nacional

La experiencia de investigaciones previas en Venezuela, son muy escasa; inclusive, el género *Eucalyptus*; y aún más, la del género *Corymbia*, podría decirse que no la hay. De allí la importancia de este estudio, el cual representa un potencial para incursionar en el tema del área de estudio específica.

2.4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.4.1 El Género *Corymbia*

Es originario de Australia. Se adapta muy bien a la zona tropical y subtropical.

En el mundo, la introducción del género *Corymbia* ocurrió identificado como *Eucalyptus*. Dicho género fue sometido a una revisión taxonómica en la década de 1990, basada en los caracteres morfológicos distintos. En Australia, se realizó una revisión del género a partir de 1995 (Smith, Henson y Boyton, 2007), por lo que su estudio es muy reciente.

Hill y Johnson (1995) propusieron una nueva clasificación para este género, excluyendo las especies llamadas “bloodwood”, que anteriormente pertenecían al género *Eucalyptus*, formando con ellas el género *Corymbia*, que incluye 113 nuevas especies.

Las especies más relevantes del género *Corymbia*, para la producción comercial de madera en Australia, pertenecen a la sección *Maculata*, comúnmente conocida como goma manchada; estas son: *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora*, *Corymbia citriodora* subsp. *variegata*, *Corymbia maculata*, *Corymbia torelidora* y *Corymbia henryi* (Maraseni, Cockfield, y Maroulis, 2009).

La calidad de la madera es excelente en estas especies, por sus propiedades físicas favorables (resistencia, durabilidad, color y granulometría), lo que las hace adecuadas para su uso en la construcción civil, aserraderos, construcción naval, pisos, postes, botalones, contra enchapado y bioenergía (Bootle, 2005).

Para el proyecto forestal DEFORSA, las principales especies del género *Corymbia* se denominan:

Corymbia citriodora subsp. *citriodora* (Hook.) (Hill & Johnson, 1995).

Corymbia torelliana (F. Muell.) (Hill & Johnson, 1995).

Corymbia citriodora subsp. *variegata* (F. Muell.) (McDonald y Bean, 2000).

Las especies se cruzan muy bien entre si y los híbridos resultantes han sido el componente principal del estudio que se realiza buscando obtener el material más adecuado a la producción en campo y de pulpa para papel en la planta de procesamiento industrial y otros usos maderables como: carbón, estantillo, botalones, paletas, etc.

Este género pertenece al grupo de las *Angiospermas*, del orden *Myrtales* y de la familia *Myrtaceae*. Las características morfológicas y condiciones agroclimáticas son diversas; por esto se especificarán según la especie en la subsección sucesiva inmediata.

2.4.2 Descripción morfológica y exigencias climáticas

Corymbia citriodora subsp. *citriodora*

Las características morfológicas son: Es un **ÁRBOL** perennifolia (mantiene sus hojas durante todo el año); es recto, de porte alto y puede alcanzar cerca de los 40 m de altura. **TALLO** de corteza uniformemente lisa que se desprende en láminas irregulares, dejando expuesta una superficie blanca, gris-azulado, algunas veces persistiendo en la parte basal del tronco. **HOJAS** caracterizadas por un fuerte olor a citronela; posee en la fase juvenil hojas alternas, estrechas a largo-lanceoladas, algunas veces peltadas, pecioladas, hirsutas, con los bordes onduladas pudiendo ser de color púrpura en su parte inferior. Las hojas maduras son alternas, estrechas-lanceoladas, algunas veces falcadas, pecioladas, verde-oscuro en ambos lados, presentan de 10 a

20 cm de largo con las nervuras secundarias, divergiendo en 45 grados en relación a la principal. **INFLORESCENCIAS** axilares, compuestas, pedúnculo de 4-12 mm, achatado y angular. **BOTONES** 6-10 mm. **FLORES** blancas formadas por racimos presentando de 4 a más flores, de estambres blancos, pedúnculos cilíndricos y acampanulado de 3-7,5 mm, opérculo 1-3,5 mm, cuyos botones poseen un opérculo cónico y ligeramente rostrado (Flores, Alvares, Souza, y Stape, 2016). **FRUTOS** tipo cápsula, globosos, dehiscentes, de 7-15 x 8-11 mm, con 3 a 5 válvulas bien salientes (Flores et. al., 2016). **SEMILLAS** de tamaño diminuto, cimbiformes, no aladas y negras (Flores et al., 2016) (Figura 1).



Figura 1. Árbol de *Corymbia citriodora* subsp *citriodora* (a). Botenes (b) y flores (c).

Las principales exigencias climatológicas que requieren las plantaciones de *Corymbia citriodora* son: temperatura media anual entre 18 a 25 °C; precipitación entre

800 a 2000 mm/año; y una altitud de 0 hasta 1100 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar) (Flores et. al., 2016).

Corymbia torelliana

De acuerdo con Lorenzi, Souza, Torres, y Bacher (2003) y Boland, et. al. (2006), la especie presenta las siguientes características morfológicas:

ÁRBOL es recto, de porte alto y puede alcanzar cerca de los 40 m de altura. **TALLO** de corteza áspera, persistente, delgada y de color marrón grisáceo, que se denotan en pequeñas placas en el tercio inferior, uniformemente liso en la parte superior, de color gris a gris verdoso. **HOJAS** alternas, sin aroma típico. El pecíolo de 8-18 mm de largo, lámina 4-17 x 1,3-7,3 cm, generalmente la hoja es elíptica, a veces ovalada, ápice acuminado, base redondeada, bordes pubescentes. Las hojas adultas son de color verde-oscuro. **INFLORESCENCIAS** umbelas terminales dispuestas en panícula con pedicelos hirsuto-pubescentes. **BOTONES** florales de 6-9 mm, presentan forma ovoide, con ápice cónico y corto. **FLORES** blancas, vistosas y numerosas. Pedicelo de 1-5 mm de largo, receptáculo 4-7x 4-6 mm, de forma cónica corta, opérculo de 3-5 mm de largo. La floración puede ocurrir durante todo el año, pero abunda en el verano (Hodel, 2012). **FRUTOS** 9-12 x 9-11 mm, ovoide-esféricos, de color gris, leñosos, dehiscentes, con 3 valvas inclusas. **SEMILLAS** ovoide a cimbiformes, no aladas, marrón-rojizas o púrpura y con hilo ventral (Figura 2).



Figura 2. Árbol de *Corymbia torelliana* (a). Flores (b) y botones (c).

Las principales exigencias climatológicas que requieren las plantaciones de *Corymbia torelliana* son: temperatura media anual entre 21 a 25 °C; precipitación entre 1400 a 2400 mm/año; y una altitud de 0 hasta 900 m.s.n.m (Flores et. al., 2016). Es exigente en suelos de alta fertilidad, con textura mediana y buen drenaje, además presenta una elevada capacidad de retención de agua (Boland, et al., 2006).

Corymbia citriodora subsp. *variegata*

Las características morfológicas de esta especie (Brooker y Kleinig, 2006), son: **ÁRBOL** mediano a muy alto, entre 25 a 35 m. **TALLO** corteza suave, que se desprende en pequeños copos irregulares, de color blanco a rosado o cobrizo, volviéndose gris con la exposición, a menudo con una apariencia moteada. **HOJAS** juveniles pecioladas, opuestas, alternadas, elípticas a ovaladas, hasta 18 x 6 cm, peltadas, descoloridas, verdes. Pecíolos y hojas peludas. Hojas adultas pecioladas, alternas, lanceoladas, 17 x 3 cm, con coloraciones verdes, ligeramente brillantes, con pequeñas y numerosas glándulas sebáceas. **INFLORESCENCIAS** agrupadas, 3-7 flores; pedúnculos de hasta 1 cm de largo. **BOTONES** pedicelados, hasta 1,1 x 0,7 cm, sin cicatriz, receptáculo cupular, opérculo cónico. **FLORES** blancas a crema. **FRUTO**

pedicelado, acampanado a ligeramente urceolado, 1,4 x 1,1 cm; disco descendente; válvulas 3 o 4, profundamente encerradas. **SEMILLA** marrón rojizo oscuro a rojo negruzco, lustrosa, no aladas (Figura 3).

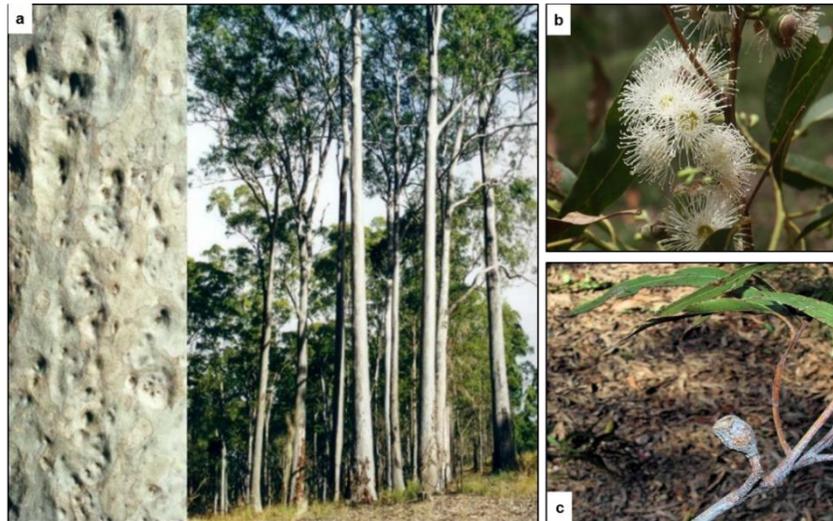


Figura 3. Árbol de *Corymbia citriodora* subsp. *variegata* (a). Flores (b) y botones (c).

Las principales exigencias climatológicas que requieren las plantaciones de esta especie son: temperatura media mensual alta/baja: 20-30 °C/8-9 °C; precipitación entre 600 a 2000 mm/año; y una altitud de 30 a 1100 m.s.n.m (Boland, et al., 2006).

2.4.3 Algunas propiedades de la madera

La *Corymbia citriodora* presenta alta densidad (867 kg/m³) y muy buena para el trabajo referido al aplanamiento, lijamiento, perforación y acabado. Es una madera excelente para aserradero, pero se hace necesario el uso de técnicas apropiadas de desdoble con el objetivo de minimizar los efectos de las tensiones de crecimiento. Otra característica importante son los colores bien diferenciados entre la albura y el cerne; la albura es la parte joven de la madera correspondiente al último anillo de crecimiento, y es blanco amarillento, sin brillo, mientras que el cerne es marrón (IPT, 1997).

La madera de *Corymbia torelliana* tiene una densidad básica a los 15 años de 597 Kg/m³. El cerne posee una coloración que varía de castaño-claro a marrón (Segura, 2015).

En *Corymbia citriodora* subsp. *variegata*, la densidad a los 9 años es de 712 Kg/m³. Esta especie se ubica en una posición destacada para acceder a los estratos más altos de la cadena de valor; por ejemplo: pisos y vigas (Genes y López, 2016).

2.4.4 Importancia del papel en la cotidianidad de la vida

La fabricación de papel es una de las prácticas más antiguas desarrolladas por la humanidad. Su importancia en la vida de los seres humanos sirve como un indicador del patrón de calidad de vida, mientras más consumo per-cápita mayor es el desarrollo humano. Su incorporación a la cotidianidad de nuestras vidas, no nos permite percibir ni reflexionar sobre cómo sería nuestra vida sin el papel. No es posible imaginar el límite del desarrollo de la informática, el papel aun es el principal medio utilizado para la transmisión de la información, escrita o impresa, sin contar con los otros usos como: el papeles higiénico, papel para embalajes, billetes usados como monedas, servilletas, toallas, entre otros productos que se usan diariamente en los hogares, fábricas, empresas, comercios, etc. El papel hace parte de nuestra vida, desde que despertamos en la mañana hasta que nos acostamos en la noche.

2.4.5 Manejo Forestal Sustentable y Adaptativo

El incremento poblacional en el mundo, de manera acentuada en las regiones tropicales, determina una demanda desordenada y creciente de los recursos forestales, atendiendo sus propias necesidades así como también en otras áreas del planeta. Sin duda, son situaciones que crean una elevada agresividad a la preservación y conservación de los recursos genéticos de las diversas especies forestales y vegetales, estas acciones están intrínsecamente ligadas a políticas locales que determinen acciones protectoras con el propósito de evitar o mitigar la ocurrencia de pérdidas irreversibles de especies (Ab`Sáber, Rodés, y Zulauf, 1996).

La madera es un material que presenta características únicas: es ligera, resistente, fácil de trabajar, económica y de gran belleza. Con los programas de reducción de emisiones de carbono que hoy día se tienen presente en el planeta, la madera es uno

de los recursos más relevantes; por ejemplo, en la construcción, por su condición de ser un elemento ambiental renovable.

A nivel mundial, la madera es el único material que recibe una acreditación de la sustentabilidad por parte de organismos independientes, mediante programas internacionales de certificación de bosques, como por ejemplo: El Consejo de Administración Forestal (Forest Stewardship Council o FSC, por sus siglas *en inglés*), el Programa de Reconocimiento de Sistemas de Certificación Forestal (Programme for the Endorsement of Forest Certification o PEFC, por sus siglas *en inglés*), la Iniciativa Forestal Sostenible (Sustainable Forestry Initiative o SFI, por sus siglas *en inglés*) y organizaciones como el Sistema Americano para Pequeños Productores Forestales (American Tree Farm System o ATFS, por sus siglas *en inglés*).

La madera también presenta características muy peculiares, las cuales le dan un realce especial, así como: es reutilizable, reciclable y se puede utilizar como combustible de biomasa, además es biodegradable.

El desarrollo sustentable determina la aplicación de un planeamiento adecuado al proceso de la producción, tanto agrícola como forestal. Según Silva (2002) es necesario identificar y proteger las áreas para que se mantenga su potencial hídrico, su biodiversidad y demás servicios ambientales. Los espacios productivos deben recibir técnicas eficientes de manejo que permitan la producción de los rubros agrícolas y forestales. La actividad agrícola así como la forestal, provocan modificaciones en la ordenación y uso de los ecosistemas, que pueden llevar a desviaciones o alteraciones al ciclo hidrológico, de los nutrientes naturales y, de las interrelaciones e interacciones entre los organismos.

Según Lima (2009), el manejo sustentable implica, la existencia de una unión entre los recursos forestales y los demás elementos del ecosistema; incluyendo el flujo de energía, el ciclo hídrico y de los nutrientes.

La sustentabilidad garantiza las necesidades de las generaciones futuras de acuerdo a las decisiones que se adopten previamente. La resiliencia y la productividad de los bosques bien gestionados brindan la oportunidad de satisfacer las necesidades

de muchas generaciones. En los últimos 40 años este concepto de la sustentabilidad y la propia actividad forestal se han profundizado y hoy día cualquier proyecto que se implemente debe llevar en consideración estos conceptos, una vez que es el garante de la continuidad del mismo (FAO, 2012).

El Manejo Forestal Sustentable (MFS) tiene una visión ecosistémica, integral y de uso múltiple, orientado a la obtención de rendimientos aceptables de variados bienes y servicios. En la actualidad, hay una mayor concienciación de la importancia de conceptualizar y aplicar el manejo forestal como un proceso adaptado a las estrategias y objetivos exclusivos, considerando los cambios durante todo el proceso; es decir, donde se tomen decisiones que contribuyan al alcance de la sustentabilidad. Para esto es necesaria la flexibilidad en el manejo y su adaptación al contexto donde se ejecute.

La experiencia de los bosques plantados bien gestionados, demuestra un aporte a los servicios ambientales, generación de empleo, entre otros aspectos socio-económicos. De todo lo anterior se deriva el concepto de Manejo Forestal Adaptativo donde se planifica con los recursos y los conocimientos que se tienen, considerando en todo momento los principios generales del MFS (FAO, 2016).

2.4.6 La introducción del género *Eucalyptus* y *Corymbia* en Venezuela

En Venezuela se han establecidos varias especies de *Eucalyptus*, en las zonas altas de los Andes y en las zonas bajas del Oriente y Centro Occidente del país. El género *Eucalyptus* fue introducido en Venezuela por la compañía Gran Ferrocarril de Venezuela, a principios del siglo XX, principalmente a lo largo de la vía Caracas – Los Teques. En el año 1961; en “El Encanto”, municipio Los Teques, estado Miranda; se plantaron 105 ha. en 1961 con semillas procedentes de Australia; en “La Carmela” (Instituto Pigantelli), Los Teques, estado Miranda; se plantaron 10 ha.; en Macarao, Distrito Federal, 2 ha.; en Papelón, camino al Pico Ávila en Caracas, Distrito Federal, 4 ha (Ilija, 1967).

También hay referencias de estudios hechos en plantaciones encontradas en la zona de los Valles del Chama y del Mocoties en el estado Mérida, principalmente las

plantaciones de Glorias Patrias (7.600 m²), Carretera Mérida – Ejido (4.600 m²), Granja del Ministerio de Agricultura y Cría (MAC) en Mucuruba, Finca El Choro de Cucute, plantaciones de fresno en Bailadores y Granja MAC de Mucuchies. Las especies mayormente utilizadas en las plantaciones son: *Eucalyptus glóbulos*, *Eucalyptus robusta* (Pirela, 1955).

En ensayos realizados en Sierra Imataca, Territorio Federal Delta Amacuro y manejados por el personal del proyecto MAC/FAO/Ven 05 se lograron rendimientos de 35 m³/ha en *Eucalyptus grandis* durante los primeros años de observación. En las sabanas de mesa de los Hachos en Anzoátegui, el proyecto “Forestor” logró superar los 20 m³/ha en terrenos muy marginales para esta especies.

El MAC en el año de 1948, introduce en los andes merideños (Mucurubá, Mococón y Cacute) especies de *Pinus* con el propósito de recuperar áreas muy degradadas por prácticas agrícolas inadecuadas. Estos proyectos de introducción de especies forestales son retomados por el Instituto de Silvicultura de la Universidad de Los Andes, en la cuenca de La Mucuy y la Cuenca Alta del Río Santo Domingo (Finol, 1988 citado por Briceño, 2005). Varios ensayos como estos, fueron instalados en otras regiones del país, destacándose el Proyecto de Casadero, en el estado Táchira, donde a partir de 1976 se utilizaron: *Pinus caribaea*, *Pinus oocarpa*, *Eucalyptus camaldulensis* y *Eucalyptus tereticornis*, con el objeto de recuperar áreas degradadas por la explotación de carbón mineral a cielo abierto (Franco, 1986 citado por Briceño, 2005).

En el año 1975 es creada la empresa Compañía Nacional de Reforestación (CONARE), quien asumió todos los proyectos del MAC.

Otra fecha importante en el sector forestal venezolano, es el año 1988; con la creación de la empresa C.V.G PRODUCTOS FORESTALES DE ORIENTE C.A. (CVG- PROFORCA), cuyo principal propósito fue unificar todas las operaciones relacionadas con el establecimiento, manejo y aprovechamiento de las plantaciones de *Pinus caribea* en el oriente del país, plantaciones estas que fueron establecidas a partir del año 1961.

En 1988, se emitió el Decreto 2026 referido a las Normas para el Establecimiento de Plantaciones Forestales Comerciales y de Uso Múltiple (Venezuela, 1988). Este instrumento legal procura establecer las bases para el registro de plantaciones ante el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, con el objeto de normar su posterior aprovechamiento. Aunque estas normas eran necesarias, las disposiciones legales no contenían estímulos para esta actividad económica. Razón por la cual, no se han aprovechado estas experiencias ni el enorme potencial de tierras, para uso forestal en el país.

Un marco importante para el sector forestal venezolano en relación a los géneros *Eucalyptus* y *Corymbia*, es la visita del Ingeniero Dr. Lamberto Golfari, consultor de la FAO en el año 1992. El Dr. Golfari fue una de las personas más importantes en la zonificación de las áreas aptas para el cultivo de los géneros *Eucalyptus* y *Corymbia*, siendo uno de los responsables de trabajos desarrollados en varias partes del mundo. En Latinoamérica se destacan sus recomendaciones técnicas y científicas, específicamente en Brasil, Argentina y Uruguay.

El Dr. Golfari, en su visita a Venezuela, realizó inspecciones técnicas en los estados: Miranda, Aragua, Carabobo, Portuguesa, Trujillo, Mérida, Cojedes, Guárico, Monagas, Anzoátegui y Bolívar; ratificando la existencia de un gran potencial para la introducción de proyectos forestales de los géneros *Eucalyptus*, el mismo mostró una atención especial a los llanos de Venezuela, por sus excelentes condiciones climáticas que favorecerían el mejor desarrollo de los géneros (Golfari, 1992).

El propósito de la visita del experto, fue instalar ensayos de introducción de especies, y a su vez; diseñar la primera y única zonificación ecológica en Venezuela. En esta zonificación los parámetros analizados fueron: latitud, longitud, piso altitudinal, temperatura, precipitación y balance hídrico.

Para los ensayos, fueron determinados dos pisos altitudinales. El primero; denominado Piso Tropical: de 0 hasta 500 m.s.n.m; y el segundo, Piso Pre montano: de 500 hasta 1500 m.s.n.m.

Estos ensayos fueron instalados en un área aproximada de 80 ha en los estados Barinas, Apure, Portuguesa, Cojedes, Guárico, Monagas, Yaracuy y Trujillo. Las parcelas fueron hechas utilizando semillas provenientes de rodales semilleros naturales del norte de Australia e islas del archipiélago Indonecio (Flores, Alor) y Timor, que en aquel entonces, no se había independizado de Indonesia (Anexo A).

Las semillas fueron adquiridas por la empresa CONARE, de la organización Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) a través de su División Forestal, el mismo fue una agencia independiente del gobierno federal australiano responsable de la investigación científica. Su función principal es mejorar el desempeño económico y social de la industria en beneficio de la comunidad. Está localizado en la ciudad de Camberra, Australia.

CONARE, por recomendación del Dr. Golfari; compró semillas de 13 especies de los géneros *Eucalyptus* (Anexo A) Los resultados esperados de estos ensayos según Mendonza, Gutierrez y Sulbaran, (1992); ejecutivos de CONARE, eran los siguientes:

- Determinación de la adaptación de especies y procedencias de *Eucalyptus*, con rendimientos satisfactorios para la ejecución de programas de plantación a gran escala.
- Lograr la coordinación efectiva para la ejecución del ensayo así como para el manejo y aplicación de los resultados con organismos públicos y privados afines.
- Un grupo de personal calificado y capacitado para llevar adelante el proceso de seguimiento, control, evaluación y aplicación de resultados del proyecto en el tiempo.
- Banco de datos y de información sobre *Eucalyptus* intercambiables a nivel nacional como internacional.

En el año 2013, DEFORSA, en asociación con la Facultad Ciencias Forestales y Ambientales, de la Universidad de Los Andes (ULA), patrocinó una expedición exploratoria en los Andes venezolanos, específicamente en los estados Mérida y Táchira; con el propósito de ubicar, identificar, recolectar semillas y polen de árboles de las especies de *Eucalyptus*. Fueron identificados materiales de las siguientes especies: *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus pulvurulenta*,

Eucalyptus microcarpa, *Eucalyptus resinifera*, *Eucalyptus robusta* y *Eucalyptus* spp., los materiales rescatados se encuentran en los laboratorios de la empresa.

2.5 MARCO LEGAL

La Ley Orgánica del Ambiente ([LOA], Venezuela 2006) en su artículo 23, numeral 1; trata sobre: “La conservación de los ecosistemas y el uso sustentable de éstos asegurando su permanencia”; en el numeral 2, reza “La investigación como base fundamental del proceso de planificación, orientada a determinar el conocimiento de las potencialidades y limitaciones de los recursos naturales, así como el desarrollo, transferencia y adecuación de tecnologías compatibles con el desarrollo sustentable” y en el numeral 5 “La evaluación ambiental como herramienta de prevención y minimización de impactos del ambiente”.

La Ley de Bosques ([LB], Venezuela 2013), en sus artículos 51, hace referencia al manejo forestal sustentable basado en el conocimiento científico, desarrollando continuamente un área determinada hasta la generación de sus productos, con el objeto de mantener la estructura y funciones de los ecosistemas forestales generando beneficios ambientales, sociales y económicos. El artículo 52, en sus numerales 2, 3 y 5 reza lo siguiente respectivamente: “Evaluación de impactos ambientales y socioculturales”, “Visión integral y de usos múltiples” e “Incorporación de prácticas, técnicas y tecnologías de bajo impacto”.

El Plan Nacional de Desarrollo del Sector Forestal [MPD (2003, Julio)], establece las políticas, estrategias y acciones en materia forestal para prevenir o detener los procesos de deterioro y destrucción de los recursos forestales y ambientales; en función del desarrollo sustentable.

La Ley de Gestión de la Diversidad Biológica ([LGDB], Venezuela 2008) en su artículo 68 reseña los métodos silvopastoriles, el empleo de productos secundarios de los bosques (para este caso de estudio, el bosque plantado) y demás tecnologías alternativas que incentiven al uso sustentable de los recursos biológicos.

En el Plan de Ordenación del Territorio del estado Cojedes ([POTEC], Venezuela 2011), reseña “promover el aprovechamiento forestal sustentable del estado Cojedes”.

Otro de los fundamentos legales importantes en esta actividad son las descritas en las Normas oficiales para la calidad del agua en Venezuela. “Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos” (Venezuela, 1995) en el Decreto 883, artículo 7: “Las actividades que se someterán a la aplicación de este Decreto, de acuerdo a la Clasificación Industrial Uniforme de las Naciones Unidas”; División 34, Agrupación: 341, Grupo: 3411: especifica lo referente a la fabricación de pulpa, papel y cartón de acuerdo a la “Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas de las Naciones Unidas”.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo a Hernández, Fernández y Baptista (2014), esta investigación se enmarca en el *enfoque cuantitativo*.

El tipo de investigación es de *campo* de acuerdo a Arias (2012) ya que los datos fueron recogidos directamente de la realidad donde ocurrieron los hechos; es decir, son datos primarios. No obstante, fue necesario utilizar datos secundarios provenientes de las fuentes bibliográficas, a partir de los cuales se elaboró el marco teórico, siendo los datos primarios obtenidos por el diseño de la investigación los esenciales para darle respuesta a los objetivos planteados.

El diseño es *No Experimental* porque se trató de un estudio donde no se manipularon o controlaron variables; lo que significa, que el investigador obtuvo la información pero no alteró las condiciones existentes; éste observó el fenómeno tal como se dio en su contexto natural, que posteriormente se analizó (Hernández et al., 2014; Arias, 2012).

De acuerdo a Palella y Martins (2012), ubica esta investigación en el nivel *Proyectivo*. Hurtado de Barrera (2010) señala que: “Intenta proponer soluciones a una situación determinada. Implica explorar, describir, explicar y proponer alternativas de cambio, y no necesariamente ejecutar la propuesta”

Lo señalado por Hurtado se aplica a “aquellas investigaciones que conllevan a diseños o creaciones dirigidas a cubrir una necesidad basadas en conocimientos previos”. De allí que el término proyectivo aplica a este trabajo de investigación. En este sentido, el investigador cumplió sus objetivos mediante vías diferentes las cuales implicaron procesos, métodos y técnicas propias.

De acuerdo a lo anterior, esta investigación se adaptó a la modalidad de *Proyecto Aplicado*, definido por Barrios (2009) como:

... la descripción y desarrollo de un proceso que permite resolver un problema complejo, puede crear productos o propuestas detalladas para generar algo nuevo que resuelve un problema o satisface necesidades de productos o servicios, para lo cual deben identificar un problema real, analizarlo, proponer soluciones y aplicar destrezas para generar soluciones innovadoras.

De acuerdo a esta modalidad de investigación adoptada, se fue aplicando el proyecto en su mínima expresión, el cual fue evaluado de acuerdo a los estándares específicos y de sus resultados se propone el uso del género *Corymbia* y sus híbridos en la empresa DEFORSA para la producción de pulpa para papel y otros usos maderables. Cabe destacar, que la construcción esquemática de la investigación, inició en un punto de partida claramente definido, pero no respondió a pasos secuenciales y rígidos sino que se fue dando en distintas situaciones que finalmente coincidieron hasta obtener el producto final de forma coherente y sistemática.

3.2 UBICACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA UNIDAD DE ESTUDIO

El período de ejecución comprende desde 2017 hasta 2019.

A los efectos de la presente investigación, la Unidad de Estudio (UE) se ubica en la empresa DEFORSA situada en el sector El Totumo, Km 12, en los municipios Ezequiel Zamora (anteriormente municipio San Carlos), Rómulo Gallegos y Tinaco del estado Cojedes, Venezuela. Se delimita por los puntos extremos de coordenadas UTM: 557645,292 E - 1062331,36 N, 548646,213 E - 1052049,517 N, 562835,551 E- 1056035,951 N y 545528,11 E - 1053312,546 N (Figura 4).

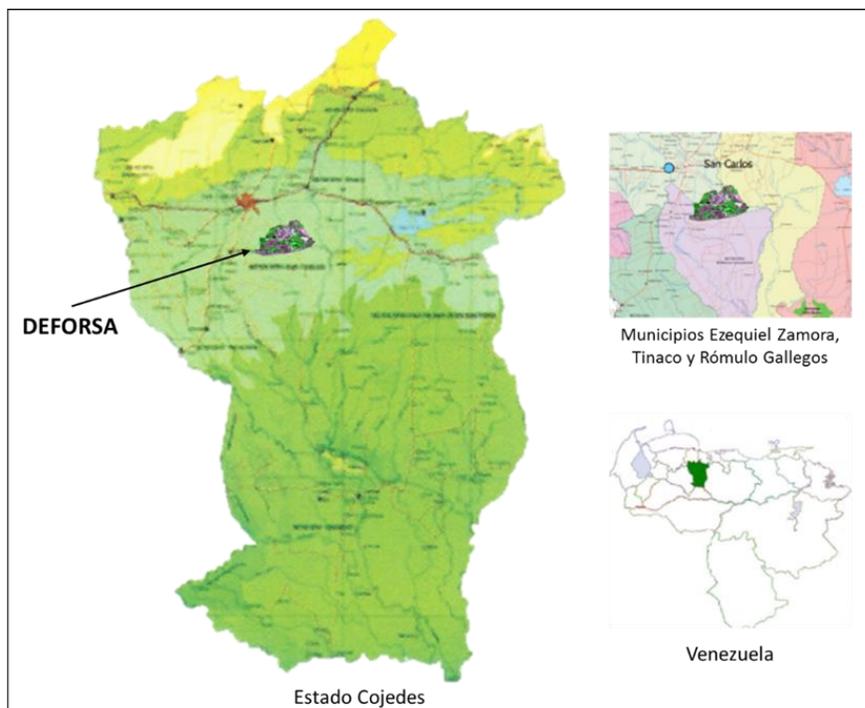


Figura 4. Unidad de estudio y su representación nacional, estatal y municipal.

La superficie total es de 10742 ha; cuya distribución del área fue agrupada por Morante (2017a) según su uso, manejo y aprovechamiento (Figura 5), destacando; que las unidades silvopastoril con eucalipto de alta densidad (madera para pulpa) y la unidad silvopastoril /agrosilvopastoril con eucalipto de baja densidad (madera para estantillos u otros usos), son parte de las áreas potenciales donde se realizó el estudio.

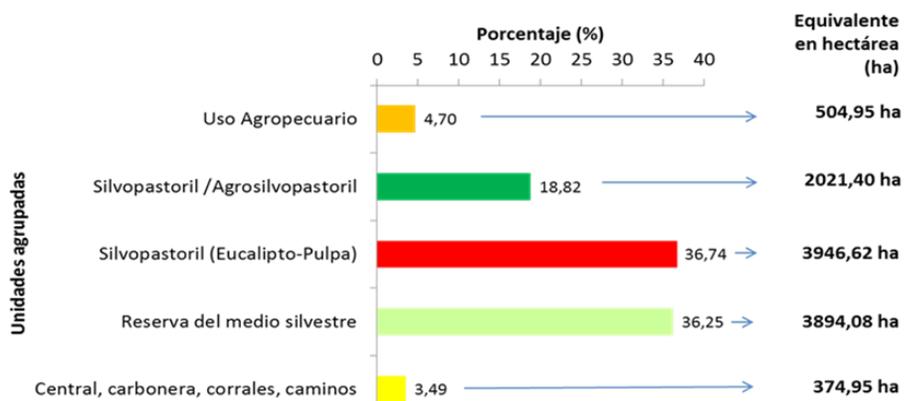


Figura 5. Agrupación de las unidades de uso, manejo y aprovechamiento de la finca. Fuente: Morante (2017a).

Es de acotar, que de acuerdo a la cadena de producción compleja e integral, la materia prima se produce en Cojedes (DEFORSA) y el procesamiento de la pulpa en la Planta PAVECA en la carretera Guacara – San Joaquín, Guacara, estado Carabobo que dista a unos 120 Km.

3.3 DESCRIPCIÓN FÍSICO NATURAL

La Empresa DEFORSA, San Carlos, Cojedes; está conformado por ecosistemas y agroecosistemas; el área total suma 10742 ha. Los ecosistemas lo constituyen los bosques naturales, sabanas y cuerpos de agua; los agroecosistemas, el bosque plantado de eucalipto en mayor proporción; entre otros como: el área de agricultura y pastizales.

Los bosques naturales están representados por relictos de bosques y galeras, los cuales representan corredores ecológicos naturales que se unifican con el bosque plantado. Los bosques se dividen en: Bosque medio denso (Bmd), Bosque medio medio denso (Bmmd), Bosque bajo medio denso (Bbmd) y Bosque bajo ralo (Bbr) según la clasificación de Morante y Aranguren (2017). Las galeras rodean el sur de la empresa y una prolongación más pequeña por el centro.

El Bosque medio denso se caracteriza de acuerdo a la altura de los árboles, esta oscila entre 15 a 25 m y el área de cobertura (área de sombra total) es $\geq 70\%$. La altura de los árboles del Bosque medio medio denso oscila entre 15 a 25 m y el área de cobertura oscila entre 30 – 70%. En el Bosque bajo medio denso, la altura de los árboles es menor a 15 m y el área de cobertura entre 30 – 70%; y el Bosque bajo ralo corresponde a los árboles con altura < 15 m y el área de cobertura $\leq 30\%$.

Las sabanas se encuentran dispersas en toda la superficie con árboles dispersos. Los cuerpos de agua están distribuidos en toda el área de forma estratégica para el manejo del ganado bovino (vacuno y bufalino); además, permite aumentar los hábitats y desplazamientos de diferentes especies de la fauna silvestre. Los cuerpos de agua están conformados por el conjunto de lagunas naturales y artificiales. El Río Orupe por el Este y la Quebrada La Yaguara por el Oeste; es de mencionar, que estos cursos de agua son intermitentes.

En el Anexo B, se presenta la distribución espacial de los bosques naturales, sabanas y cuerpos de agua (Morante, 2017).

El bosque plantado corresponde a la unidad Silvopastoril con eucalipto de alta y baja densidad. El silvopastoril de alta densidad (1111 plantas/ha), se cosecha a los 6 - 7 años y el producto obtenido, es pulpa para papel el cual es vendido directamente a planta procesadora (PAVECA) de la misma empresa situada en el estado Carabobo. Los residuos de cosecha (madera entre 4 y 8 cm de diámetro) son destinados a la producción de carbón. El ganado pastorea entre la plantación con una carga animal de 0,5 UA/ha. El material vegetal no es pasto introducido, sino un componente vegetal silvestre.

El silvopastoril de baja densidad (250 – 416 plantas/ha), se cosecha entre los 14 - 16 años y los productos obtenidos son: estantillos y botalones para la venta directa; y paletas y puntales para el aserradero de la misma empresa. El ganado pastorea entre la plantación con una carga animal de 0,75 UA/ha. Los pastos son establecidos entre los eucaliptales.

En la tabla 1, se especifican las unidades de uso, manejo y aprovechamiento, y su expresión en área (ha) y porcentaje (%). En el Anexo C, se presenta la distribución espacial de todas las unidades de la Tabla 1.

Tabla 1

Unidades de uso, manejo y aprovechamiento en la Empresa DEFORSA.

Unidad	Área (ha)	Porcentaje (%)
Agricultura	56,78	0,53
Pastizal	448,17	4,17
Silvopastoril con Acacia	110,29	1,03
Silvopastoril con Merey	3,22	0,03
Silvopastoril con Teca	5,17	0,05
Silvopastoril con eucalipto a baja densidad	1675,77	15,60
Silvopastoril con eucalipto a alta densidad	3946,62	36,74
Agrosilvopastoril	226,95	2,11
Cuerpos de agua o zona de inundación*	353,42	3,29
Sabanas naturales o zonas sin vegetación*	615,28	5,73
Bosque medio denso*	608,96	5,67
Bosque medio medio denso*	826,71	7,70
Bosque bajo medio denso*	686,42	6,39
Bosque bajo ralo*	803,29	7,48
Carreteras y caminos**	356,65	3,32
Otros usos	18,30	0,17
TOTAL	10742,00	100,00

*Unidades correspondientes al Área de Reserva del medio Silvestre.

**Unidad imprescindible para la accesibilidad a toda la finca y función de cortafuego.

Fuente: Morante (2017b).

Con respecto al relieve, es principalmente plano, con una cota mínima de 110 m.s.n.m. y una cota máxima de 240 m.s.n.m. El 87% de la superficie se encuentra entre la cota 110 – 130 m.s.n.m.

El 70% de la superficie (7441 ha) presenta pendientes que oscilan entre 0 a 1%; y el 19% (2062 ha), entre 2 – 5%. El 11% (1200 ha) son colinas con pendiente entre 6 – 25%; y menos del 1% de la superficie (43 ha) el relieve es abrupto con pendientes entre 26 – 60% (sur).

Los suelos, corresponden a la clase III hasta la VII, según la clasificación de Capacidad de Uso del Suelo de Strebin y Larreal (1989). Estos suelos presentan restricciones en cuanto a fertilidad, drenaje y erosión; y poco profundos. Según los Registros de análisis químicos realizados en la Universidad Central de Venezuela -

Maracay, en los archivos de la empresa, indican que son suelos muy pobres en nutrientes, ácidos y de textura de media a arcillosa.

DEFORSA, realizó una clasificación de los suelos de acuerdo a la unidad de manejo, en este sentido, se determinaron 4 unidades que solo corresponden a las áreas del bosque plantado. Estas se especificarán en el Capítulo IV.

La temperatura oscila entre 27 a 32°C (Paredes, 2009); la evaporación de 1807 mm/año (Estación pluviométrica de la UNELLEZ del año 2008. Dato extraído de la dirección Estatal Cojedes).

La precipitación promedio anual es 1410 mm/año (Cálculos propios con datos procedentes de 3 estaciones pluviométricas fijas procesada desde 1997 – 2018). A continuación, se presentan los gráficos de la figura 6, 7 y 8 correspondientes a la precipitación promedio anual (mes), precipitación promedio anual y la precipitación promedio mensual respectivamente.

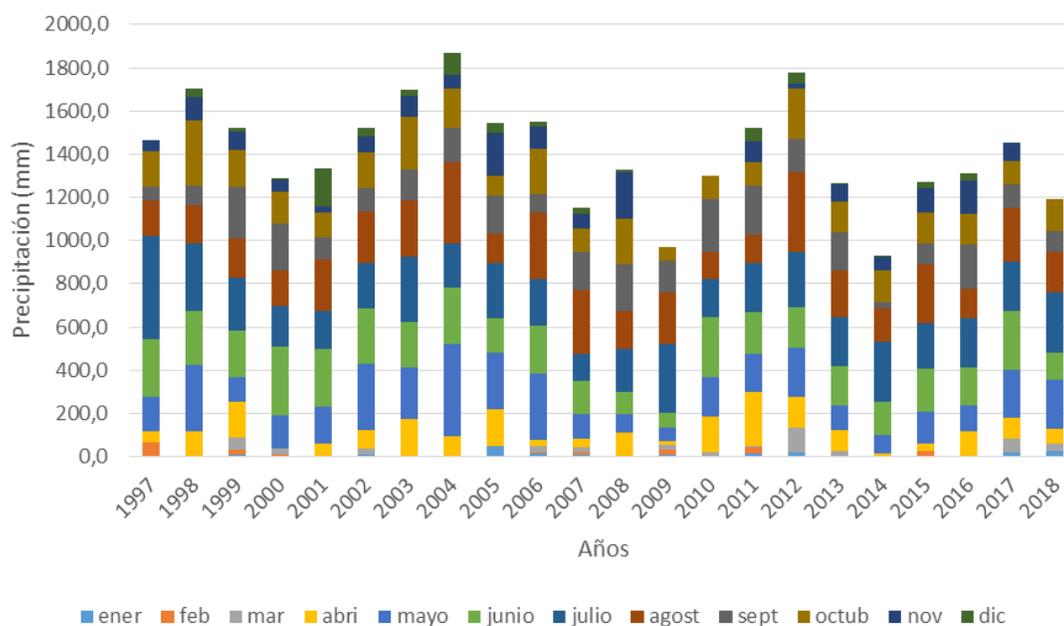


Figura 6. Promedio anual de la precipitación (mes). Período 1997 – 2018.

Fuente: Datos procesados por Osvaldo Navegante de las Estaciones pluviométricas DEFORSA.

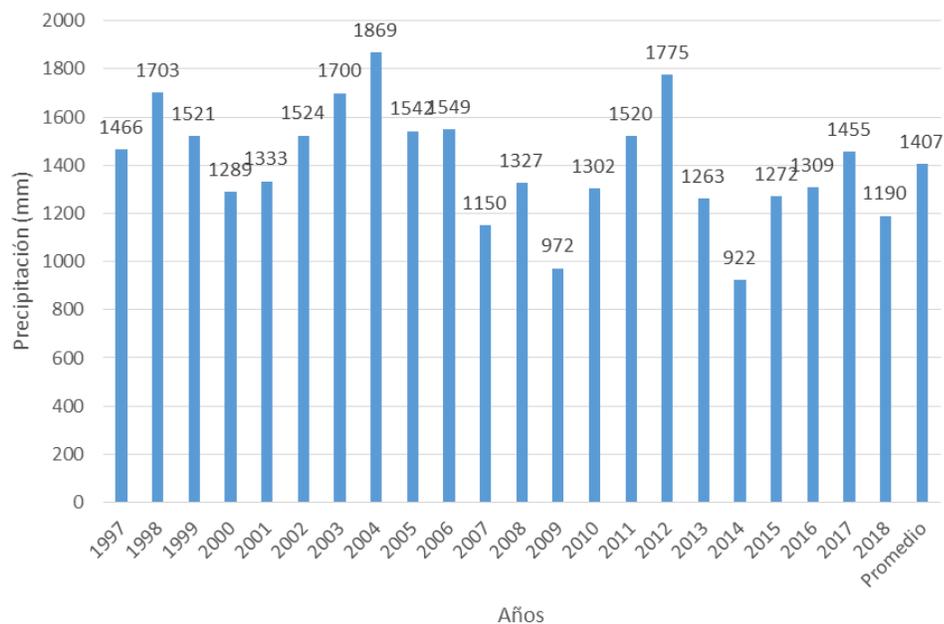


Figura 7. Promedio anual de la precipitación. Período 1997 - 2018.

Fuente: Datos procesados por Osvaldo Navegante de las Estaciones pluviométricas DEFORSA.

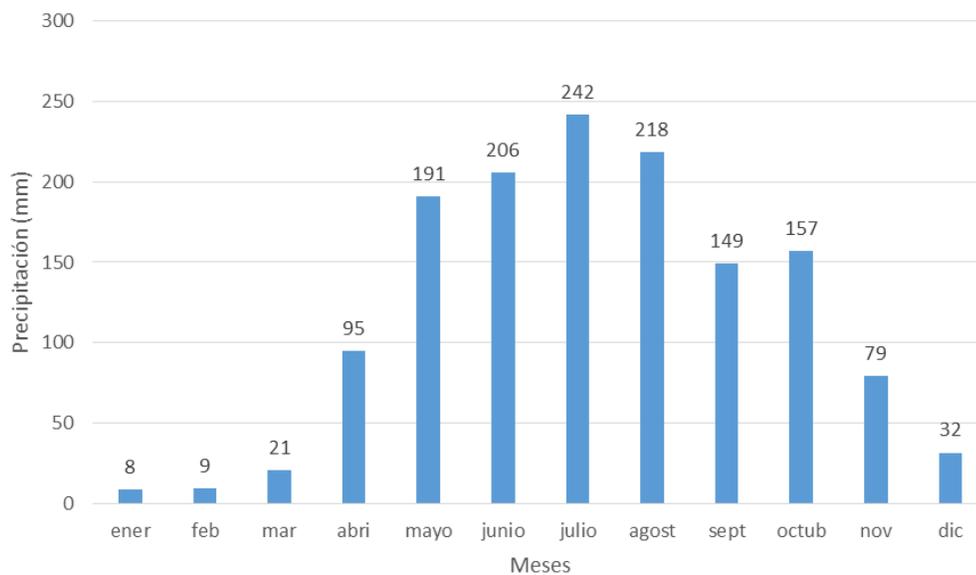


Figura 8. Promedio mensual de la precipitación. Período 1997 – 2018.

Fuente: Datos procesados por Osvaldo Navegante de las Estaciones pluviométricas DEFORSA.

3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Fase I. Descripción del panorama de las especies forestales usadas en el mundo y en el país, para la producción de pulpa, papel y productos maderables: esta fase se fundamentó estrictamente en la revisión bibliográfica, registros, documentos e informes.

Fase II. Caracterización del género *Corymbia*, en los proyectos forestales de PLANFORGUA-Guatemala y DEFORSA-Venezuela: se apoyó en la revisión bibliográfica y documentos; observaciones directas en vivero y campo, y revisión de los registros e informes internos de la empresa.

Fase III. Evaluación de los resultados del comportamiento del género *Corymbia* en las plantaciones en campo y en la planta de pulpa en todo su proceso: se tomaron en consideración los resultados de los siguientes parámetros:

- Mediciones a través de Sistemas de Inventario Continuo de la empresa (SIF-CUB) donde se procesa el Diámetro Altura de Pecho (DAP), altura de los árboles, Incremento Medio Anual (IMA), entre otros.

- Mediciones con software Selegen–Reml/Blup desarrollado por el Dr. Marcos Deon Vilela de Resende (EMBRAPA-UFV) donde se procesan las estimaciones de los parámetros genéticos necesarios para selección de material, como: valores genéticos y genotípicos, valores fenotípicos, ganancia por la selección y heredabilidad de las características.

- Estudios de las propiedades físicas de la madera (densidad básica), estudio del comportamiento del astillador en planta de pulpa, evaluación visual de la blancura de la madera y calidad de los efluentes líquidos en la entrada del clarificador.

Las especificaciones de cada uno de los procedimientos, son datos y métodos propios y confidenciales de la empresa; acotando, que todos los cálculos y análisis realizados se basaron en las normativas legales y estándares internacionales.

Fase IV. Creación de las estrategias de establecimiento de especies del género *Corymbia* y sus híbridos para la producción de pulpa para papel y otros usos

maderables: a partir de los resultados de la fase anterior, se generaron las estrategias de establecimiento del género en las áreas de la unidad de estudio a través de una metodología flexible que se ajustó a la modalidad de proyecto aplicado.

La estrategia de mejoramiento genético forestal que se creó para el género *Corymbia* se basó en la Selección Recurrente Reciproca Intra Población Sintética (SRRIPS). Adaptada por Osvaldo Navegante Cancio de la metodología descrita por Resende y Barbosa (2005).

En la selección de áreas para la plantación de los híbridos de *Corymbia* TLD fueron estudiadas las unidades de manejo de suelo y los requerimientos del material genético. Estos requerimientos se refieren a la profundidad, drenaje, estructura físico química y textura del suelo.

Cabe resaltar, que se realizaron los análisis con la conformación de un equipo de especialistas en el área de la empresa.

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas e instrumentos utilizados en la recolección de datos se especifican en cada una de las fases de la investigación y en el capítulo IV se mencionan.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DESCRIPCIÓN DEL PANORAMA DE LAS ESPECIES FORESTALES USADAS EN EL MUNDO Y EN EL PAÍS PARA LA PRODUCCIÓN DE PULPA, PAPEL Y PRODUCTOS MADERABLES

4.1.1 El Panorama Mundial

Las principales fuentes de madera utilizada para la producción de pulpa para papel en el mundo son de plantaciones forestales de los géneros *Pinus*, *Eucalyptus*, *Corymbia* y *Acacia*, estos géneros representan el 98% del volumen producido en todo el mundo (Adaptado de la FAO, 2012).

Los árboles de origen del género *Pinus*, frecuentemente son muy utilizados en el mundo para producción de pulpa y papel, siendo el tratamiento químico aplicado para la disolución de la lignina o pasta primaria. Este tratamiento químico produce grandes cantidades de residuos (sólidos y de fibras), que combinado con las grandes cantidades de agua en el proceso, son difíciles de degradar, aumentando los efluentes de carga orgánica e inorgánica a ser tratados. El proceso para el tratamiento de estos efluentes es transcendental para que sean vertidos al ambiente natural. La pulpa producida por la madera de *Pinus* es conocida como pulpa de “fibra larga” (Chaikh, 2010).

En países como Argentina, Uruguay, Brasil, Nueva Zelanda y Australia el *Pinus* crece de tal manera que superan los rendimientos (t/ha/año) donde se encuentran naturalmente. Su madera es la que tiene más opciones si se trata bien, en cuanto a durabilidad debido a que tiene alta capacidad de impregnación (Chaikh, 2010).

El género *Acacia* se encuentra en las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Entre las especies de mayor interés forestal se mencionan: *Acacia mangium*, *Acacia crassicarpa* y *Acacia auriculiformis*. Su expansión se debe a su ciclo corto, morfología, manejo de la madera y por su capacidad de adaptación a diferentes condiciones climáticas y edáficas. El aprovechamiento de los subproductos (raleo, residuos de

aserrín y lodos de papel), sugiere un potencial importante. Adicionalmente, el cultivo se utiliza para recuperar suelos degradados; la asociación simbiótica con bacterias nitrificantes y micorrizas, facilita la toma de nutrientes en suelos de baja fertilidad (Reis, 2018).

Cuando el origen de los árboles es de los géneros, *Eucalyptus*, *Corymbia* y *Acacia*, se aplican procesos químicos-mecánicos en la conversión de madera a pulpa, el rendimiento es más alto, pero el consumo de energía es elevado.

Su madera resulta adecuada para diversos usos: pulpa para papel, consumo doméstico, leñas de alto poder calorífico, producción de carbón vegetal, estructuras de edificios, postes para comunicaciones, piso de madera, pasta celulósica, vigas de mina, taludes y elaboración de tableros de fibras, entre otros.

De la celulosa del *Eucalyptus* y *Corymbia* pueden fabricarse múltiples productos de uso cotidiano: higiénicos, pañales, derivados como el celofán o la cola de empapelar, fórmica y otros laminados, papeles especiales, filtros, papeles electrónicos; así como elaboración de fibras textiles (rayón).

En materia de papel, la FAO – FAOSTAT (2019) indica que el 7% del volumen de papeles producidos en el mundo es de tipo “tissue” (tisú); estos son utilizados con fines sanitarios (Figura 9).

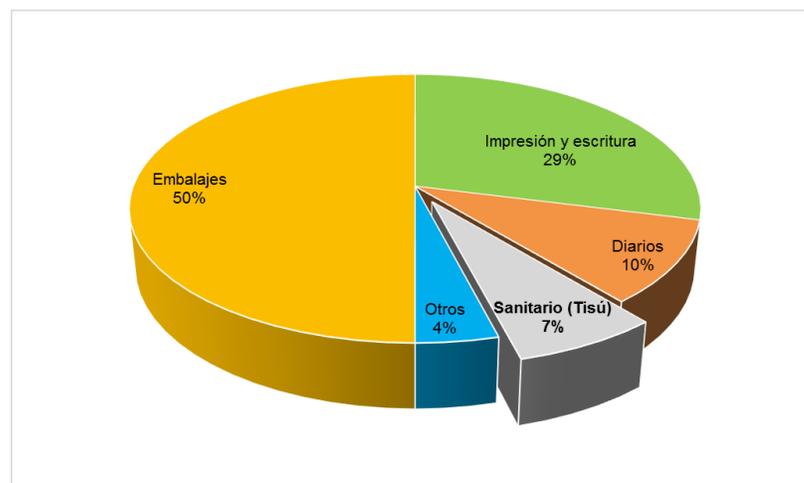


Figura 9. Tipos de papeles producidos en el mundo.
Fuente: FAO-FAOSTAT (2019).

Del total del papel tisú producido en el mundo; 76% es utilizado para la fabricación de papel higiénico, 18% para toallas, 4% para servilletas, y 2% para la fabricación de pañuelos (BNDES, 2014).

En referencia al rendimiento de los procesos químicos-mecánicos de la producción de pulpa, el aprovechamiento puede alcanzar hasta el 95 %; o sea, de una tonelada (1 t) de madera se obtiene 0,95 t de pulpa cuando el proceso es mecánico y la pulpa producida es de color marrón oscuro, siendo necesario utilizar sustancias químicas para blanquearla como el peróxido de oxígeno o agua oxigenada (H_2O_2), el cual tiene la capacidad de transformarse en agua después del uso. Entre otros químicos utilizados para el blanqueamiento de la pulpa se tienen: el cloro o el hipoclorito, y el ozono; pero presentan toxicidad y peligro en el manejo (Boeykens, 2006).

El proceso químico, utilizado en el 72% para la producción de toda la pulpa del mundo, el rendimiento es alrededor de un 60% (Rolon, Mués, Rodríguez, Tucci y Rodríguez, 2016).

4.1.2 El panorama venezolano

Los estudios hechos en Venezuela en relación al mercado de pulpa y papel, son escasos. Según González y Carrero (2007), el país en aquel año, contaba con seis grupos empresariales: Kimberly Clark Venezuela C.A., Le Cartiere, Papeles Venezolanos C.A. (PAVECA), Manufacturas de Papel (MANPA), Smurfit Kappa, Industria Venezolana Endógena de Papel (INVEPAPEL); quienes eran responsables del 72% de la demanda de papel y cartón en el país.

Para el año 1989, Venezuela alcanzó el mayor consumo de papel y cartón con un volumen de 922.000 t, a partir de esa fecha; comenzó a bajar el consumo aparente a un ritmo interanual de 2,7% al año. Para el año 2005, el consumo anual de papel se ubicaba en 560.000 t; en la Figura 10 se observa la tendencia desde 1965 hasta 2005 (González y Carrero, 2007).

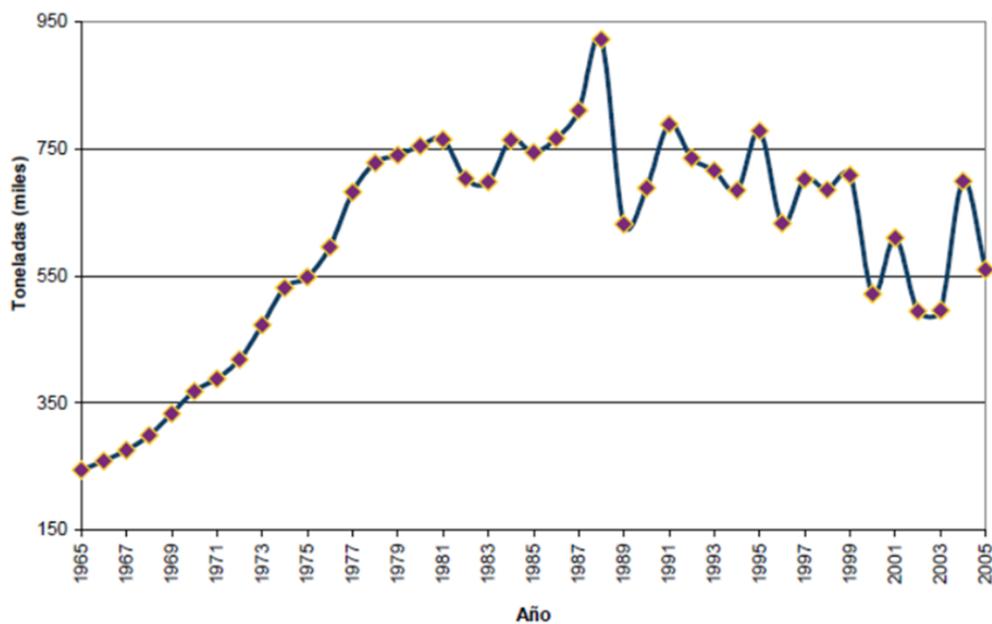


Figura 10. Consumo de papel y cartón en Venezuela.
Fuente: FAO, (2007) y González, (2007).

Así mismo, la Figura 11 muestra la distribución porcentual del consumo aparente de diferentes grados de papel para el año 2005; ubicándose el papel tipo tisú en primer lugar con 28%.

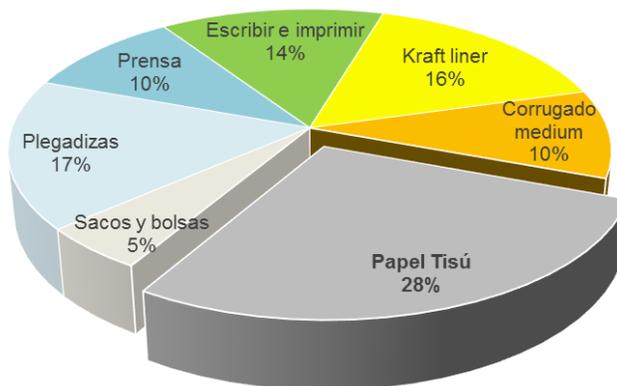


Figura 11. Consumo aparente de los grados de papel, en Venezuela para el año 2005.
Fuente: González y Carrero (2007).

4.1.3 Cadena de suministro de la materia prima – madera

La industria de pulpa y papel en Venezuela, tiene como fuente de abastecimiento, las fibras recicladas y fibra virgen, siendo estas provenientes de plantaciones de rápido crecimiento. La especie de mayor extensión en el país es *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; de fibra larga, plantada por la empresa CVG-PROFORCA, situada en el Oriente.

SMURFIT y DEFORSA, localizadas en el centro occidente del país proveen fibra virgen y corta con sus plantaciones de *Eucalyptus* y *Gmelina* (González y Carrero, 2007). En la actualidad, la empresa SMURFIT no está activa; una vez que en el año 2018 cerró sus operaciones en Venezuela.

El panorama actual del país, es bastante crítico una vez; que de las 6 empresas que operaban en el país; solamente dos están en operación, PAVECA produciendo papel tisú usado como higiénico, servilletas y toallas; y la empresa Le Cartiere, papel especial para papelería de lujo y libros especiales.

4.1.4 Producción de carbón

Otro de los usos al cual es destinada la madera de los bosques, es a la producción de carbón vegetal y la leña como fuente de energía. Hoy día, muchas empresas aun utilizan leña y carbón vegetal como fuentes de energía para fines de: hornear, secado de productos agrícolas, fabricación de ladrillos, entre otros (FAO, 2015). Según la FAO, a nivel global América Latina y el Caribe sólo es superada por África en términos de producción y uso per cápita de carbón vegetal (Figura 12). Brasil no sólo es el mayor productor en la región, sino el país que produce más carbón vegetal en todo el mundo; más del 90 por ciento del carbón derivado de la madera es utilizado por el sector industrial, en la industria metalúrgica.

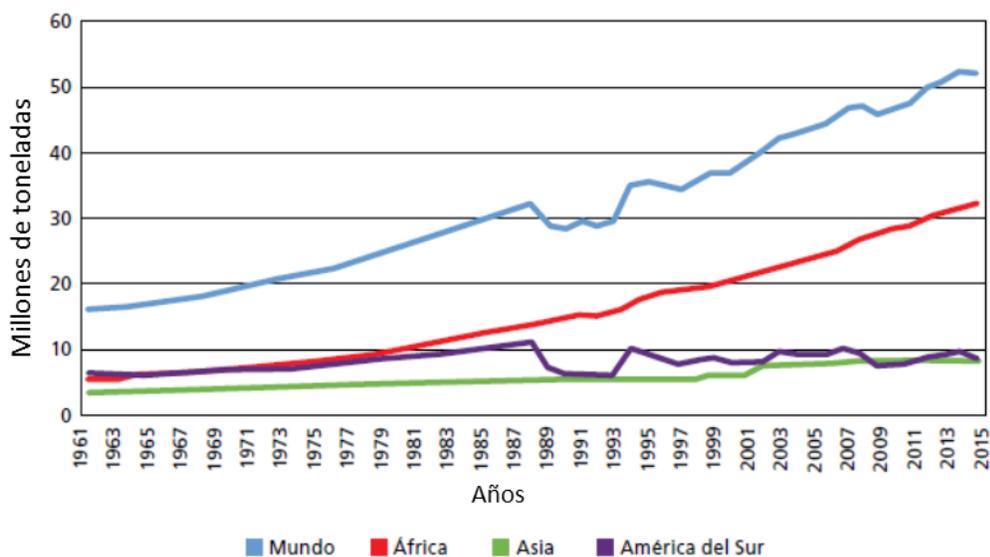


Figura 12. Producción mundial de carbón por región.
Fuente: FAO (2015).

Últimamente se evidencia un incremento de la demanda. Países de África subsahariana, Asia sudoriental, Centro y Suramérica donde ocurre este aumento de la demanda son las regiones que todavía practican un manejo insostenible, contribuyendo de manera negativa a la degradación y deforestación de los bosques, incrementando las emisiones de los Gases del Efecto Inverso (GEI), especialmente cuando este se produce utilizando tecnologías ineficientes. Lo grave es que según estimaciones de la FAO, alrededor del 50% de la madera para la transformación en energía, proviene de los bosques naturales del mundo, afectando a los recursos ambientales como los bosques, la biodiversidad, el agua y los suelos.

Por otra parte el carbón vegetal que se produce con la utilización de madera proveniente de bosques plantados (*Eucalyptus*, *Pinus*, *Corymbia*, *Acacia*, *Gmelina*) y manejados de una forma sostenible y tecnologías mejoradas contribuyen de manera positiva, siendo considerada como una fuente de bajas emisiones netas de GEI, y a su vez; mejora el acceso a la energía y los alimentos, y proporciona oportunidades para la obtención de ingresos.

Hoy en día, se conocen mecanismos y tecnologías sobre la obtención del carbón vegetal disminuyendo las emisiones de GEI a lo largo de la cadena de producción. Para la producción se conocen diversos tipos de hornos: Horno “horizontal”, “Casamance”, “El pozo de carbón”, “Horno de acero” (portátil o transportable), “Colmena”, “El horno Missouri”, “Montículo de Somalia”, entre otros. En Brasil, país que produce la mayor cantidad de carbón vegetal del mundo, la mayoría de los hornos de carbón son rudimentarios, aun con el avance tecnológico en los sistemas de carbonización.

La producción de carbón vegetal en Venezuela se limita a pequeñas empresas ubicadas en el oriente, centro occidente y sur del país, mayormente en áreas con relictos de bosques con maderas duras como el cují (*Prosopis juliflora*) en Falcón y Zulia, y otras especies como algarrobo (*Hymenaea courbaril*) y zapatero (*Hieronyma alchorneoides*) en áreas aledañas a la Reserva Forestal de Imataca en el estado Barinas. Toda la producción está destinada como carbón para parrillas (FAO, 2002b).

Según BRITO (2010), el 60 % de la producción, es realizada en hornos denominados “rabo-quente” también conocido como “Colmena”. Este tipo de horno fue introducido en Venezuela, en el año 2007 por DEFORSA. De acuerdo a las experiencias, se realizaron una serie de modificaciones y mejoras; hoy por hoy, es lo más productivo y eficaz en la producción de carbón en el país. Los rendimientos obtenidos están alrededor de 1Kg de carbón por 5 - 6 Kg madera seca. Los hornos utilizados se muestran en la Figura 13.



Figura 13. Horno tipo “Rabo quente” o Colmena (a). Horno de metal portátil en experimentación (b). DEFORSA.

Fuente: Propia.

Es evidente, que el origen de la madera, para este caso específico, es de plantaciones de eucalipto.

Es conveniente destacar, que no se encontraron registros confiables ni estudios científicos relacionados con las prácticas de producción de carbón vegetal, y en especial; del origen de la madera. Sin embargo, Mora, J.J. Junio 21, 2019. Com. Personal; señala que la obtención de la madera para carbón en Venezuela procede del bosque natural. En Cojedes, la situación es aún más crítica, la tala se sucede en los bosques de galería a las orillas de los cursos de agua y en las sabanas arboladas.

Figuroa, C.A. Mayo 9, 2018. Com. Personal, conoce del procedimiento y técnicas para el proceso de carbonización; pero indica, que en el estado Cojedes se utilizan hornos rudimentarios para la producción de carbón vegetal, obteniendo bajos rendimientos en la mayoría de los casos.

4.1.5 Otros usos maderables

Existen muchas opciones entre las más diversas especies de maderas para la fabricación de muebles; desde maderas tradicionales y baratas, como el pino; hasta muebles de madera de gran valor, con la que se fabrican muebles de lujo. En la terminología tradicional de los fabricantes de muebles es común clasificar los diferentes tipos de madera como: maderas duras y blandas.

Con la reducción de la disponibilidad mundial de maderas originadas de bosques naturales tropicales, en virtud de una sobre explotación del mismo y de un mercado consumidor cada día más exigente en el conocimiento de las técnicas de manejo adoptadas en la obtención de esta madera, las plantaciones forestales de los géneros *Pinus*, *Eucalyptus*, *Corymbia* y *Acacia*, son una alternativa cada día más viable en este reemplazo.

Los géneros *Eucalyptus* y *Corymbia* pueden ser utilizados para la producción de madera aserrada y presentan gran variabilidad de propiedades físico-mecánicas.

Otra de las opciones encontradas en el uso de especies de rápido crecimiento son las técnicas de pegamiento de las piezas, gracias a las tecnologías actuales, este es un mercado de alto crecimiento, que permite el reemplazo de madera de los bosques naturales. La diferencia fundamental es que con la madera tradicional usada en los más diversos usos, se logran tablas, pieza única de madera; mientras que los tableros, son piezas compuesta de varias tablas o de otros materiales de origen vegetal a modo de plancha. Los tipos más comunes de este producto se conocen como: tablero de fibra de densidad media (medium density fiberboard - MDF o MDFB), tablero de fibra de alta densidad (High Density Fiberboard -HDF), tablero de virutas orientadas (Oriented strand board - OSB), tablero aglomerado. El uso de las especies de los géneros *Eucalyptus* y *Corymbia*, ya es una realidad en países como Sudáfrica, Brasil, Australia y otras regiones del mundo (Silva, 2001).

Las especies de los dos géneros también son importantes en varias ramas de la construcción civil y de construcciones en las áreas rurales.

Estos, también son utilizados en la producción de los aceites esenciales, que constituyen la materia prima de las industrias farmacéutica, perfumaría y condimentos. Los aceites esenciales existen de forma natural en varios órganos de las plantas, de un modo muy especial en las hojas. Tales aceites consisten en una mezcla de más de cien sustancias sólidas, líquidas y otras volátiles; son complejas, desde el punto de vista químico, y muy variable en su composición (Silva, 2001).

Los aceites más comunes encontrados en los dos géneros son: cineol, felandreno, piperitone, citronelal, geranil acetate, citral y E-methyl cinnamate.

Las especies más importantes son: *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora*, *Eucalyptus globulos*, *Eucalyptus dives*, *Eucalyptus radiata*, *Eucalyptus staigeriana*, *Eucalyptus camaldulensis*.

Otro uso de gran importancia, es en la apicultura; las abejas son polinizadoras naturales, incrementando la producción de los cultivos agrícolas, producción de miel,

ceras, polen, própolis y otros productos; con razón las mismas son consideradas las perpetuadoras del reino vegetal. (Silva, 2001).

La importancia de los géneros *Eucalyptus* y *Corymbia* en la apicultura se debe a que algunas especies presentan hasta dos floraciones en el año, la calidad de su miel es reconocida a nivel mundial, las flores de algunas especies presentan un contenido de hasta 50% de azúcar, gracias a su gran adaptabilidad a las más diversas condiciones edafoclimáticas, la apicultura encontró un gran aliado en las plantaciones de los dos géneros. Las principales especies de importancia en la apicultura son: *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus drepanophylla*, *Eucalyptus redunca*, *Corymbia citriodora* subp. *citriodora*, *Corymbia toreliana*. (Penfold, 1981 citado por Silva, 2001).

4.2 CARACTERIZACIÓN DEL GÉNERO *Corymbia*, EN LOS PROYECTOS FORESTALES DE PLANFORGUA-GUATEMALA Y DEFORSA-VENEZUELA

4.2.1 El género *Corymbia* en PLANFORGUA-Guatemala

Los dos géneros fueron introducidos (más de 150 especies) por el Sr. Rafael Pinol y Batres (Penfold y Willis, 1961) en diferentes condiciones de clima y suelo.

Guatemala presenta un gran potencial en el suministro de semillas y polen de árboles superiores de los dos géneros: *Eucalyptus* y *Corymbia*.

Grand Bay Paper and Care Products (GRANDBAY) es una empresa multilatinas que se dedica a la fabricación, conversión y comercialización de productos y soluciones de cuidado personal y del hogar, con la más alta calidad y estándares de los mercados en que participa. Tiene presencia en Centroamérica, el Caribe, Ecuador, Chile, Perú, Venezuela y Colombia. En Guatemala su sucursal es PAINSA- Papelera Internacional S.A. El grupo GRANDBAY, accionista de PAVECA, adquiere en el año 2008 la empresa PAINSA, creada en el año 1984 con gran tradición en el mercado de Guatemala y toda Centroamérica. En el mismo año, la empresa crea Plantaciones Forestales de Guatemala (PLANFORGUA), con el objetivo de hacer estudios sobre la viabilidad de crear un proyecto forestal, que al principio tenía el objetivo de suplir

materia prima (madera), para la producción de biomasa y su conversión en energía eléctrica, por el alto costo de la misma en aquel periodo.

El proyecto consintió en hacer experimentos en varias áreas de la región Guatemalteca; desde la Costa Sur, en las orillas del Océano Pacífico hasta el departamento de Izabal en las orillas del Océano Atlántico. Estos ensayos fueron hechos a principios con material vegetal, clones de *Eucalyptus* spp., enviados desde Venezuela a Guatemala. El material enviado fueron plantas producidas en el vivero forestal de DEFORSA y llevados bajo controles fitosanitarios a Guatemala, donde fueron aclimatados por un periodo de 40 días, y después con la contratación de un vivero forestal local, se reprodujo el material a través de la propagación vegetativa.

Un total de 68 clones fueron introducidos a Guatemala y varios ensayos fueron realizados; desde ensayos de progenies, hasta de adaptación a las diversas condiciones climáticas encontradas en este país. También fueron enviadas semillas de las especies *Eucalyptus urophylla* y *Eucalyptus camaldulensis* producidas en las unidades forestales de DEFORSA.

Las áreas escogidas para las instalaciones de los ensayos se identifican en la figura 14.



Figura 14. Ubicación espacial del Proyecto PLANFORGUA – Plantaciones Forestales de Guatemala.

Paralelamente, a los ensayos con material genético de Venezuela se encontraron otras experiencias en el país de empresas ya establecidas. Durante el período de visitas y recorriendo el país (2008 a 2009), se encontró de forma natural un sin número de diferentes especies de los dos géneros. Es aquí, cuando se contrata a un consultor experto en *Eucalyptus* y *Corymbia* de Australia en el año 2010. Esto conllevó a realizar visitas a los diferentes sitios de ocurrencia en Guatemala con el Dr. David Kleining, donde se identificaron 29 especies de *Eucalyptus* y 3 de *Corymbia*. La ubicación espacial de las principales especies se presenta en la figura 15; y en el Anexo D, se especifica el sitio y la altitud.

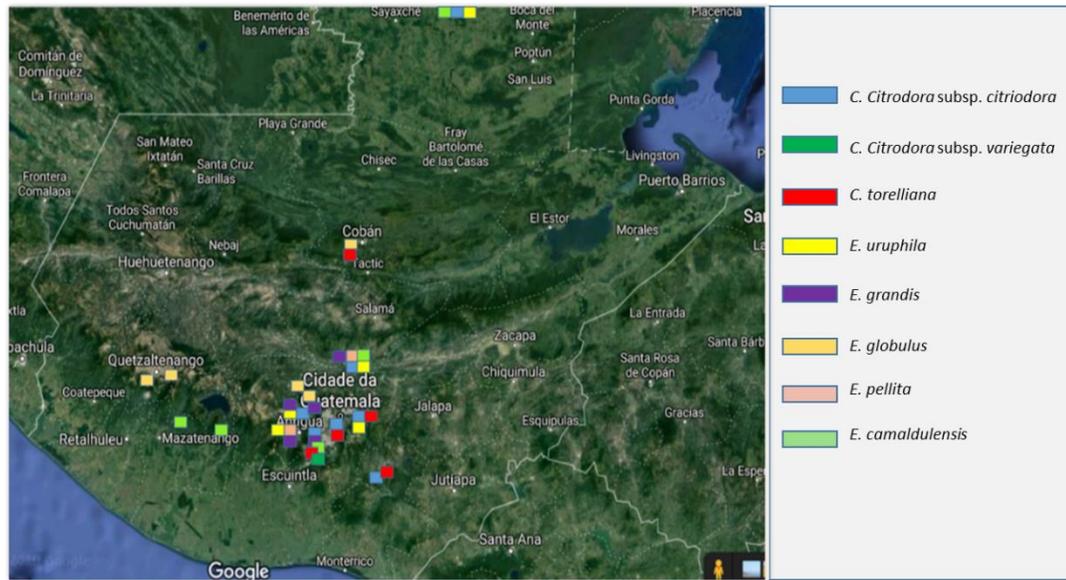


Figura 15. Ubicación espacial de las especies encontradas para iniciar el proyecto.

Algunas fotografías, representan la evidencia del histórico del proyecto (figuras 16, 17 y 18).



Figura 16. Equipo de participantes de la “Expedición Rescate” de material genético de *Eucalyptus* y *Corymbia* en Guatemala- 2010. Baudilio Díaz, Daniel Leite de Souza, David Kleining, Mario Ladeira, Héctor Leite de Souza y Guillermo García (De izquierda a derecha) (a). Joao Leite de Souza participante de la expedición, el segundo de izquierda a derecha (b).

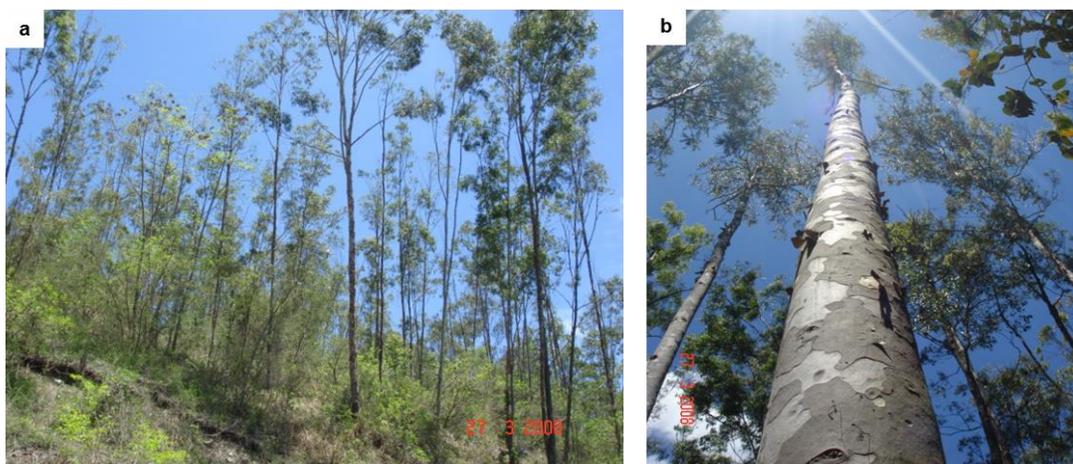


Figura 17. *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora* con 13 años de edad (a). *Corymbia citriodora* (20 años), Semillas de procedencia Australia (b). Localidad: Departamento El Progreso. Guatemala.



Figura 18. Parque Naciones Unidas con ejemplares de *Eucalyptus microcoris* (1), *Eucalyptus siderophloia* (2) y *Corymbia citriodora* subsp. *variegata* (3).

El germoplasma en Guatemala tiene una amplia distribución considerando áreas desde clima seco hasta clima de lluvia y desde bajas a altas altitudes, de 50 m.s.n.m hasta 2700 m.s.n.m, lo que permite la existencia de una alta variabilidad genética que es importante estratégicamente para diferentes tipos de proyectos; como de pulpa, aserradero, biomasa y/o aceite.

El trabajo de PLANFORGUA desde su inicio en el año 2008 hasta la fecha, ha sido determinante en la selección, recolección y reintroducción de varias fuentes de germoplasma constituyendo una base genética importante de los géneros *Eucaliptus* y *Corymbia* para el establecimiento de programas de mejoramiento genético. La base de este programa en DEFORSA se encuentra en PLANFORGUA, a través de los productos polen y semillas (Figura 19). La gran importancia de trabajos realizados en Guatemala con el género *Corymbia*, es que en ese país, con las condiciones ambientales y climáticas que presenta, permiten la floración y fructificación de las tres especies que son la base del mejoramiento genético en DEFORSA.

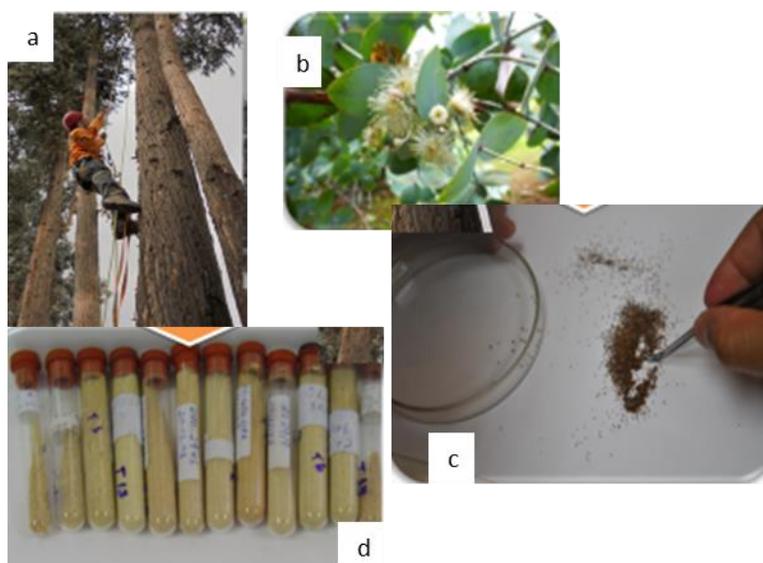


Figura 19. Recolección de semillas y polen (a). Botones florales (b). Semillas (c). Polen (d).
Fuente: Propia.

4.2.2 El género *Corymbia* en DEFORSA Venezuela

La planta de pulpa da inicio a sus operaciones en julio de 1990 con una capacidad de 115 ADMTPD (Air Dry Metric Ton por Día) para producir una pulpa Químico-Termo-mecánica blanqueada (BCTMP). El inicio de las operaciones tuvo como materia prima el *Pinus caribae* var. *hondurensis*, oriundo de las plantaciones del oriente del país, específicamente de Uverito en el estado Monagas, madera esta adquirida de la empresa CVG PROFORCA. La producción de pulpa tenía como objetivo reemplazar parte de la pulpa química importada utilizada en la formulación de

sus productos y de esta forma bajar el costo de producción. Por razones de calidad de la pulpa y del producto final (papel higiénico, servilletas y toallas) y reducir los impactos del efluente producido en el proceso; en el año 1992, se da inició a la utilización del género *Eucalyptus* como materia prima, (madera importada desde Brasil y Argentina) reemplazando así al *Pinus caribea*.

Para el desarrollo del proyecto forestal fue escogido el estado Cojedes, buscando en aquella oportunidad lograr los objetivos que a continuación se describen: 1) Proyecto a ser desarrollado en una zona con una actividad agropecuaria económicamente precaria, consecuencia de la utilización de suelos marginales, cuyo uso forestal representaría la incorporación de estas áreas al desarrollo económico de la región; 2) La localización del proyecto debería estar enmarcada en una zona rural marginal, y su ejecución conllevaría incorporar una masa poblacional al engranaje económico del país, desde otros niveles de productividad, con la importancia que ello tiene en su aspecto social, para el desarrollo integral nacional; y 3) El mismo debería promover un alivio a las cuentas del tesoro nacional una vez que disminuiría la importación de pulpa importada (DEFORSA, 1987).

La selección inicial de la especie para la consolidación del proyecto forestal, buscaba tener la capacidad de mantener su vigor vegetativo durante la rotación prevista, producir materia prima a una rata anual aceptable y la madera producida debería ser apta para uso en la fabricación de pulpa. La especie de *Eucalyptus grandis* recomendada en el inicio del proyecto, no fue la especie correcta; y en el año 1990, (Jacob y Fazzio, 1990), realizando una consultoría técnica se verificó que dicha especie no se adaptó a las condiciones edafoclimáticas; estas presentaban alto índice de mortalidad debido al déficit hídrico alto, lo que generó el desarrollo favorable del “chancro del eucalipto” *Chrysosporthe cubensis*, que se presenta entre los 3-4 años después de la siembra. Una gran parte de la plantación se encontraba en suelos mal drenados.

Basados en esta situación fue recomendada un área experimental con la introducción de varias especies para determinar la especie que mejor se adapte a las

áreas de DEFORSA. El propósito de estos ensayos fue establecer la base para un programa de mejoramiento genético forestal. Este ensayo fue establecido en el año 1992 y se encuentra hasta hoy en las áreas de la empresa.

En aquella oportunidad la empresa consultora recomendó que las plantaciones comerciales con la especie *Eucalyptus grandis* fuesen reemplazadas por la especie *Eucalyptus urophylla*.

A partir del año 2002 todas las plántulas producidas por la empresa por propagación sexual (semillas) pasan a reproducirse por medio de la propagación vegetativa (clones). Las plantaciones con semillas, siguen solo a nivel de ensayos y experimentos. En la tabla 2 se presenta el estudio que condujeron a la empresa, la adopción de plantaciones clonales.

Tabla 2

Estimación del comportamiento de las plantaciones clonales comparadas con semillas.

PLANTACIÓN	SEMILLAS	CLONAL
Sobrevivencia	60%	90%
Volumen a los 5 años M3/ha	115-130	175-225
IMA, m3/ha/año	23-26	35-45
Ataque plagas (hongos y gusanos)	Severo	Liviano
Calidad de la madera	Variable	Homogénea
Producción Plántulas (vivero)	Excelente	Excelente
Calidad de la plantación	Buena	Muy buena
Necesidad de cuidados culturales	Mayor	Menor

Fuente: Kajiya (2000).

A partir del año 2000 se establecieron diferentes ensayos clonales y siguió la inversión en la clonación y aporte tecnológico en las estructuras de propagación en vivero. Fue establecido el mini jardín clonal con riego automatizado. En DEFORSA, la producción de plántulas para sus unidades forestales se realiza en el vivero central, donde se utiliza un 98 % de material clonal principalmente de *Eucalyptus* (*Eucalyptus urophylla*) y desde hace dos años con clones y híbridos de *Corymbia*, el otro 2 % corresponde a la producción de semillas destinadas a ensayos continuos de mejoramiento genético.

Aun con la selección de materiales adaptados a las condiciones edafoclimáticas existentes en las unidades forestales de la empresa, el establecimiento de poblaciones de mejoramiento, ocurrió solamente a partir del año 2010 con la formación de los huertos semilleros “in door” (en invernadero) y “out door” (en campo).

La revisión de las especies elegidas como prioritarias para el programa de mejoramiento genético de la empresa ocurre en el año 2013. Algunos aspectos fueron determinantes para eso, como la contratación de consultor Ing. Osvaldo Navegante Cancio, especialista en mejoramiento genético y quién impulso el trabajo de investigación con el género *Corymbia* y el híbrido entre el *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora* x *Corymbia torelliana* (denominado Toreliodora o TLD), hasta entonces DEFORSA no tenía dentro de su línea de investigación el estudio del referido género.

Estos materiales del género *Corymbia* fueron introducidos en DEFORSA (entonces como género *Eucalyptus*) en los años 1991, 1994 y 2010. La segunda introducción ocurrió a través de la donación, por la empresa brasileña ACESITA, de un lote de semillas con varias especies; entre estas: *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora* y *Corymbia torelliana* (Figura 20 y 21).



Figura 20. Ensayo de introducción de especies (1991) *Eucalyptus tereticornis* (a). *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora* (b).

Fuente: Propia.



Figura 21. Ensayo de introducción de especies (1994) *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora*.
Fuente: Propia.

De estos árboles, en el año 2013, se cosechó el primer lote de familias híbridas de polinización abierta en madres de *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora*.

Anteriormente, en el año 2010 se hizo una introducción de semillas de Guatemala de *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora* donde se observaron plantas híbridas con *Corymbia torelliana* (Toreliodora - TLD) como se indica en la figura 22, muy fácil de diferenciar ya que resaltan sus características fenotípicas, entre ellas, tamaño y textura de la hoja, tamaño de la copa y un mayor desarrollo diametral.



Figura 22. Plantación comercial de *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora* (a). Individuo híbrido natural de *C. citriodora* x *C. torelliana* (Toreliodora-TLD) (b). Hojas de *Corymbia torelliana* (c1), Hojas de híbrido de TLD (c2), Hojas de *C. citriodora* subsp. *citriodora* (c3).

Fuente Pripia.

Con la identificación del híbrido ocurriendo naturalmente en plantaciones de progenies y por su buen crecimiento, la empresa decidió desarrollar esta nueva línea de investigación. En el ensayo de introducción de especies del año 1994, se encontraban parcelas vecinas de *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora* y *Corymbia torelliana* (Figura 23). De acuerdo a lo anterior, la empresa decide cosechar semillas de los árboles. Las semillas recolectadas fueron en las plantaciones de *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora*, una vez que; la posibilidad de conseguir híbridos naturales era mayor, en virtud de su menor capacidad de floración. La especie *Corymbia torelliana*, por producir una gran cantidad de flores, presenta una disminución en la ocurrencia de semillas híbridadas naturales.



Figura 23. Ensayo de introducción de especies (1994) *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora* (a). *Corymbia torelliana* (b).
Fuente: Propia.

En el vivero se identificaron las plántulas que resultaron de la hibridación natural (Figura 24), por su fenotipo (hojas) bien distinto a las de *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora*.

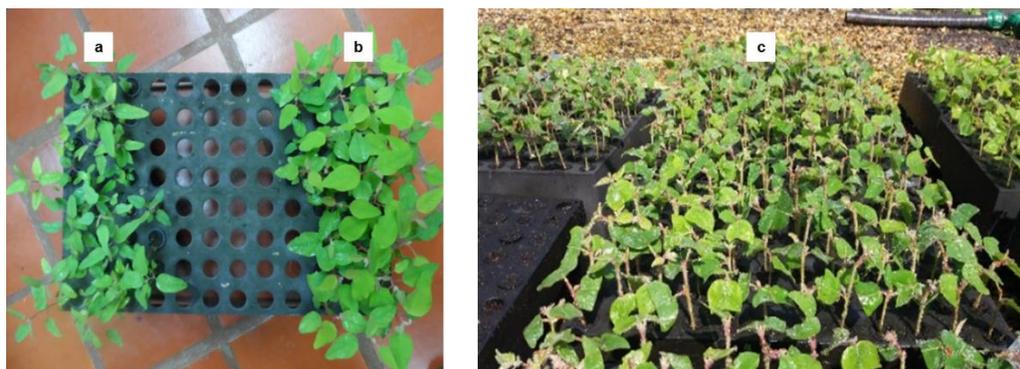


Figura 24. Plántulas de *C. citriodora* subsp. *citriodora* (a). Híbrido de TLD (b), y estacas de híbrido de TLD en invernadero.

Acercar el proceso de investigación utilizando la propagación asexual (clonal) a partir de plántulas seminales, pasa a ser prioridad para la empresa con el establecimiento de ensayos clonales, una vez que se observó que los híbridos naturales poseían un excelente vigor y la probabilidad de seleccionar clones superiores era muy

elevada. Tal decisión fue determinante en el éxito del programa, una vez que todos los supuestos fueron confirmados, desde la ocurrencia de la hibridación natural en alta frecuencia entre matrices existentes en DEFORSA, como el alto vigor de crecimiento de los híbridos en campo bajo ensayo clonal (Figura 25).



Figura 25. Primer ensayo clonal de híbridos de *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora* x *Corymbia torelliana*, plantado en 2014 de 6 meses (a). El mismo material a los 3 años (b).

Con los resultados obtenidos en los ensayos, la empresa decidió desarrollar el programa de híbridos de *Corymbia* con el apoyo de la base genética existente en el programa de PLANFORGUA, en Guatemala.

4.3 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PLANTACIONES EN CAMPO Y EN LA PLANTA DE PULPA EN TODO SU PROCESO

4.3.1 Evaluación en Ensayo Clonal

En febrero de 2018, los ensayos de los híbridos naturales de *Corymbia* (TLD) instalados en el año 2014 fueron medidos para evaluación tomando en cuenta 4 parámetros: densidad básica de la madera (Kg/m^3), volumen (SC m^3), Incremento Medio Anual (IMA, expresado en t/ha/año) y sobrevivencia (%). Los resultados encontrados fueron muy promisorios para los cuatro indicadores evaluados, al ser comparados con los clones comerciales de *Eucalyptus*, considerados los mejores en productividad, como son los clones 1846, 1503 y 241 (Tabla 3).

Tabla 3

Ensayo de clones híbridos de *Corymbia* subsp citriodora x *Corymbia* torelliana (TLD). Parcela 6. Lote V, a los 4 años.

CLON	DENSIDAD BÁSICA Kg/m ³	VOLUMEN SC m ³	IMA(t/ha/año)	SOBREVIVENCIA (%)
TLD 61	562	0,19	39,69	70
TLD 17	537	0,19	38,27	25
TLD 20	521	0,20	37,83	100
TLD 13	575	0,18	37,67	55
TLD 54	547	0,18	36,10	85
1846	439	0,20	32,13	80
1503	514	0,17	32,43	96
TLD 21	510	0,17	31,40	80
TLD 66	527	0,15	30,09	96
TLD 22	421	0,17	26,05	65
241	489	0,10	17,30	90

Analizando los datos de la tabla 3, en relación a la densidad básica (Kg/ m³), TLD 13, presenta un valor de 575 kg/m³, representando un incremento de 10,60% cuando es comparado con el mejor clon (1503), con una densidad básica de 514 kg/ m³; en lo referente al volumen sólido sin corteza(SC m³); el clon TLD 20 arrojó un incremento similar al clon 1846 con 0,20 SC m³; en cuanto al IMA (t/ha/año) el comportamiento del clon TLD 61 con un valor de 39,69 t/ha/año fue superior en un 18,29 % en comparación con el clon 1503 con un valor de 32,43 t/ha/año; finalmente en relación a la sobrevivencia a los 4 años, el clon TLD 20 logró una sobrevivencia del 100%, el mejor clon de eucalipto fue el 1503 con un 96% de sobrevivencia (Observación visual en discos de madera, Figura 26).



Figura 26. Discos de madera comparativos (Densidad básica) entre el híbrido de *Corymbia* TLD y clones de *Eucalyptus*.

El transporte forestal de la madera, es una operación que representa un costo significativo dentro del proceso de producción de pulpa para papel, por esa razón el valor de humedad de la madera debe ser el mínimo posible. Otro índice a considerar en el transporte; y a su vez, en la operación de cosecha forestal, es la densidad básica de la madera, es decir, a mayor la densidad, mayor es la relación entre la madera seca disponible para la producción de pulpa y mejor la eficiencia en la operación de los equipos encargados del corte y descortezado de la madera. En este caso transportando madera del género *Corymbia*, la ganancia en el transporte de la madera podría estimarse alrededor de un 10%.

El género *Corymbia* ocasionalmente puede presentar bolsas de resina en la madera exudado (“Kino”), el estudio de este asunto es reciente, pero el impacto puede ser muy grave, como se sabe, el género tiene una alta densidad básica, tolerancia a mayoría de las plagas y patógenos conocidos que infectan a las especies del género *Eucalyptus* y también en la producción de “Kino”. La presencia de exudados en la madera puede reducir el crecimiento volumétrico y el rendimiento de pulpa. (Jornal SIF, 2019.). Este

comportamiento es una reacción del material genético a condiciones edafoclimáticas no óptimas para su desarrollo, clasificados en bióticas y abióticas entre los cuales las heladas, el estrés hídrico, el ataque de insectos, estrangulamiento del tallo por bejucos, acción de patógenos, heridas mecánicas, vientos, anomalías fisiológicas, nudos ocasionados por las desramas, fuego y granizos (Assis, 2001) (Figura 27a).

Algunos árboles presentaron esta característica durante la cosecha, razón por la cual la empresa decidió plantar estos clones en los suelos más profundos y estructurados con una mejor calidad física (una de las recomendaciones técnicas para el género). Según Assis (2001), algunos científicos consideran ser una característica genética controlada, mientras otros consideran que la ocurrencia de los “kinos” es de origen no genética (Figura 27b).

Se trata de un problema que puede ocasionar daños y pérdidas en la planta de pulpa por la necesidad del uso de mayor cantidad de químicos para blanqueo.



Figura 27. Herida provocada por herramientas (a). Kino presente en la madera en edad de los cuatro años (b).

Con los resultados obtenidos, se decidió realizar con esta madera las pruebas de astillado y refinación, en la planta de pulpa PAVECA.

4.3.2 Prueba de Desempeño de Clones Híbridos de *Corymbia* en la Astilladora de la Planta PAVECA

En el año 2014, las empresas PAVECA y DEFORSA conformaron un grupo interdisciplinario de investigación, conformado por los especialistas en producción de pulpa, calidad de la madera, logística y manufactura, de PAVECA; y en manejo y mejoramiento genético forestal, por DEFORSA. A este grupo fue designado el proyecto de desarrollo denominado “Árbol Industrial PAVECA”. El objetivo principal fue crear una sinergia entre las áreas de las dos empresas, con el propósito de conseguir la mejor materia prima para la producción de pulpa y papel.

Los objetivos específicos de este grupo de trabajo son:

Discusión continúa del plan de cosecha de la madera de DEFORSA y su envío a la planta de pulpa; compartir e informar el plan de paradas programadas en la planta de pulpa; Normalizar los métodos de análisis de laboratorio; revisión del método de cubicación de la madera recibida en la planta; desarrollo de nuevas especificaciones técnicas de la madera; desarrollo de nuevos estudios y parámetros técnicos para la selección de clones adicionales al proceso de plantación de DEFORSA; realización de pruebas en los nuevos clones del género *Corymbia* en la producción de pulpa y papel.

Un aspecto importante en el proceso de pulpeo BCTMP es el bajo impacto en el ambiente en su proceso de fabricación. En términos generales, el impacto en el ambiente es significativamente menor que el de procesos químicos y semi-químicos (Area, 2005).

Las ventajas del proceso se detallan a continuación:

La madera no pasa por un tratamiento de “cocción” en productos químicos, las fibras de la madera son separadas a través del uso de la energía mecánica. Con eso se trata de mantener la parte principal de la lignina con el objetivo de lograr un alto rendimiento con unas propiedades de resistencia y brillo aceptables (Ministerio para la Transición Ecológica, 2019).

El uso limitado de químicos deriva en su alto rendimiento, eso se debe a que no hay una completa disolución de los compuestos orgánicos. Menor consumo de madera en el proceso, prácticamente el 50%, cuando se compara con un proceso kraft (Tabla 4). Bajo consumo de agua (2,5 m³/t de pulpa); en un proceso kraft, el uso es de 4 veces más agua (entre 10 y 30 m³/t de pulpa). En las plantas de proceso mecánico, los circuitos de agua se encuentran muy próximos, eso permite el uso de las aguas residuales en la fabricación de papel sean reutilizadas en el proceso de pulpeo. El sistema permite la implementación de tratamientos de efluentes como el TEF (del inglés, “totally effluent free”).

Tabla 4

Clasificación de los procesos de pulpación. Rendimientos

PROCESO	RENDIMIENTOS (%)
Mecánico	95-99
Termomecánico y Químico mecánico	85-95
Semi-químico	65-85
Químico de Alto Rendimiento	50-55
Químico	40-50
Químico para Pulpa Soluble	30-40

Fuente: Smook y Kocurek (1982).

El proceso es libre de cloro, pues no requiere agentes blanqueadores de origen clorhídrico (cloro u otros compuestos clorados) sino que emplea Peróxido de Oxígeno (H₂O₂), el cual termina descomponiéndose en el agua. Es cierto también, que muchas plantas kraft más modernas, han implementado el blanqueo mediante procesos libres de cloro elemental (Elemental Chlorine Free por sus siglas en inglés ECF) (Deardorff, 1997).

Como aspecto negativo en el proceso BCTMP se menciona su alto consumo de energía eléctrica (Chaikh, 2010).

En la fabricación de pasta mecánica los procesos son: el primero; la trituración de la madera donde los troncos pasan por una muela giratoria con un baño continuo de agua (astillado), y el otro; es el refinado de la pasta mecánica, que es justamente la desfibrilación de las astillas al pasar por discos refinadores. A través del aumento de la

temperatura del proceso y de la aplicación de tratamientos químicos es posible cambiar las características de la pasta producida reblandeciéndola antes del refinado. Este proceso se denomina quimiotermomecánico (CTMP). La mayor parte de los procesos de fabricación de pasta mecánica están integrados con la fabricación de papel. El agua y la madera, son materias primas renovables, así como algunos productos utilizados en el blanqueado de la pulpa y en el pre tratamiento del astillado.

En lo referente a los efluentes, el mismo es sometido a una serie de dos o tres etapas secuenciales, según Guzmán (2012):

- Tratamiento primario: se hace la remoción de una fracción o del total de sólidos suspendidos.
- Tratamiento secundario: su objetivo es la eliminación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y nutrientes encontrados en las aguas residuales, este tratamiento se logra mediante la acción de diversos tipos de microorganismos.
- Tratamiento terciario: su finalidad es la remoción de Materia Orgánica (MO), Sólidos Suspendidos residuales y color.

A continuación, los indicadores más importantes en la calidad de la pulpa producida en los procesos mecánicos:

Blancura: mide el nivel de brillo o reflexión de la luz blanca. La misma es obtenida con la impregnación de agente químicos en el caso peróxido de oxígeno (H_2O_2).

“Freeness”: mide el nivel de drenabilidad de la pulpa y está asociado (aunque es inversamente proporcional) al grado de refinación; una calidad que aporta a la suavidad y acabado del papel.

4.3.3 Primera Prueba de Astillado de la madera

El astillado es una operación primordial en gran parte de los métodos de conversión química de la madera; es a través del astillado que los trozos de la madera una vez descortezada (en muchas empresas este proceso de descortezar la madera es procesado en la propia planta, en el caso de DEFORSA, el descortezado es realizado en el campo cuando el árbol es cortado por el “harvester” (cosechadora forestal), esta decisión de la

empresa es establecida con dos propósitos principales, dejar en el campo la corteza, disminuyendo de esa manera la extracción de nutrientes en el suelo y ahorrar en el transporte de la madera, una vez que la corteza representa en promedio 10% del volumen total del árbol) en fragmentos pequeños cuyas dimensiones guardan relación con el proceso de conversión que se aplicara (Lombardo y Padilla, 1998).

Para esto, los troncos depurados de ramas, corteza y hojas, pasan por una estación de duchas para eliminar la arena y otros componentes abrasivos antes de ser introducidos en el astillador. Las astillas producidas se seleccionan en 3 fracciones: sobredimensionadas, aceptadas y finos. Las astillas de gran tamaño se recortan en el reastillador y se reenvían al tamiz. Los finos que no contribuyen a la calidad de la pulpa y que están hechas principalmente de polvillo y de palillos se envían a una pila de rechazo que se desecha en un relleno sanitario. Las dimensiones aceptadas de las astillas son 20-30 mm de longitud y 3-4 mm de espesor. Las astillas aceptadas son transportadas a la pila de astillas. Los principales objetivos del astillado son:

- Ayudar en la impregnación de sustancias químicas en la madera, a través del aumento de la superficie específica (relación superficie /volumen).

- facilitar el almacenamiento y transporte (en los casos donde las empresas hacen la operación fuera de sus unidades industriales).

Según Lombardo y Padilla (1998), el astillado tiene el propósito de producir partículas de tamaño uniforme, evitando al máximo el desperdicio y que sean partículas sin daños mecánicos. La homogeneidad de las partículas está íntimamente ligado a la calidad del producto obtenido, en el caso pulpa (Figura 28).



Figura 28. Equipo picador (a). Equipo para tamizar (b). Astillas de madera de *Corymbia*.

En la prueba de astillado de la madera de *Corymbia*, el volumen total enviado a la planta PAVECA fue de 14 m^3 , que fueron suficientes para el objetivo propuesto (Figura 29).



Figura 29. Cosecha (a). Apilado en planta (b). Detalle de las rolas (c). Lavado de la madera y proceso de limpieza (d). Madera en la correa del picador (e). Transportador de astillas (f).

Las astillas producidas por el TLD, presentaron una coloración más blanca que los clones de *Eucalyptus* procesados en el mismo día (Figura 30). Para los técnicos de PAVECA estos resultados fueron muy positivos, ya que de acuerdo a los procesos de pulpación, este factor representa una disminución significativa en el consumo de los químicos utilizados en el proceso de blanqueo y refinado de la pulpa; debido a las características del proceso utilizado por la empresa.

Referente al proceso de astillado, una característica relevante, fue la uniformidad de la carga energética del astillador, indicando una menor amplitud de variación de carga, consecuentemente una mayor estabilidad en el uso de energía, cuando se comparó con el procesamiento de la madera de *Eucalyptus* de 12 años de edad (Figura 31).



Figura 30. Astillas de madera híbrido de *Corymbia* TLD (a). Astillas de madera clon de *Eucalyptus* (b). Febrero de 2018.

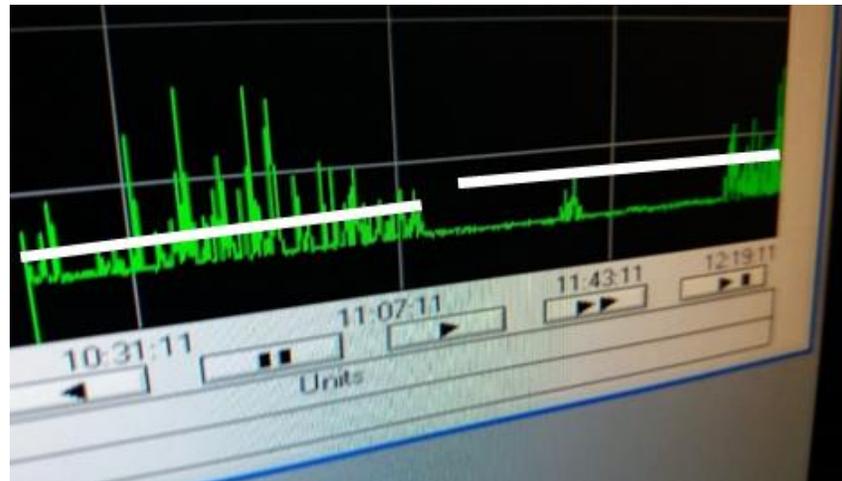


Figura 31. Pantalla de la oficina de control de astillado en la planta de pulpa, indicando el consumo de energía en el astillador. A la izquierda clones de *Eucalyptus* y a la derecha híbrido de *Corymbia*.

Luego de la prueba de astillado (consumo estable de energía y blancura), donde los indicadores resultaron satisfactorios, se determinó la realización de una segunda prueba con un volumen mayor de madera hasta el proceso de refinado.

4.3.4 Segunda prueba de astillado de madera y refinado

Esta prueba fue realizada en julio del año 2018, con el objetivo de probar la madera del híbrido natural de *Corymbia* (TLD), con la edad de 4 años, procedentes de la unidad forestal de la finca San Carlos II. El volumen total de madera enviado a la planta de pulpa de PAVECA, fue de 85,2 m³ (Figura 32), para evaluar su comportamiento en la fabricación de astillas y en el proceso de refinación.



Figura 32. Madera de híbrido *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora* x *Corymbia torelliana* (TLD) utilizada en la planta para prueba de astillado y refinación.

Los protocolos operacionales fueron los mismos adoptados para el proceso con la madera de los diferentes clones de *Eucalyptus* utilizados en la planta, con respecto a dosis de químicos, Rotación Por Minuto del Refinador (RPM) e índice de refinación (Canadian Estándar Freeness – CSF) en los refinadores. En la clasificación de astillas se operó con un sólo tamiz por problema de vibraciones con el segundo tamiz. La cantidad de madera permitió una prueba en refinación de 6 – 8 horas. Los resultados presentados demostraron que en el astillador durante el procesamiento de la madera no presentó alta carga, aun sabiendo que la madera en prueba presenta una densidad básica más elevada (Figura 33). Fue posible verificar que las cargas exigidas del astillador son más uniformes que las presentadas en el proceso aplicado a la madera de los clones de *Eucalyptus*. Otra característica resaltante del híbrido (TLD) fue la blancura de las astillas, lo que, de acuerdo a los protocolos establecidos en el proceso industrial de la planta de pulpa, indica una menor cantidad de uso de químicos en el blanqueamiento (Figura 34).

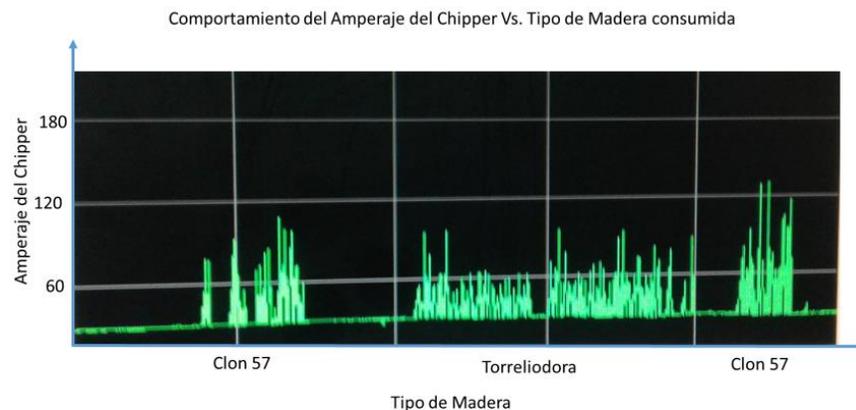


Figura 33. Gráfica comparando el amperaje del astillador con las maderas de los clones de *Eucalyptus* y del híbrido de *Corymbia* (TLD).



Figura 34. Astillas de madera TLD a los 4 años (Izquierda) procesada con más blancura que las astillas de madera del clon 57 de *Eucalyptus* a los 16 años (Derecha).

Evaluando las astillas de la madera, el valor de la densidad básica medida no fue mayor a los valores de los clones medidos en el pasado. Pero hay que considerar que esta madera posee edad de cuatro años, y la planta normalmente viene procesando madera con edad superior a siete años. En la práctica se observa, que hasta los 7 años, la madera del híbrido de *Corymbia* debe incrementar la densidad de 15 a 20 %. No obstante, la humedad estuvo muy baja, razón por la cual, fue realizada la prueba a pesar de tener un solo tamiz (Tabla 5).

Tabla 5

Datos de clasificación de las astillas y características de la madera analizadas en laboratorio.

TAMAÑO DE TAMIZ	% PESO	DENSIDAD BÁSICA	% HUMEDAD
1 1/8	13,15	492 kg seco/m ³ verde	13,89
7/8	26,88		
5/8	29,70		
3/8	24,11		
3/16	5,52		
Bandeja	0,64		

La madera fue procesada en laboratorio de acuerdo con el procedimiento y protocolos de la planta para producción de pulpa, alcanzando resultados prometedores (Tabla 6).

Tabla 6

Resultados de las pruebas de laboratorio con la madera del híbrido 'Corymbia'.

Tipo de Madera	Cs RP1	CSF RP1	Blancura RP1	CSF CMR1	Blancura CMR1	B.L. CMR1	Shives CMR1
Toreliodora	23,5	525	46,1	287	50,0	2712	>0,60
Clon 57 (Eucalipto)	25,9	503	40,5	325	45,2	<1800	0,33

Cs: Consistencia de la pulpa.

RP1: Refinador primario.

CSF: Canadian Standard Freeness, que indica el grado de refinación afectando el drenaje de agua de la pulpa.

CMR1: Torre de consistencia media de refinación.

B.L.: Breaking Length (Viscosidad de la pulpa).

Shives: tiras de fibra.

La blancura de la madera del híbrido de *Corymbia* (TLD) fue superior a la del clon 57 (aprox. 5° GE) en Refinación, una indicación de la concentración de lignina más baja que en el clon de *Eucalyptus*.

El “Breaking Length” (BL) de la madera del híbrido de *Corymbia* fue mayor en refinación a lo registrado normalmente y superior al clon 57. Obviamente con un “freeness” menor, es posible tener un mejor BL, pero en vista a las magnitudes de los números de CSF y BL, se piensa que la madera tiene un BL favorable.

Observar que la pulpa de prueba empieza con un valor de “freeness” (grado de drenabilidad de la pulpa refinada) superior al clon testigo y finaliza con valores más bajos, indicando una mejor facilidad de refinación, es probable que este comportamiento se deba a que la presencia de hemicelulosa es mayor en *Corymbia* que en los *Eucalyptus*, facilitando la interacción con el medio acuoso en el molino. El valor de “shives” (tiras de fibras) en refinación fue alto, posiblemente debido a la falta de ajustes en el proceso debido al corto periodo de operación. Se observó mejor blancura y “Breaking Length” (viscosidad de la pulpa) favorable en la madera híbrido de *Corymbia* (TLD) con 4 años de edad, respecto a los clones que están siendo utilizados actualmente, de los cuales todos superan los 7 años de edad. La planta de pulpa presenta un histórico con excelentes resultados en clones de *Eucalyptus* (010, 066, 1084 y 1636 entre 6 y 7 años de edad).

Como recomendaciones después de las pruebas se determinó:

- Repetir la prueba con un volumen de madera híbrido de *Corymbia* equivalente a 2-4 días de producción para evaluar nuevamente propiedades físicas y químicas hasta el final del proceso (refinación y blanqueo) y poder realizar los ajustes necesarios al proceso

-También se planea procesar un clon conocido (como 1084) de edad similar a la madera híbrido de *Corymbia* por 2-4 días antes o después de procesar la madera de prueba.

4.3.5 Evaluación preliminar de efluentes primarios en planta de pulpa

Las evaluaciones preliminares en relación al tratamiento de los efluentes; específicamente, en el clarificador N° 3 de la planta de pulpa, presenta los resultados en la tabla 7.

Tabla 7

Resultados de parámetros físicos químicos de los efluentes de entrada y salida del clarificadores N° 3 en planta PAVECA

Fecha	Muestra	Carga iónica (µg)	SST (ppm)	Color (Pt/Co)	pH	N (ppm)	P (ppm)	DQO (ppm)
16/07/2019 Clon <i>Eucalyptus</i>	Entrada C3	-5.385	9895	10563	8,69	12,5	0,44	3594
	Salida C3	-4,465	70	8007	7,91	7,5	0,33	3187
18/07/2019 Híbrido TLD	Entrada C3	-2,9455	2835	3175	8,65	5,2	0,24	1639
	Salida C3	-5,1929	74	8552	9,07	6,5	0,48	1958
20/07/2019 Clon <i>Eucalyptus</i>	Entrada C3	-7,9225	7010	13394	10,34	17,8	0,32	4116
	Salida C3	-4,8325	257	7023	8,89	12,6	0,19	2630

Fuente: Laboratorio de efluentes del departamento de gestión de la calidad y ambiente. PAVECA

Las pruebas se realizaron por un período de 12 horas (estándares de procedimiento de la planta) durante 3 días. La primera y tercera pruebas fueron analizadas con efluentes resultados de la producción de pulpa con clones de *Eucalyptus*.

La segunda prueba se analizó con efluentes resultados de la producción de pulpa con madera de híbrido de *Corymbia* (TLD). Es de acotar, que este procedimiento tuvo

una duración de 8 horas, de las 12 previstas; por lo que los valores obtenidos en la salida del C3 representa una mezcla con madera de *Eucalyptus*.

Los resultados obtenidos en los parámetros físicos químicos de los efluentes en la entrada del clarificador 3 (C3) presentan una disminución considerable en todos sus valores.

En lo relativo a la carga iónica (μg) los valores obtenidos para TLD presentan una considerable disminución de iones en los efluentes; es decir, menor cantidad de químicos y sustancias químicas reactivas.

Con respecto a los Sólidos Solubles Totales (SST-ppm), el efluente del proceso con TLD en la entrada de C3 presenta valores bajos significativos en comparación con el *Eucalyptus*. Esta disminución de los valores, representan menor pérdida en el proceso de producción de pulpa, y también; una reducción en los esfuerzos de su remoción del efluente en la unidad de tratamiento.

La reducción de los parámetros de color significan una menor cantidad de fenoles (lignina y extractivos) disueltos en los efluentes y reflejan la menor cantidad de estos químicos en la madera. Esto representa una reducción de la utilización de químicas para blanquear la pulpa y por ende, una reducción de los costos.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO-ppm) representa las cantidades de elementos y sustancias químicas que necesitan ser neutralizados o reducidos antes de la disposición final de los efluentes. Estos valores tan bajos en los efluentes de TLD conllevan a una sustancial reducción de químicos en tratamiento final del efluente y consecuentemente, un menor costo.

Las concentraciones de Nitrógeno (N) y Fósforo (P) encontradas en el efluente producido por el TLD son muy por debajo de las encontradas en los efluentes producidos por *Eucalyptus*. Esto facilita el tratamiento del efluente en la planta biológica; y representa un menor impacto ambiental en los cuerpos de agua receptores finales.

En los resultados obtenidos del pH, no se observaron variaciones significativas.

Es importante destacar, que el efluente del proceso con la madera de TLD en la entrada del clarificador en todos los parámetros, fueron inferiores a los valores de la salida de efluente del proceso con la madera de *Eucalyptus*.

4.4 CREACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE ESTABLECIMIENTO DE ESPECIES DEL GÉNERO *Corymbia* Y SUS HÍBRIDOS EN DEFORSA.

4.4.1 Estrategia de mejoramiento genético forestal

La población de las especies puras del género *Corymbia* se encuentra localizadas en Guatemala. Las matrices de *Corymbia torelliana* están siendo rescatadas en un huerto semillero, ubicado en la escuela ENCA en Bárcenas, a través de injertos. Las dos especies complementarias: *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora* y *Corymbia citriodora* subsp. *variegata*, dispersas en distintas regiones de Guatemala, sirven de fuentes de polen. La especie *Corymbia torelliana* será utilizada siempre como árbol madre, en las hibridaciones. El huerto localizado en Guatemala producirá los híbridos para ensayos de progenies en Venezuela y otras regiones.

Las progenies de *Corymbia torelliana* de Guatemala rescatadas por semilla, están siendo plantadas en las unidades forestales de DEFORSA, por su buena adaptación y con el propósito de mantener una buena base genética con excelente variabilidad. En las unidades forestales de DEFORSA en Venezuela, existe un grupo de matrices de *Corymbia torelliana* y *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora* que siguen siendo utilizadas en el programa de mejoramiento genético, manteniendo la especie *Corymbia torelliana* como madre.

La estrategia de mejoramiento genético forestal para el género *Corymbia* es la Selección Recurrente Recíproca Intra Población Sintética (SRRIPS); donde los híbridos son obtenidos por polinización controlada o abierta, entre las 3 especies nominadas (Figura 35). (Adaptado por Osvaldo Navegante Cancio de la metodología descrita por Resende y Barbosa, 2005).

Los híbridos del primer cruce (híbrido simple), son llevados a prueba en ensayos de progenie, después de evaluados los mejores (árboles plus) son establecidos en ensayo clonales, y por último llevados a plantaciones piloto. Los híbridos simples

seleccionados que contengan un mejor valor genético, son también direccionados para poblaciones sintéticas. En estas poblaciones son realizados cruzamientos entre híbridos y retro cruzamientos con las especies originales; estos cruces son hechos con la finalidad de mejorar algunas características deseadas; por ejemplo: volumen, forma, resistencia a plagas y enfermedades, etc. De igual manera, los nuevos híbridos mejorados (múltiplos) siguen la misma rutina de pruebas en ensayos de progenies, selección, ensayo clonal y luego plantaciones pilotos.

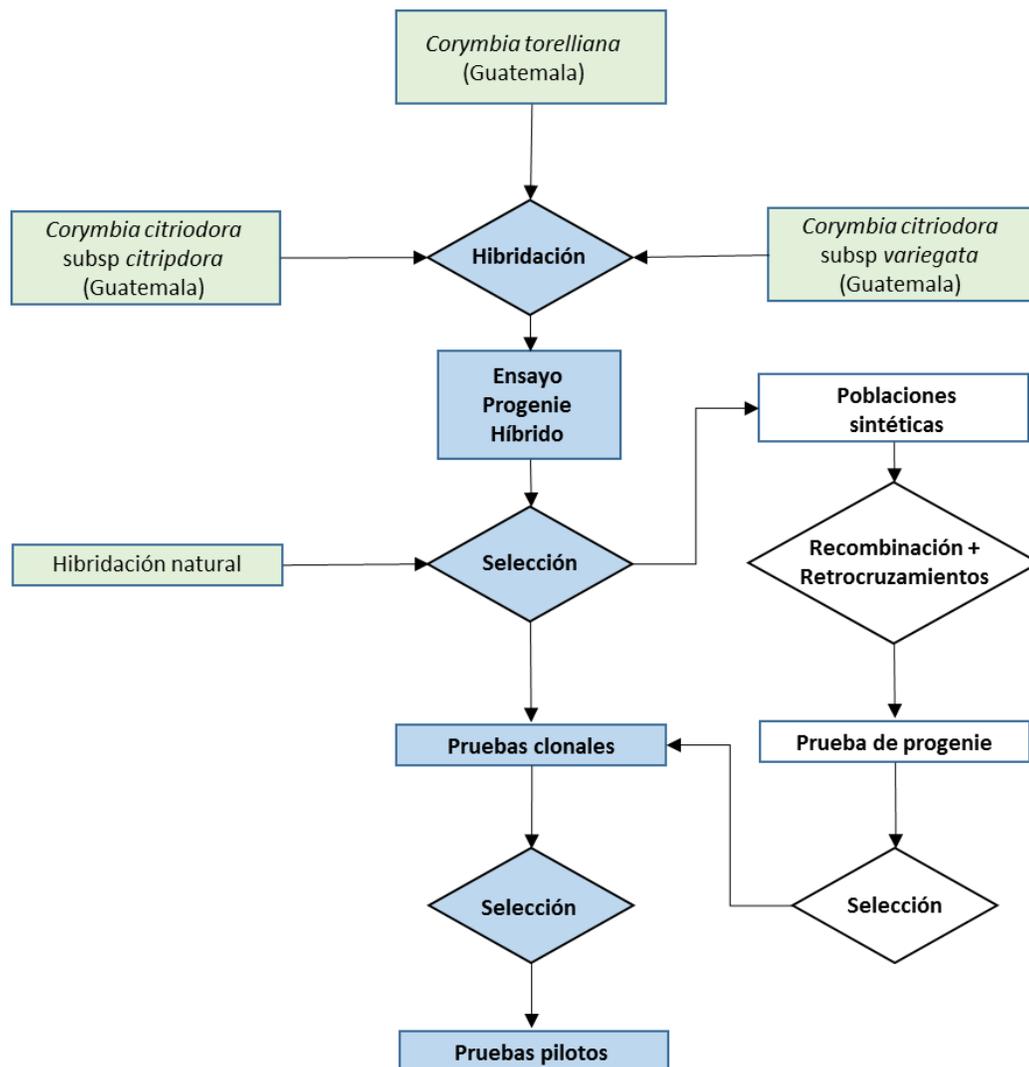


Figura 35. Estrategia de mejoramiento genético forestal para el género *Corymbia*. Selección Recurrente Reciproca Intra Población Sintética (SRRIPS).

Actualmente la población de híbridos de DEFORSA está compuesta por clones provenientes de híbridos naturales localizados en los ensayos clonales, instalados en los años 2014, 2015 y 2016, y en ensayos de progenie con materiales originarios de Guatemala plantados en el año 2015.

Luego de realizadas las pruebas pilotos en la planta de pulpa de PAVECA, la empresa a través de su cuerpo de especialistas en pulpa y forestales apoyados por la directiva de la empresa, decidieron incorporar al programa de mejoramiento genético al género *Corymbia*, con las tres especies, *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora*, *Corymbia torelliana* y *Corymbia citriodora* subsp. *variegata*, así como sus híbridos denominados “toreliodora” resultantes de las varias combinaciones del cruzamiento entre las especies. Las plantaciones comerciales son realizadas en las áreas donde los suelos son aptos para el género, determinados por el mapa de unidad de manejo de suelos desarrollado en DEFORSA.

4.4.2 Programa de establecimiento del género *Corymbia* en las unidades de manejo de suelos

La unidad forestal DEFORSA San Carlos, posee diferentes tipos de suelos que requieren manejo y materiales genéticos específicos. En el año 2013, de acuerdo a Ker y Pereira (2013) clasificaron los suelos en 18 tipos de acuerdo con la norma brasileña de clasificación de suelos Embrapa (2006) (Anexo E).

Para facilitar el manejo de las plantaciones forestales, en 2017, los diferentes tipos de suelos fueron agrupados en 4 unidades de manejos distintas, de acuerdo con sus características que permiten el mismo manejo (Figura 36). Es importante mencionar que el criterio para el agrupamiento fueron consideradas las siguientes características: físicas, formación y de textura. Las características químicas no fueron consideradas para esta agrupación, debido a que es más fácil manejar a través de la fertilización. La distribución porcentual se presenta en la figura 37.

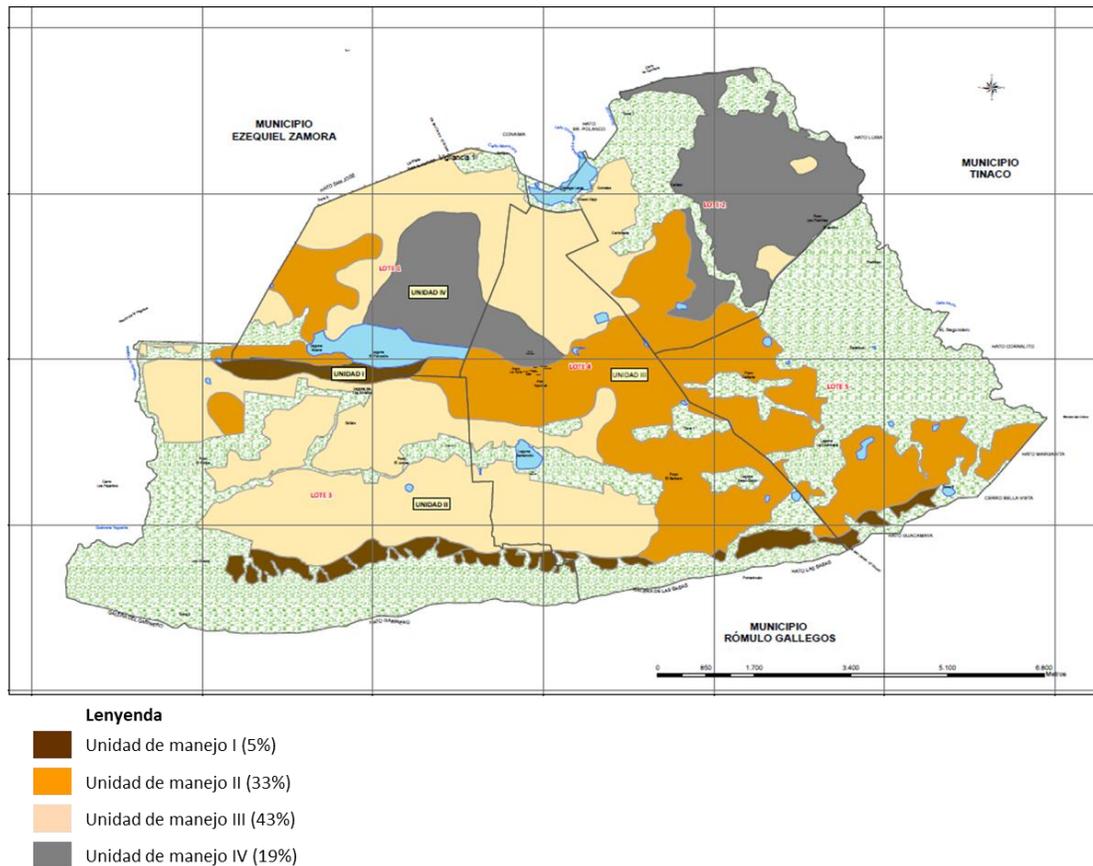


Figura 36. Mapa con las 4 Unidades de Manejo de la Unidad Forestal San Carlos II, como resultado del agrupamiento de suelos con las mismas características de manejo.

La Unidad de Manejo 1; es la de mejor calidad física y textural, donde las plantaciones de *Eucalyptus* y *Corymbia* pueden alcanzar la mejor productividad. Son suelos profundos, de textura mediana a arcillosa, bien estructurado y de buen drenaje. Están localizados en las cotas más altas de la unidad.

La Unidad de Manejo 2; es la segunda de mejor calidad para las plantaciones forestales. Están localizadas en el segundo nivel de altitud, posee buen drenaje, pero presentan compactación natural por la migración de arcilla en el perfil o por la presencia de granzón en los horizontes sub superficial. Esta unidad de manejo puede alcanzar buen crecimiento de las plantaciones con una adecuada preparación de suelos (subsulado) para mejorar la estructura física.

La Unidad de Manejo 3; está formada por neo suelos, con presencia de horizontes muy compactados, no estructurado, normalmente arcilloso o de textura mediana, con la presencia de horizontes con granzón consolidado (formación de rocas), que evolucionó bajo condiciones de inundaciones periódicas formando una condición donde hay la reducción de hierro (Fe) y aluminio (Al) caracterizado por su color gris. Son suelos localizados en las zonas más bajas, y que necesitan una cuidadosa y profunda preparación de suelos (subsulado y lomado). Tal condición requiere una exhaustiva selección de clones.

La Unidad de Manejo 4; es la más limitada por sus diversas restricciones; diferenciándose de la Unidad de Manejo 3 por presentar textura muy arcillosa y un mayor tiempo de inundación. Su manejo es muy limitado; requiere preparar el suelo (subsulado, lomado y drenaje). Además, exige clones adaptados a las condiciones de excedente hídrico.

Para los híbridos de *Corymbia*, las unidades de manejo de suelos habilitadas para plantación son: la 1 y 2, que representan 38 % de la superficie disponible de la unidad forestal; es decir, 2100 ha.

Ensayos de clones instalados en la Unidad de Manejo 3 han permitido seleccionar clones de *Corymbia* (TLD) con buen desarrollo. Esta unidad representa el 43%; es decir, 2382 ha.

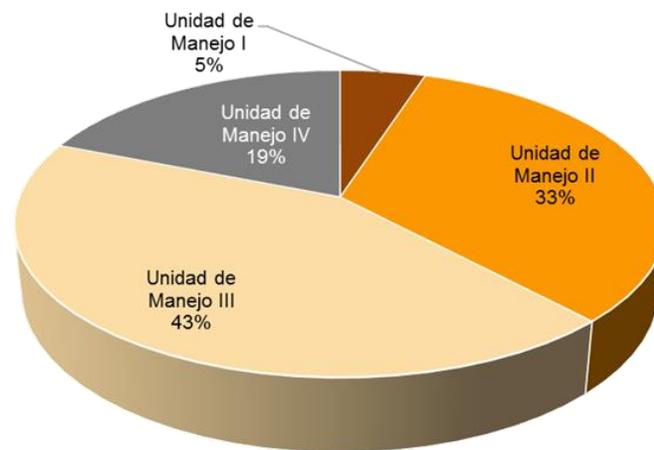


Figura 37. Distribución porcentual de las Unidades de Manejo de suelos. Área efectiva potencial de plantación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Los géneros *Pinus*, *Acacia*, *Eucalyptus* y *Corymbia*, han sido importantes especies forestales en el mundo para la producción de pulpa, papel, biomasa, carbón y madera para diversos usos; estas muestran un mejor crecimiento sostenido y brinda ventajas en relación a especies nativas; todo esto conlleva; indudablemente, a disminuir la acción antrópica en los bosques naturales.

El género *Corymbia*, y sus principales especies a través de su alto potencial de hibridación ha permitido la formación de híbridos que se presentan como una alternativa viable en la producción de pulpa, papel y otros productos maderables aunque han sido poco estudiadas.

Los híbridos del género *Corymbia* (Toreliodora – TLD) evaluados presentaron una serie de características favorables en comparación con los mejores clones de *Eucalyptus*; mayor sobrevivencia en el campo a los 4 años de edad. El Incremento Medio Anual (t/ha/año) y el volumen sólido sin corteza (V SC m³) fue superior a los clones de *Eucalyptus*. Se constató, que las plantaciones de los híbridos de *Corymbia* a los 4 años de edad se encontraban aptos para la cosecha forestal por su calidad de la fibra ya que se desarrolla más precoz que *Eucalyptus*; como consecuencia, se infiere una reducción de costos.

La densidad básica de la madera de los híbridos de *Corymbia* son superiores a los clones de *Eucalyptus* en valores significativos; esto representa ganancias en la calidad de la madera, en el transporte, uso estable de la energía del picador de astilla y en el rendimiento de la producción de pulpa.

Los valores de lignina en los híbridos de TLD son menores que los encontrados en los clones de *Eucalyptus*. En el proceso de producción de pulpa BCTMP; este factor es importante, una vez que en el proceso no hay la extracción de lignina; como resultado, la pulpa producida presenta un índice de blancura superior a la pulpa de los clones de

Eucalyptus; esto influye en los efluentes producidos en el proceso ya que causan menor impacto ambiental y una reducción considerable en el uso de químicos.

De acuerdo a los resultados obtenidos y a las conclusiones anteriores, se creó una adaptación a la estrategia de mejoramiento genético forestal para el género *Corymbia*; la Selección Recurrente Recíproca Intra Población Sintética (SRRIPS), utilizando las especies *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora*, *Corymbia torelliana* y *Corymbia citriodora* subsp. *variegata*, así como sus híbridos denominados “toreliodora”.

En la investigación con los híbridos de *Corymbia* TLD se determinó; que su mejor crecimiento y desarrollo se consigue en suelos correspondientes a las unidades de manejo 1 y 2; representando el 38% de la superficie; y un 43% (potenciales) de la unidad de manejo 3.

La estimación de crecimiento esperado en las plantaciones con los híbridos de *Corymbia* TLD en las unidades de manejo 1 y 2 que representa el 38% del área total (2100ha) alcanzaría un Incremento Promedio Anual (IMA) de 55 t/ha/año. Considerando la ganancia de productividad de biomasa y la reducción del tiempo de cosecha.

RECOMENDACIONES

Recomendaciones en planta:

- Hacer una prueba en la planta con cantidad o volumen de madera que permita un seguimiento en el proceso evaluando los impactos en toda la cadena.
- Evaluar los efectos de las características de la madera de TLD en la calidad del producto final (Pulpa y papel).
- Evaluar el impacto de la madera TLD en los rendimientos en la planta de pulpa.
- Realizar estudios de comparación de la madera de TLD y *Eucalyptus* en sus componentes anatómicos, físicos y químicos.

Recomendaciones en campo:

- Seguir incursionando en los estudios de selección de clones de este género a través del mejoramiento genético en sus diferentes modalidades.

- Establecer un banco de germoplasma en la empresa.
- Cuantificar los efectos del cultivo de TLD sobre los costos de control de malezas, plagas, enfermedades y en el manejo silvopastoril.
- Establecer relaciones inter-institucionales a nivel científico, educativo, productivo y comercial para interactuar en el tema de estudio y mejorar en los aspectos ya mencionados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab`Sáber, A., Rodés, L., y Zulauf, W. 1996. Proyecto Floram e desenvolvimento sustentável. *Estudos Avancados*. Brasil. 10(37):307-316. [Revista en línea]. En <http://www.revistas.usp.br/eav/article/view/8949> [Consulta: Mayo 23, 2019].
- Area, M. 2005. Tecnologías limpias para la producción de pulpa y papel de *Eucalyptus*. XX Jornadas Forestales de Entre Ríos, Argentina. [artículo en línea] En: https://www.researchgate.net/publication/281902607_tecnologias_limpias_para_la_produccion_de_pulpa_y_papel_de_eucalyptus [Consulta: agosto, 1, 2019].
- Area, M. C. 2015. La industria de pulpa y papel y el medio ambiente. Instituto de Materiales de Misiones (UNaM-CONICET). [documento en línea]. En <https://www.researchgate.net/publication/281461582>. [Consulta: Mayo 31, 2019].
- Arias, F. (2012). El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica (6a ed.). Ediciones El Pasillo. Caracas. 143 pp.
- Assis, T. F. 2014. Hibridação e clonagem de híbridos de *Corymbia*. XXVI Reunião da CTGMF. SIF/UFV. Belo Horizonte, Brasil.
- Barrios, A. 2009. Guía metodológica para la Elaboración de Proyecto. [Documento en línea] En: <http://seminariotgesap.blogspot.com/2009/06/seminario-de-trabajo-degrado-esap.html> [Consulta: Agosto 29, 2012].
- BNDES. 2014. Papéis para Fins Sanitários. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. [documento en línea]. En: [https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_es/Institucional/Publicaciones/](https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_es/Institucional/Publicacoes/) [Consulta: agosto, 13, 2017].
- Boeykens, S. 2006. Procesos para la producción de papel y pulpa: De la naturaleza a la mesa. [revista en línea] En: <http://repositorioubasibi.uba.ar> Encrucijadas, N° 38. Universidad de Buenos Aires. Disponible en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad de Buenos Aires. [Consulta: agosto, 3, 2019].
- Boland, D., Brooker, M., Chippendale, G., Hall, N., Hyland, B., Johnson, R., Kleinig, D.; McDonald, M., y Turner, J. 2006. *Forest Trees of Australia* (5ta ed). Editorial CSIRO. Collingwood, Victoria, Australia. 736 pp.
- Bootle, K.R. 2005. *Eucalypt Farm Forestry – Clearwood Production*. Private Forests Tasmania Farm Forestry Series, Natural Heritage Trust, Hobart.
- Briceño, M. 2005. Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América latina. Informe Nacional Venezuela. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma.
- Brito, J. O. 2013. Energia de madeira. In Santos F., Colodette J. y Queiroz J. H., eds. *Bioenergia & Biorrefinaria. Cana-de-Açúcar & Espécies Florestais*. Universidad Federal de Viscosa, Brasil. Pp. 271-295.

- Brooker, M.I.H., y Kleinig, D.A. 2006. Field guide to Eucalypts. v.1 (3ra ed). Blooming books. Melbourne, Australia.
- Chaikh, H. 2010. Producción de pulpa de madera BCTMP (Pulpa quimi-termomecánica blanqueada). Tesis de Maestría. ITBA/Universidad del CEMA. 61 pp.
- Deardorff, T. 1997. International paper follows science in ECF, TCF choice. Pulp & Paper.
- DEFORSA. 1987. Proyecto Forestal; Estudio Técnico – Económico. Informe Técnico. San Carlos, Cojedes. Venezuela. 152 p.
- EMBRAPA-SOLOS, 2006. Sistema Brasileiro de Classificacao de Solos. [Documento en línea]. En <http://www.embrapa.br/solos/sibcs/classificacao-de-solos> [Consulta: Junio 5, 2019].
- FAO. 2002a. Tendencias Recientes y Situación Actual del Sector Forestal. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [Documento en línea]. En <http://www.fao.org/3/j5484s/j5484s07.htm> [Consulta: Mayo 31, 2019].
- FAO. 2002b. Estado de la información forestal en Venezuela [Documento en línea]. En <http://www.fao.org/3/ad401s00.htm#TopOfPage> [Consulta: Septiembre 1, 2019].
- FAO. 2012. Los bosques y la evolución del mundo moderno. En el estado de los bosques del mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma. Cap 2: 7-23.
- FAO. 2015. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015 ¿Cómo están cambiando los bosques del mundo? Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma. 56 pp.
- FAO. 2016. Casos Ejemplares de Manejo Forestal Sostenible en Chile, Costa Rica, Guatemala y Uruguay. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Chile. 236 pp.
- FAO. 2019. Pulp and paper capacities (2014-2019). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma. 436 pp.
- FAO-FAOSTAT. 2019. Datos sobre producción de papel en el mundo [Documento en línea]. En <http://www.fao.org/faostat/es/?#data>. [Consulta: Septiembre 4, 2019].
- Ferreira, O. P. 2003. Madeira: uso sustentável na construção civil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. (Coord). Publicação IPT, 2980. 60 p.
- Flores, T., Alvares, C., Souza, V., y Stape, J. 2016. *Eucalyptus* no Brazil. Zoneamento climático e guia para identicao. Instituto de Pesquisas e estudos forestais. Brasil. pp. 447.
- Franzener, G., Moura, G. S., Meinerz, C. C., Schwan-Estrada, K. R. F., Stangarlin, J. R. 2011. Extrato aquoso de *Corymbia citriodora* no controle alternativo da

- antracnose em pepino e do crestamento bacteriano em feijão. Resumen del VII Congreso Brasileiro de Agroecologia, Fortaleza. Cuadernos de Agroecologia, v. 6, n. 2.
- García1, R., Oliveira1, N., Nascimento, A., Souza, N. 2014. Colorimetria de madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* e sua correlação com a densidade. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Seropédica, RJ, Brasil. CERNE 20(4): 509-517.
- Genes, P., y López, A. 2016. Crecimiento y densidad de la madera de *Corymbia citriodora* subsp. *variegata*. Reunión N° 62 Consorcio Forestal Corrientes Centro, N° 238. Consorcio Forestal Corrientes Norte y N° 71. Consorcio Forestal Río Uruguay. EEA INTA Bella Vista, noviembre 24, 2016.
- Golfari, L. 1992. Especies y procedencias de *Eucalyptus* potencialmente aptas para la forestación en las diferentes regiones climáticas de Venezuela. Informe CONARE. Venezuela. 44 pp.
- Golfari, L., Caser, R. L., y Moura, V. P. 1978. Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil. Serie Técnica, 11. Brasília, DF: PNUD/FAO/IBDF/BRA-45. 66 p.
- González, R. Carrero, O. 2007. Tendencia del consumo aparente de pulpa y papel en los últimos 40 años en Venezuela. Revista Forestal Venezolana. 51(2):129-139.
- Guzmán, P. 2012. Disminución del clorato residual en efluentes de pulpa de eucalipto, mediante la evaluación del consumo de dióxido de cloro en las etapas ácidas del proceso de blanqueo. Trabajo de Grado. Universidad de Concepción. 93 pp.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. 2014. Metodología de la Investigación. (6ta ed.). Mc Graw Hill, México. 600 pp.
- Hill, K.D, y Johnson, L.A.S. 1995. Systematic studies in the eucalypts - 7. A revision of the bloodwoods, genus *Corymbia* (Myrtaceae). Telopea 6:185-504.
- Hodel, D.R. 2012. Trees in the landscape, Part 3: *Corymbia torelliana*. Western Arborist, Spring.
- Hurado de Barrera, J. 2010. Metodología de la investigación. (4ta ed.). Ediciones Quiron. Universidad Nacional Abierta. Caracas. 146 pp.
- Ilija, F. 1967. Estudio de la madera forestal. Crecimiento y rendimiento de unos rodales de *Eucalyptus robusta* en el Distrito Federal y estado Miranda. Tesis. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Mérida. 87 pp.
- IPT. 1997. Informacoes sobre madeiras: eucalipto-citriodora. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. [Documento en línea]. En http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/12.htm [Consulta: Junio 4, 2019].
- Jacob, W. S., y Fazzio, E. C. 1990. Estudio forestal. Informe Técnico. Reporte JPE N° 5-110-xjpe-01. Jaakko Pöyry.

- Jornal SIF. 2019. Projeto de tecnologia desenvolvido pela SIF/UFV contribui para a reducao de exsudatos (Kino) na madeira de *Corymbia*, maximizando o uso comercial de especies do gênero. Damacena, M, Brasil. Mayo, Junio y Julio 2019. Número: 132 - Ano: 25.
- Kajiya, S. 2000. Estudio forestal. Informe Técnico. Reporte JPE N° 10-031-E-001. Jaakko Pöyry.
- Ker, J. C. & Pereira, T. T. C. 2013. Relatório Final dos Recursos de Solos - Desenvollos Forestales San Carlos. San Carlos – Venezuela. 54 pp.
- Lima, W.P. 1993. Impacto ambiental do eucalipto. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo. Brasil. 54 pp.
- Lima, W.P. 2009. Aspectos hidrológicos florestais para fins energéticos nos diferente biomas brasileiros; 1er Congresso Brasileiro sobre Florestas Energética. Belo Horizonte, Minas Gerais- Brasil. [Documento en línea]. En http://www.Eucalyptus.com.br/artigos/Aspectos_Hidrologicos_PAULA_LIMA.pdf [Consulta: julio 11, 2019].
- Lombardo, C., y Padilla, A. 1998. Manual Teórico Práctico de Conversión Química de la Madera y Química Ambiental. Universidad de Los Andes. Mérida. 168 pp.
- Lopes, E.D. 2017. Avaliação de clones de *Eucalyptus* spp e *Corymbia* spp em diferentes espaçamentos visando a produção de bioenergia. 120 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Biocombustíveis, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina.
- Lopez, J. y Vera, C. 2018. Crecimiento y rectitud del fuste de orígenes geográficos de *Corymbia* spp. en la Mesopotamia argentina. [Documento en línea]. En <http://ria.inta.gob.ar/sites/default/files/trabajosenprensa/lopez-castellano-2a.pdf#page=1&zoom=auto,-122,800> [Consulta: agosto 13, 2019].
- Lorenzi, H., Souza, H. De., Torres, M., y Bacher, L. 2003. Árvores exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas. Nova Odessa: Instituto Plantarum. 352 p.
- Maraseni, T., Cockfield, G., y Maroulis, J. 2009. An assessment of silvipasture potential in southeast Queensland Australia. Australasian journal of regional studies 15(3):297-310.
- McDonald, M. W., y Bean, A. R. 2000. Note: A new classification in *Corymbia* 'section Politaria': *C. citriodora* subsp. *variegata* (Myrtaceae). *Austrobaileya*, v. 5, n. 4, p. 735-736.
- Medice, R., Alves, E., Assis, R. T., Magno Júnior, R.G., y Lopes, E. A., 2007. Óleos essenciais no controle da ferrugem asiática da soja *Phakopsora pachyrhizi*. Syd. & P. Syd. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras. 31(1):83-90.
- Mendoza, S., Gutiérrez, J., y Sulbarán, L. 1992. Ensayos de especies y procedencias del género *Eucalyptus* en regiones de Venezuela comprendidas entre los 6° 30' y

- 10° de latitud norte, con semillas provenientes de Australia. Informe ejecutivo. CONARE.
- Ministerio para la Transición Ecológica. Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. [documento en línea]. En <http://www.prtr-es> [Consulta: junio 18, 2019].
- Morante, C. 2017. Modelo de Sustentabilidad para Bosques Plantados de Eucalipto en Los Llanos Centrales del Estado Cojedes. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora”, San Carlos, Cojedes. 282 pp.
- Morante, C. y Aranguren, J. 2014. Consideraciones acerca de las plantaciones de eucalipto en los llanos centro occidentales de Venezuela. Una perspectiva ecológica. *Revista de Ciencia y Tecnología AGROLLANÍA* 11: 44-49.
- Morante, C., y Aranguren, J. 2017. Caracterización de unidades de uso, manejo y aprovechamiento de bosque plantado y reserva del medio silvestre. In Fernández M., J. y Flores D., A. eds. [Libro en DC]. Disponible: SERIE N° 1; Disertaciones Doctorales en Ambiente y Desarrollo. UNELLEZ. Pp. 70-89.
- MPD (2003, Julio). Plan Nacional de Desarrollo Forestal 2003. Ministerio de Planificación y Desarrollo. Caracas. 172 pp.
- Parella, S., y Martins, F. 2012. Metodología de la Investigación Cuantitativa. (3ra ed.) FEDUPEL, Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Caracas. Venezuela. 284 pp.
- Paredes, F. 2009. Nociones elementales de la climatología e hidrología del estado Cojedes. Coordinación de Estudio de Postgrado de UNELLEZ-VIPI. Serie Investigación N° 1. 262 pp.
- Penfold, A. R., y Willis, J. L. 1961. The Eucalypts. Botany, Chemistry, Cultivation and utilization. (1ra ed.). Interscience Publishers. New York. 551 pp.
- Pinto, E. M., Machado, G., Felipetto, R., y Christoforo, A., Lahr, F., y Calil, C. 2016. Thermal Degradation and Charring Rate of *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus grandis* Wood Species. The Open Construction and Building Technology Journal 10: 450-456. [Revista en línea]. En http://www.researchgate.net/publication/304574391_Thermal_Degradation_and_Charring_Rate_of_and_Wood_Species [Consulta: agosto 15, 2019].
- Pirela, P. 1955. Estudio sobre plantaciones con especies forestales exóticas en los Valles del Chama y y del Mocoties. Tesis. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. 64 pp.
- Reis, C., Assis, T., Santos, A., y Filho, E. 2013. *Corymbia citriodora*: Estado da arte de pesquisas no Brasil. (1ra ed.). Embrapa Forestas. [artículo en línea]. En <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/item/221> [Consulta: julio, 17, 2019].

- Resende, MDV., y Barbosa, MHP. 2005. Melhoramento genético de plantas de propagação assexuada. Colombo: Embrapa Florestas. 130 p.
- Reys, G., Carmona, S., y Fernández, M. 2018. Aspectos fisiológicos y de aprovechamiento de *Acacia mangium* Willd. Una revisión. Revista colombiana de ciencias hortícolas. 12(1):244-253. [revista en línea]. En https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/7340 [Consulta: junio 13, 2019].
- Rolon, J., Mués, F., Rodríguez, M., Tucci, V., y Rodríguez, M. 2016. Análisis de los costos de producción de pulpa de celulosa: métodos kraft y mecánico. [artículo en línea]. En http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2016/trabajos/D008_COINI2016.pdf [Consulta: junio 16, 2019].
- Santos, R. C. 2010. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de Eucalipto / Rosimeire Cavalcante dos Santos. Lavras: UFLA, 159 pp.
- Segura, T.E.S. 2015. Avaliação das madeiras de *Corymbia citriodora*, *Corymbia torelliana* e seus híbridos visando à produção de celulose kraft branqueada. 2015. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. Brasil. 200 pp.
- Silva, J. 2001. Eucalipto a madeira do futuro. Revista da madeira. Edición especial. 114 Pp.
- Silva, J. 2002. Impactos tecnológicos na qualificação da madeira de eucalipto para produção de móveis. Universidade Federal de Vicosa. Vicosa – Minas Gerais.
- Smith, H.J., Henson, M., y Boyton, S. 2007. Forests NSW's spotted gum (*Corymbia* spp.) tree improvement and deployment strategy. In: AUSTRALASIAN FOREST GENETICS CONFERENCE: breeding for wood quality, 2007, Hobart. Proceedings... Hobart: [s.n.], 24 p. [documento en línea]. En <http://www.proceedings.com.au/afgc> [Consulta: junio 12, 2019].
- Smook, G.A., y Kocurek, M.J. 1982. Joint Textbook Committee off the Paper Industry; Tecnical Association of the Pulp and Paper Industry; Canadian Pulp and Paper Association. Editorial Atlanta, GA, USA.
- Souza, T. F., Favero, S., y Conte, C. 2010. Bioatividade de óleos essenciais de espécies de eucalipto para o controle de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Porto Alegre. Revista Brasileira de Agroecologia. 5(2):157-164.
- Strebin, S. y Larreal, M. 1989. Capacidad de Uso de las Tierras del estado Cojedes. Serie Informes Técnicos Zona 8 del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Guanare. 47 pp.
- Turner, S. 1991. "Appendices. A Short History of Papermaking." Which Paper?. Ed. Design Press. New York: 1991. 114-116.

- UNELLEZ, 2008. Plan General de Investigación de la UNELLEZ 2008 - 2012. Aprobado según Resolución N° CD 2008/796. Acta N° 747, de fecha 02-10-2008, punto, N° 29. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora”. Barinas, Venezuela.
- Valente, B. M. 2017. Avaliação de clones híbridos de *Corymbia* para crescimento, qualidade da madeira e carvão vegetal na região do Rio Doce. Tesis Doctoral. Universidad Federal de Viscosa. Brasil. 84 pp.
- Venezuela 1988. Decreto 2026. Norma para el Establecimiento de Plantaciones Forestales Comerciales y de Uso Múltiple. Gaceta Oficial de la República de Venezuela número 33.922. Caracas, marzo 9.
- Venezuela 1995. Decreto 883. Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos. Gaceta Oficial de la República de Venezuela número 5.021 extraordinario. Caracas, diciembre 18.
- Venezuela 2006. Ley Orgánica del Ambiente. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 5833 (Extraordinaria). Caracas, diciembre 22.
- Venezuela 2008. Ley de Gestión de la Diversidad Biológica. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 39070. Caracas, diciembre 01.
- Venezuela 2011. Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. Comisión Estatal de Ordenación del Territorio. Decreto del Plan de Ordenación del Territorio del estado Cojedes (POTEC). Diagnóstico Físico-Natural [Datos en DC]. Disponible en Dirección Estatal Cojedes.
- Venezuela 2013. Ley de Bosques. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 40222. Caracas, agosto 06.

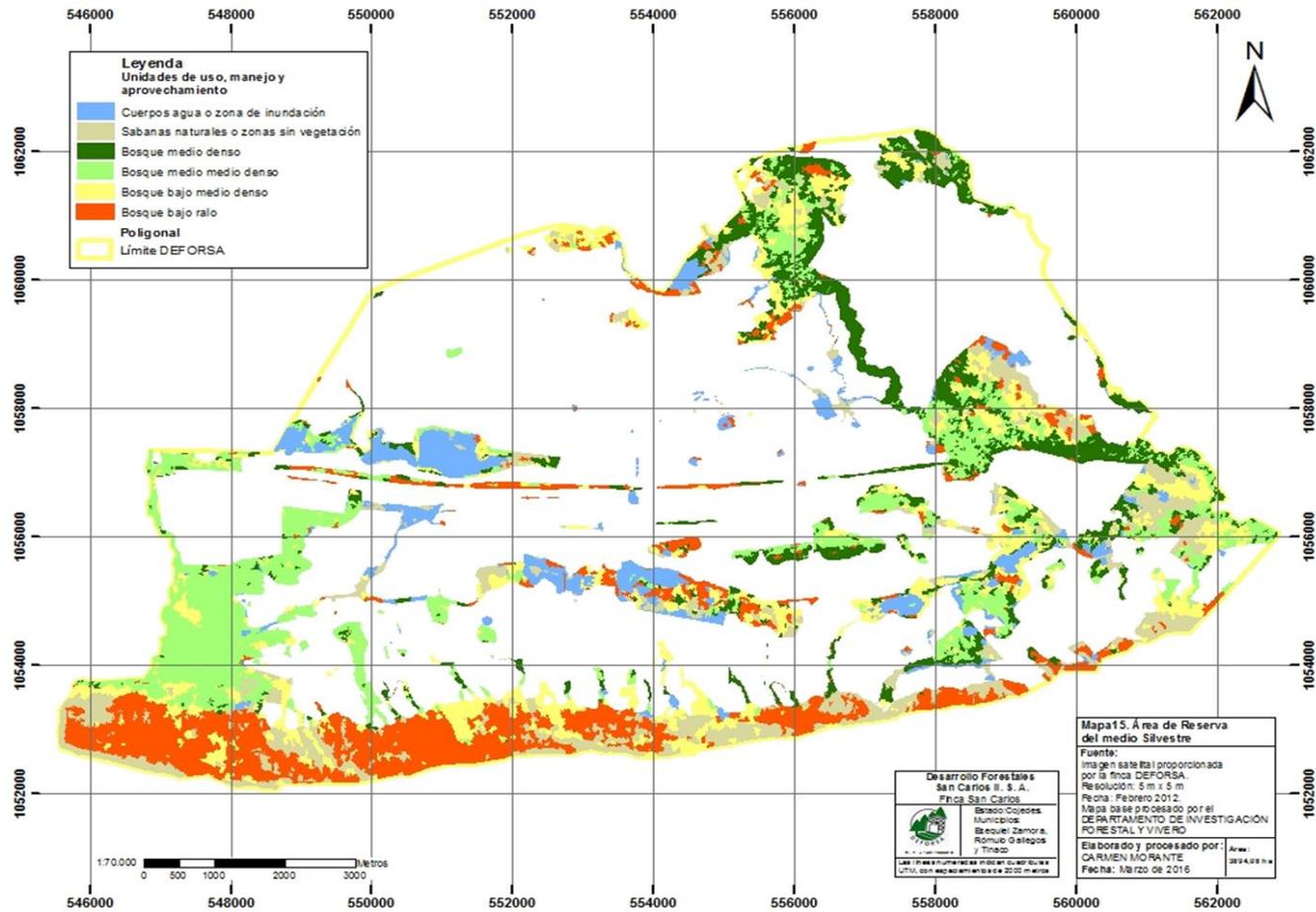
ANEXOS

ANEXO A. Distribución de los ensayos de especies y procedencias por estado y piso altitudinal.

Especie	Piso Tropical 0 - 500 (600) msnm							Piso premontano (650-1700 msnm)						TOTAL	N° semi/es pecie
	Cojedes	Guárico	Barinas	Apure	Zulia	Anzoátegui	Monagas	Yaracuy	Táchira	Mérida	Trujillo	Lara	Zulia		
<i>E. alba</i>	*	*	*	*	*	*	*	*						8	1600
<i>E. camaldulens</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	13	2600
<i>E. citriodora</i>								*	*	*	*	*	*	6	1200
<i>E. cloeziana</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	13	2600
<i>E. grandis</i>								*	*	*	*	*	*	6	1200
<i>E. pellita</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	13	2600
<i>E. nesophila</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	13	1300
<i>E. pilularis</i>								*	*	*	*	*	*	6	600
<i>E. resinifera</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	13	1300
<i>E. saligna</i>									*	*	*	*	*	5	600
<i>E. tereticornis</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	13	900
<i>E. torelliana</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	13	1300
<i>E. urophylla</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	13	7600
TOTAL	9	9	9	9	9	9	9	12	12	12	12	12	12	135	25400

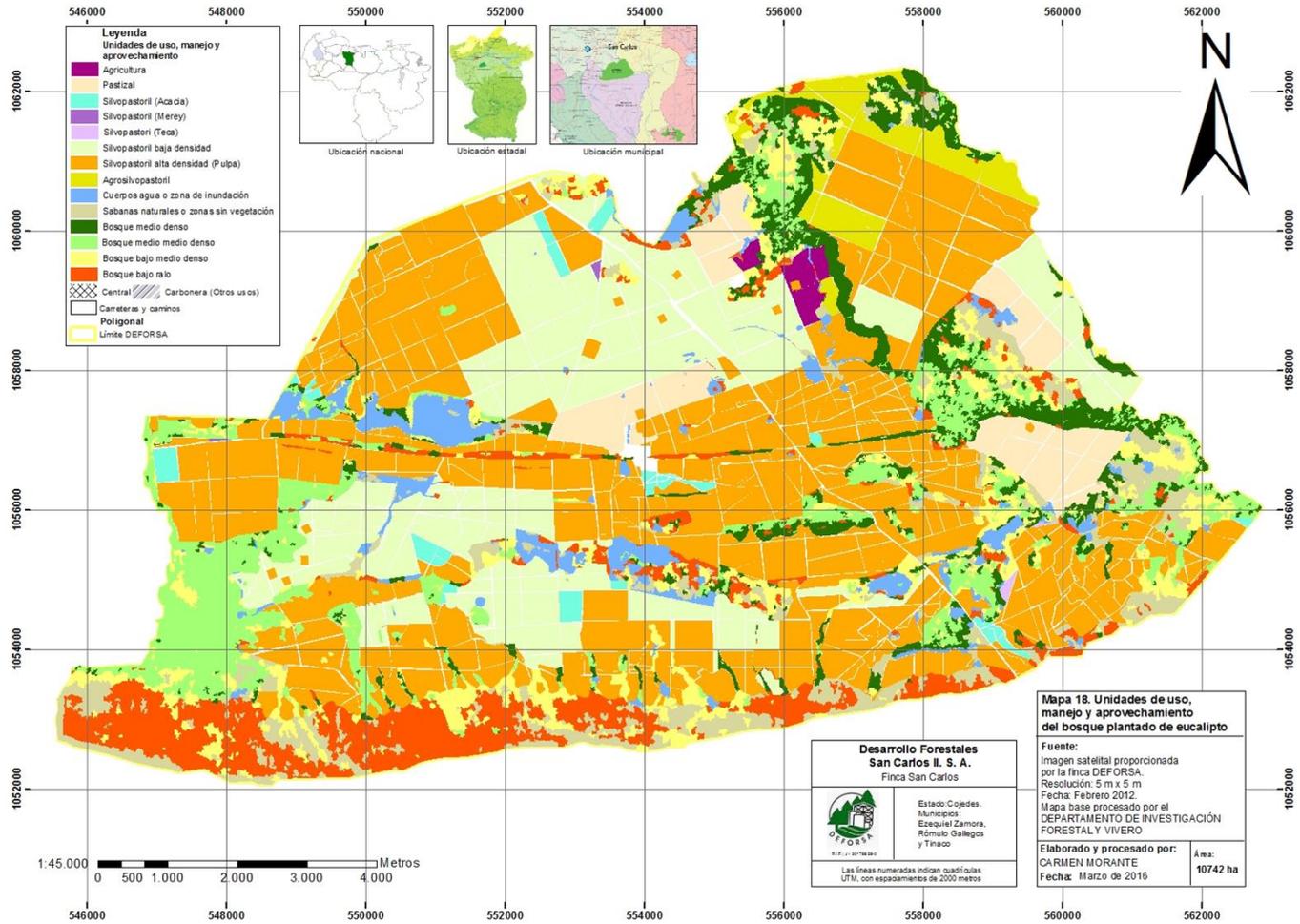
Fuente: Golfari (1992).

ANEXO B. Distribución espacial de los bosques naturales, sabanas y cuerpos de agua.



Fuente: Morante y Aranguren (2017).

ANEXO C. Distribución espacial de todas las unidades naturales y de producción.



Fuente:

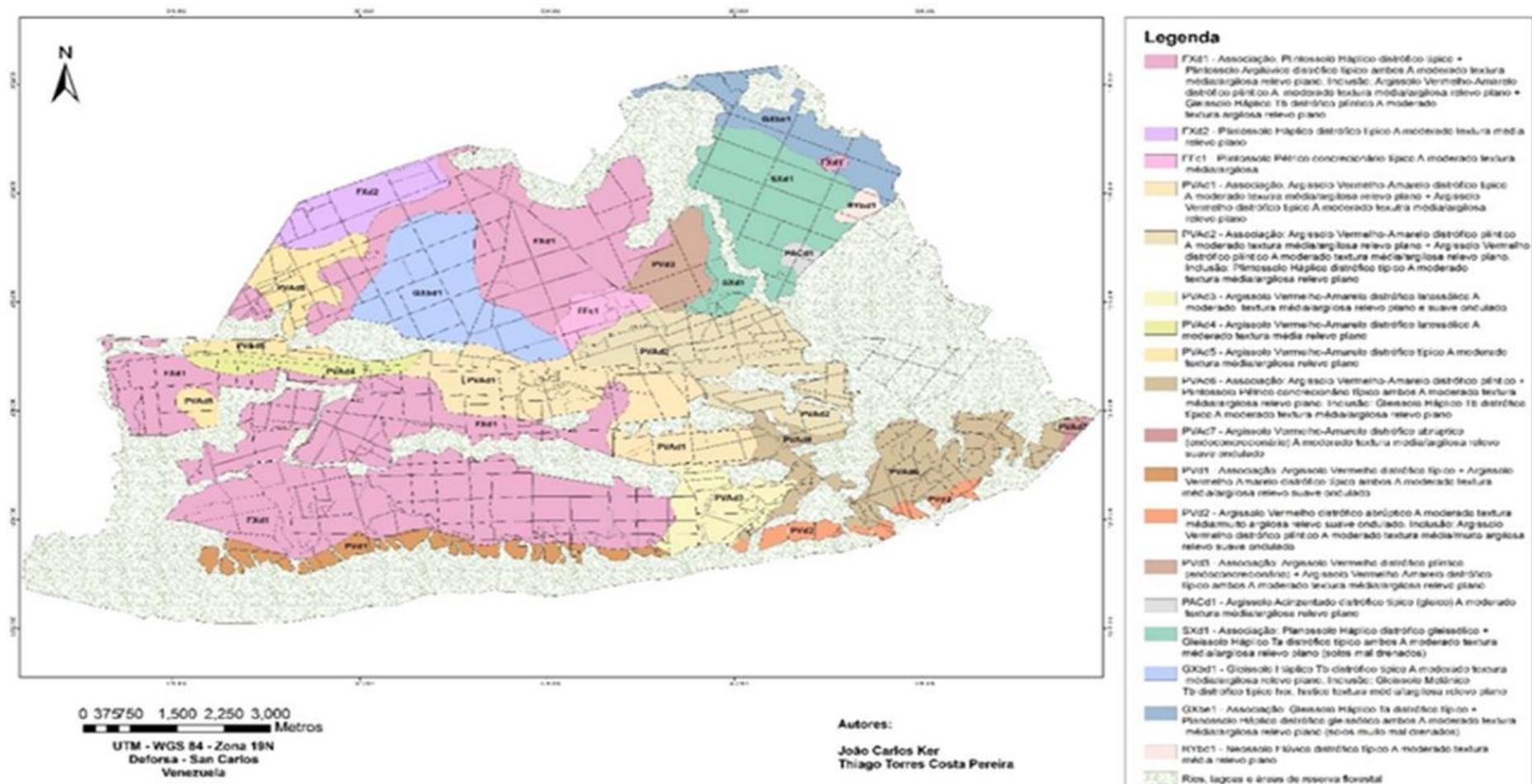
Morante y Aranguren (2017).

ANEXO D. La ubicación específica del sitio y la altitud de las principales especies de *Eucalyptus* y *Corymbia* en Guatemala.

ocalidad	AMSA	Parque ONU	ENCA	Santa Lucia Milpas Altas	Santiago Sacatepeques	Santomas Milpas Altas	Universidad del Valle	Lomas de San Isidro	Cemento Progreso	Finca Retana	Cerro la Cruz	Patzicia	atok	San Andres	Cantel	Los Vahos	Finca la Soledad	Finca San Francisco Miramar	Singuampar	Anacafé
Especies/Altitud (msnm)	1480	1470	1462	1950	2100	1990	1512	1542	690	1475	1640	2115	270	915	2300	630	900	600	1800	1470
<i>E. siderophloia</i>	X	X	X					X	X		X									
<i>C. citriodora</i>	X	X	X				X		X		X		X	X						
<i>E. crebra</i>	X																			
<i>E. microcoris</i>		X			X		X													
<i>E. saligna</i>											X	X								
<i>C. citriodora variegata</i>		X	X																	
<i>E. pelita</i>									X	X										
<i>E. propinqua</i>		X																		
<i>E. urophylla</i>							X				X			X						
<i>E. grandis</i>		X	X						X	X	X									X
<i>E. cinerea</i>					X	X	X													
<i>E. botriodis</i>		X				X														
<i>E. globulus</i>				X	X										X	X				
<i>E. melaniophloia</i>		X																		
<i>E. pulverulenta</i>				X																
<i>E. excerta</i>			X					X	X											
<i>E. globulus maidenia</i>			X																	
<i>E. urograndis</i>			X								X									
<i>E. deglupta</i>																				X
<i>E. camadulensis</i>			X						X					X						
<i>C. torrelliana</i>			X				X										X	X		
<i>E. robusta</i>																				
<i>E. cloeziana</i>																				X
<i>E. tereticornis</i>	X	X	X		X		X					X								
<i>E. robusta</i>																				X

Fuente Propia.

ANEXO E. Clasificación de los suelos en 18 tipos de acuerdo a la norma brasileña, Embrapa (2006).



Fuente: Ker y Pereira (2013).